

FORUM HOLZBAU

BAUPHYSIK &
GEBÄUDETECHNIK

10. HolzBauSpezial

Kurhaus, Bad Wörishofen (DE)

12./13. März 2019

Holzbau | Trockenbau | Innenausbau

BFH BIEL
TH ROSENHEIM
AALTO HELSINKI
TU MUNCHEN
PRINCE GEORGE
TU WIEN

FORUM HOLZBAU BAUPHYSIK & GEBÄUDETECHNIK

10. HolzBauSpezial

Bauphysik & Gebäudetechnik

12./13. März 2019

Bad-Wörishofen (DE)

Holzbau | Trockenbau | Innenausbau

Herausgeber: FORUM **HOLZBAU**
Bahnhofplatz 1
2502 Biel
Schweiz
T +41 32 327 20 00

Bearbeitung und Satz: FORUM **HOLZBAU**, Katja Rossel, Claudia Stucki

Druck: EBERL PRINT
Kirchplatz 6
87509 Immenstad
Deutschland
T +49 8323 802 200

Auflage: 550 Ex.

© 2019 by FORUM **HOLZBAU**, Biel, Schweiz
ISBN 978-3-906226-24-8

www.forum-holzbau.com | www.forum-holzkarriere.com

Inhalt

AUFTAKT

Bauen im D-A-CH Raum – was tut sich so mit BIM?

- BIM Rechtliche Möglichkeiten und Grenzen** 13
*Prof. Peter Matthias Astner, LL.M., Technische Hochschule Rosenheim/
MÖLLER Rechtsanwälte PartGmbH, Rosenheim, Deutschland*

A1

AKUSTIK

Planungsmethoden im Schallschutz – es tut sich was für die Planer!

- Praxishandbuch Schallschutz im Holzbau mit wichtigen Erkenntnissen
für bewährte Bauweisen** 27
Adrian Blödt, Ingenieurbüro für Bauphysik, Blödt Holzkomplettbau, Kohlberg, Deutschland
- Flankenübertragung an Holzbetonverbund-Decken –
Eingangsdaten für ein Designtool** 43
Stefan Schoenwald, Empa Materials Science and Technology, Dübendorf, Schweiz
- Prognose von Körperschall aus haustechnischen Anlagen –
ein robustes und einfaches Tabellenverfahren für den Holzbau** 59
Fabian Schöpfer, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland

A2

Schallschutz und Gebäudehülle – Anforderungswirrwarr und kritische Bauteile

- Schallschutz gegen Aussenlärm bei Holzbauweisen –
Planungsgrundsätze für die Praxis** 73
Dr. Andreas Meier, Müller-BBM, Planegg bei München, Deutschland
- Direkt- und Flankenschalldämmung bei Vorhangfassaden aus Holz und Metall** 85
Bernd Saß, ift Rosenheim, Rosenheim, Deutschland
- Flachdächer und Dachterrassen im Holzbau** 103
*Andreas Rabold, Technische Hochschule Rosenheim und ift Rosenheim,
Camille Châteauevieux-Hellwig, Technische Hochschule Rosenheim und ift Rosenheim,
Stefan Bacher, ift Rosenheim, Rosenheim, Deutschland*

A3

Bauteile – Schalltechnisches Detailverständnis für guten Schallschutz

- Luftschalldämmung von Brettsperrholzwänden mit Wärmedämmverbundsystem** 117
*Dr. Franz Dolezal, IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, Wien, Österreich
Niko Kumer, Stora Enso Wood Products, Österreich*
- Konstruktive Massnahmen bei Holzdeckenkonstruktionen** 127
Bernhard Furrer, Lignum Holzwirtschaft Schweiz, Zürich, Schweiz
- Leichtbautreppen – Probleme und Lösungen beim Schallschutz** 137
Jochen Scheck, Hochschule für Technik Stuttgart, STEP, Stuttgart, Deutschland

B1**GEBÄUDE – technik | bauteile | materialien****Wärmeschutz und Wärmespeicherung**

- Ein neues Verfahren zur Berechnung der dynamischen Wärmekapazität von Holzbalkendecken** 151
*Prof. Dr. Christoph Geyer, Berner Fachhochschule AHB, Biel, Schweiz
 Barbara Wehle, Berner Fachhochschule AHB, Biel, Schweiz
 Amabel Mélian Hernandez, Berner Fachhochschule AHB, Biel, Schweiz*
- Wärmeschutz bei Aufstockungen und Nachverdichtungen** 161
Prof. Dr. Martin H. Spitzner, HBC. Hochschule Biberach, Biberach, Deutschland
- Sommerlicher Wärmeschutz durch Verbundelemente im HBV-Deckensystem** 169
Klaus Roschmann, Schmid Janutin, Urdorf, Schweiz

B2**Feuchteschutz – Fakten – Bauteile – Normung**

- Abdichtungen im Holz- und Trockenbau** 177
Heinrich Rohlf, James Hardie Europe, Bad Grund, Deutschland
- Feuchteschutz im Geschossbau – eine Bilanz** 185
Karl-Heinz Weinsch, IQUH, Weikersheim, Deutschland
- Neue Normung beim Feuchteschutz fördert nachwachsende Bau- und Dämmstoffe** 201
Prof. Dr. Hartwig M. Künzel, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, Deutschland

B3**Lüftung – Einfach und Modular**

- Praxisuntersuchung von Abluftanlagen mit ALD und dezentralen Lüftern mit WRG** 211
Heinrich Huber, Hochschule Luzern, IGE, Horw, Schweiz
- Modulare Gebäudetechnik – Erhöhte Vorfertigung in der Gebäudetechnik** 225
Benno Zurfluh, Zurfluh Lottenbach, Luzern, Schweiz
- Einfache Lüftungssysteme für den Wohnungsbau – Untersuchungen in der roteg Forschungswohnung** 233
Harald Krause, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland

BRAND**A4****Gebäudehülle – in der Gesamtbetrachtung von Konstruktion und Dämmstoff**

- Brandsichere Holzfaser-WDVS für die Gebäudeklassen 4 und 5** 243
Björn Kampmeier, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, Deutschland
- Fassadensystem mit vorgefertigten Holzrahmenbauelementen für den Hochhausbereich** 253
Anton Kraler, Clemens Le Levé, Michael Flach und Thomas Badergruber, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich
- Brandschutztechnisch sichere hinterlüftete Holzfassaden – Status quo** 265
Dr. Michael Merk, Technische Universität München, München, Deutschland

A5**Elemente – Verbesserungen in der Umsetzung**

- LeitHolz – Leitungsabschottungen im Holzbau** 275
Thomas Scherer, Technische Hochschule Kaiserslautern, Kaiserslautern, Deutschland
- Brandschutztechnische Bekleidung – statische Wirksamkeit im Brandfall** 285
Prof. Ulrich Grimminger, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland
- Feuerwiderstand nach CE-Zeichen –
 Wie wird mit abweichender Ausführung umgegangen?** 295
Thomas Krause-Czeranka, Ingenieurbüro Krause-Czeranka, Unna, Deutschland

A6**Tragwerk – Neue Ansätze im Modul- und Holzhochhausbau**

- Tall Wood Buildings – The US Approach to Performance and Protection** 311
Sean DeCrane, Underwriters Laboratories, Northbrook, USA
- Brandschutz im Holzhochhaus am Beispiel von Suurstoffi 22** 323
Reinhard Wiederkehr, Makiol Wiederkehr, Beinwil am See, Schweiz
- Brandschutz im Holzbau – Konzept für ein Boardinghaus der Gebäudeklasse 5
 in Brettspertholz-Modulbauweise** 331
Anton Pavic und Marinus Döpper, PHIplan, Grabenstätt, Deutschland

B4**GEBÄUDE – technik | bauteile | materialien****Gebäudetechnik – Energieeffizienz und Massnahmen**

- Energieeffizienz durch Gebäudeautomation?** 341
Prof. Dr. Michael Krödel, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland
- Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit vorgefertigten Holzfassaden mit
 integrierter Lüftung und Kleinst-Wärmepumpe** 353
*Fabian Ochs, Dietmar Siegele, Georgios Dermentzis und Toni Calabrese,
 Energieeffizientes Bauen / UIBK, Innsbruck, Österreich*
- EnergieMonitoring – eine notwendige Massnahme für einen effizienten
 Gebäude- und Anlagenbetrieb** 367
Prof. Uli Spindler, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland

B5**Schallschutz – Interaktion mit konstruktiven Anforderungen**

- Schall- und Luftdichtheit von Fenstern in der Renovation** 377
*Barbara Wehle, Prof. Dr. Christoph Geyer und Amabel Mélian Hernandez,
 Berner Fachhochschule AHB, Biel, Schweiz*
- Verbesserung der Luftdichtheit und Kältebrücken bei auskragenden Bauteilen** 389
*Roland Maderebner und Michael Flach, Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und
 Materialwissenschaften, Innsbruck, Österreich*
Sebastian Hirschmüller, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland
- Schwingungsverhalten und Trittschall bei Holzdecken – ein Zusammenhang?** 397
Patricia Hamm, Institut für Holzbau, Hochschule Biberach, Biberach, Deutschland
Manuel Stuhlinger, best wood SCHNEIDER®, Eberhardzell, Deutschland

B6**Gesundes Wohnen – Wie denn Planen und Bauen?**

VVOC-/VOC-Emissionen aus Bauprodukten in Innenräumen von holzbasierten Gebäuden 409

Dr. Alexandra Schieweck, Fraunhofer WKI, Braunschweig, Deutschland

VOC-Anforderungen an Baustoffe und Innenräume 415

Dr. Martin Ohlmeyer, Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, Deutschland

VOC-Emissionen aus mehrschichtigen Wand- und Deckenelementen in Holz-Rahmenbauweise 421

Dr. Ingo Mayer, Berner Fachhochschule AHB, Biel, Schweiz

EPILOG**Das HolzHochHaus aus der Sicht des Architekten und des Bauphysikers**

Bautechnische Herausforderungen beim 1. Holzhochhaus Deutschlands SKAIO Heilbronn 435

Anders Übelhack, Züblin Timber, Aichach, Deutschland

HolzHybridHochHaus – Warum ein Holzhochhaus bauen? 443

Yves Schihin, burkhalter sumi architekten, Zürich, Schweiz

Moderatoren

Prof. Dr. Beck Andreas

Hochschule für Technik Stuttgart
Schellingstrasse 24
70174 Stuttgart, Deutschland

Tel.: +49 711 8926 2677
E-Mail: andreas.beck@hft-stuttgart.de

Prof. Dr. Friedsam Gerhard

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 805 2410
E-Mail: gerhard.friedsam@fh-rosenheim.de

Kohaus Maren

Technische Universität München
Arcisstrasse 21
80333 München, Deutschland

Tel.: +49 89 28925497
E-Mail: maren.kohaus@tum.de

Kolb Hanspeter

Berner Fachhochschule AHB
Solothurnstrasse 102
2504 Biel, Schweiz

Tel.: +41 32 344 02 11
E-Mail: hanspeter.kolb@bfh.ch

Prof. Dr. h. c. Köster Heinrich

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 805120
E-Mail: Heinrich.Koester@fh-rosenheim.de

Assoz. Prof. Dr. Kraler Anton

Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13
6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 512 50763206
E-Mail: anton.kraler@uibk.ac.at

Prof. Lass Jörn P.

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 8052529
E-Mail: joern.lass@fh-rosenheim.de

Niemann Anne

Technische Universität München
Arcisstrasse 21
80333 München, Deutschland

Tel.: +49 89 28925496
E-Mail: anne.niemann@tum.de

Prof. Dr. Schanda Ulrich

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 8052407
E-Mail: ulrich.schanda@th-rosenheim.de

Werning Hanno

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 8052335
E-Mail: hanno.werning@fh-rosenheim.de

Prof. Winter Wolfgang

Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/259.2
1040 Wien, Österreich

Tel.: +43 699 10335049
E-Mail: winter@iti.tuwien.ac.at

Prof. Dr. Zeitler Berndt

Hochschule für Technik Stuttgart
Schellingstrasse 24
70174 Stuttgart, Deutschland

Tel.: +49 711 8926 2507
E-Mail: berndt.zeitler@hft-stuttgart.de

Referenten

Prof. Astner Peter Matthias

Möller Rechtsanwälte
Mühlbachbogen 1a
83022 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 18010
E-Mail: Astner@moeller-rae.de

DeCrane Sean

Underwriters Laboratories
17209 Bradgate Avenue
OH 44111 Cleveland, Ohio, USA

Tel.: +1 216 501 1330
E-Mail: Sean.DeCrane@ul.com

Döpfer Marinus

PHIplan
Nelly-Luise-Brandenburg-Strasse 10
83355 Grabenstätt / Winkl, Deutschland

Tel.: +49 8661 9829230
E-Mail: doepper@phiplan.de

Prof. Dr. Geyer Christoph

Berner Fachhochschule AHB
Solithurnstrasse 102
2504 Biel, Schweiz

Tel.: +41 32 344 03 48
E-Mail: christoph.geyer@bfh.ch

Prof. Dr. Hamm Patricia

Hochschule Biberach - Institut für Holzbau
Karlstrasse 8
88400 Biberach, Deutschland

Tel.: +49 7351 582524
E-Mail: hamm@hochschule-bc.de

Prof. Dr. Kampmeier Björn

Hochschule Magdeburg-Stendal
Breitscheidstrasse 2
39114 Magdeburg, Deutschland

Tel.: +49 391 8864967
E-Mail: bjoern.kampmeier@hs-magdeburg.de

Prof. Dr. Krause Harald

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 805415
E-Mail: harald.krause@fh-rosenheim.de

Blödt Adrian

Blödt Holzkomplettbau GmbH
Ahornweg 5
92702 Kohlberg, Deutschland

Tel.: +49 9608 583
E-Mail: info@holzbau-bloedt.de

Dr. Dolezal Franz

IBO – Österreichisches Institut für Bauen und
Ökologie GmbH
Alserbachstrasse 5/8
1090 Wien, Österreich

Tel.: +43 1 3192005 14
E-Mail: franz.dolezal@ibo.at

Furrer Bernhard

LIGNUM – Holzwirtschaft Schweiz
Mühlebachstrasse 8
8008 Zürich, Schweiz

Tel.: +41 44 267 47 77
E-Mail: bernhard.furrer@lignum.ch

Prof. Grimminger Ulrich

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 8052384
E-Mail: ulrich.grimminger@fh-rosenheim.de

Prof. Huber Heinrich

Hochschule Luzern Technik & Architektur
Technikumstrasse 21
6048 Horw, Schweiz

Tel.: +41 41 349 32 71
E-Mail: heinrich.huber@hslu.ch

Assoz. Prof. Dr. Kraler Anton

Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13
6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 512 50763206
E-Mail: anton.kraler@uibk.ac.at

Krause-Czeranka Thomas

Ingenieurbüro Krause-Czeranka
Gürtelstrasse 9
59423 Unna, Deutschland

Tel.: +49 2303 947 3671
E-Mail: krause@kc-brandschutz.de

Prof. Dr. Krödel Michael

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 805415
E-Mail: michael.kroedel@fh-rosenheim.de

Prof. Dr. Künzel Hartwig

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstrasse 10
83626 Valley, Deutschland

Tel.: +49 8024 643 245
E-Mail: hartwig.kuenzel@ibp.fraunhofer.de

Dr. Maderebner Roland

Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13
6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 512 50763209
E-Mail: roland.maderebner@uibk.ac.at

Prof. Dr. Mayer Ingo

Berner Fachhochschule AHB
Solothurnstrasse 102
2504 Biel, Schweiz

Tel.: +41 32 344 03 43
E-Mail: ingo.mayer@bfh.ch

Dr. Meier Andreas

Müller-BBM GmbH
Robert-Koch-Strasse 11
82152 Planegg, Deutschland

Tel.: +49 89 85602 325
E-Mail: Andreas.Meier@mbbm.com

Dr. Merk Michael

Technische Universität München
Arcisstrasse 21
80333 München, Deutschland

Tel.: +49 89 289224046
E-Mail: m.merk@tum.de

Müller Daniel

Pirmin Jung Ingenieure AG
Grossweid 4
6026 Rain, Schweiz

Tel.: +41 41 459 70 94
E-Mail: dmueller@pirminjung.ch

Dr. Ochs Fabian

Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13
6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 512 507 63603
E-Mail: fabian.ochs@uibk.ac.at

Dr. Ohlmeyer Martin

Thünen-Institut für Holzforschung
Leuschnerstrasse 91
21031 Hamburg, Deutschland

Tel.: +49 4073962635
E-Mail: martin.ohlmeyer@thuenen.de

Pavic Anton

PHIplan
Nelly-Luise-Brandenburg-Strasse 10
83355 Grabenstätt / Winkl, Deutschland

Tel.: +49 8661 9829230
E-Mail: pavic@phiplan.de

Prof. Dr. Rabold Andreas

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 8052533
E-Mail: andreas.rabold@fh-rosenheim.de

Rohlfs Heinrich

James Hardie Europe GmbH
Kalkwerk Winterberg
37539 Bad Grund, Deutschland

Tel.: +49 5327 8694101
E-Mail: heinrich.rohlfs@jameshardie.com

Roschmann Klaus

Schmid Janutin AG
Steinackerstrasse 10
8902 Urdorf, Schweiz

Tel.: +41 44 735 60 00
E-Mail: klaus.roschmann@schmidjanutin.ch

Saß Bernd

ift Rosenheim GmbH
Theodor-Gietl-Strasse 7-9
83026 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 2612252
E-Mail: sass@ift-rosenheim.de

Dr. Scheck Jochen

Hochschule für Technik Stuttgart
Schellingstrasse 24
70174 Stuttgart, Deutschland

Tel.: +49 711 8926 2866
E-Mail: jochen.scheck@hft-stuttgart.de

Scherer Thomas

Technische Universität Kaiserslautern
Gottlieb-Daimler-Strasse
67663 Kaiserslautern, Deutschland

Tel.: +49631 205 5714
E-Mail: thomas.scherer@bauing.uni-kl.de

Dr. Schieweck Alexandra

Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut – WKI
Bienroder Weg 54E
38108 Braunschweig, Deutschland

Tel.: +49 531 2155 924
E-Mail: alexandra.schieweck@wki.fraunhofer.de

Schihin Yves

Burkhalter Sumi Architekten GmbH
Münstergasse 18
8001 Zürich, Schweiz

Tel.: +41 44 258 90 10
E-Mail: yschihin@burkhalter-sumi.ch

Dr. Schoenwald Stefan

Empa
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf, Schweiz

Tel.: +41 58 765 65 79
E-Mail: stefan.schoenwald@empa.ch

Schöpfer Fabian

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 8052589
E-Mail: fabian.schoepfer@th-rosenheim.de

Prof. Spindler Uli

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

Tel.: +49 8031 8052330
E-Mail: uli.spindler@fh-rosenheim.de

Prof. Dr. Spitzner Martin H.

Hochschule Biberach
Karlstrasse 6
88400 Biberach, Deutschland

Tel.: +49 7351 582 361
E-Mail: spitzner@hochschule-bc.de

Übelhack Anders

ZÜBLIN Timber GmbH
Industriestrasse 2
86551 Aichach, Deutschland

Tel.: +49 9201 799 636
E-Mail: anders.uebelhack@zueblin.de

Wehle Barbara

Berner Fachhochschule AHB
Solithurnstrasse 102
2504 Biel, Schweiz

Tel.: +41 32 344 02 54
E-Mail: barbara.wehle@bfh.ch

Weinisch Karl-Heinz

IQUH GmbH
Deutschordenstrasse 4/3
97990 Weikersheim, Deutschland

Tel.: +49 7934 91210
E-Mail: weinisch@iquh.de

Wiederkehr Reinhard

Makiol Wiederkehr AG
Industriestrasse 9
5712 Beinwil am See, Schweiz

Tel.: +41 62 765 15 35
E-Mail: wiederkehr@holzbauing.ch

Zurfluh Benno

Zurfluh Lottenbach GmbH
Hertensteinstrasse 44
6004 Luzern, Schweiz

Tel.: +41 41 367 00 60
E-Mail: benno.zurfluh@zurfluhlottenbach.ch

AUFTAKT

**Bauen im D-A-CH Raum –
was tut sich so mit BIM?**

BIM Rechtliche Möglichkeiten und Grenzen

Prof. Peter Matthias Astner, LL.M.
Hochschule Rosenheim/MÖLLER Rechtsanwälte PartGmbH
Rosenheim, Deutschland



BIM Rechtliche Möglichkeiten und Grenzen

1. Einleitung

Die Digitalisierung macht auch vor dem Planen, Bauen und Betreiben eines (Holz-) Bauvorhabens nicht halt. Deutschland hinkt beim Einsatz von BIM-Planungstechniken im Vergleich zu seinen Nachbarländern hinterher. In anderen Ländern, vor allem in Großbritannien, ist BIM schon weit verbreitet. Dementsprechend sind in Deutschland die rechtlichen Rahmenbedingungen dieser neuen Methode noch nicht in den Fokus der rechtswissenschaftlichen Literatur gerückt, Rechtsprechung zum Thema BIM gibt es praktisch nicht. Es darf allerdings davon ausgegangen werden, dass sich dies bei einer Verbreitung entsprechender Planungstechniken schnell ändern wird. Der vorliegende Beitrag beschreibt die geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen und zeigt erforderliche Anpassungen sowie Lösungsansätze auf.

2. BIM – die technische, organisatorische und rechtliche Bedeutung

Im Baubereich führt die sich rasant entwickelnde Spezialisierung im Zusammenwirken mit einer zunehmenden Aufgliederung von Verantwortlichkeiten im Planungs- und Errichtungsprozess häufig zu gravierenden Fehlsteuerungen, wie sich gerade bei der Abwicklung von Großprojekten in Deutschland gezeigt hat. Planungsmängel und Verzögerungen, aber auch gestörte Bauabläufe sind vielfach die Konsequenz einer unzureichenden Informationsbearbeitung und nicht standardisierter Planungsbauprozesse. Die digitale Informationsverarbeitung im Bauwesen soll die direkte Weiterbearbeitung von Planungsinformationen über alle Planungsphasen bis hin zu Produktions- und Betreiberprozessen ermöglichen¹. Mit ihrer Hilfe sollen Schnittstellenprobleme vermieden und Bauabläufe ökonomisiert werden. Planerische Fehlleistungen sollen bei einer digital organisierten Bauplanung frühzeitig sichtbar werden, wodurch sich die Gefahr verringern soll, dass derartige Planungsfehler erst während der Bauausführung mit oft desaströsen Folgen für den Bauablauf und die dahinter stehenden ökonomischen Erwartungen der Baubeteiligten erkannt und behoben werden können².

Die Reformkommission Bau von Großprojekten hat deshalb in ihrem Endbericht Methoden zur Digitalisierung aufgegriffen, Verbesserungsprozesse bei der Projektabwicklung anzustoßen. Dort heißt es im Hinblick auf die Digitalisierung und insbesondere die Planungsmethode BIM:

«Die Digitalisierung verändert unsere Welt. Internet und moderne Technologien prägen zunehmend die produzierende Industrie. In der Baubranche hat sich die Digitalisierung jedoch noch nicht flächendeckend durchgesetzt. Digitale Technologien können aber zu den von der Reformkommission identifizierten Lösungsansätzen für die Planung, Realisierung und dem Betrieb von Bauwerken entscheidend beitragen. International hat sich die Abkürzung BIM für Building Information Modeling als Oberbegriff für eine neue Arbeitsweise auf der Grundlage digitaler Technologie durchgesetzt. BIM wird in Zukunft wesentlich dazu beitragen, auch in Deutschland Bauprojekte mit geringeren Risiken und mit einer höheren Kosten- und Terminalsicherheit durchzuführen. BIM beschreibt die Entwicklung von dreidimensionalen Bauwerksmodellen mithilfe der gemeinsamen Erstellung und Verwaltung von digitalen Informationen in Bauprojekten. Die Modelle werden sukzessive mit geometrischen und anderen relevanten Informationen, wie zum Beispiel Kosten, angereichert und dienen als Datengrundlage während der Planung, Realisierung, des Betriebs und der Erhaltung der Bauwerke. Mit BIM wird zuerst virtuell und erst dann real gebaut. Im Rahmen der Modelle können auch die Bauprozesse abgebildet werden. Die Informationstechnologie ermöglicht dabei die Nutzung großer Informationsmengen, die es erlauben,

¹ Die Welt kompakt, 25.09.2015

² Eschenbruch/Leupertz, BIM und Recht, Kapitel 1 Rn.2

Bauteile bis ins kleinste Detail zu beschreiben und dabei auch die Kosten sehr genau wiederzugeben. Die iterative und koordinierte Planung wird durch klar geregelte Prozesse als Projekt- und Informationsmanagement unterstützt. BIM ist stark auf eine partnerschaftliche Zusammenarbeit und gemeinsames Arbeiten ausgerichtet»³.

Auf dieser Grundlage hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur in Zusammenarbeit mit planen-bauen 4.0 – Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebens mbH – den Stufenplan digitales Planen und Bauen, Einführung moderner, IT gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken herausgegeben⁴.

In diesem Stufenplan wird ein Modell vorgestellt, das die Anwendung von BIM in der Praxis beschreiben soll. Ziel des Stufenplans soll die schrittweise Einführung von BIM im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, das in der Bundesregierung für die Digitalisierung zuständig ist und das als größter Bauinvestor des Bundes durch die Umsetzung des Stufenplans mit gutem Beispiel vorangehen will⁵.

Im Stufenplan ist vorgegeben:

- Ab Mitte 2017 wird im Rahmen einer erweiterten Pilotphase eine systematisch ansteigende Zahl von Verkehrsinfrastrukturprojekten mit den BIM-Anforderungen des Leistungsniveaus 1 durchgeführt.
- Nachdem die grundlegenden Voraussetzungen vorliegen, soll ab Ende 2020 das Leistungsniveau 1 regelmäßig im gesamten Verkehrsinfrastrukturbau bei neu zu planenden Projekten Anwendung finden.

Die bisherigen Bemühungen um die Implementierung von BIM in die Vorbereitung und Abwicklung von Bauvorhaben beschäftigen sich im Wesentlichen mit der technischen und organisatorischen Umsetzung digitaler Planungsprozesse. Funktionieren wird BIM allerdings nur, wenn auch die rechtlichen Rahmenbedingungen stimmen. Solche rechtlichen, insbesondere vertragsrechtlichen Anforderungen an die Umsetzung des digitalen Planens und Bauens in Deutschland sind bislang nur in einzelnen Aufsätzen durchleuchtet und analysiert worden⁶.

Im Folgenden sollen die wesentlichen rechtlichen Kernthemen dargestellt werden.

3. Was ist BIM?

3.1. Definition Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) kann zu Deutsch mit Bauwerks-Informations-Modell übersetzt werden. Der Begriff bezeichnet eine kooperative Planungsmethode, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden⁷. BIM ist also kein bloßes Softwareprodukt, sondern eine Methode zur Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Bauvorhaben auf der Basis einer Datenbank, aus der ein virtuelles Gebäude-Modell abgeleitet werden kann.

Technische Grundlage ist eine Datenplattform und unterschiedlichste (CAD-) Softwaretools für das Planen mit digitalen Gebäudeinformationen. BIM unterscheidet sich von der herkömmlichen 3-D Planungstechnik durch ein ausführungsorientiertes Planen mit digitalisierten (virtuellen) Bauteilen.

³ Reformkommission Bau von Großprojekten, Komplexität beherrschen – kostengerecht, termintreu und effizient, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin 2015, S. 87.

⁴ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Stufenplan digitales Planen und Bauen, Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken, Berlin 2015.

⁵ Eschenbruch/Leupertz, BIM und Recht, Kapitel 1 Rn.5

⁶ Eschenbruch/Malkwitz/Grüner/Poloczek/Karl, Maßnahmenkatalog zur Nutzung von BIM in der öffentlichen Bauverwaltung unter Berücksichtigung der rechtlichen und ordnungspolitischen Rahmenbedingungen, 2013.

⁷ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Stufenplan für die Einführung von BIM in Deutschland.

Im Ausgangspunkt beruht BIM, wie schon einige gebräuchliche CAD-Systeme, auf der Verwendung eines dreidimensionalen Gebäudemodells. Zielstellung von BIM ist es, dass alle Planungsbeteiligten an einem solchen dreidimensionalen, planerischen Abbild des späteren Projektes (an einem virtuellen 3D-Modell) arbeiten. Dieses dreidimensionale Gebäudemodell wird darüber hinaus mit weiteren Gebäudeinformationen, etwa zu Terminen, Kosten oder Qualitäten, verknüpft. In der Praxis wird daher von n-D-Modellen gesprochen. Diese datenbankgestützte Verknüpfung des Gebäudemodells mit Terminen, Kosten und Qualitäten soll diverse Planungs- und Ermittlungsschritte automatisieren. Gebäudeplanungen können nicht nur in einer Frühphase der Planung eindrucksvoll visualisiert werden, sondern Änderungen am Gebäudemodell sollen auch sogleich in automatisierter Form mit ihren Kosten- oder Terminfolgen ausgewertet werden können. Je nach Standardisierungsgrad der einzelnen Planungsaufgaben können Leistungsverzeichnisse automatisch erzeugt werden. Schließlich ermöglicht BIM auch – je nach den eingesetzten Software-Tools – die Simulation der Baustelleneinrichtung und Baustellenabläufe⁸.

3.2. BIM ≠ BIM

Die Arbeitsmethodik BIM ist ein Sammelbegriff für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungsformen des digitalen Planens mit parametrischen 3-D Bauteilen und Attributen mit semantischen Informationen.

Die im Einzelfall definierten Ziele, BIM-Ziele und BIM-Anwendungsfälle bestimmen die jeweilige Ausprägung des BIM-Methodeneinsatzes.

In seiner idealtypischen Ausgestaltung sieht BIM die gemeinsame Arbeit aller Planungsbeteiligten an einem virtuellen Gebäudedatenmodell vor (sog. open BIM). Dies soll es ermöglichen, dass etwa Fachplaner, wie der Tragwerksplaner, direkt die Auswirkungen von Änderungen der Beiträge anderer Planungsbeteiligter auf ihr Gewerk erkennen können, ohne hier noch einen händischen Abgleich vornehmen zu müssen.

Zum momentanen Zeitpunkt arbeiten die einzelnen Objekt- und Fachplaner noch an separaten, vornehmlich dreidimensionalen Fachmodellen, welche im Wege des Datenaustauschs bei Erreichen bestimmter Meilensteine zu einem gesamthaften dreidimensionalen Gebäudedatenmodell (sog. Metamodell) zusammengeführt werden (sog. closed BIM)⁹.

Die am Markt etablierten Software-Hersteller bieten hierfür mittlerweile spezielle IT-Lösungen an, mit denen sich dieser Datenaustausch bzw. die Zusammenarbeit der Beteiligten organisieren lässt. Teilweise handelt es sich hierbei um eigenständige Programme, teilweise wird die entsprechende Funktionalität auch über Erweiterungen der bestehenden CAD-Software bereitgestellt. Regelmäßig kommt hierbei das universelle Datenaustauschformat IFC zum Einsatz¹⁰. Die Verknüpfung des auf diese Weise erstellten Gebäudemodells mit weiteren Informationen soll später bei einer idealtypischen Anwendung von BIM über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie hinweg erfolgen. Alle Projektbeteiligten sollen auf diese Weise Zugriff auf Informationen zu Qualitäten, Kosten und Terminen erhalten. Diese Erkenntnisse können nicht nur zur Planung und Ausführung des Bauvorhabens, sondern auch später in der Inbetriebnahmephase bzw. auch für das Facility Management genutzt werden¹¹.

⁸ Naumann in Schach, Zukunftspotenzial Bauwirtschaft, 2011, BW 2011, 173 f.

⁹ Naumann in Schach, Zukunftspotenzial Bauwirtschaft, 2011, BW 2011, 173 f.

¹⁰ Tautschnigg/Hogge/Gasteiger, bau aktuell 2013, 42.

¹¹ Eschenbruch/Grüner, BIM – Building Information Modeling, NZBau 2014, 402.

4. BIM und die Abwicklung der Planungs- und Bauverträge

4.1. BIM Anwendungsfälle

Zunächst ist der Umfang der realisierten BIM-Prozesse (BIM-Anwendungsfälle) für jedes Projekt konkret abzustimmen da dieser Auswirkungen auf die Zusammenarbeit der Beteiligten wie auch die Vertragsgestaltung hat. Im Stufenplan digitales Planen und Bauen heißt es dementsprechend:

«Um die Methode BIM wertschöpfend anwenden zu können, sind mehrere Grundvoraussetzungen zu erfüllen: die Arbeit mit BIM setzt klare vertragliche Regelungen, eine enge Zusammenarbeit und teamorientierte Planung voraus. Denn die aus dem Grundmodell abgeleiteten Teilmodelle aller Beteiligten – zum Beispiel der Fachplaner, Bausachverständigen, Tragwerksplaner oder technischen Gebäudeausrüster – müssen in enger Kooperation entwickelt und regelmäßig auf ihre Konsistenz hin überprüft werden. Der Schritt hin zur kooperativen, partnerschaftlichen Zusammenarbeit aller Planungs- und Bauprozessbeteiligten kann als Kulturwandel verstanden werden und verlangt neue Rollen und Funktionen, um die reibungslose Kooperation zu organisieren. Die Rollen und Verantwortlichkeiten müssen definiert sein, bevor eine Planung mit BIM beginnt»¹².

4.2. Erfordert BIM neue Vertragsarten oder braucht BIM den Gesetzgeber?

Die BIM-Methode ist gesetzlich nicht geregelt. Auch in den bisher nach deutschem Recht bekannten Vertragstypen wird BIM nicht berücksichtigt und ist noch nicht in der Praxis der deutschen Vertragsgestaltung angekommen¹³. Nach ständiger Rechtsprechung werden Architekten- und Ingenieurverträge, welche Grund- oder besondere Leistungen der Leistungsbilder der HOAI beinhalten, als Werkverträge angesehen. Die BIM-Planungsmethode weist allerdings insoweit Besonderheiten auf, als das die an der Planung Beteiligten stärker prozesshaft nach genauen methodischen Leistungsschritten und Vorgaben planen müssen. Dadurch werden die Grenzen zwischen Dienst- und Werkvertragsmodell undeutlicher. Auf der anderen Seite zeigt aber gerade das Arbeiten am gemeinsamen Datenmodell, dass alle Beteiligten an einem gemeinsamen Werkerfolg arbeiten, nämlich an einem digitalen Datenmodell als 1:1-Abbild des späteren Bauwerks. Gleichzeitig wird deutlich, dass der Werkerfolg des Architekten und Ingenieurs nicht mit der Herstellung eines mangelfreien Bauwerks identisch ist, sondern das Datenmodell einen zusätzlichen selbständigen Werkerfolg darstellt. Im Ergebnis wird sich daher an der Einordnung auch der BIM-Planungstätigkeit als werkvertragliche Tätigkeit voraussichtlich nichts ändern¹⁴.

BIM-Kapazitäten gab es bisher nur bei planenden GU's. BIM war eher ein Werkzeug zur (GU-)internen Arbeitserleichterung. Im Mehrpersonenverhältnis spielte BIM kaum eine Rolle. Es gab vor allem kein Vorgehenskonzept für die Beteiligung von Unternehmern der Einzelgewerke im BIM-Prozess. Die Umsetzung von BIM-Anforderungen für Betriebe fand allenfalls im Industriebau und sehr vereinzelt bei institutionellen Bestandsimmobilienhaltern statt¹⁵. Infolgedessen werden neue Vertragsmodelle zur Umsetzung der engeren Kooperation der Projektbeteiligten im Rahmen der BIM-Prozesse erforderlich.

Im Bauwesen werden bisher die herkömmlichen Rechtsbeziehungen der am Bau beteiligten Planer und Unternehmer durch zweiseitige Austauschverträge geregelt. In der Literatur wird BIM als Grundlage gesehen, die bisherige Praxis zweiseitiger Austauschverträge abzulösen und dadurch zu einer mehr partnerschaftlichen Vertragsstruktur zu gelangen¹⁶.

¹² Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Stufenplan digitales Planen und Bauen, 2015, S. 4.

¹³ Bartels, Schnittstellenoptimierung im Bauprozess durch Einsatz von Building Information Modeling, Masterarbeit der Bergischen Universität Wuppertal, 2015, S. 82.

¹⁴ Eschenbruch/Leupertz, BIM und Recht, Kapitel 2 Rn. 35.

¹⁵ Rechtsanwalt Prof. Dr. Klaus Eschenbruch, Rechtsanwälte Kapellmann und Partner, Düsseldorf, Seminar Deutsche Anwaltsakademie, Baurechtsberatung 4.0.

¹⁶ Boldt, Editorial NZBau, 2015, 393.

4.2.1 Lösungsansatz Mehrparteienvertrag

Zum Teil wird eine Einheitsvertragslösung mit allen wesentlichen Vertragsparteien befürwortet, die sich zur Erstellung eines virtuellen Gebäudedatenmodells verpflichten, um dieses dann in die bauliche Ausführung umzusetzen (Mehrparteienvertrag).

Ein Mehrparteienvertrag ist dadurch gekennzeichnet, dass sich in der Frühphase eines Projekts die wesentlichen Vertragspartner auf einheitliche Regelungen für einen BIM-Prozess verständigen. Es wird in diesem Fall nur ein Vertrag für ein Projekt mit allen wesentlichen Projektbeteiligten abgeschlossen, von denen jeder diesen Vertrag auch unterzeichnen muss. Dabei wird vielfach ein den bekannten Allianz-Verträgen angenähertes Vertragskonstrukt gewählt, in der Form relationaler Verträge¹⁷, zum Beispiel des englischen Modells «Integrated Project Delivery» (IPD)¹⁸, des amerikanischen Integrated Form of Agreement (IFOA)¹⁹ oder aber der von einzelnen Autoren entwickelten «Collaborative Form of Contract»²⁰. Diese Modelle sind zum Teil verbunden mit einer gemeinsamen Verantwortung und auch Haftungsverzichten der Beteiligten untereinander. Zum Teil finden sich Vertragsmodelle mit einer einheitlichen Versicherungslösung für alle Beteiligten versehen – etwa beim so genannten Early BIM Partnering (EBP). Das Vertragskonstrukt des EBP ist in England entwickelt worden. Bei diesem Modell bereitet der Auftraggeber mit seinem Berater ein «Schematic Design Model» vor. Diese Planungsanforderungen werden von einem Planungsteam, bestehend aus einem Administrator und qualifizierten Planungsbeteiligten, zu einem Gebäudemodell fortentwickelt. Anschließend findet die Vergabe im Partnering-Verfahren statt. Im Early BIM Partnering überträgt der (öffentliche) Auftraggeber in der Phase 1 dem ausführenden Unternehmer die Fortentwicklung des Gebäudemodells bis zur Entwicklung eines vorabgestimmten garantierten Maximumpreises. In der Phase 2 erfolgt die Vollbeauftragung mit Bauleistungen²¹.

Mehrparteienverträge haben sich jedoch nicht für alle Einsatzformen als praxistauglich erwiesen. In Fällen, in denen nur wenige Vertragsparteien an einem Projekt beteiligt sind und sich die vertraglichen Vereinbarungen im Wesentlichen auf Rahmenregelungen beschränken, mag ein Mehrparteienvertrag der richtige Lösungsansatz sein. In den allermeisten Fällen aber, insbesondere auch bei der Realisierung eines Projekts mit Einzelplanern (Objekt- und Fachplaner) und auch Einzelunternehmern, kommen Mehrparteienverträge eigentlich nicht in Betracht. Das größte Hindernis für den Einsatz von Mehrparteienverträgen ist es nämlich, dass in frühen Projektphasen eine ausreichende Informationsbasis noch nicht zur Verfügung steht. Auch die Einzelheiten der Bauausführung werden noch gar nicht feststehen und es ist noch nicht abschließend entschieden, welche Unternehmen überhaupt als zukünftige Auftragnehmer in Betracht kommen.

4.2.2 Lösungsansatz vernetzte Einzelverträge

Ganz überwiegend wird daher, auch in der internationalen Praxis, mit BIM-spezifischen Vertragsergänzungen für Standardverträge gearbeitet. Bekannt geworden sind etwa das so genannte Consensus DOCS 301 BIM Addendum²², das PPC 200 BIM Supplement, das AIA BIM Modeling and Digital Data Exhibit²³ oder das nec3-Use BIM with nec3 Contracts²⁴. Die entsprechenden Vertragsergänzungen und die im internationalen Bereich gebräuchlichen Standardvertragsformulare haben eine unterschiedliche Regelungsdichte. Sie enthalten die wesentlichen vertragsrechtlichen Rahmenbedingungen für die Abwicklung eines Projektes in BIM, etwa zu Informationspflichten, zur Risikoallokation und Haftung sowie zu Urheberrechten. Wie schon der Einsatz von CAD-Techniken bei großen Projekten gezeigt hat und erst recht bei der Verwendung von Datenplattformen deutlich geworden ist, bedarf es Regeln für die BIM-gestützte Planungstätigkeit aller Projektbeteiligten, um einheitliche Planungsstandards durchzusetzen, Informationsverluste zu vermeiden und

¹⁷ Eschenbruch, BauR 2012, 1323.

¹⁸ Vgl. etwa *Hinchey*, Rethinking Conflict in Construction Project Delivery and Dispute Resolution, The International Construction Law Review 2012, 29 (35).

¹⁹ Heidemann, Project Management 2012, 37

²⁰ Eschenbruch/Grüner: BIM – Building Information Modeling, NZBau 2014, 402 m.w.N..

²¹ Eschenbruch/Grüner: BIM – Building Information Modeling, a.a.O. m.w.N..

²² dazu *Lowe/Muncey*, Construction Lawyer Volume 2029, 2009, S. 1.

²³ AIA Documents E 203TM - 2013.

²⁴ ähnlich die JcT-Supplements, Fair Payment, Transparency and BIM.

eine FM-gerechte Planungsablieferung zu sichern²⁵. Die für alle Projektbeteiligten vorgegebenen Standards und Prozesse werden regelmäßig in einem einheitlichen Dokument verankert, welches allen Planungs- und Bauverträgen (einschließlich den Nachunternehmerverträgen) zu Grunde gelegt wird. Derartige zentrale Dokumente werden in der internationalen Vertragspraxis zum Teil als BIM-Execution-Plan oder zumeist als BIM-Protocol bezeichnet. Das jeweilige BIM-Addendum (also die jeweilige Vertragsergänzung) in den Standardverträgen schreibt dabei vor, dass ein BIM-Execution-Plan oder ein BIM-Protocol für alle Planungs- und Baubeteiligten zu Grunde zu legen sind. Die Auftragnehmer werden verpflichtet, die Einhaltung dieser zentralen Vertragsdokumente auch für ihre Nachunternehmer vorzuschreiben. Entsprechende zentrale Vertragsdokumente für alle Projektbeteiligten könnten im deutschen BIM-Kontext mit «BIM-Abwicklungsplan» oder «BIM-Leitfaden» bezeichnet werden²⁶.

Die durch BIM erzwungene intensive Kooperation aller Projektbeteiligten führt zu einem System des Netzvertrags. Alle Projektbeteiligten werden über einen BIM-Execution-Plan oder ein BIM-Protocol miteinander verbunden. Die notwendige Kooperation hat deshalb Auswirkung auf die gesamte Vertragsstruktur zwischen den Beteiligten. Die ergänzenden Vertragsbestimmungen werden in zweckmäßiger Form auf Hauptverträge, Vertragsergänzungen und das BIM-Protocol verteilt. Am weitesten entwickelt ist die Protocol-Verwendung bei den Vertragsmustern des American Institute of Architects (AIA) oder des englischen Construction Industry Council (CIC). Die jüngsten Muster für den Einsatz von BIM-Protocols beinhalten eine beachtliche Regelungstiefe, aufgegliedert in mehreren Dokumenten. Während in den Anfängen die Protokolle mehr als Projektmanagement-Tool (ähnlich einem Bausprechungsprotokoll) verstanden wurden, haben sie inzwischen einen beachtlichen rechtlichen Regelungsgehalt. Insbesondere führt das Fortschreiben der Protocol-Dokumente gem. der Fortentwicklung des Modells auch zu einem Vertragsänderungsbedarf. Entsprechende Fortschreibungen können eine Anpassung aller Verträge, einschließlich der Subunternehmerverträge, mit sich bringen²⁷.

4.2.3 Notwendiger Vertragsinhalt vernetzter Einzelverträge

Nach den vorstehenden Ausführungen unter 4.2.1. und 4.2.2. dieses Beitrags bieten zweiseitige Austauschverträge zwischen dem jeweiligen Auftraggeber und den einzelnen Projektbeteiligten eine geeignete Grundlage für die Arbeit mit der BIM-Methode. Die notwendige engere und partnerschaftliche Zusammenarbeit erfordert jedoch eine stärkere Verzahnung der Projektbeteiligten. Eine feste vertragliche Vernetzung aller im Planungsprozess Beteiligten ist unumgänglich. Dies ist einerseits organisatorisch mit einer einheitlichen Datenplattform für alle Beteiligten sicherzustellen, andererseits vertragsrechtlich durch die verpflichtende Vorgabe eines einheitlichen Planungsprozesses (Planung-Workflows)²⁸. Alle Projektbeteiligten müssen sich verpflichten, Informationen über eine zentrale Datenplattform auszutauschen, diese gegebenenfalls dort abzuholen und weiter zu bearbeiten. Sinnvoll ist die Aufstellung einheitlicher Richtlinien zur Informationsverarbeitung für alle Beteiligten.

Auch der Stufenplan digitales Planen und Bauen hält die Notwendigkeit einer entsprechenden zentralen Datenplattform fest:

«Es ist eine gemeinsame Datenumgebung zur organisierten Aufbewahrung und zum verlustfreien Austausch der im Planungs- und Bauprozess erzeugten Daten zu schaffen, auf die alle Beteiligten zugreifen können. Sie ist Grundlage der im BAP aufgeführten Prozess»²⁹.

Dann erfordert die Planungsmethode BIM bei Einzelverträgen die bindende Verpflichtung aller Beteiligten auf einheitliche Planungsstandards. Erforderlich sind dabei sowohl technische wie auch rechtliche Vorgaben.

²⁵ Vgl. Eschenbruch, FS Kalusche (o. Fn. 1), S. 308 (310).

²⁶ Eschenbruch/Grüner: BIM – Building Information Modeling, NZBau 2014, 402 m.w.N..

²⁷ Eschenbruch/Grüner: BIM – Building Information Modeling, a.a.O..

²⁸ Eschenbruch/Leupertz, BIM und Recht, Kapitel 2, Rn. 12.

²⁹ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Stufenplan digitales Planen und Bauen, 2015 S. 10.

Zunächst hat der Auftraggeber in sog. Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (nach dem Stufenplan digitales Planen und Bauen «AIA» genannt)³⁰ zu definieren, welche Informationen zu welchem Zeitpunkt zur Verfügung stehen sollen. Der Planungsprozess (mit Festlegung aller notwendigen Rollen, Funktionen, Abläufe, Schnittstellen, Interaktionen sowie der genutzten Technologien) wird im so genannten BIM-Abwicklungsplan («BAP», zum Teil auch Projektabwicklungsplan, «PAP» genannt) näher geregelt. Die im Stufenplan digitales Planen und Bauen vorgesehene Trennung der Dokumente für die Auftraggeber-Informationen-Anforderungen und den BIM-Abwicklungsplan wird in der Praxis nicht immer vollzogen. Vielfach finden sich im BIM-Abwicklungsplan auch die notwendigen Detaillierungen zu den Auftraggeber-Informationen-Anforderungen³¹.

Der Stufenplan digitales Planen und Bauen fordert, dass zur Vermeidung von Marktbeeinflussungen keine bestimmten Softwareprodukte vorgegeben werden sollen, vielmehr lediglich die Eignung der beim Objekt- oder Fachplaner eingesetzten Software für die Nutzung des internationalen Austauschformats IFC gesichert sein muss.

Die so definierten technischen Anforderungen an die Informationsfülle und Verarbeitung sowie den PIM-Planungsprozess selbst können als einheitliche Vertragsanlage für alle Planungsprozess Beteiligten vorgegeben werden.

Auch die rechtlichen Anforderungen an den BIM-Planungsprozess können in einer einheitlichen Vertragsanlage zusammengefasst werden und damit gegenüber allen Vertragsbeteiligten mit Verweisung im jeweiligen Planungs- oder Bauvertrag zur (einheitlichen) Vertragsgrundlage gemacht werden. Bewährt hat sich dabei die Zusammenfassung der rechtlichen Regelungen in so genannten «BIM-BVBs», welche die juristischen Anforderungen an die Abwicklung der Prozesse der neuen Planungsmethode an die Projektbeteiligten beinhalten.

Da die vorgenannten Anforderungen für alle Projektbeteiligten gleich sein müssen, entstehen auch bei dem Einsatz von Einzel- und Austauschverträgen einheitliche Vertragsdokumente für alle Vertragsparteien des BIM-Einsatzes die in gewisser Form ein Vertragsnetz begründen³².

4.3. Der Vertrag mit dem BIM-Manager

Die Anwendung der obigen Planungsmethode erfordert die Mitwirkung einer Reihe von Beteiligten für übergeordnete Management und operative Planungsaufgaben. Während den Objekt- und Fachplaner vornehmlich Aufgaben der BIM-Koordination zukommen, die nach deutschem Verständnis – international wird dies zum Teil anders gesehen – die praktische Umsetzung der BIM-Planungsmethode im Planungsprozess zugewiesen ist einschließlich der Durchführung von Kollisions- und Qualitätschecks, verbleibt eine zusätzliche Steuerungsaufgabe. Das ist die Aufgabe des so genannten BIM-Managers³³.

Die Aufgabenstellung des BIM-Managers umfasst die strategische Beratung des Auftraggebers bei der Aufsetzung eines BIM-Planungsprozesses, Beratungsleistungen zu den Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) sowie der Entwicklung des BIM-Abwicklungsplans einschließlich der Anwendungsfälle und der Level of Detail (LOD) und Vorgaben für die rechtliche Strukturierung des Planungsprozesses mit BIM. Der BIM-Manager überwacht den gesamten Prozess der Planung und teilautomatisierten Kollisions- und Qualitätskontrollen. Die Aufgaben eines BIM-Managers ähneln denjenigen eines Projektsteuerers. Es stellt sich also auch hier die Frage nach der dienst- oder werkvertraglichen Einordnung, wobei die Mitwirkung an der Erstellung eines einsatzfähigen Datenmodells für eine bauliche Umsetzung für die Annahme eines Werkvertrages spricht³⁴.

³⁰ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Stufenplan digitales Planen und Bauen, 2015 S. 9.

³¹ Eschenbruch/Leupertz, BIM und Recht, Kapitel 2 Rn. 17.

³² Eschenbruch/Leupertz, BIM und Recht, Kapitel 2 Rn. 21.

³³ Eschenbruch/Elixmann, BauR 2015, 745; Eschenbruch/Leupertz, BIM und Recht, Kapitel 2 Rn. 78 m.w.N..

³⁴ Eschenbruch/Elixmann, BauR 2015, 745.

5. BIM und die Honorarordnung der Architekten und Ingenieure (HOAI)

In Anlage 10.1 der HOAI 201335 wurde in der rechten Spalte die «3-D oder 4-D Gebäudemodellbearbeitung (Building Information Modelling, BIM)» als Besondere Leistung in die Leistungsphase 2 aufgenommen. BIM wird erstmals in der HOAI thematisiert. Die Eingliederung als Besondere Leistung nur in der LP 2 der Objektplanung - Gebäude greift deutlich zu kurz. Nach Sinn und Zweck der Regelung fällt hierunter auch die 5-D-Modellierung (3-D plus Zeit plus Kosten).

Geht man davon aus, dass die Anwendung der BIM-Methode den Planungsablauf nach den bisherigen Leistungsbildern komplett umstößt, ist die Anwendung von BIM als Besondere Leistung zu hinterfragen, denn Besondere Leistungen sind Leistungen, die über das im Allgemeinen zur Erfüllung des Architekten- oder Ingenieurvertrags Erforderliche (HOAI 2013 § 3 Abs. 2) hinausgehen, den normalen Planungsablauf gemäß Leistungsbild aber unangetastet lassen. Ansonsten müsste man erwägen, ob BIM eine ersetzende Besondere Leistung ist, die das gesamte Leistungsbild ersetzt. Dies war vom Ordnungsgeber nicht gewollt. Bedenkenswert wäre statt dessen der vertragliche Ansatz, honorarseitig im Bereich der Grundleistungen konsequent abzubilden, wie sich bei prinzipiell unverändertem Planungsablauf (LP 1 Grundlagenermittlung, LP 2 Projekt- und Planungsvorbereitung, LP 3 System- und Integrationsplanung, LP 4 Genehmigungsplanung, LP 5 Ausführungsplanung usw.) die Gewichtung und Leistungszeiträume einzelner Grundleistungen (z. B. GL 2/e Erarbeiten der Vorplanung (...), Zeichnungen im Maßstab nach Art und Größe des Objekts; GL 2/e Bereitstellen der Arbeitsergebnisse etc.) verändern. Die früher oder umfangreicher zu erbringenden Leistungen können durch Erhöhung der HOAI-Honorare erfasst werden. Es wird erwogen, ob dies ein Anwendungsfall von § 7 Abs. 3 HOAI (Ausnahme) ist³⁵. Ansonsten kann der Mehraufwand durch eine Honorierung als Besondere Leistung vergütet werden. Die später nicht mehr oder nur gekürzt zu erbringenden Leistungen können nach § 8 Abs. 2 HOAI geringer honoriert werden. Hierbei kann der Fall eintreten, dass das Planungshonorar insgesamt geringer wird, wenn Planungsteile an einen gesonderten BIM-Manager ausgelagert werden. Teilweise wird erwartet, dass die HOAI als zwingendes Preisrecht durch die BIM-Methode zusätzlich unter Druck gerät³⁷. Es ist aber auch denkbar, dass die Effizienzsteigerungen und der mit der BIM-Methode erzielbare Mehrwert für den Auftraggeber zu einer Ausweitung des Gesamtbetrags der Honorare führen³⁸. BIM ist jedenfalls nicht nur eine Besondere Leistung in LP 2 der Objektplanung - Gebäude, sondern eine Methode, die das gesamte Vorhaben, das heißt alle Leistungsphasen erfassen soll. Die Erstreckung auf alle Leistungsphasen ist von § 3 Abs. 3 Satz 2 HOAI gedeckt, denn Besondere Leistungen können auch für Leistungsphasen vereinbart werden, denen sie im Verordnungstext nicht zugeordnet sind. BIM ist zwar nur im Leistungsbild der Objektplanung - Gebäude (Anlage 10.1) ausdrücklich genannt. Dies ist allerdings auf alle anderen Leistungsbildern der HOAI übertragbar, denn die Aufzählung ist gemäß § 3 Abs. 3 Satz 1 HOAI nicht abschließend. Möglicherweise lag beim Ordnungsgeber die Annahme zugrunde, dass die umfassende Gebäudedatenmodellierung, wenn überhaupt in der HOAI zu verorten, jedenfalls eine Leistung des von seither mit Koordinierungs- und Querschnittsaufgaben betrauten Objektplaners ist. Dies gilt dann aber auch für die Objektplanung von Ingenieurbauwerken und Verkehrsanlagen. Im Übrigen ergibt die Anwendung eines stark integrierten BIM erst dann Sinn, wenn man die Fachplanung der Tragwerke und der Technischen Ausrüstung einbezieht. Jedenfalls ist die BIM-Methode an sich keine Grundleistung, da kein Bestandteil der linken Spalte des Leistungsbilds (Grundleistungskatalog), das heißt nicht gemäß § 3 Abs. 2 Satz 1 HOAI im

³⁵ HOAI 2013 § 34, Anlage 10

³⁶ Eschenbruch/Malkwitz/Grüner/Poloczek, Maßnahmenkatalog vom 30.04.2014 zur Nutzung von BIM in der öffentlichen Bauverwaltung (...) - Gutachten zur BIM-Umsetzung - (im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR] im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung [BBR]), S. 35.

³⁷ Eschenbruch/Grüner: BIM – Building Information Modeling, a.a.O..

³⁸ Liebich/Schweer/Wernik, Schlussbericht vom 03.05.2011 über die Auswirkungen von Building Information Modelling (BIM) auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie die Vertragsgestaltung (im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt-, und Raumforschung [BBSR] im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung [BBR]), dort S. 39.

Allgemeinen zur ordnungsgemäßen Auftragserfüllung erforderlich. BIM definiert ohne ausdrückliche Vereinbarung auch nicht die übliche Beschaffenheit des planerischen Werks im Sinne des § 633 Abs. 2 Nr. 2 BGB³⁹.

6. Resümee

Mit Blick auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen, braucht die Einführung der BIM-Methode den Gesetzgeber nicht. Die Einführung der BIM-Methode stellt allerdings für Baujuristen eine Herausforderung dar, welche aber zu meistern ist. Um BIM erfolgreich umsetzen zu können, müssen Planer- und Bauverträge zukünftig miteinander vernetzt werden. In diesem Zusammenhang wird es aber - zumindest kurz- und mittelfristig - schwierig werden, "Mehrparteienverträge" in Reinform zu etablieren, die sich dadurch auszeichnen, dass es für ein Projekt nur einen einzigen Vertrag gibt, den alle Projektbeteiligten unterzeichnen. Vielmehr wird man mit BIM-spezifischen Vertragsergänzungen für Standardverträge mit Planern, Projektsteuerern, BIM-Managern und Ausführenden arbeiten und bei der Gestaltung dieser Verträge auf die in diesem Beitrag erwähnten Besonderheiten der neuen BIM-Methode abstellen müssen.

³⁹ vgl. auch FA für Verwaltungsrecht Rainer Fahrenbruch, Dresden, IBR 2015, 1063.

AKUSTIK

**Planungsmethoden im Schallschutz –
es tut sich was für die Planer!**

Praxishandbuch Schallschutz im Holzbau mit wichtigen Erkenntnissen für bewährte Bauweisen

Adrian Blödt
Ingenieurbüro für Bauphysik
Blödt Holzkomplettbau GmbH
Kohlberg, Deutschland



Praxishandbuch Schallschutz im Holzbau mit wichtigen Erkenntnissen für bewährte Bauweisen

1. Ziel und Inhalt der Schrift

1.1. Zielsetzung

«Holzbau Handbuch Reihe Bauphysik Teil 1 Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung» des INFORMATIONSDIENST HOLZ ist der erste Teil einer dreiteiligen Reihe rund um den Schallschutz im Holzbau. Mit Teil 1 soll Architekten und Holzbauunternehmern die Möglichkeit gegeben werden, bereits in einer frühen Phase der Planung gemeinsam mit dem Bauherrn Zielwerte und Konstruktionen auszuwählen die dem Schall- und Brandschutz gerecht werden. Um dies zu ermöglichen, wurden neben rein akustischen Werten auf brandschutztechnische Hinweise gegeben. Großer Wert wurde bei der Wahl der Aufbauten auf hochfeuerhemmende Bauteile gelegt, um den Zugang zu größeren Geschoßwohnbauten zu ermöglichen. Die Nachweisführung im bauordnungsrechtlichen Sinn wird durch diese Schrift nicht abgedeckt und folgt im geplanten Teil 2 der Schriftenreihe. Durch Messungen am ift in Rosenheim wurden die verfügbaren Bauteildaten im Vergleich zum Bauteilkatalog der DIN 4109-33:2016 erheblich erweitert. Es wurden Decken, Flachdächer/Dachterrassen sowie Außen- und Trennwände in Holzbauweise für welche bisher keine Daten vorlagen bauakustisch bewertet. Dabei wurde sowohl die klassische Holztafelbauweise sowie im speziellen auch die Massivholzbauweise betrachtet. Aus diesen Messdaten und den Messdaten weiterer Projekte wurde im Kapitel 6 der Schrift an der HS Rosenheim ein umfangreicher Bauteilkatalog erarbeitet. Zusammen mit den geplanten Folgeschriften entsteht ein umfassendes Schallschutzkompendium für den Holzbau. Mit Teil 1 wird die bauakustische Grundausrichtung eines Bauvorhabens festgelegt, während sich Teil 2 an die bauakustischen Fachleute in der Nachweisführung richtet. Mit Teil 3 wird schließlich auch der Bestandsbau gewürdigt.

1.2. Inhalt und Aufbau

In Abbildung 1 wird der Aufbau des Teil 1 dargestellt, dabei sind in Rot die bemerkenswertesten Neuerungen der Schrift hervorgehoben.

Abschnitt 2

Im Abschnitt 2 werden rechtliche Grundlagen zur Auswahl des Niveaus für ein Bauobjekt gegeben. Aufgrund der sehr heterogenen Rechtslage und diverser BGH Urteile ist im Schallschutz die Festlegung von Ziel- und Anforderungswerten die erste Pflicht bei der Planung. Dies wird in Abschnitt 2 gewürdigt. Zu diesem Zweck wird auch ein dreistufiges Zielwertkonzept vorgestellt, welches sich an der subjektiven Wahrnehmung von Schall im Wohnbauten orientiert. Dabei war es das erklärte Ziel mit erhöhten Zielwerten auch eine subjektiv wahrnehmbare Verbesserung für die Nutzer zu erzielen, siehe Abschnitt 1.3. Allerdings lassen sich Zielwerte nicht ohne Grundkenntnisse der Bauakustik vereinbaren. Dazu wurden im Abschnitt 2 auch Grundlagen der Bauakustik erläutert. Damit wird es den Planern mit akustisch wirksamen Mitteln ermöglicht, verbindliche und erreichbare Zielwerte zu vereinbaren.

Abschnitt 3

In Abschnitt 3 werden für die wichtigsten Bauteile die bauakustischen Wirkmechanismen und Verbesserungsmaßnahmen dargestellt. Dabei wird in Referenz zu den Erkenntnissen aus den Messungen zu dieser Schrift dargestellt, wie die verschiedenen Bauteiltypen Decke, Wand und Dach bauakustisch bewertet werden können. So wird beispielsweise dargestellt, wie sich das Fehlen der Dämmung im Gefach einer Holzbalkendecke auf deren Trittschallpegel auswirkt. Gleiches gilt für die Art der Abhängung von Unterdecken. Die teilweise überraschenden Ergebnisse der Messungen lassen einen etwas anderen Blick auf bisher als gesetzt geltendes Wissen zu.

**INFORMATIONSDIENST
HOLZ
Holzbau Handbuch Reihe
3 Bauphysik**

	Hauptkapitel	Unterkapitel
Teil 1: Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung	1 <i>Vorbemerkungen</i>	
	2 <i>Grundlagen</i>	Nachweis des Schallschutzes - Vorgehensweise Mindestanforderungen an den Schallschutz Berücksichtigung tiefer Frequenzen Zielwerte im Holzbau Technische Grundlagen der Bauakustik
	3 <i>Konstruktive Einflüsse auf die Schalldämmung</i>	Wände Decken Steildächer Flachdächer
	4 <i>Bauakustische Vorbemessung von Holzbauteilen</i>	Trenndecken Trennwände Trennwände für Doppel- und Reihenhäuser Treppen in Geschoßwohnbauten Wohnungseingangstüren Laubgänge und Dachterrassen Balkone Haustechnik und Sanitärgegenstände Außenbauteile
	5 <i>Hinweise für die Bauüberwachung</i>	Falsches Einbringen der Rohdeckenbeschwerung Offene Fugen zwischen Dachfläche und Trennwand Hoher Anpressdruck bei Aufdachdämmungen Einbauküchen und Mobiliar
	6 <i>Bauteilkatalog</i>	Decken Flachdächer und Dachterrassen Wände
	<i>Anhang und Literaturverzeichnis</i>	A1 Verbale Beschreibung der Luftschalldämmung A2 Herleitung der Anforderungen an den Trittschall Literaturverzeichnis
Teil 2: Schallschutz im Holzbau: Nachweisführung		
Teil 3: Schallschutz im Holzbau: Altbau		

Abbildung 1: Aufbau des Teils 1 der INFORMATIONSDIENST HOLZ Schrift / in roter Schrift sind die wichtigsten Neuerungen dargelegt

Abschnitt 4

Um den Planern die Möglichkeit zu geben bereits zu Beginn der Entwurfsplanung die richtigen Bauteile zu wählen, wurde sowohl für den Luft-, und Trittschall als auch für den Außenlärm ein Vorbemessungsverfahren entwickelt. Die Gliederung spiegelt dabei die Bauteile wieder, an welche auch in der Normenreihe DIN 4109-1:2016/2018 Anforderungen gestellt sind. Neben einfachen rechnerischen Vorbemessungsverfahren sind auch für Bauteile und Einbauten die nicht durch Rechnung zu beurteilen sind konstruktive Hinweise enthalten, welche die Arbeit für den Praktiker erleichtern. Parallel zu den rechnerischen Vorbemessungsverfahren sind auch Auswahlmatrizen dargestellt, aus denen für gängige Bauteil – Flanken - Kombinationen das bewerte Luftschalldämmmaß und der bewertete Normtrittschallpegel abgelesen werden können. Neu ist, dass die Massivholzbauweise eine deutlich größere Würdigung erhält als dies bisher im Normenkontext geschah. Dafür wurden auch Erkenntnisse aus anderen Forschungsvorhaben gesammelt und durch die HS Rosenheim in einem Rechenverfahren und dem Bauteilkatalog dargestellt. Daneben werden auch Hinweise zur Ausführung von Flanken im Holzbau gegeben.

Abschnitt 5

Ergänzend zur Vorbemessung und Planung wurde ein Abschnitt der Bauüberwachung gewidmet. Typische Schwachstellen werden aufgezeigt, um es den Bauüberwachern zu ermöglichen auf kritische Stellen ein besonderes Augenmerk zu legen.

Abschnitt 6

Der Bauteilkatalog stellt das Herzstück des Handbuches dar. Der bereits in DIN 4109-33:2016 enthaltene Bauteilkatalog wurde um wichtige Bauteile erweitert. Dabei wurde nicht nur der Schallschutz betrachtet, sondern auch brandschutztechnische Aspekte. Dem Anwender werden wichtige Hinweise zum Brandschutz wie Feuerwiderstandsdauer, Kapselung und Literaturquellen zur Brandschutztechnischen Beurteilung dargestellt. Bauteile die bisher in DIN 4109-33:2016 nicht berücksichtigt wurden sind nun dargestellt oder um weitere Aufbauten ergänzt. Dies gilt insbesondere für folgende Bauteile:

- Außenwände im Massivholzbauweise
- Erweiterung der Trennwände in Massivholzbauweise
- Dachterrassen mit verschiedenen Gehbelägen
- Erweiterung der Flachdächer mit Abdichtung auch in Massivholzbauweise
- Dächer mit Blecheindeckung
- Erweiterung der Holzbalkendecken zusätzlich mit optimiert entkoppelten Unterdecken
- Erweiterung Massivholzdecken mit und ohne Unterdecken
- Systemdecken wie Rippen- oder Hohlkammerdecken
- Beurteilung nachwachsender Rohstoffe als Dämmstoffe im Deckenaufbau

Speziell die Massivholzbauweise erhält die Würdigung die diese Bauweise bereits im modernen Holzbau einnimmt.

1.3. Ziel- und Anforderungswerte

Für das Handbuch wurde gemeinsam mit den folgenden Verbänden und Institutionen ein Klassifizierungssystem für den Schallschutz entwickelt:

- Holzbau Deutschland
- Holzbau Deutschland Institut
- DHV Deutscher Holzfertigbau-Verband e.V.
- BDF Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.
- Hochschule Rosenheim
- Studiengemeinschaft Holzleimbau

Für die Planung ist es unerlässlich mit dem Bauherrn vor der Baumaßnahme ein Schallschutzniveau festzulegen. Dabei wird sehr häufig von Mindestschallschutz, mittlerer Art und Güte und erhöhtem Schallschutz gesprochen. Um diesen Abstufungen gerecht zu werden wird in der Schrift ein dreistufiges Konzept mit den Stufen BASIS, BASIS+ und KOMFORT dargestellt. Neu dabei ist, dass beim Trittschall nun auch die tiefen Frequenzen in die Betrachtung mit einbezogen werden. Gleiches gilt für Reihenhaustrennwände. Dies ist auf die in Praxis immer wieder vorgebrachten Beschwerden hinsichtlich des «Dröhnens» von Bodenaufbauten zurückzuführen. Dazu wurden zwei Qualitätsstufen die über den Mindestanforderungen der DIN 4109-1 (BASIS) liegen mit einem ergänzenden Bauteilkriterium für tiefe Frequenzen versehen. Für die Stufen BASIS+ und KOMFORT sind sowohl für den Trittschallpegel als auch das bewerte Schalldämmmaß von Reihenhaustrennwänden die Spektrumanpassungswerte $C_{1,50-2500}$ und $C_{50-5000}$ anzuwenden, Abbildung 2 Zeile 2 und Zeile 4. Diese Betrachtungsweise ist neu und spiegelt die subjektive Wahrnehmung des menschlichen Gehörs besser wieder. So lassen sich tatsächliche Komfortstandards im Wohnbau erreichen, die dem heutigen Ruhebedürfnis entsprechen und die Beschwerden von Nutzern der letzten Jahre tatsächlich aufgreifen und beseitigen. Dabei sind die Zielwerte nicht nur für den Holzbau anwendbar, sondern sicherlich auch in anderen Bauweisen zielführend.

		Schallschutzniveau		
		2	3	4
1	Bauteil / Übertragungsweg:	BASIS \triangleq DIN 4109-1:2018	BASIS +	KOMFORT
1	Wohnungstrennwand	$R'_{w} \geq 53\text{dB}$	$R'_{w} \geq 56\text{dB}$	$R'_{w} \geq 59\text{dB}$
2	Reihenhaustrennwand	$R'_{w} \geq 62\text{dB}$	$R'_{w} \geq 62\text{dB}$ $R_w + C_{50-5000} \geq 62\text{dB}$ 1) 5)	$R'_{w} \geq 67\text{dB}$ $R_w + C_{50-5000} \geq 65\text{dB}$ 1) 5)
3	Wohnungstrenndecke	$R'_{w} \geq 54\text{dB}$	$R'_{w} \geq 57\text{dB}$	$R'_{w} \geq 60\text{dB}$
4	Wohnungstrenndecke Trittschallpegel	$L'_{n,w} \leq 53\text{dB}$ 3)	$L'_{n,w} \leq 50\text{dB}$ $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 50\text{dB}$ 2)	$L'_{n,w} \leq 46\text{dB}$ $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 47\text{dB}$ 2)
5	Dachterrassen und Loggien mit darunterliegenden Wohnräumen	$L'_{n,w} \leq 50\text{dB}$	$L'_{n,w} \leq 50\text{dB}$	$L'_{n,w} \leq 46\text{dB}$
6	Decken unter Laubengängen (in alle Schallausbreitungsrichtungen)	$L'_{n,w} \leq 53\text{dB}$	$L'_{n,w} \leq 50\text{dB}$	$L'_{n,w} \leq 46\text{dB}$
7	Treppenlauf und Treppenpodest	$L'_{n,w} \leq 53\text{dB}$	$L'_{n,w} \leq 50\text{dB}$	$L'_{n,w} \leq 46\text{dB}$
8	Außenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109			Anforderungen nach DIN 4109 inkl. Berücksichtigung $C_{tr,50-5000}$ für das opake Bauteil 4)
9	Weitere Bauteile	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN4109-5:2019 6)

1) ergänzender Luftschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken
2) ergänzender Trittschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken
3) Sonderregelung nur für Holzbalkendecken nach DIN 4109-33:2016 ansonsten $L'_{n,w} \leq 50\text{dB}$
4) Für Fensterflächenanteile über 30% gesonderte Betrachtung / reine Bauteilanforderung
5) Anforderung an die Doppelschalenwand / beide Wände
6) nach jeweils gültiger Fassung oder E-DIN 4109-5:2018

Abbildung 2: 3-stufiges Zielwertesystem für den Holzbau

2. Vorbemessungsverfahren

Mit dem Handbuch soll dem Anwender eine schnelle Vorauswahl von Bauteilen anhand akustischer und brandschutztechnischer Parameter ermöglicht werden. Dies kann auf zweierlei Weisen geschehen. Einerseits durch ein vereinfachtes, auf der sicheren Seite liegendes, Rechenverfahren andererseits durch die Auswahl aus vier Matrizen für gängige Bauteil- Flanken - Kombinationen.

2.1. Rechnerische Vorbemessung

Luftschallschutz

Die Vorbemessung für den Luftschall knüpft an die bereits bekannte Regel « $R_w + 5\text{dB}$ » an. Jedoch wird nun noch der im Rechenverfahren der DIN 4109-2:2016 geforderte Prognoseaufschlag $u_{\text{prog}} = 2\text{dB}$ hinzugefügt.

<p>Vorbemessung: Bauteil: $R_{w,Bauteil} \geq R'_{w,Zielwert} + 7dB$ Flanken: $D_{n,f,w} \geq R'_{w,Zielwert} + 7dB$</p>

Für die Flanken kann in der Schrift aus zahlreichen Tabellen deren Bewertung entnommen werden. Diese werden komprimiert in der Schrift dargestellt, ohne diese aus mehreren Regelwerken entnehmen und suchen zu müssen. Die Angabe weiterer Flankenwerte ist für den zweiten Teil der Schrift geplant. Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen Auszug aus der Schrift für die Vorbemessung einer Trennwand für die Stufe BASIS+.

	1	2	3	4
Vorbemessung Trennwände				
	Zielwert	$R'_{w,Zielwert} =$ 56dB / BASIS+	Vorbemessungs- aufschlag = 7dB	63 dB
	Bauteil / Übertragungs- weg:	$R_w / D_{n,f,w}$	Ausführung	Bewertung
1	Bauteil direkt	$R'_{w,Bauteil} =$ 63dB		63dB = 63dB → ✓
2	Außenwand- flanke / Installationsebene unterbrochen durch Trennwand	$D_{n,f,w} = 68dB$ DIN 4109-33:2016 Tabelle 28 Zeile 1		68dB > 63dB → ✓
3	Treppenraum- flanke / Installationsebene unterbrochen durch Trennwand	$D_{n,f,w} = 68dB$ DIN 4109-33:2016 Tabelle 28 Zeile 1		68dB > 63dB → ✓
4	Decke Trennwand unterbricht Unterdecke	$D_{n,f,w} = 67dB$ DIN 4109-33:2016 Tabelle 36 Zeile 8		67dB > 63dB → ✓
5	Boden Trennwand unterbricht Estrich	$D_{n,f,w} = 62dB$ Abschnitt 5.3.1.1DIN 4109- 33:2016		67dB > 63dB → ✓

Abbildung 3: beispielhafte Vorbemessung für eine Trennwand in Holztafelbauweise

Trittschallschutz

Für den Trittschallschutz kann die Vorbemessung anhand von Tabellenwerten ohne weitere Berechnung erfolgen. Abbildung 4 zeigt die Auswahltable des Handbuches. Dabei ist die Vorgehensweise umgekehrt zur üblichen Herangehensweise. Anhand des vereinbarten Zielwertes wird in der Tabelle der maximal mögliche $L_{n,w}$ für das Bauteil in der konkreten Einbausituation angezeigt. Der aus der Tabelle abgelesene Wert ist sodann die Grundlage für die Auswahl einer Deckenkonstruktion im Bauteilteilkatalog. In Abbildung 4 ist ein Auswahlvorgang farblich hinterlegt. Die Prüfung des Kriteriums $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ ist jedoch dann noch gesondert durchzuführen.

				1	2	3	4	5
Trittschallvorbemessung für Trenndecken für die Klassen Basis+ und Komfort								
				Holzbalken-decke mit entkoppelter 2-lagiger Unterdecke 	Holzbalken-decke entkoppelter 1-lagiger Unterdecke 	Holzbalken-decke mit direkter Gipsbeplankung 2) 	sichtbare Holzbalkendecke 	Massivholzdecken
				erforderlicher $L_{n,w}$ für das Trennbauteil				
1	Holztafelbau-wand mit HWS und Gipsbe-plankung 	Estrichaufbau 	A	Basis+	$L_{n,w} \leq 38$ dB	$L_{n,w} \leq 41$ dB	$L_{n,w} \leq 43$ dB	
				Komfort	4)	4)	4)	
			B	Basis+	$L_{n,w} \leq 40$ dB	$L_{n,w} \leq 43$ dB	$L_{n,w} \leq 45$ dB	
				Komfort	$L_{n,w} \leq 34$ dB	$L_{n,w} \leq 37$ dB	$L_{n,w} \leq 39$ dB	
			C	Basis+	$L_{n,w} \leq 40$ dB	$L_{n,w} \leq 43$ dB	$L_{n,w} \leq 45$ dB	
				Komfort	$L_{n,w} \leq 36$ dB	$L_{n,w} \leq 39$ dB	$L_{n,w} \leq 41$ dB	
2	Holztafelbau-wand mit Gipsbe-plankung 	Estrichaufbau 	A	Basis+	$L_{n,w} \leq 37$ dB	$L_{n,w} \leq 40$ dB	$L_{n,w} \leq 43$ dB	
				Komfort	4)	4)	4)	
			B	Basis+	$L_{n,w} \leq 39$ dB	$L_{n,w} \leq 42$ dB	$L_{n,w} \leq 45$ dB	
				Komfort	$L_{n,w} \leq 33$ dB	$L_{n,w} \leq 36$ dB	$L_{n,w} \leq 39$ dB	
			C	Basis+	$L_{n,w} \leq 39$ dB	$L_{n,w} \leq 42$ dB	$L_{n,w} \leq 45$ dB	
				Komfort	$L_{n,w} \leq 35$ dB	$L_{n,w} \leq 38$ dB	$L_{n,w} \leq 41$ dB	
3	Holztafelbau-wand mit HWS Beplankung oder Massivholzwände 3) 	Estrichaufbau 	A	Basis+	$L_{n,w} \leq 33$ dB	$L_{n,w} \leq 37$ dB	$L_{n,w} \leq 38$ dB	
				Komfort	4)	4)	4)	
			B	Basis+	$L_{n,w} \leq 34$ dB	$L_{n,w} \leq 38$ dB	$L_{n,w} \leq 39$ dB	
				Komfort	4)	4)	4)	
			C	Basis+	$L_{n,w} \leq 37$ dB	$L_{n,w} \leq 41$ dB	$L_{n,w} \leq 42$ dB	
				Komfort	4)	4)	4)	
1) Basis+ $L'_{n,w} \leq 50$ dB und Kom fort $L'_{n,w} \leq 46$ dB / $L_{n,w} + C_{ISO-2500}$ gesonderter Nachweis 2) Hier auch Gipsbeplankungen auf Holzlattung ohne weitere Entkopplungsmaßnahmen 3) Auch direkt Beplankte Massivholzwände 4) Besondere Maßnahmen erforderliche siehe Abschnitt "Konstruktive Einflüsse auf die Flankenübertragung bei Balkenlagen"								
A ZE/MF: Zementestrich oder Gussasphalt auf Holzfaser- Trittschalldämmplatten B ZE/MW: Zementestrich oder Gussasphalt auf Mineralfaser- oder EPS Trittschalldämmplatten C Trockenestrich auf Mineralfaser-, EPS- oder Holzfaser- Trittschalldämmplatten								

Abbildung 4: Auswahltabelle für die Vorbemessung des Trittschallpegels von Holzdecken in den Klassen BASIS+ und KOMFORT

Außenlärm

Analog zu den Vorbemessungsverfahren für Luft- und Trittschall wurde auch ein einfaches Vorbemessungsverfahren für den Außenlärm dargestellt. In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind zwei Diagramme dargestellt, mit Hilfe derer die Auswahl von Außenbauteilen durchgeführt werden. So kann in 4 Schritten und mit Hilfe von zwei Diagrammen für einfache Raumsituation mit einer lärmbelasteten Fassade die Wahl von Fenstern und Außenbauteilen geschehen. Das Ziel ist es nicht einen Nachweis im Sinne der DIN 4109-2:2016/2018 zu ersetzen. Vielmehr soll dem Planer die Möglichkeit gegeben werden mit möglichst geringem Aufwand die Außenlärmsituation bewerten zu können. Dies hat in der Praxis sehr große Bedeutung, da der Kosteneinfluss schalldämmender Fenster auf die Bausumme einen beträchtlichen Anteil erreichen kann. Für Planer ist es deshalb bereits in der Entwurfsphase wichtig, den grundlegenden Fenster- und Wandtyp richtig zu wählen. Einen detaillierten Nachweis kann das Verfahren nicht ersetzen. Es dient einer schnellen einfachen Vorbemessung für einfache Fragestellungen.

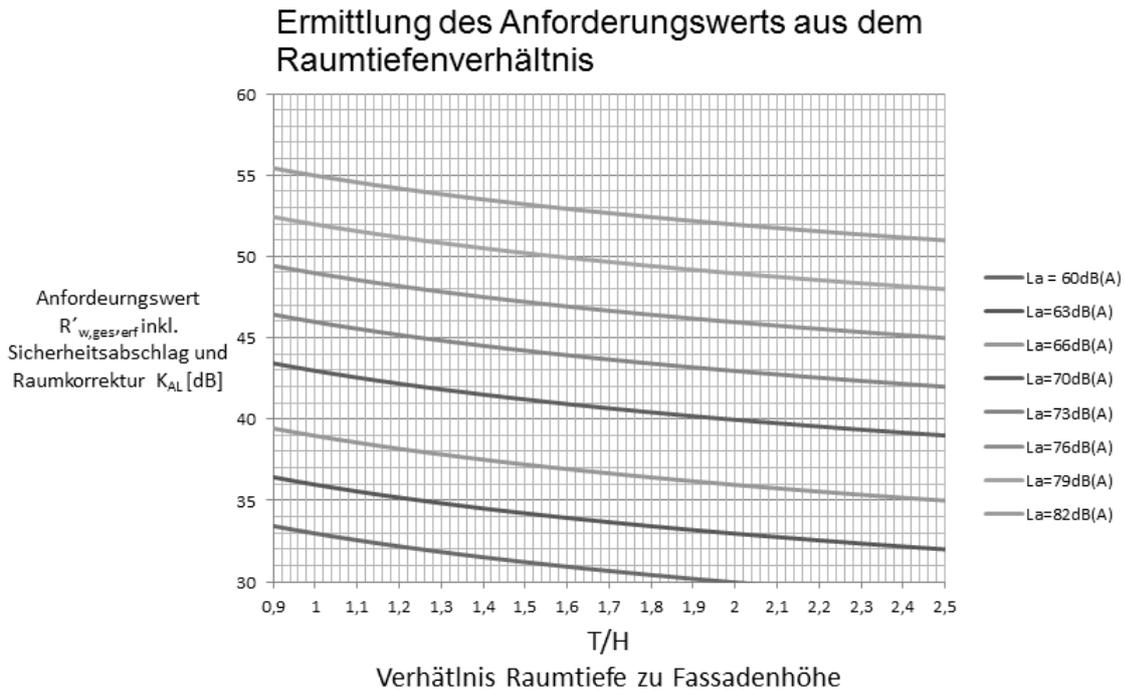


Abbildung 5: Diagramm aus dem Schallschutzhandbauch für den Außenlärm für die Abhängigkeit zur Rauntiefe (Referenz zu K_{AL} aus DIN 4109)

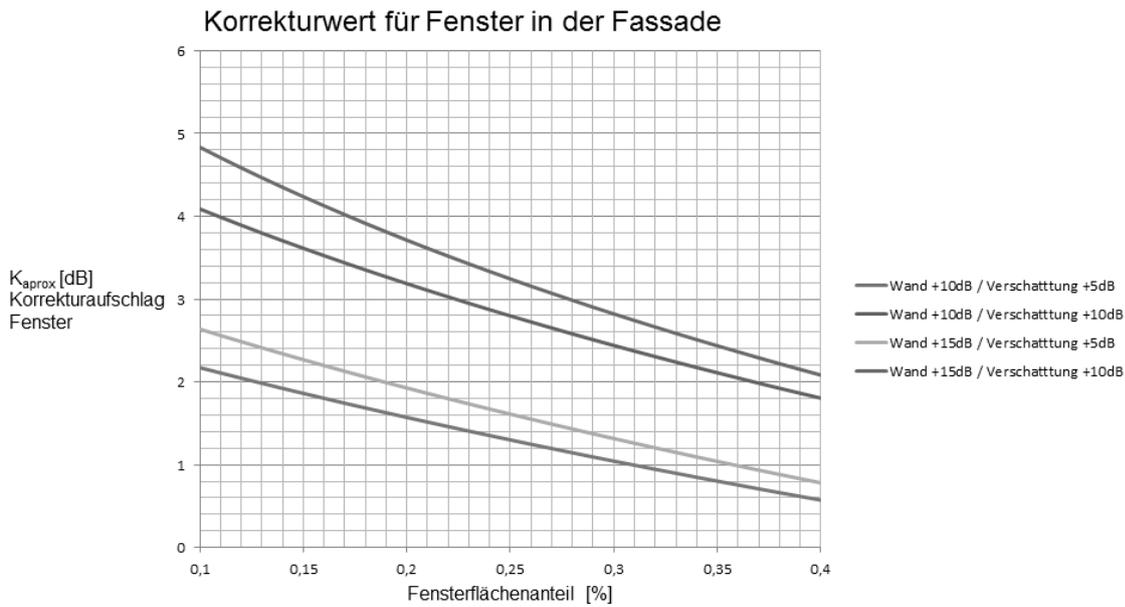


Abbildung 6: Diagramm aus dem Schallschutzhandbauch für den Außenlärm mit dem Approximationsummanden

Vorbemessung durch Matrizen

Neben dem Rechenverfahren stehen dem Anwender auch Bemessungsmatrizen zur Verfügung. Dabei sind folgende Bauteile durch die Matrizen erschlossen worden:

- Holztafelwände mit flankierenden Leicht- und Holzbauwänden und Decken in Massivholzbauweise
- Massivholzwände mit flankierenden Massivholzbauteilen sowie Leicht- und Holztafelbauwänden (Auszugsweise in Abbildung 8)
- Holzbalkendecken im Holztafelbaugebäuden mit 4-seitig unterschiedlicher Flankensituation (Auszugsweise in Abbildung 7)
- Massivholzdecken in Holztafelbaugebäuden und in Massivholzgebäuden und mit 4-seitig unterschiedlicher Flankensituation

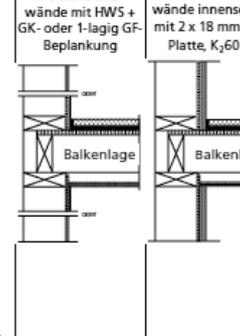
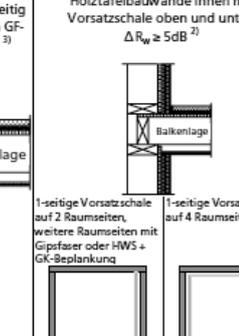
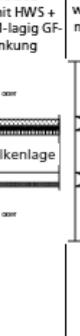
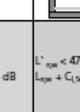
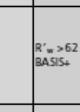
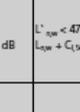
L'_{RW} und R'_{W} für verschiedene Holzbalkenlagen- und Wandkombinationen ¹⁾		1	2	3	4
		Holztafelbauwände mit HWS + GK- oder 1-lagig GF-Beplankung	Holztafelbauwände innenseitig mit 2 x 18 mm GF-Platte, K ₂ 60 ³⁾	Holztafelbauwände innen mit Vorsatzschale oben und unten ΔR _w ≥ 5dB ²⁾	
Wand- und Stoßstellenausbildung 	Deckenausbildung 				
		1-seitige Vorsatzschale auf 2 Raumseiten, weitere Raumseiten mit Gipsfaser oder HWS + GK-Beplankung	1-seitige Vorsatzschale auf 4 Raumseiten		
 1 Kapitel 6, Tabelle 27, Zeile 13: -> 50 mm ZE -> 30 mm TS-Dämmung mit s' ≤ 30 MN/m ³ -> 90 kg/m ³ Schüttung - entkoppelte Unterdecke mit 2 x 12,5 mm GKf, f ₀ < 30 Hz	$L'_{RW} \leq 32$ dB $C_{150-2500} = 14$ dB $R_w = 82$ dB	$L'_{RW} < 48$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 46$ dB $R'_w > 60$ dB BASIS+	$L'_{RW} < 46$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 46$ dB $R'_w > 65$ dB KOMFORT	$L'_{RW} < 47$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 46$ dB $R'_w > 62$ dB BASIS+	$L'_{RW} < 44$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 46$ dB $R'_w > 67$ dB KOMFORT
 2 Kapitel 6, Tabelle 27, Zeile 17: -> 50 mm ZE -> 30 mm TS-Dämmung mit s' ≤ 8 MN/m ³ - entkoppelte Unterdecke mit 2 x 12,5 mm GKf, f ₀ < 20 Hz	$L'_{RW} \leq 37$ dB $C_{150-2500} = 12$ dB $R_w = 82$ dB	$L'_{RW} < 48$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 49$ dB $R'_w > 60$ dB BASIS+	$L'_{RW} < 47$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 49$ dB $R'_w > 65$ dB BASIS+	$L'_{RW} < 47$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 49$ dB $R'_w > 62$ dB BASIS+	$L'_{RW} < 44$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 49$ dB $R'_w > 67$ dB BASIS+
 3 Kapitel 6, Tabelle 27, Zeile 27: -> 22 mm TE -> 30 mm TS-Dämmung mit s' ≤ 30 MN/m ³ -> 90 kg/m ³ Schüttung - entkoppelte Unterdecke mit 2 x 12,5 mm GKf, f ₀ < 30 Hz	$L'_{RW} \leq 34$ dB $C_{150-2500} = 16$ dB $R_w = 80$ dB	$L'_{RW} < 45$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 50$ dB $R'_w > 60$ dB BASIS+	$L'_{RW} < 44$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 50$ dB $R'_w > 65$ dB BASIS+	$L'_{RW} < 45$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 50$ dB $R'_w > 62$ dB BASIS+	$L'_{RW} < 42$ dB $L'_{RW} + C_{150-2500} = 50$ dB $R'_w > 67$ dB BASIS+
1) Trennbauteilfläche > 10,0 m ² / lichte Raumhöhe ≤ 2,60 m, alle Flanken gleich hoch; quadratischer Raumgrundriss 2) Vorsatzschale mit ΔR _w ≥ 5 dB z.B. Installationsebene; bauakustische Bemessung der Vorsatzschale ist erforderlich (Verbesserung geg. Spalte 1) 3) Verbesserung von 2 x 18 mm GF gegenüber Beplankung mit 1 x 12,5 mm GF ΔR _w ≥ 3,5dB					

Abbildung 7: Auszugsweise Bemessungsmatrix für Holzbalkendecken mit verschiedenen Wandkombinationen

R'w für verschiedene Massivholztrennwand-Flankenkombinationen						
Wandbauteil 1)						
Flankenkombination		Tabelle 8 Zeile 3 2x MH-Wand 90mm mit je 2 x 12,5mm GKF und 60mm gefülltem Schalenabstand GKF R _w = 61dB	Tabelle 8 Zeile 1 MH-Wand 75mm und freistehende Vorsatzschale mit 2 x 12,5mm GKF R _w = 62dB	MH-Wand 140mm 2x18mm GF beidseits freistehende Vorsatzschale mit 2 x 12,5mm GF R _w = 67dB	100mm MH Wand / 50mm MW +10mm Trennung / 90mm MH Wand / 60mm Lattung auf Schwingbügel 12,5mm GKF R _w = 67dB	
Massivholzdecke sichtbar mit Trennschnitt über Wand 2)		R'w ≥ 56dB	R'w ≥ 48dB	R'w ≥ 54dB	R'w ≥ 57dB	
Massivholzdecke Estrich getrennt Wand auf Decke 2)3)						
Kopplungstyp 1: mit unterbrochener MH-Wand 4)		BASIS+	Mindestanforderung nicht eingehalten	BASIS	BASIS+	
Kopplungstyp 1: mit unterbrochener MH-Wand 4)						
Massivholzdecke sichtbar mit Trennschnitt über Wand 2)		R'w ≥ 55dB	R'w ≥ 54dB	R'w ≥ 56dB	R'w ≥ 57dB	
Massivholzdecke Estrich getrennt Wand auf Decke 2)3)						
Kopplungstyp 4: Holzfeilwand mit getrennter Installationsebene D _{z,fl} = 68dB						
Kopplungstyp 5: Holzfeilwand mit getrennter Beplankung D _{z,fl} = 61dB		BASIS	BASIS	BASIS+	BASIS+	
Massivholzdecke + 2x 12,5 GF Beplankung getrennt mit Trennschnitt über Wand 6)		R'w ≥ 57dB	R'w ≥ 56dB	R'w ≥ 59dB	R'w ≥ 60dB	
Massivholzdecke Estrich getrennt Wand auf Decke 2)3)						
Kopplungstyp 4: Holzfeilwand mit getrennter Installationsebene D _{z,fl} = 68dB						
Kopplungstyp 6: Kreuzstoß mit Trocken- oder Holzfeilwand D _{z,fl} = 67dB		BASIS+	BASIS+	BASIS+	KOMFORT	

1) Trennbauteilfläche > 10,0m² / lichte Raumhöhe ≤ 2,60m ρ_{GKF} = 800kg/m³ / ρ_{Holz} = 450kg/m³ / ρ_{GF} = 1150kg/m³
 Das Berechnungsverfahren beruht auf aktuellen Forschungsergebnissen und ist bisher nicht normativ festgelegt
 2) Mindestbeschwerung durch Schüttung = 90kg/m² Massivholz d_{min} = 140mm m' = 153kg/m² R_w = 54dB (aus Messung)
 3) ΔR_{w, Estrich} ≥ 14dB 50mm ZE auf Mineralfaser
 4) 90mm MH + 2 x 12,5 GKF m' = 61kg/m² / GKF od. GF Beplankung nicht durchlaufend
 5) ΔR_{w, VS} ≥ 16dB freistehend mit 1x12,5mm GKF Abstand 70mm
 6) Sonderdeckenausführung nach Detail ΔR_w ≥ 3dB+ 2x12,5GF direkt beplankt sonst wie 2)
 Beplankung HWS oder GK
 Wand oder Deckenkörper
 Estrichaufbau Trocken oder Nass
 Trennung der Ebenen

Abbildung 8: verkürzte Bemessungsmatrix für Massivholzwände in verschiedenen Einbausituationen

Dabei wurden in den Matrizen folgende Neuerungen berücksichtigt:

- Unterschiedliche Flankensituation je Wandseite bei der Berechnung des Trittschallpegels (nicht nur die ungünstigste Situation wie in DIN 4109-2:2016/2018 dargestellt)
- Berücksichtigung von Elastomeren als Zwischenlage bei Massivholzkonstruktionen
- Bauakustische Werte für die Massivholzbauweise und der dazugehörigen speziellen Flankenausbildungen

Durch die Matrizen ist eine schnelle Auswahl von Bauteilen in praxistypischen Einbausituationen möglich. Die Matrizen beziehen sich immer auf ungünstige Geometriesituationen (Trennbauteilfläche S_s = 10,0m²) und liegen damit auf der sicheren Seite.

3. Messergebnisse und neue Erkenntnisse

In Abbildung 9 ist auszugsweise die Vorgehensweise für die Messung von Holzbalkendecken dargestellt. Es wurde durch Parametervariation eine gezielte Untersuchung der maßgeblichen Einflussparameter auf den bewerteten Normtrittschallpegel von Holzbalkendecken ermöglicht. Während der Messserie wurden auch neue, optimierte und praxistaugliche Abhängesysteme für Unterdecken getestet.

Holzbalkendecken

Balkenraster 833mm	Variation der Estrichmasse von 120 kg/m ² - 180kg/m ²	K_z60 Deckenvarianten
	Einfluss der Abhängung mit Federschiene und oder Befestigungsdips bei einlager Beplankung	
	Verbesserung durch Schüttungen bei einlager Beplankung	
Balkenraster 625mm	Variation der Dämmstoffe im Balkengefach / Dichte 15kg/m ² und 34 kg/m ² / Art der Einbringung Volle Befüllung, keine Befüllung und U-förmige Befüllung	
	Variation der Trittschalldämmung mit 2-lagiger Unterdecke Steinwolle im Vergleich zu Glaswolle	
	Variation der Unterdeckeneigenfrequenz bei 1-lagigen Unterdecken unterschiedlicher flächenbezogener Massen	
	Variation der Unterdeckeneigenfrequenz in Verbindung mit schweren Unterdecken / Optimierung des Trittschallpegel bei tiefen Frequenzen Messungen mit neuen Abhängesystemen / Suche nach optimal Systemen	

Abbildung 9: Grundsätzliches Messablauf für die Holzbalkendecken

Neben den Deckenmessungen wurden folgende Messserien durchgeführt und im Bauteilkatalog dargestellt:

Wandmessungen:

- Massivholzaußenwände mit WDVS
- Trennwände in Holztafelbauweise mit freistehenden Vorsatzschalen oder direkt beplankten Vorsatzschalen

Flachdächer und Dachterrassen:

- Holzbalkendecken mit Plattenbelägen in Splitt
- Holzbalkendecken mit Holzrosten
- Massivholzdecken mit Plattenbelägen in Splitt
- Massivholzdecken mit Holzrosten
- Hohlkasten und Sonderdecken
- Dachvarianten mit Blechdächern und Dachabdichtung

Aus parallel durchgeführten Forschungsvorhaben flossen Daten für Massivholzdecken und die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen als Dämmstoff ein.

In Abbildung 10 sind auszugsweise Ergebnisse der Messung für Dachterrassen dargestellt. Diese waren im Bauteilkatalog der DIN 4109-33 nur teilweise und für Massivholzdecken gar nicht vorhanden.

Tabelle 33: Flachdach mit Dachterrasse

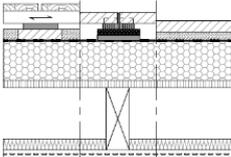
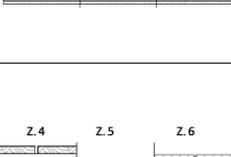
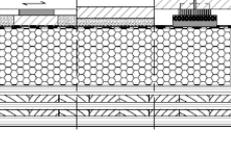
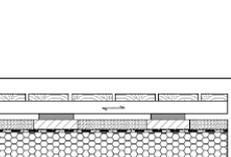
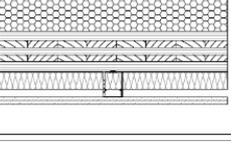
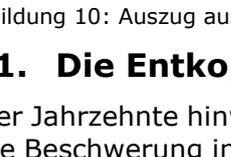
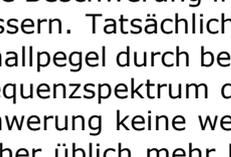
Sp.	1	2	3	4	5		
Z.	Bauteil	Dicke in mm	Grundbauteil	Dicke in mm	Aufbau	$L_{n,w}$ ($C_{T,20-2500}$)	R_w ($C_{T,20-2500}$)
1		≥ 140 EPS 035 DAA dh ≥ 25 Holzwerkstoffplatte ≥ 220 Balken 80/220, $e \geq 625$ mm ≥ 40 Hohlraumdämpfung 28 Federschiene, $e \geq 500$ mm $12,5$ Gipsplatte, $m' \geq 10$ kg/m ²	26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60$ kg/m ² Betonplatten unter Baulager Dachbahn	1,5 40 Betonplatten 40 Stelzlager 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz 1,5 Dachbahn	31* (19)	64* (-16)	
2			26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60$ kg/m ² Betonplatten unter Baulager Dachbahn	1,5 40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40$ kg/m ² 1,5 Dachbahn	45* (4)	51* (-6)	
3			26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60$ kg/m ² Betonplatten unter Baulager Dachbahn	1,5 40 Betonplatten 40 Stelzlager 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz 1,5 Dachbahn	58* (2)	53* (-6)	
4		≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 140 Brettsperrholz/Brett- schichtholz $m' \geq 68$ kg/m ²	26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60$ kg/m ² Betonplatten unter Baulager Dachbahn	1,5 40 Betonplatten 40 Stelzlager 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz 1,5 Dachbahn	52* (1)	38* (-5)	
5		≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 140 Brettsperrholz/Brett- schichtholz $m' \geq 68$ kg/m ² ≥ 60 Mineralwolle auf CD Profilen 90 Direktschwingabhängiger $e \geq 750 \times 500$ mm, $f_0 \leq 28$ Hz CD Profil $e \geq 500$ mm 12,5 Gipsplatte, $m' \geq 10$ kg/m ² 12,5 Gipsplatte, $m' \geq 10$ kg/m ²	26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60$ kg/m ² Betonplatten unter Baulager Dachbahn	1,5 40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40$ kg/m ² 1,5 Dachbahn	31* (23)	72* (-26)	
6			26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60$ kg/m ² Betonplatten unter Baulager Dachbahn	1,5 40 Betonplatten 40 Stelzlager 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz 1,5 Dachbahn	52* (1)	38* (-5)	
7		≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 140 Brettsperrholz/Brett- schichtholz $m' \geq 68$ kg/m ² ≥ 60 Mineralwolle auf CD Profilen 90 Direktschwingabhängiger $e \geq 750 \times 500$ mm, $f_0 \leq 28$ Hz CD Profil $e \geq 500$ mm 12,5 Gipsplatte, $m' \geq 10$ kg/m ² 12,5 Gipsplatte, $m' \geq 10$ kg/m ²	26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 20$ Hz $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60$ kg/m ² Betonplatten unter Baulager Dachbahn	1,5 40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40$ kg/m ² 1,5 Dachbahn	31* (23)	72* (-26)	

Abbildung 10: Auszug aus dem Bauteilkatalog für Dachterrassen

3.1. Die Entkopplung der Unterdecke als Auslegungsparameter

Über Jahrzehnte hinweg hat es sich als probates Mittel erwiesen, Holzbalkendecken durch eine Beschwerung in Verbindung mit einer Unterdecke hinsichtlich des Trittschalls zu verbessern. Tatsächlich ist es unumstritten, dass der bewertete Standard- oder Normtrittschallpegel durch beide Maßnahmen erheblich verbessert wird. Wird jedoch das erweiterte Frequenzspektrum durch den $C_{T,50-2500}$ ergänzend betrachtet, so ist durch eine Zusatzbeschwerung keine wesentliche Verbesserung zu erwarten. Für die Verbesserungen war es bisher üblich mehr Masse auf die Decke zu bringen, was zu statischer Zusatzlast führt. Dies führt zu Mehrkosten durch eine zusätzliche Bauteilschicht sowie durch die größere statische Belastung.

In Abbildung 11 ist zu sehen, dass die Beschwerung für die Minderung der tieffrequenten Trittschallübertragung keine Verbesserung bringt. Wird dagegen die Masse und die Federungseigenschaft der Unterdecke verändert, tritt eine Verbesserung im Frequenzbereich unter 100 Hz ein, siehe Abbildung 12. Die Eigenschaften wurden im Zuge der Messserien für das Handbuch explizit untersucht und mit praxistauglichen Konstruktionen belegt. Dabei wurde für die Messungen ein optimierter Abhängiger entwickelt, welcher speziell die tiefen Frequenzen anspricht und gleichzeitig dem Vorfertigungsgedanken der Holzbauweise entspricht.

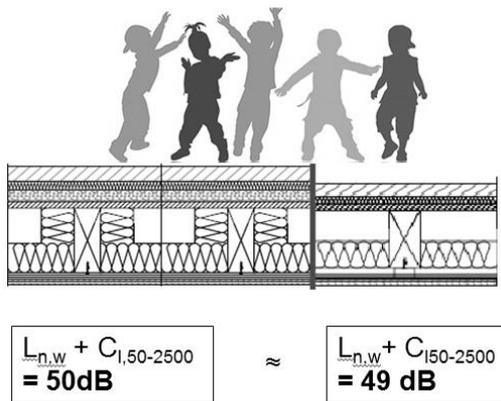


Abbildung 11: Decke links mit Schüttung / Decke rechts ohne Schüttung mit optimierter Unterdecke

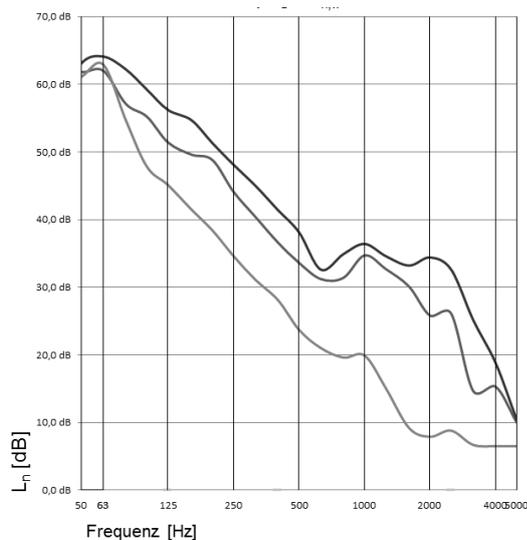


Abbildung 12: schematischer Verlauf des Normtrittschallpegels für Decken mit und ohne Beschwerung / rote Kurve: Holzbalkendecke mit 1-lagiger Unterdecken und optimierter Abhängung / blaue Kurve: wie rote Kurve jedoch mit 2-Lagiger Unterdecke / grüne Kurve: Holzbalkendecke mit Schüttung und Unterdecke auf Standardfederschiene

Als wichtige Erkenntnis für Praxis kann festgehalten werden, dass die Erhöhung der Masse der Decke alleine nicht ausreichend ist. Es kommt vielmehr darauf an, wo im Deckenpaket diese Massenerhöhung angeordnet wird. Dazu werden im Bauteilkatalog des Handbuchs die Eigenfrequenzen der jeweiligen Unterdeckensysteme, als zusätzliches bauakustisch quantifizierendes Kriterium angegeben. Zielsetzung war es die Decken mit einer subjektiv wahrnehmbaren Verbesserung bei tiefen Frequenzen darzustellen und damit mit wirtschaftlichen Lösungen die Einhaltung der Zielwerte in Abbildung 2 zu erreichen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Teil 1 der Schriftreihen wird der Grundstein für weitere Teile hinsichtlich der Bewertung des Schallschutzes in Holzbauweise gelegt. Die Schrift enthält ein durchgängiges Konzept von der Zielwertvereinbarung über die Vorbemessung bis zu den verwendbaren Bauteilen. Wesentlich dabei ist, dass nicht nur das bisher bekannte zusammengefasst wird, sondern auch neue und teilweise erstaunliche Erkenntnisse gewonnen wurden. Ergänzend wurde ein Bauteilkatalog dargestellt, welcher die vorhandenen Lücken in anderen Bauteilkatalogen für den Holzbau schließt. Dabei wurde neben dem Schallschutz auch der Brandschutz als bemessungsmaßgebendes Element bei der Planung von Gebäuden berücksichtigt. Durch die längst überfällige Berücksichtigung der tiefen Frequenzen beim Trittschallpegel wird nun endlich auch die subjektive Wahrnehmung der Nutzer in ausreichender Weise gewürdigt. Dies führt zu einer erheblichen Steigerung des akustischen Komforts in Wohngebäuden und einer massiven Aufwertung der Holzbauweise. Mit dem geplanten Teil 2 und Teil 3 der Schriftreihe wird der Ansatz eines durchgängigen Konzepts komplettiert. Hier werden Flankenkennwerte und Rechenverfahren dargestellt, welche die schnell voranschreitende Entwicklung im Holzbau abbilden. Zudem werden die aufgezeigten Zielwerte mit der Berücksichtigung der tiefen Frequenzen einer psychoakustischen Validierung unterzogen, um die Wirksamkeit der Berücksichtigung wissenschaftlich zu untermauern.

Danksagung

Holzbau Deutschland Institut für die Koordination des Projekts
DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt für Förderung des Projekts
DHV Deutscher Holzfertigung-Verband e.V. für die Mitfinanzierung des Projekts
BDF Bundesverband Deutscher Fertigung e.V. die Mitfinanzierung des Projekts
Studiengemeinschaft Holzleimbau die Mitfinanzierung des Projekts
HS Rosenheim für die mühevollen und umfangreichen Ausarbeitungen der Bauteilkataloge
IFT Rosenheim für die Durchführung der Messungen
Begleitende Arbeitsgruppe für anregende Gespräche und Gedankenaustausch

Autoren der Schrift

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Niedermeyer, Holzbau Deutschland Institut e.V.
Prof. Dr. Ing. Andreas Rabold, Hochschule Rosenheim
Thomas Ecker, Anton Huber, Lukas Huissel, Sebastian Löffler Michael Scheuerpflug,
Hochschule Rosenheim (Bauteilkatalog)
Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik Adrian Blödt

Flankenübertragung an Holzbetonverbund-Decken – Eingangsdaten für ein Designtool

Stefan Schoenwald
Empa Materials Science and Technology
Dübendorf, Schweiz



Flankenübertragung an Holzbetonverbund-Decken -Eingangsdaten für ein Designtool

1. Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Schallschutz im Holzbau“ der Lignum Holzwirtschaft Schweiz untersucht die Empa experimentell die Schallübertragung von üblichen Holzbaukonstruktionen in der Schweiz und entwickelt ein online Planungstool, welches die gewonnenen Daten Planern und Ingenieuren möglichst intuitiv zur Prognose zur Verfügung stellt. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Luft- und Trittschalldämmung innerhalb eines Gebäudes zwischen Nutzungseinheiten. Die Strategie liegt darin, die schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen und Verbindungen so zu ermitteln, dass diese Daten anschliessend in einer Art „Baukastensystem“ kombiniert werden können, um die Direkt- und Flankenübertragung in Gebäuden rechnerisch zu ermitteln. Das angewandte Mess- und Prognoseverfahren zur Ermittlung der Eingangsdaten wurde bereits beschrieben [1]. Es ist an die normierten Verfahren der EN 12354 angelehnt [2,3].

Es gibt zwei Herausforderungen im Projekt. Zum einen sind es die mangelnden und zum Teil für manche üblichen Holzbauweisen gar nicht vorhandenen schalltechnischen Eingangsdaten für die Prognoseberechnung, da die Planung und Auslegung des Schallschutzes bisher oft auf der Erfahrung der Planer beruht. Die Herausforderung in diesem Teil ist vor allem der immense zeitliche und materielle Aufwand zur Durchführung der Studien. Die zweite weitaus größere der beiden Herausforderungen ist jedoch der Wissenstransfer um diese Daten auch einem breiten Anwenderkreis, der zum Teil über keine akustische Fachausbildung verfügt, verständlich und verfügbar zu machen. In diesem Beitrag wird auf beide Herausforderungen eingegangen.

2. Schalldämmung in Holzgebäuden

2.1. Übertragungswege

Die Schalldämmung zwischen benachbarten Räumen in Gebäuden resultiert aus der sogenannten direkten Schalldämmung des Trennbauteils, sowie der Flankenübertragung über eine Anzahl von Nebenwegen, wie in Abbildung 1 für die Stossstelle, einem sogenannten T-Stoss einer Trenndecke mit zwei flankierenden Aussenwänden dargestellt ist.

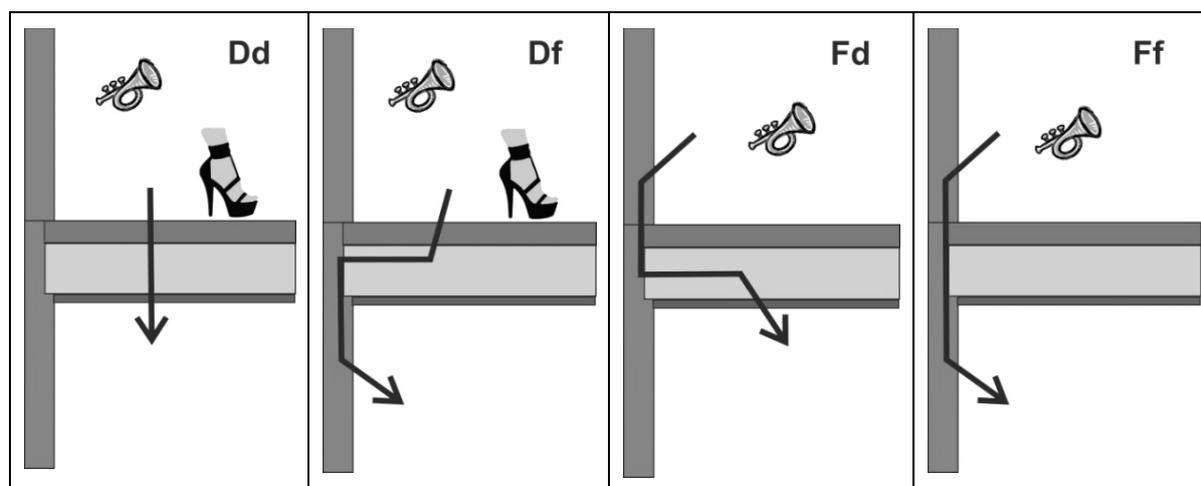


Abbildung 1: Schematische Darstellung der relevanten Übertragungswege (Direkt und primäre Nebenwege) eines Boden-Wand-T-Stoßes für Luft- und Trittschallanregung. Die Bezeichnung der Nebenwege entspricht dem Schema der EN 12354.

Bei den Nebenwegen werden Bauteile, die mit dem Trennbauteil verbunden sind im Senderraum angeregt oder strahlen Schall im Empfangsraum ab. An dem Bauteilstoss, der Verbindung zwischen den Bauteilen, wird hierbei Körperschall zwischen den gekoppelten Bauteilen übertragen. Für die Luftschallübertragung gibt es an jeder Stosstelle drei Nebenwege („Df“, „Fd“ und „Ff“) und für Trittschallübertragung jeweils nur einen zusätzlichen Weg („Df“), da hier nur der Fussboden angeregt wird. Die Bezeichnung erfolgt gemäss EN ISO 12354, wobei „D“ bzw. „d“ das direkte Bauteil und „F“ bzw. „f“ die Flanke bezeichnet. Grossbuchstaben stehen für den Senderraum und Kleinbuchstaben für den Empfangsraum. Bei einem rechteckigen Raumgrundriss mit 2 Räumen übereinander gibt es also insgesamt 12 zusätzliche Nebenwege für die Luftschallübertragung und nur vier für den Trittschall.

Das sogenannte Bau-Schalldämmmaß R' zwischen übereinanderliegenden Räumen im Gebäude ergibt sich somit bei der Planung aus der Bilanz der Schalldämmmaße R_{ij} aller 13 möglichen Übertragungswege gemäß Gleichung (1), wobei Index m die Stoßstelle bezeichnet.

$$R' = -10 \lg \left[10^{-0.1 \cdot R_{Dd}} + \sum_{m=1}^4 (10^{-0.1 \cdot R_{Df,m}} + 10^{-0.1 \cdot R_{Fd,m}} + 10^{-0.1 \cdot R_{Ff,m}}) \right] \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Zur Ermittlung des Bau-Norm-Trittschallpegels L'_n wird der Norm-Trittschallpegel $L_{n,Dd}$ der Direktübertragung und des Nebenwegs $L_{n,Df}$ der vier Stoßstellen energetisch aufsummiert.

$$L'_n = 10 \lg \left[10^{0.1 \cdot L_{n,Dd}} + \sum_{m=1}^4 10^{0.1 \cdot L_{n,Df,m}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

2.2. Prognoserechnung

Das Ziel der Prognoserechnung ist es nun die Luft- und Trittschallübertragung der einzelnen Nebenwege hinreichend genau zu berechnen, damit sie mittels den Gleichungen 1 und 2 energetisch auf bilanziert werden können.

Die Schalldämmung eines Nebenwegs hängt hierbei zum einen von der Anregbarkeit des Bauteils im Senderraum, der Körperschallübertragung innerhalb dieses Bauteils, der Körperschallübertragung an der Verbindung zwischen den Bauteilen am Bauteilstoss, der Körperschallausbreitung im Bauteil auf der Empfangsseite, sowie dessen Luftschallabstrahlung ab. Eine detaillierte getrennte Beschreibung der fünf Mechanismen ist für jede einzelnen Kombination von Bauteilen und jeden Übertragungsweg nicht einfach möglich und für ein Ingenieursmodell auch gar nicht nötig. Die Strategie der Empa besteht darin die Luft- und Trittschalldämmwerte für typische Bauteile und Bauteilstöße zu ermitteln. Es wird zunächst die Schalldämmung von sogenannten Grundbauteilen bzw. Grundstößen, das heisst von Bauteilen ohne zusätzliche Vorsatzschalen oder andere schalltechnische Massnahmen, betrachtet. In einem zweiten Schritt wird die Verbesserung der Schalldämmung durch eben diese Massnahmen an Hand von sogenannten Verbesserungsmassen zu der Schalldämmung des Grundstosses hinzugerechnet. Hierbei muss jedoch sichergestellt werden, dass diese Verbesserungsmasse kompatibel zu den Grundbauteilen, den jeweiligen Übertragungswegen und die betrachtete Anregungssituation sind. Das Verfahren ist beispielhaft für den Weg „Df“ in Abbildung 2 dargestellt. Anschliessend werden die so ermittelten Schalldämmmasse und Normtrittschallpegel der Nebenwege, unter Berücksichtigung des Verhältnisses der jeweiligen Bauteilstosslängen zur Fläche des Trennbauteils auf die zu prognostizierende Bausituation angepasst und schliesslich energetisch aufbilanziert. Die Berechnungen werden jeweils mit frequenzabhängigen Daten im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5 kHz durchgeführt. Das Verfahren wurde bereits detailliert in [1] beschrieben.

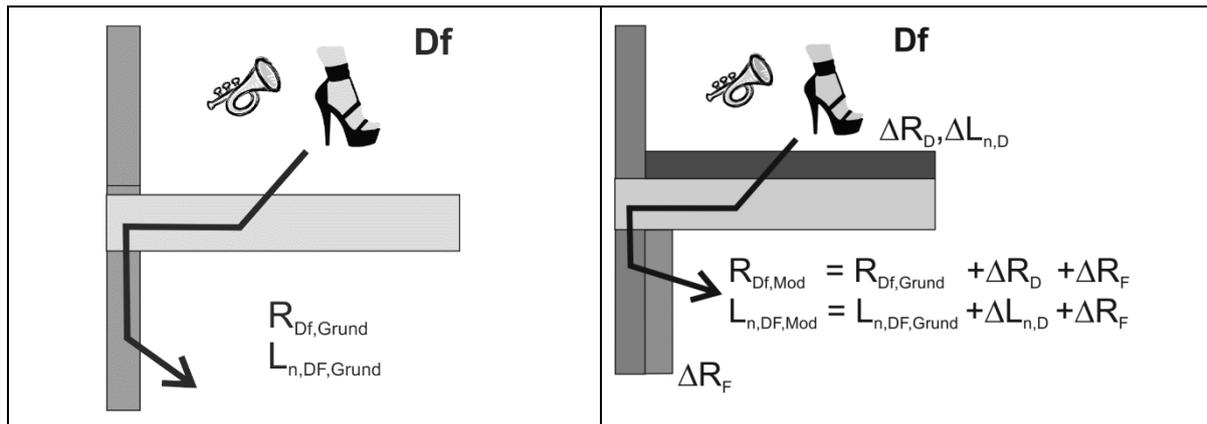


Abbildung 2: Ermittlung des Flankenschalldämm-Mass $R_{Df,Mod}$ und des Flanken-Normtrittschallpegels $L_{n,Df}$ aus den Daten des Grundstosses (links) und mit der Berücksichtigung der Verbesserungsmasse für einen zusätzlichen Fussbodenaufbau ΔR_D bzw. $\Delta L_{n,D}$ und das einer Wandvorsatzschale ΔR_F (rechts).

3. Ermittlung von Eingangsdaten

3.1. Durchführung der Untersuchungen

Die Eingangsdaten für die Prognose werden zurzeit experimentell in verschiedenen Versuchsaufbauten in den Labors der Empa ermittelt.

Im Empa Leichtbaulabor [4], wo ganze Gebäudesegmente mit bis zu vier Räumen - mit zwei im Erdgeschoss und zwei darüber - aufgebaut und untersucht werden können, wurde die Luft- und Trittschallübertragung am Bauteilstoss gemäss EN ISO 10848 [5] und abgewandten Methoden [6, 7] untersucht. Der Empa Leichtbauprüfstand ist in Abbildung 3 exemplarisch dargestellt.

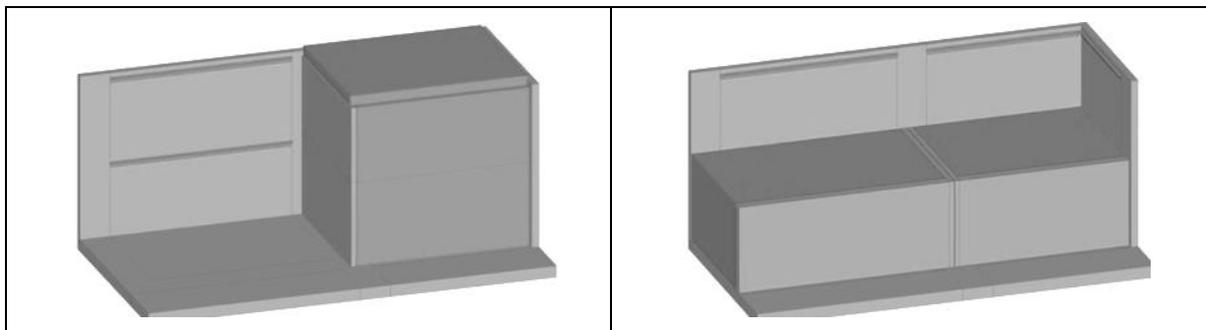


Abbildung 3: Dreidimensionale Prinzipdarstellung der Geometrie des Leichtbauprüfstands mit der massiven Grundkonstruktion, den eingebauten Prüfkörpern und den versetzbaren Default-Abschlusselementen. Der linke Bildteil zeigt den Prüfandaufbau für die Messung der vertikalen Schallübertragung, der rechte Bildteil zeigt den Prüfandaufbau für die Messung der horizontalen Schallübertragung.

Parameterstudien zur direkten Luftschalldämmung von Holzwänden wurden im akkreditierten Wandprüfstand der Empa gemäss EN ISO 10140-2 [8] durchgeführt. Hier wurde die Schalldämmung der Grundkonfiguration der Wand bestimmt und anschliessend die Verbesserungsmasse durch zusätzliche Wandschalen oder Änderungen der Schalldämmung durch andere einzelne konstruktive Massnahmen, zum Beispiel ein Austausch der Beplankung, ermittelt.

Die direkte Luft- und Trittschalldämmung von Holzdecken, sowie Parameterstudien an schwimmenden Fussbodenaufbauten, zum Beispiel zur Ermittlung des Einflusses der Trittschalldämmplatten oder Kiesschüttungen, wurden bisher ebenfalls im Leichtbauprüfstand gemäss EN ISO 10848 durchgeführt. Hier erwies sich aber der Einbau der Deckenelemente und Fussbodenaufbauten als recht aufwändig und verzögerte die Untersuchungen zur Nebenwegsübertragung. Im Sommer 2018 wurde daher ein neuer akkreditierter Versuchsaufbau zur Untersuchung der Direktschalldämmung von Holzdecken nach EN ISO 10140-2 [8] und EN ISO 10140-3 [9] eingeweiht [10]. Er ist in Abbildung 4 dargestellt und besteht aus zwei entkoppelten Räumen zwischen welche die Trenndecke in einen Prüfraum eingebaut werden kann. Zur einfacheren Montage von vorgefertigten

Deckenelementen kann der obere der beiden Räume komplett mit einem Hallenkran abgehoben werden, so dass sich Umbauzeiten signifikant verkürzen. Für Parameterstudien an Fussbodenaufbauten stehen zwei vollflächige Estrichelemente, d.h. eine Zementestrichplatte und eine Trockenestrichplatte, zur Verfügung, die ebenfalls komplett mit dem Kran eingehoben werden können.

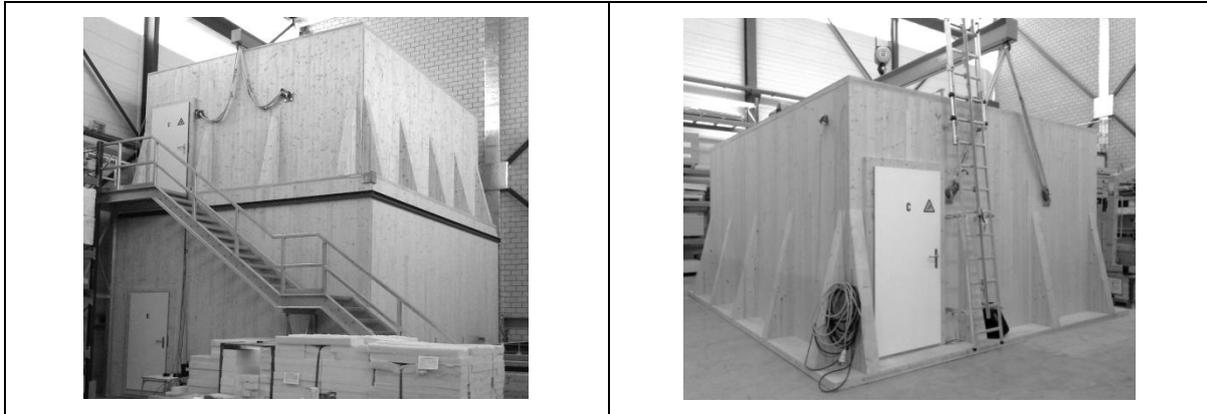


Abbildung 4: Der neue Versuchsaufbau zur Untersuchung der Luft- und Trittschalldämmung nach EN ISO 10140 von leichten Deckenkonstruktionen der Empa. Links: der Prüfstand mit den beiden übereinanderliegenden Räumen, rechts: der komplette obere Raum wird zur Montage von Deckenelementen abgehoben.

3.2. Untersuchte Konstruktionen

Von der Vielzahl von möglichen Holzbaukonstruktionen und Übertragungssituation im üblichen mehrgeschossigen Holzbau wurde vor allem die Flankenübertragung zwischen übereinanderliegenden Räumen über lastabtragende Aussenwände als kritisch eingestuft und daher ist das Hauptaugenmerk zuerst auf diese Situationen gerichtet. Eine Übersicht der bisher im Rahmen des Projekts „Schallschutz im Holzbau“ durch die Empa untersuchten Bauteilstöße ist in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Übersicht der bereits untersuchten Bauteilstöße

Übertragungsrichtung	Stoss	Trennelement	Flankenelement	Elementverbindungen
vertikal	T-Stoss	Holzbetonverbund-Rippendecke	Ständerwände, lastabtragend	starr
vertikal	T-Stoss	Holzbetonverbund-Rippendecke	Massivholzwände, lastabtragend	starr
vertikal	T-Stoss	Brettschichtholz-Decke	Ständerwände, lastabtragend	starr
vertikal	T-Stoss	Brettschichtholz-Decke	Massivholzwände, lastabtragend	starr, entkoppelte Varianten
vertikal	T-Stoss	Holzbetonverbund-Decke	Ständerwände, lastabtragend	starr, entkoppelte Varianten
vertikal	T-Stoss	Holzbetonverbund-Decke	Massivholzwände, lastabtragend	starr, entkoppelte Varianten
vertikal, horizontal	X-Stoss	Holzbetonverbund-Decke	Ständerwände, nicht lastabtragend	starr

Als nächstes sind Untersuchungen an T-Stößen aus Massiv- und Ständerwänden mit einer Hohlkastendecke als Trennelement, sowie einer gewöhnlichen Holzbalkendecke geplant. Bei den Trenndeckensystemen wurden jeweils eine Vielzahl an verschiedenen schwimmenden Fussbodenaufbauten mit unterschiedlichen Trittschalldämm-Matten und Bodenkonstruktionen, Kiesschüttungen zur Beschwerung sowie unterschiedliche Dach- und Dachterrassenaufbauten untersucht. Auf der Unterseite wurden jeweils verschiedene

direkt aufgebrachte Brandschutzbeplankungen aus Gips- oder Gipsfaserplatten, sowie geschlossenen Unterdecken, mit verschiedenen Beplankungen, Unterkonstruktionen und Abhängesystemen untersucht.

Bei den flankierenden Ständerwänden wurde jeweils der Einfluss von verschiedenen Beplankungsmaterialien, Anzahl Schichten aber auch von zusätzlichen Lagen, wie zum Beispiel zusätzliche Vorsatzschalen oder auch Wärmedämmverbundsysteme mit jeweils verschiedenen Aufbauten ermittelt.

4. Beispiel Holzbetonverbund-Decke

Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse der Untersuchungen an Bauteilstößen mit einer Holzbetonverbund-Decke vorgestellt.

4.1. Konstruktionsdetails

Es wurden zwei Wand-Decken Stöße mit jeweils einer Holzbetonverbund-Decke als Trennbauteil untersucht. Der erste ist ein typischer T-Stoss bei der die Decke am Rand auf einer tragenden 240 mm Holzständerwand aufliegt. Beim dem zweiten Stoss handelt es sich um einen Kreuz-(X-)Stoss mit jeweils einer nichttragenden Innenwand unten und oben.

Die Holzbetonverbund-Decke ist wie folgt von oben nach unten aufgebaut:

- 120 mm bewehrter Ortbeton, über Schubkerven (6 Stück 25mm x 200 mm) und Schrauben (6 Reihen, 8 x 160 mm Verbundschrauben, Abstand 200 mm), schubsteif mit Holz verbunden
- 120 mm Brettstapeldecke, Fichte/Tanne, gedübelt mit stehenden Lamellen

Der Aufbau der lastabtragenden Außenwände ist von innen nach außen ist wie folgt:

- 15 mm Holzwerkstoffplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk geklammert
- 240 mm Holztragwerk mit Ständerwerk 60 mm x 240 mm und 625 mm Achsabstand, dazwischen:
240 mm Wärmedämmung aus Mineralwolle, Wärmeleitfähigkeit <0.035 W/mK und Strömungswiderstand >5 kPa/s m^2
- 15 mm Gipsfaserplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk geklammert

Die nicht lastabtragenden Innenwände sind jeweils wie folgt aufgebaut:

- 15 mm Gipsfaserplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk verschraubt
- 140 mm Holztragwerk mit Ständerwerk 60 mm x 140 mm und 625 mm Achsabstand, dazwischen:
140 mm Wärmedämmung aus Mineralwolle, Wärmeleitfähigkeit <0.035 W/mK und Strömungswiderstand >5 kPa/s m^2
- 15 mm Gipsfaserplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk verschraubt

Bei dem Aussenwand T-Stoss sind im Folgenden zwei Anschlussvarianten näher untersucht.

T-Stoss 1 ist in Abbildung 5 auf der linken Seite dargestellt. Die Decke liegt hierbei auf der unteren Wand in einem ausgefalteten Sturz auf. Das Stirnholz am Sturz ist aus Furnierschichtholz gefertigt und der Brettstapeldecke ist schräg mit dem Stirnholz (6 x 200 mm, Abstand 300 mm) verschraubt. Zusätzlich ist der Ortbeton mit dem Stirnholz der unteren Wand mit Ankern (Verbundschrauben, 6 x 100 mm, Abstand 300 mm), die mit dem Beton vergossen sind, verbunden. Die obere Wand sitzt auf der Kopfschwelle der unteren Wand auf und ist von aussen schräg an jedem Ständer mit der unteren verschraubt. Zwischen der oberen Wand und der Betondecke wurde ein Holzstreifen zum Höhenausgleich eingelegt. Dieser Anschluss entspricht der Standardverbindung bei dem Anschluss der Decke in der statischen Spannrichtung.

Bei dem T-Stoss 2 in der Abbildung 5 auf der rechten Seite ist die untere Wand nicht mit Betonankern mit der Decke verbunden. Diese Variante war für den Anschluss an eine Aussenwand parallel zur Hauptspannrichtung angedacht.

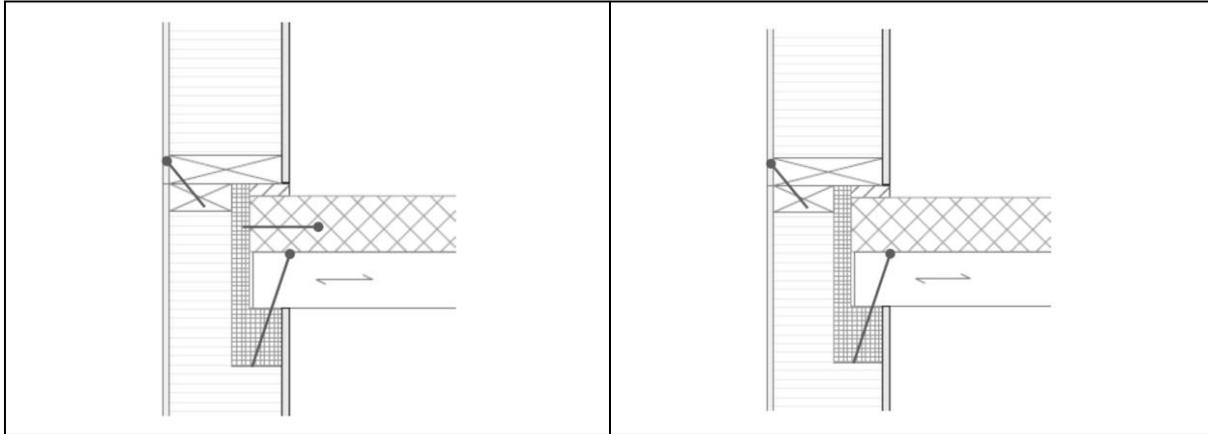


Abbildung 5: Der T-Stoss zwischen 240 mm Holzbetonverbund-Decke und lastabtragender 240 mm Holzständerwand. Links T-Stoss 1 mit Betonankern in der unteren Wand verschraubt, rechts T-Stoss 2 ohne die Betonanker.

Der X-Stoss mit den nichtlastabtragenden Innenwänden ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Trenndecke ist am Stoss durchlaufend. Die untere Wand hat eine doppelte Kopfschwelle und ist mit einer gleitenden Verbindung zum Höhenausgleich angeschlossen. Das heißt oberhalb des oberen Rahmenabschlussholzes befindet sich ein zweites Kantholz, welches direkt mit der Decke verschraubt ist. Zwischen den beiden Kanthölzern, die nicht direkt miteinander verbunden sind, befindet sich ein Luftspalt. Die Wandbeplankung ist beidseitig nur mit dem unteren Rahmen verschraubt und steht jedoch an der Oberseite bis zum Deckenlagerholz über, so dass die Decke sich vertikal bewegen kann und die Wand jedoch gleichzeitig horizontal gesichert ist. Die obere Wand steht direkt auf dem Beton auf und ist durch die Schwelle in dem Beton verschraubt.

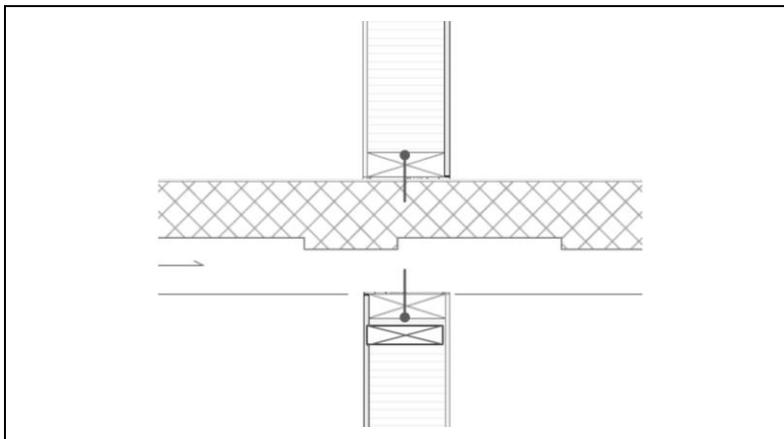


Abbildung 6: Der X-Stoss zwischen 240 mm Holzbetonverbund-Decke und nicht lastabtragenden 140 mm Holzständerwänden.

4.2. Massgebliche Übertragungswege T-Stoss

Die Schallübertragung ist jeweils für die einzelnen Übertragungswege am T-Stoss aus Abbildung 1 als Flanken-Schalldämm-Masse R_{ij} oder Flanken-Norm-Trittschallpegel $L_{n,ij}$ angegeben. In Bereichen bei tiefen und hohen Frequenzen, in denen die Übertragung durch die Flankenwege auf Grund der angewandten Methode nicht genau bestimmt werden kann, wurde wie in [1] beschrieben eine konservative Abschätzung durchgeführt. Diese ist an dem geraden Verlauf der dargestellten Schalldämm-Masse ersichtlich. In Abbildung 7 sind die Schalldämm-Masse für den T-Stoss 1 mit den Betonankern dargestellt. Für diesen Grundstoss ohne zusätzliche Boden-, Wand- und Deckenaufbauten ist die direkte Schalldämmung der Trenndecke, ganz deutlich am geringsten. Unterhalb von 500 Hz tragen alle drei Nebenwege in etwa gleich zur Flanken-Übertragung am Stoss (graue Linie) bei, wobei das Schalldämm-Mass des „Df“ Weges, von der Decke zur Seitenwand etwas geringer als die der beiden anderen Wege ist. Während die Schalldämm-Masse des „Fd“ und „Df“ Weges oberhalb von 500 Hz mit unterschiedlicher Steigung weiter

ansteigen, bleibt das Schalldämm-Mass des Wand-Wand-Weges „Ff“ konstant und verringert sich im Bereich der Koinzidenzfrequenz der inneren Wandbeplankung bei 2000 Hz. Dadurch ändert sich die Rangordnung und die Schallübertragung am Stoss ist massgeblich durch die beiden Wände und deren guter Verbindung untereinander bestimmt. Durch die punktförmige Verbindung der Wand mit dem Beton über die Wandanker, „koppelt“ diese Masse aus akustischer Sicht bei hohen Frequenzen von der Stoss-Stelle ab und es kann sehr gut Körperschall zwischen den beiden direkt miteinander verbundenen Wänden übertragen werden.

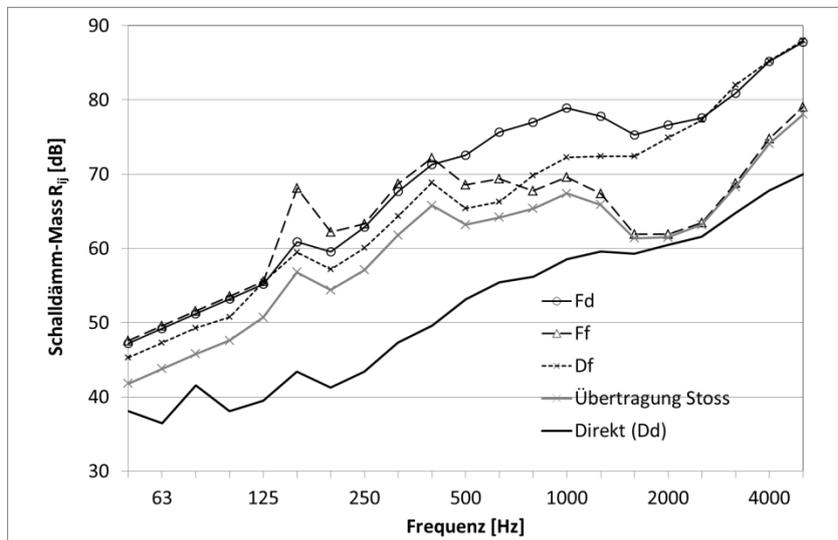


Abbildung 7: Schalldämm-Masse der einzelnen Übertragungswege am T-Stoss 1 mit den Betonankern.

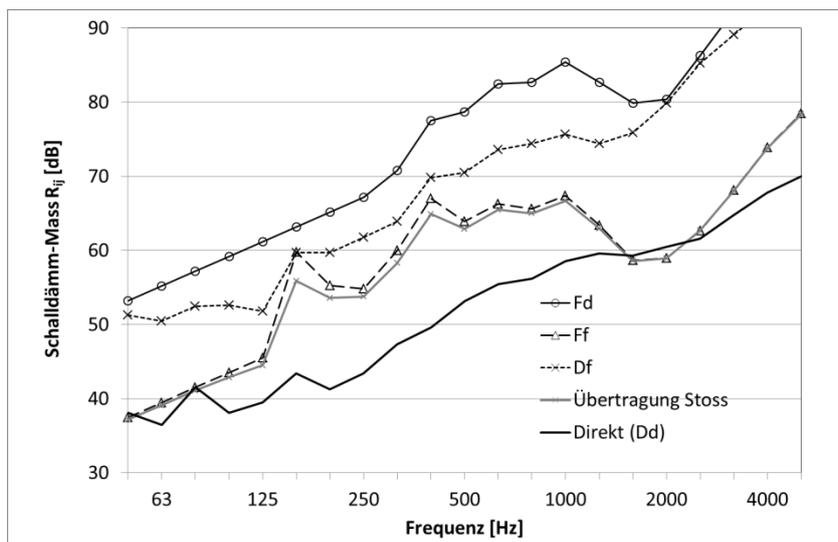


Abbildung 8: Schalldämm-Masse der einzelnen Übertragungswege am T-Stoss 2 ohne die Betonanker.

Der T-Stoss 2 ist für Anschlüsse, bei denen keine statischen Kräfte zwischen dem Beton und der unteren Wand übertragen werden sollen, angedacht. Durch den Verzicht auf die Betonanker, wird die Körperschallübertragung zwischen der Trenndecke und der unteren Wand etwas verringert. So ist das Flankenschalldämm-Mass des „Df“ Weges in Abbildung 8 etwas höher als für den T-Stoss 1 mit den Betonankern in Abbildung 7. Gleiches gilt ebenso für das Schalldämm-Mass für den „Fd“ Weg, da die obere Wand nur auf den Beton aufgestellt ist, und somit nur mit der unteren Wand und darüber nur mit der unteren Lage der Trenndecke kraftschlüssig verbunden ist. Auf den ersten Blick überraschend ist jedoch die Abnahme des Schalldämm-Masses des „Ff“-Weges. Jedoch ist ohne die Anker die Masse der Ortsbetonauflage im Bereich der Stoss-Stelle nicht mehr direkt an die untere Wand angekoppelt, wodurch im gesamten betrachteten Frequenzbereich mehr Körperschall zwischen den beiden Wänden übertragen werden kann. Der „Ff“-Weg bestimmt nun im gesamten Frequenzbereich die Übertragung am Stoss.

Die Norm-Trittschallpegel sind für die Übertragungswege an beiden T-Stößen in Abbildung 9 dargestellt. Auch hier ist die direkte Übertragung durch die Rohdecke massgeblich, die Flanken-Norm-Trittschallpegel für den Weg „Df“ sind wesentlich geringer. Ohne die Betonanker verringert sich der Norm-Trittschallpegel des Wegs „Df“ oberhalb von 160 Hz.

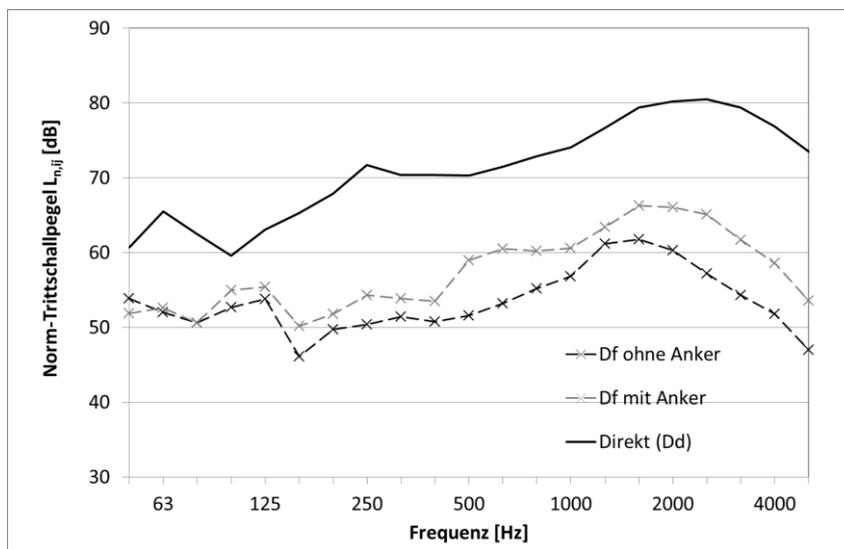


Abbildung 9: Norm-Trittschallpegel für die direkte und Flankenübertragung an den beiden T-Stößen.

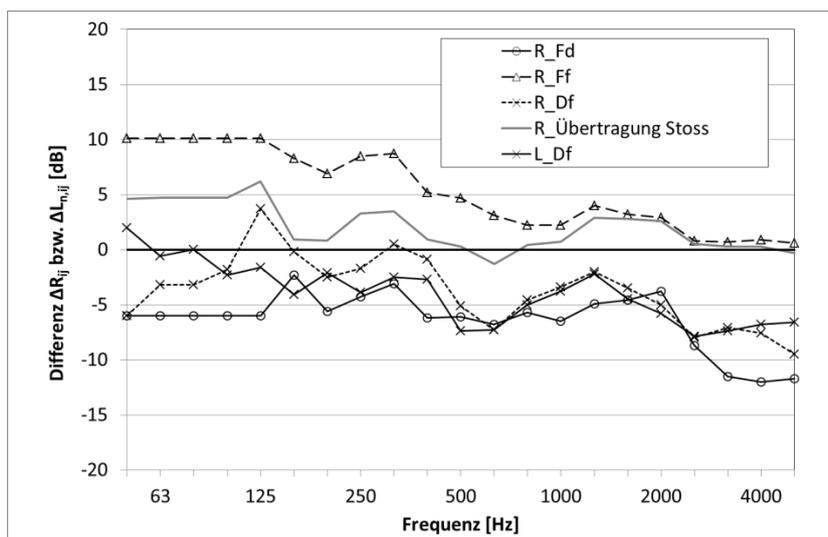


Abbildung 10: Einfluss der Betonanker auf die Schalldämm-Masse und Norm-Trittschallpegel der einzelnen Übertragungswege.

In Abbildung 10 sind die Differenzen der Flanken-Schalldämmmasse R_{ij} und der Flanken-Norm-Trittschallpegel $L_{n,ij}$ für die einzelnen Übertragungswege mit und ohne die Betonanker dargestellt. Positive Werte zeigen hierbei eine Verbesserung und negative Werte eine Verschlechterung der Schalldämmung durch die Betonanker an.

Dabei wird noch einmal deutlich, dass die Schalldämmung für den „Ff“-Weg mit den Betonankern durch die angekoppelte Masse immer besser ist als ohne die Anker. Bei tiefen Frequenzen beträgt die Verbesserung bis zu 10 dB. Für die beiden anderen Wege „Fd“ und „Df“ verschlechtert sich die Schalldämmung, wobei die Änderung beim „Df“-Weg für Luft- als auch Trittschall insbesondere bei hohen Frequenzen sehr gut übereinstimmen. Eine erreichbare Verbesserung durch das Weglassen der Anker, beträgt also für die beiden Wege unterhalb von 500 Hz maximal ca. 5 dB und bei hohen Frequenzen maximal ca. 10 dB. Da bei hohen Frequenzen auch mit Betonanker die Flankenübertragung über den Stoss ohnehin durch den Direktdurchgang durch die Decke und den Weg „Ff“ bestimmt ist, führt ein Verzicht auf die Betonanker bei dem betrachteten Stoss nicht zu einer Verbesserung. Die gesamte Flanken-Schalldämmung ist mit den Betonankern grösser (Abbildung 10, graue Linie).

4.3. Massgebliche Übertragungswege X-Stoss

Im Folgenden werden nur die vertikalen Übertragungswege an dem X-Stoss mit der durchlaufenden Holzbetonverbund-Decke und den nicht lastabtragenden Ständerwänden dargestellt und erläutert. Die horizontale Übertragung ist weitaus komplexer und es ist geplant diese in einem separaten Beitrag zu behandeln. Die Bezeichnung der Wege entspricht der Abbildung 1 mit der Besonderheit, dass die Trenndecke auf der linken Seite weiterläuft. Da der Stoss und die Bauteile achsensymmetrisch zu den Trennwänden sind, gelten die Schalldämmwerte der Übertragungswege auch für die auf die linke Seite gespiegelte Situation.

In Abbildung 11 ist noch einmal das Direktschalldämm-Mass der Trenndecke, sowie neu die Flankenschalldämm-Masse der Nebenwege am nicht lastabtragenden Stoss dargestellt. Es ist deutlich, dass die Flankenschalldämmung für alle Wege sehr viel grösser als für den Aussenwandstoss ist. Grund sind die nicht lastabtragenden Wände, welche nicht direkt miteinander und jeweils nur mit einer der beiden Schichten der Trenndecke verbunden sind. Dies gilt insbesondere für den „Ff“ Weg, der eine so hohe Schalldämmung aufweist, dass diese nur sehr schwer messtechnisch zu ermitteln ist. Die dargestellten Werte sind eine konservative Abschätzung, aber sie zeigen deutlich, dass der Übertragungsweg für eine Planung ohnehin irrelevant ist.

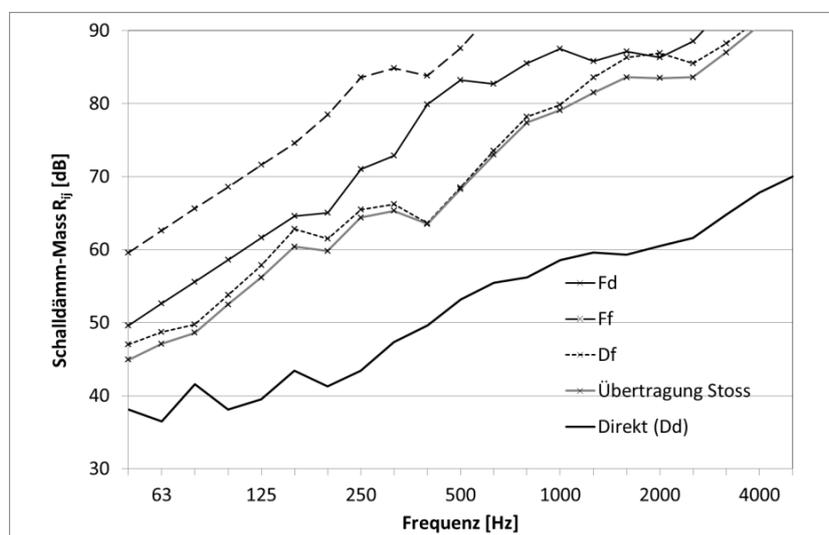


Abbildung 11: Schalldämm-Masse der einzelnen vertikalen Übertragungswege am X-Stoss mit nicht-tragenden Wänden.

Aber auch die Schalldämm-Masse der beiden Wege „Df“ und „Fd“ sind mindestens 10 dB und im weiten Frequenzbereich auch über 20 dB grösser als die der Trenndecke. Die Übertragung ist wie später deutlich wird auch auf diesen Wegen zu vernachlässigen, da diese durch notwendige Schallschutzmassnahmen an der Trenndecke, zum Beispiel schwimmender Fussbodenaufbau oder Abhangdecke, im etwa gleichen Masse wie die Direktschalldämmung verbessert werden. Überraschenderweise ist die Schalldämmung des „Fd“ Wegs zwischen der direkt mit dem Beton verbundenen oberen Wand und der Trenndecke grösser als die des „Df“-Wegs zwischen der Trenndecke und der unteren Wand mit dem gleitenden Anschluss. Dies liegt daran, dass die freie Kopfschwelle durch die Trenndecke leichter in Bewegung versetzt werden kann und die daran anliegende Beplanung, insbesondere durch Rotation, stärker anregen kann. Dadurch wird mehr Körperschall übertragen. Die Fusschwelle mit dem mit ihr verbundenen Ständerwerk oben setzt hingegen der Decke einen grösseren Widerstand entgegen. Somit wird weniger Körperschall übertragen.

Ein gleiches Bild gilt für die Norm-Trittschallpegel in Abbildung 12. Die Direktübertragung durch die Trenndecke ist in diesem Fall ebenfalls massgeblich. Notwendige Massnahmen zur Verbesserung dieser durch Fussbodenaufbauten verringern die Flankenübertragung gleichfalls.

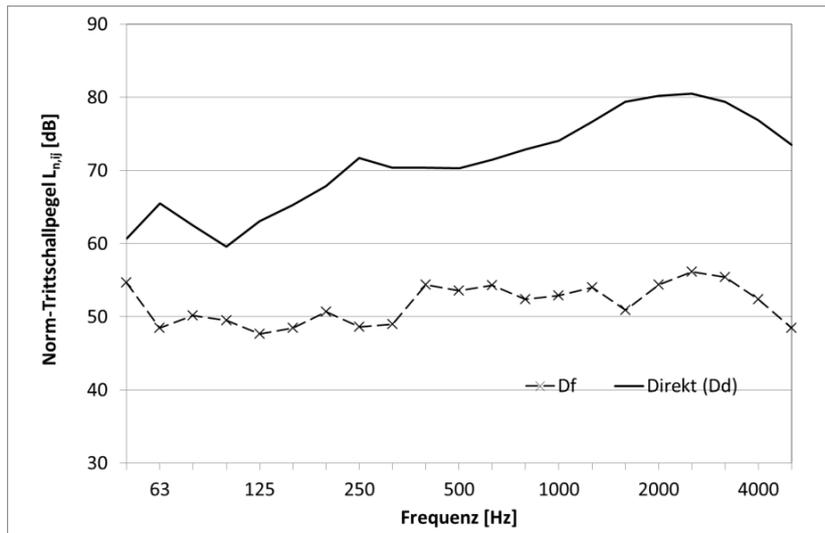


Abbildung 12: Norm-Trittschallpegel für die direkte und den vertikalen Flankenübertragungsweg am X-Stoss mit nicht-tragenden Wänden.

4.4. Prognose einer Bausituation

Mit den vorgestellten Daten wird die Bauschalldämmung in einer vereinfachten fiktiven Situation mit zwei übereinander liegenden quadratischen Räumen mit einer Stosslängde von jeweils 5 m abgeschätzt. Es wird hierbei weiter angenommen, dass an zwei Seiten der X-Stoss mit den nicht lastabtragenden Wänden vorhanden ist. An den beiden anderen Seiten befindet sich der T-Stoss 1 mit den Aussenwänden, wobei die untere durch Betonanker mit der Trenndecke verbunden ist. Als Bodenaufbau ist ein schwimmender Unterlagsboden aus 55 mm Calciumsulfat-Estrich auf einer 20 mm dicken Trittschalldämmung aus Mineralwolle (9 MN/m^3) und einer 30 mm dicken EPS-Ausgleichsschicht aufgebracht. An der Decke und den Wänden sind keine weiteren Massnahmen angebracht. Die Ergebnisse für die Luftschalldämmung der beiden Innenwandstösse sind in Abbildung 13 dargestellt. Des Weiteren sind dort auch die Direktschalldämmung sowie das resultierende Bau-Schalldämm-Mass bereits unter Berücksichtigung aller Aussenwandstösse dargestellt. Das Schalldämm-Mass der Trenndecke steigt durch den schwimmenden Fussbodenaufbau an, so dass es bei mittleren und hohen Frequenzen dem der Flankenübertragung über den schwächsten Nebenweg am Innenwandstoss entspricht.

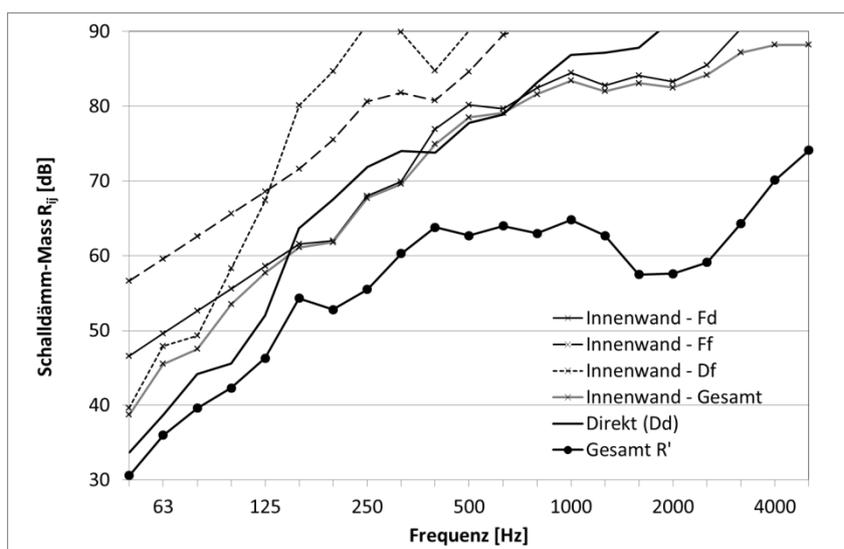


Abbildung 13: Schalldämm-Masse für die Übertragungswege durch das Trennbauteil und die Innenwandstösse, sowie Bau-Schalldämm-Mass auch mit Berücksichtigung der Aussenwandstösse

Mit einem bewerteten Schalldämm-Mass $R_w = 78 \text{ dB}$ hält die Trenndecke alleine auch erhöhte Anforderungen an den Luftschallschutz gut ein. Das bewertete Bau-Schalldämm-Mass $R'_w = 62 \text{ dB}$ ist jedoch sehr viel geringer.

Ein Blick in Abbildung 14 auf die Schalldämm-Masse des Aussenwand-Stosses zeigt nun deutlich, dass das Bau-Schalldämm-Mass durch die Nebenwege „Ff“ und „Df“ begrenzt ist. Die Luftschalldämmung könnte daher weiter durch weitere Massnahmen an der Aussenwand, wie zum Beispiel eine innenliegende Installationsebene mit Federschien, verbessert werden. Ohne Betonanker wie im T-Stoss 2 wäre die Bau-Schalldämmung durch die grössere Übertragung am Weg „ff“ noch geringer.

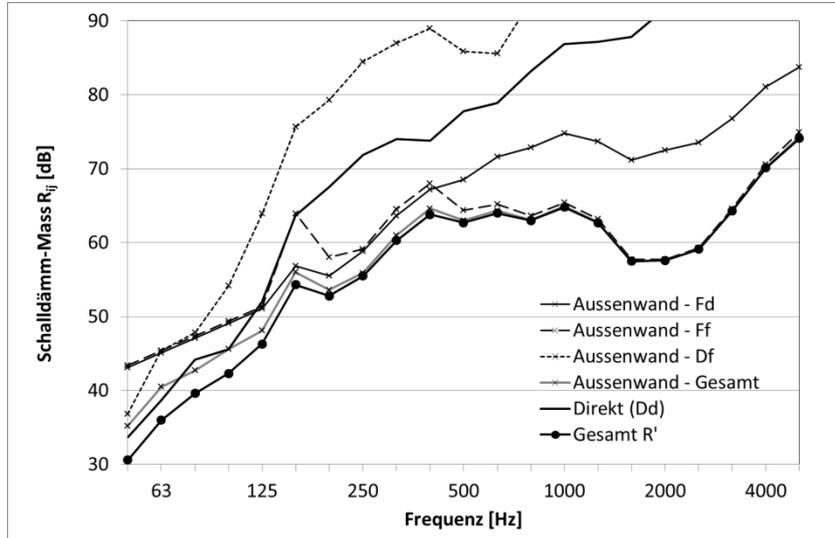


Abbildung 14: Schalldämm-Masse für die Übertragungswege durch das Trennbauteil und die Innenwandstösse, sowie Bau-Schalldämm-Masse auch mit Berücksichtigung der Innenwandstösse

Abbildung 15 zeigt jedoch, dass der Bau-Norm-Trittschallpegel im wesentlichen durch die Direktübertragung bestimmt und nur marginal durch die Flankenübertragung beeinträchtigt ist. Die erreichbare Schalldämmung erfüllt mit einem $L_{n,w}(C_{I,C_{I,50-2500}}) = 49$ (-3, 5) dB gerade Bauakustische Mindestanforderungen. Daher wäre ein besserer Fussbodenaufbau, der ebenfalls die gleiche Verbesserung für die Nebenwege bringt oder eine Abhangdecke notwendig. Die Abhangdecke ist aber nur soweit wirksam bis sie durch die Nebenwegsübertragung beeinflusst wird. Beide Massnahmen haben Einfluss auf die Direktschalldämmung und den Weg „Fd“ bei der Luftschalldämmung. Daher würde diese Massnahmen ohne eine Verbesserung der Aussenwände nur eine begrenzte Verbesserung der Bau-Luftschalldämmung ergeben.

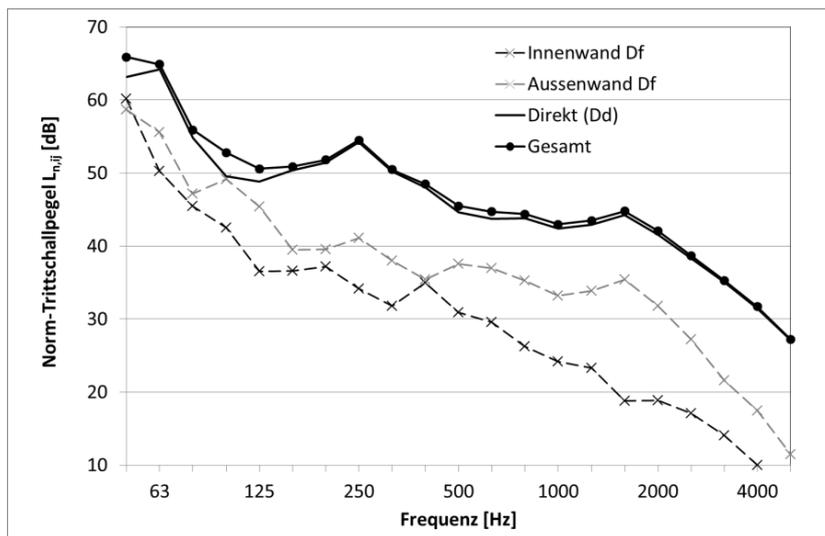


Abbildung 15: Norm-Trittschallpegel für die Übertragungswege durch das Trennbauteil und die Wandstösse, sowie Bau-Norm-Trittschallpegel

5. Ausblick - Wissenstransfer mit Online Designtool

Die in dem Projekt „Schallschutz im Holzbau“ bisher ermittelte Datengrundlage ist gross und wird weiter durch die geplanten weiteren Untersuchungen noch enorm zu nehmen. Wie im vorangegangenen Abschnitt deutlich wird, können die Daten recht flexibel zur Prognose der Schalldämmung von Situationen in Gebäuden verwendet werden. Jedoch ist diese Prognose nicht einfach und wenn die Massnahmen nicht gezielt geplant werden, können sie unter Umständen nicht zum erwünschten Ziel führen. Um den Datenpool auch für den Anwender ohne akustisch Fachausbildung verständlich und verfügbar zu machen, wird daher parallel zu den experimentellen Untersuchungen eine Datenbankstruktur und eine Online-App entwickelt, welche diese Möglichkeiten für Planer zur Verfügung stellt. In einer graphischen Benutzeroberfläche, wie in Abbildung 16 beispielhaft gezeigt, kann der Nutzer eine Bausituation aus Geometrie, den verfügbaren Bauteilen und deren Verbindungen zusammenstellen. Die erreichbare Schalldämmung wird wie in Abbildungen 13 bis 15 dargestellt. Der Nutzer kann nun zusätzliche Massnahmen an den Bauteilen oder der Verbindung der Elemente wählen. Gleichzeitig wird der dadurch erzielte Effekt dargestellt und der Nutzer kann nun die Kombination von Massnahmen optimal auf seine Situation anpassen und die Bauteilbeschreibungen und Ergebnisse als Einzahlwerte auszugeben. In einem zweiten Schritt ist geplant das Online-Tool in die Datenbank „www.Lignumdata.ch“ zu integrieren und BIM-fähig zu machen.

Abbildung 16: Entwurf einer graphische Benutzeroberfläche einer Online-App zur Prognose der Luft- und Trittschalldämmung in Holzgebäuden basierend auf den Daten aus dem Projekt „Schallschutz im Holzbau“.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Rahmen des Projekts „Schallschutz im Holzbau“ wurden experimentell bereits für eine Vielzahl von im Holzbau in der Schweiz typischen Bauteilen und deren Verbindungen Schallschutzdaten ermittelt. In Kombination mit Massnahmen an den Bauteilen (Vorsatzschalen, Fussbodenaufbauten und Abhangdecken) sowie deren Verbindungen an den Knoten können diese Daten gezielt zur Optimierung des Luft- und Trittschallschutzes angewandt werden. Dies wurde im Beispiel der vertikalen Übertragung durch eine Holzbetonverbund-Decke und deren Stossstellen erläutert. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Verbindungsdetails der Bauteile an den Knoten eine entscheidende Rolle für die notwendigen Massnahmen spielen. Vermeintliche Verbesserungen können zwar eine Verringerung der Übertragung für einen Übertragungsweg bringen, jedoch die Schalldämmung eines anderen weitaus kritischeren Übertragungsweges verschlechtern. Dies wurde am Beispiel des Verzichts auf die Betonanker am Wand-Decken-Anschluss der Holzbetonverbund-Decke aufgezeigt. Ausserdem wurde am Beispiel eines Kreuz-Stosses mit leichten

nichtlastabtragenden Ständerwänden gezeigt, dass diese für die Schallübertragung oft nicht relevant sind, wenn sie nicht verbunden und durch schwerere Bauteile getrennt sind. Daher wurde die Priorität der experimentellen Untersuchung bisher auf die Aussenwandstösse gelegt. In nächsten Schritten ist geplant, die horizontale Übertragung und in diesem Zusammenhang auch nichtlastabtragende Stösse zu untersuchen.

Um diese breite Datenbasis für ein breites Anwenderpublikum verfügbar zu machen, wird eine intuitive Online-App entwickelt, welche auf die Schallschutzdaten zugreift und den Schallschutz von Luft- und Trittschallschutz direkt darstellt. Der Nutzer braucht kein grundlegendes akustisches Verständnis und kann basierend auf den Bauteilbeschreibung und den zur Verfügung gestellten Bauteilen, Verbindungen und zusätzlichen Vorsatzschalen sich seine Bausituation zusammenstellen. Die dadurch erzielten Veränderungen werden direkt dargestellt und ermöglichen so eine Optimierung der Massnahmen.

Danksagung

Die vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „Schallschutz im Holzbau“ der Lignum Holzwirtschaft Schweiz und ihren Industriepartnern durchgeführt. Das Projekt wird durch den „Aktionsplan Holz“ des Bundesamts für Umwelt (BAFU) der Schweizerischen Eidgenossenschaft sowie eine Vielzahl an Industriepartnern gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung.

Referenzen

- [1] S. Schoenwald, H.-M. Tröbs, „Ermittlung von schalltechnischen Planungsdaten“, Beitragsband, 8. HolzBauSpezial, Bauphysik, Bad Wörishofen, 2017
- [2] „EN ISO 12354-1: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen“, 2017
- [3] „EN ISO 12354-2: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen“, 2017
- [4] Bütikofer, R., et al., „Der Leichtbauprüfstand in Dübendorf: ein neuartiger Prüfstand zur Messung der Schallübertragung im Holzbau“, Fortschritte der Akustik, Tagungsband der DAGA, Düsseldorf (2011)
- [5] „EN ISO 10848-1 Akustik - Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau - Teil 1: Rahmendokument“, 2017
- [6] S. Schoenwald, H.-M. Tröbs, „Flankierende Schallübertragung im Leichtbau“, Tagungsband, 28. Bauphysikertreffen, HfT Stuttgart, 2014
- [7] Stefan Schoenwald, H.-M. Tröbs and A. Zemp, „Measurement of flanking sound transmission at low frequencies with a laser doppler vibrometer“, in Proceedings of EURONOISE 2015, Maastricht, The Netherlands, 2015
- [8] „EN ISO 10140-2: Akustik - Messung der Schalldämmung von Gebäudeteilen im Prüfstand - Teil 2: Messung der Luftschalldämmung“, 2010
- [9] „EN ISO 10140-3: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 3: Messung der Trittschalldämmung“, 2010
- [10] H.-M. Tröbs, „Forschungsplattform zur Entwicklung von Leichtbau-Deckensystemen“, Herbst-Tagung der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik (SGA), www.sga-ssa.ch/docs/events//5_tröbs.pdf, Sursee, 2018

Prognose von Körperschall aus haustechnischen Anlagen – ein robustes und einfaches Tabellenverfahren für den Holzbau

Fabian Schöpfer
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Prognose von Körperschall aus haustechnischen Anlagen – ein robustes und einfaches Tabellenverfahren für den Holzbau

1. Einleitung

Neben der verbreiteten Anwendung für Einfamilienhäuser eröffnen sich für den Holzbau durch die Weiterentwicklung der konstruktiv-technischen Lösungen, aber auch aufgrund einer Ausweitung von baulichen Reglementierungen neue Märkte, zum Beispiel im mehrgeschossigen Wohnungsbau im urbanen Raum. Zudem gewinnt der Holzbau auch in der Gesellschaft als zukunftsweisende, nachhaltige und energiesparende Bauweise wachsenden Zuspruch. Dennoch bleibt ein hoher Wohn- und Arbeitskomfort neben den Aspekten der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz ein wesentliches Qualitätskriterium. Hier spielt der bauliche Schallschutz eine tragende Rolle. Allerdings sind in Niedrigenergie- und Passivhauskonzepten meist gebäudetechnische Anlagen erforderlich, die im Betrieb ungewollte Geräuschemissionen verursachen können. Bei zentralen heiztechnischen Anlagen oder einer Wohneinheitentrennung ist der Schallschutz nicht nur gewünscht sondern auch geschuldet [1]. Aber auch im eigenen Wohnbereich gibt es Empfehlungen für maximale Schalldruckpegel [2, 3, 4] erzeugt durch heiztechnische Anlagen in der eigenen Wohnung [1]. Aus diesen Gründen ist es bereits in der Planungsphase notwendig, den zu erwartenden Schalldruck berechnen zu können.

Da Geräte und Anlagen mit der Gebäudestruktur verbunden sind, können sie zusätzlich zum abgestrahlten Luftschall vom Gerätegehäuse auch direkt Vibrationen (Körperschall) in das Gebäude einleiten. Der Luft- und Körperschallanteil kann bei der Berechnung der Schallübertragung separat betrachtet werden. Der resultierende Schalldruckpegel ergibt sich dann aus der energetischen Summe der beiden Komponenten. In leichten Gebäudestrukturen ist dabei der anteilige Schalldruckpegel, verursacht durch Körperschallanregung, meist maßgeblich.

Die Beschreibung der Körperschalleinleitung und -übertragung ist im Vergleich zur Luftschallübertragung ungleich komplizierter, da die strukturdynamischen Eigenschaften von Quellen und Empfangsstrukturen in die Berechnung eingehen und zusätzlich deren Wechselwirkung berücksichtigt werden muss. Vor dem Hintergrund dieser Komplexität gibt es bisher nur erste Ansätze für Berechnungsmethoden die im Sinne einer praktikablen und effizienten Schallschutzplanung sind. Umfassend validierte und standardisierte Prognosewerkzeuge sind bisher leider nicht vorhanden.

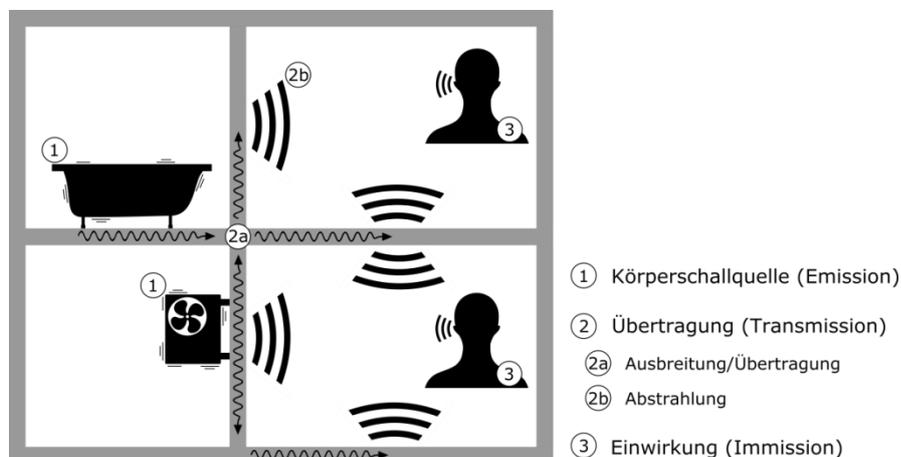


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Gesamtübertragung von der Quelle bis zur Einwirkung.

Dieser Beitrag zeigt die Weiterführung der bereits 2017 auf diesem Forum vorgestellten Arbeit [5]. 2017 wurde ein empirischer Ansatz zur Prognose vorgestellt. Dieser Ansatz basiert auf gemessenen Übertragungsdaten, sogenannten Übertragungsfunktionen, in Gebäuden in Holzbauweise. 2017 wurden erste Messdaten vorgestellt. Ergebnisse einer Fallstudie zeigten vielversprechende Ergebnisse. In der Zwischenzeit konnte dieser Ansatz durch eine Förderung der Forschungsinitiative Zukunft Bau weiterverfolgt werden. Nun werden die Ergebnisse von weiteren Gebäudemessungen ergänzend präsentiert und die Anwendung des Verfahrens anhand eines Beispiels aufgezeigt.

2. Theorie

2.1. Gesamtübertragung

Zur Prognose des Schalldruckpegels ausgehend von haustechnischen Anlagen ist es nötig den gesamten Übertragungsprozess zu beschreiben. Dabei sind sowohl die Kenntnis der Körperschallemission von der Quelle als auch die Kenntnis der Transmission in und durch die Gebäudekonstruktion notwendig. Zur Prognose wird die Emission und die Transmission durch das Gebäude separat behandelt (siehe Abbildung 2). Der in diesem Beitrag vorgestellte Ansatz beschreibt dabei die Ausbreitung im Gebäude und Abstrahlung. Laborverfahren zur Bestimmung der benötigten Eingangsgröße, der installierten Körperschalleistung, sind in DIN EN 15657:2017-10 [6] beschrieben.

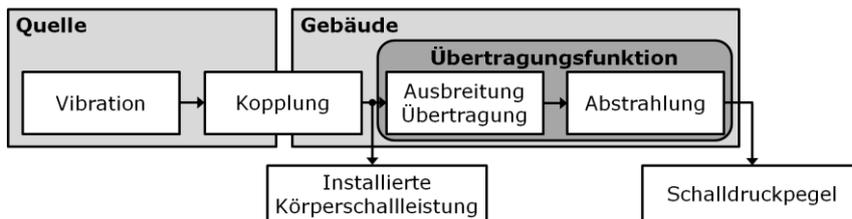


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Übertragungsprozesses.

2.2. Körperschalleistung als Eingangsgröße

Als Grundlage für das in Abschnitt 4 gezeigte Anwendungsbeispiel wird an dieser Stelle die Bestimmung der installierten Leistung, $L_{W,inst}$, kurz vorgestellt.

Die grundsätzliche Problemstellung dabei ist, dass die Anregung durch eine Körperschallquelle abhängig von der angekoppelten Struktur ist. Diese kann vor allem im Holzbau durch die Konstruktionsvielfalt stark variieren. Neben einer Größe zur Beschreibung der Quellaktivität, wird auch eine Größe benötigt, um die Kopplung zwischen Quelle und Struktur zu beschreiben. Die Aktivität der Quelle kann durch die Vibration an deren Ankopplungspunkten beschrieben werden, wenn die Quelle frei, also an keine Struktur angekoppelt ist. Diese Größe wird als Schwinggeschwindigkeit in (m/s) angegeben und als freie Schwinggeschwindigkeit, v_{sf} (in Pegelschreibweise L_{vf}), bezeichnet. Für die Kopplung sind die mechanischen Admittanzen, Y (Einheit $(m/s)N^{-1}$, Kehrwert der mechanischen Impedanz) der Quelle und der Empfangsstruktur erforderlich. Die Methoden zur Bestimmung dieser Größen sind in DIN EN 15657:2017-10 beschrieben. Ausgehend davon kann die installierte Leistung nach Gleichung (1) berechnet werden.

$$L_{W,inst} = \left[10 \lg \left(\frac{\operatorname{Re}\{Y_{R,eq}\}}{|Y_{S,eq}|^2 + |Y_{R,eq}|^2} \right) \right] \text{dB} + L_{vf} - 60 \text{dB} \quad (1)$$

Die Indizes R und S stehen dabei für Receiver (Empfangsstruktur) und Source (Quelle). Der Index eq zeigt an, dass die Größen bei Quellen mit mehreren Kontaktpunkten auf einen äquivalenten, repräsentativen Wert reduziert sind.

2.3. Konzept Übertragungsfunktionen

Eine Übertragungsfunktion beschreibt das Verhältnis der Antwort eines Systems zur Systemanregung. Im Falle der Körperschallübertragung ausgehend von haustechnischen Anlagen wird die gesamte Übertragung durch das Gebäude von der Anregung bis zum Schalldruck dabei als «black-box» betrachtet. Aufgrund der Komplexität der Körperschallübertragung im Leichtbau stellt ein empirischer Ansatz basierend auf gemessenen Übertragungsfunktionen ein einfaches praktikables Verfahren dar, um eine Abschätzung des zu erwartenden Schalldruckes zu ermöglichen [siehe auch 10]. Im vorgestellten Ansatz wird der resultierende Schalldruck in Bezug zur installierten Leistung gesetzt.

Da sämtliche physikalischen Übertragungsmechanismen in der Übertragungsfunktion enthalten sind, ist diese zunächst einzigartig für jede Situation. Wenn es allerdings möglich ist, für gewisse Übertragungswege und Konstruktionsvarianten repräsentative Übertragungsfunktionen abzuleiten, könnte ein einfaches Werkzeug zur Abschätzung des zu erwartenden Schalldruckpegels basierend auf katalogisierten Daten geschaffen werden.

Aus diesem Grund wurde im Projekt «Übertragungsfunktionen im Holzbau» eine Vielzahl von Übertragungsdaten in Gebäuden in Holzbauweise messtechnisch erfasst. Dabei wurde das im folgenden Abschnitt beschriebenen Messverfahren verwendet.

2.4. Messung von Übertragungsfunktionen

Zur Bestimmung der Übertragungsfunktion wird die Gebäudestruktur mit einer bekannten oder definierten Kraft angeregt. Dies kann entweder durch einen Modalhammer oder einem Schwingerreger in Kombination mit einem Kraftsensor erfolgen. Parallel wird die Schwingungsantwort der Struktur an Anregungspunkt in Form der Schwingenschnelle gemessen, um die installierte Leistung dieser definierten Anregung berechnen zu können. Im Empfangsraum wird der Schalldruckpegel ebenfalls synchron erfasst. Durch mehrere Mikrofonpositionen wird ein räumlicher Mittelwert gebildet. Die Übertragungsfunktion kann dann in Pegelschreibweise einfach als Differenz für einen Anregepunkt k nach Gleichung (2) angegeben werden.

$$D_{TF,k} = L_{av,k} - L_{W,k} \quad (2)$$

Dabei ist $D_{TF,k}$ die Übertragungsfunktion (Transmission function), $L_{av,k}$ der räumlich gemittelte Schalldruckpegel im Empfangsraum und $L_{W,k}$ der Pegel der installierten Leistung durch definierte Anregung. Kleine Werte für $D_{TF,k}$ sind somit günstiger im Hinblick auf einen geringen resultierenden Schalldruckpegel.

Werden mehrere Anregepunkte, K , in einer Übertragungssituation erfasst, kann eine mittlere Übertragungsfunktion nach Gleichung (3) berechnet werden.

$$D_{TF,av} = 10 \lg \left(\frac{\sum_{k=1}^K 10^{0,1 D_{TF,k}}}{K} \right) \quad (3)$$

Zusätzlich können die Ergebnisse noch auf die raumakustischen Eigenschaften des Empfangsraumes nach Gleichung (4) normiert werden.

$$D_{TF,av,nT} = D_{TF,av,nT} - 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (4)$$

Dabei ist T die gemessene Nachhallzeit und T_0 die Bezugsnachhallzeit von 0,5 s.

Für eine ausführlichere Beschreibung des Verfahrens zur Ermittlung der Übertragungsfunktion sei an dieser Stelle auf [7 und 8] verwiesen.

3. Ergebnisse aus Gebäudemessungen

Im Rahmen von zwei Forschungsprojekten konnten bisher durch die Unterstützung der Industriepartner Messungen in insgesamt 19 Gebäuden durchgeführt werden. Dabei wurden sowohl Gebäude in Holzrahmenbau- als auch in Holzmassivbauweise betrachtet. Unter

den untersuchten Gebäuden waren elf Einfamilienhäuser, fünf Mehrfamilienhäuser zwei Bürogebäude sowie ein Sechsgeschoßer. Der gesamte Datensatz umfasst derzeit 120 Übertragungsfunktionen.

3.1. Kriterien zur Gruppierung

Um aus den Daten repräsentative Übertragungsfunktionen für ähnliche Situationen abzuleiten wurden folgende Kriterien herangezogen, um Gruppen zu bilden:

- Übertragungspfad (18 Varianten)
- Typ des angeregten Bauteils (7 Varianten)
- Konstruktion des angeregten Bauteils (9 Varianten)
- Vorsatzschale (3 Varianten)

Durch die Kombination dieser Kriterien ergeben sich für die vorliegenden Daten insgesamt 51 Kombinationen. Im nächsten Abschnitt werden exemplarisch 13 dieser Kombinationen gezeigt. Für diese 13 sind jeweils mindestens drei gemessene Übertragungsfunktionen vorhanden.

3.2. Gruppierte Datensätze

Im Folgenden werden Datensätze für folgende Übertragungssituationen gezeigt:

- Horizontale (direkte) Übertragung: Empfangsraum direkt hinter der angeregten Trennwand.
- Vertikale Übertragung: Empfangsraum über oder unter dem Raum in dem eine Wand angeregt wird.
- Diagonale Übertragung: Empfangsraum diagonal über oder unter der angeregten Wand.
- Übertragung vom Kellergeschoss (Anregung auf Betonwand) in darüber liegende Geschosse mit Holzbaukonstruktion.

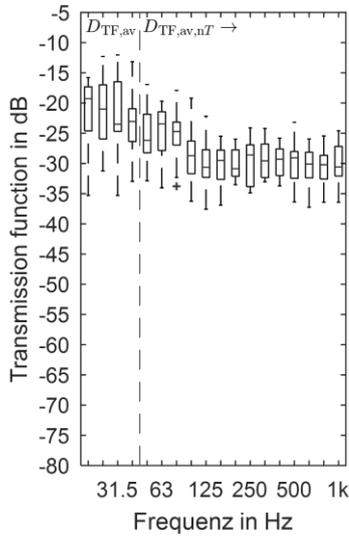
Aufgrund der noch geringen Stichprobengröße für jede Kombination wird die Darstellung mit Boxplots der Darstellung mit Mittelwert und Standardabweichung vorgezogen. Dabei stellt die Box den Interquartilsabstand und repräsentiert somit 50 % der Datensätze. Unter dem 50 Hz Terzband sind die Daten ohne Normierung auf die Nachhallzeit des Empfangsraumes dargestellt ($D_{TF,av}$, Gleichung (3)). Im und über dem 50 Hz Terzband sind die Daten normiert auf die Nachhallzeit dargestellt ($D_{TF,av,nT}$, Gleichung (4)). Unter den Abbildungen sind die Anzahl der für die jeweilige Gruppe vorhandenen Datensätze, die Zahl der Gebäude in denen diese erfasst wurden und die Zahl der Hersteller angegeben. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die volle Stichprobengröße nicht zwingend in jedem Terzband vorhanden ist, da zum Teil aufgrund von Grundgeräuscheinflüssen o.Ä. einzelne Terzbänder in der Datenauswertung verworfen werden mussten.

Abbildung 3 zeigt gruppierte Daten für horizontal/direkte Übertragung für vier verschiedene Trennwandkonstruktionen. Abbildung 4 zeigt gruppierte Daten für vertikale Übertragung wobei zwischen T- und X-Stößen als auch zwischen der Konstruktion des angeregten Bauteils unterschieden wird. Abbildung 5 zeigt Daten für diagonale Übertragung wobei zwischen X-Stößen und versetzten Stößen unterschieden wird. Abbildung 6 zeigt Daten für die Übertragung vom Kellergeschoss in darüber liegende Holzbaugeschosse. Dabei wird zwischen der Übertragung vom Kellergeschoss ins Erdgeschoss und vom Kellergeschoss ins erste Obergeschoss unterschieden.

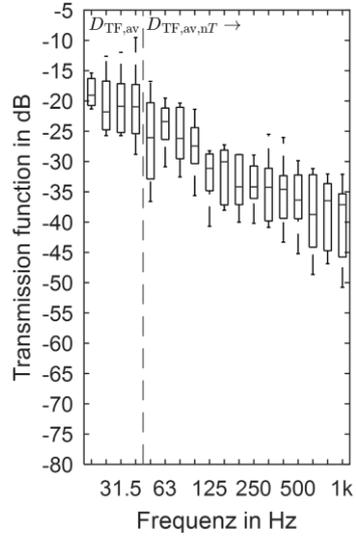
Aus den gezeigten Daten ist zu erkennen, dass der Interquartilsabstand in den einzelnen Gruppen zum größten Teil kleiner als 10 dB ist. Allerdings kann dieser in einzelnen Terzbändern auch bis zu 20 dB groß sein. Dennoch kann für jede Gruppe eine Charakteristik im Frequenzspektrum abgeleitet werden. So zeigt beispielsweise die horizontale Übertragung über eine Wand mit Einfachständerwerk ein leicht fallendes Spektrum bei tiefen- und mittleren Frequenzen, das zu hohen Frequenzen flacher wird. Für eine Doppelständerwand und direkter Übertragung zeigt sich ein stark fallendes Spektrum.

Auf dieser Grundlage wurden für jede Gruppe qualitativ charakteristische Spektren abgeleitet, die sich am 75% Quantil der Daten orientieren und somit tendenziell auf der sicheren Seite liegen.

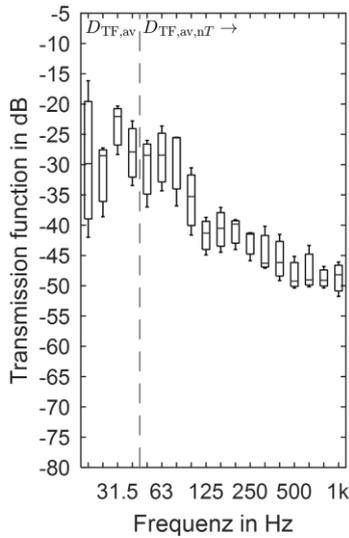
Diese qualitativen Spektren sind in Abbildung 7 für acht Gruppen dargestellt.



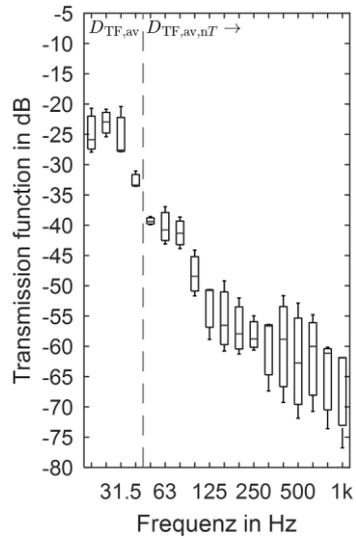
a) Einfachständerwerk, keine Vorsatzschale
 Datensätze: 18
 Gebäude: 11
 Hersteller: 4



b) Einfachständerwerk, mit Vorsatzschale in Holzrahmenbauweise
 Datensätze: 6
 Gebäude: 6
 Hersteller: 6

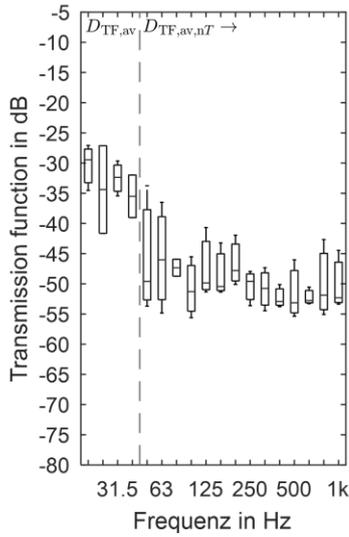


c) Einfachständerwerk mit (ggf. entkoppelter) Konterlattung
 Datensätze: 3
 Gebäude: 3
 Herstellern: 3

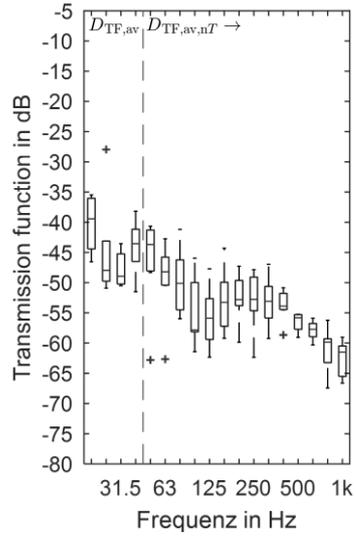


d) Wohnungstrennwand, getrennte Ständer
 Datensätze: 3
 Gebäude: 3
 Hersteller: 3

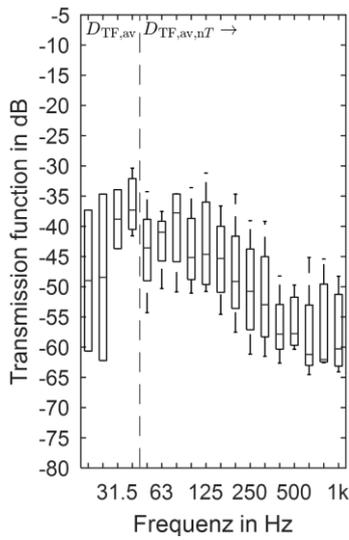
Abbildung 3: Übertragungspfad: Horizontal/direkt



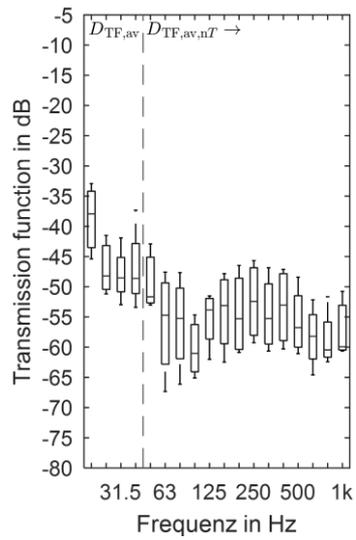
a) Außenwand Holzrahmenbauweise, keine Vorsatzschale
 Datensätze: 3
 Gebäude: 3
 Hersteller: 1



b) Außenwand Holzrahmenbauweise mit Installationsebene
 Datensätze: 7
 Gebäude: 6
 Hersteller: 2



c) Außenwand Holzmassivbau, keine Vorsatzschale
 Datensätze: 4
 Gebäude: 4
 Hersteller: 2



d) Innenwand (Kreuzstoß) Holzrahmenbauweise, keine Vorsatzschale
 Datensätze: 4
 Gebäude: 3
 Hersteller: 1

Abbildung 4: Übertragungspfad: Vertikal

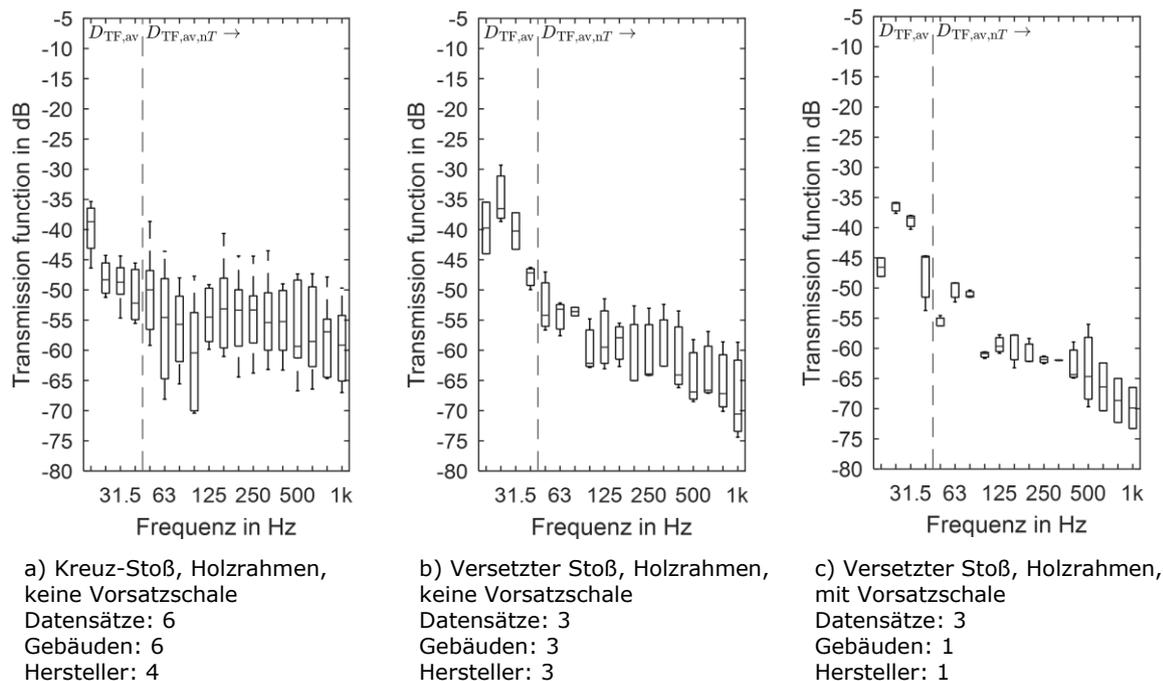


Abbildung 5: Übertragungspfad: Diagonal

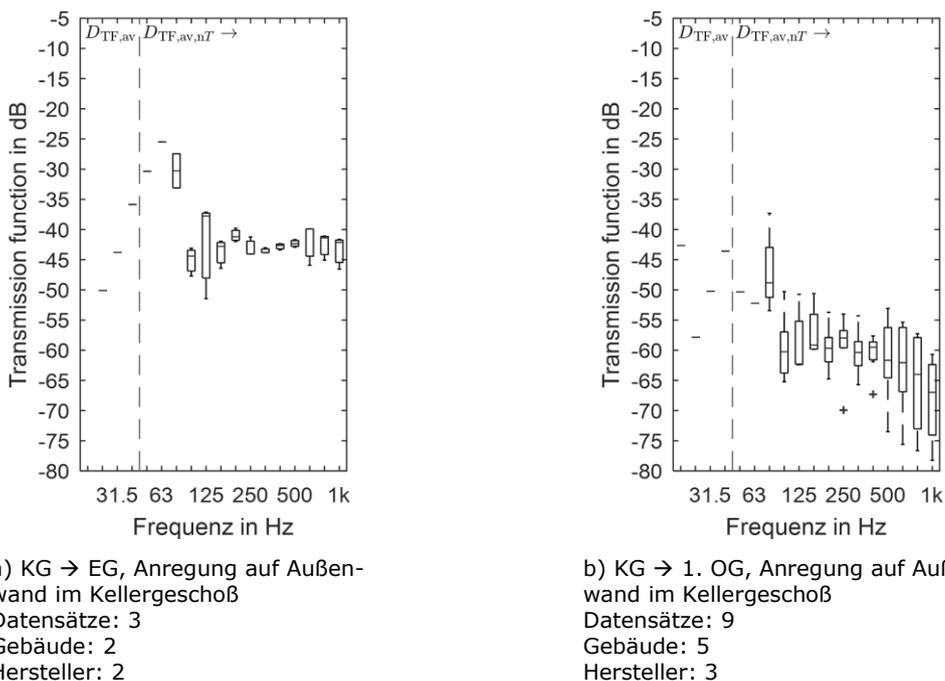
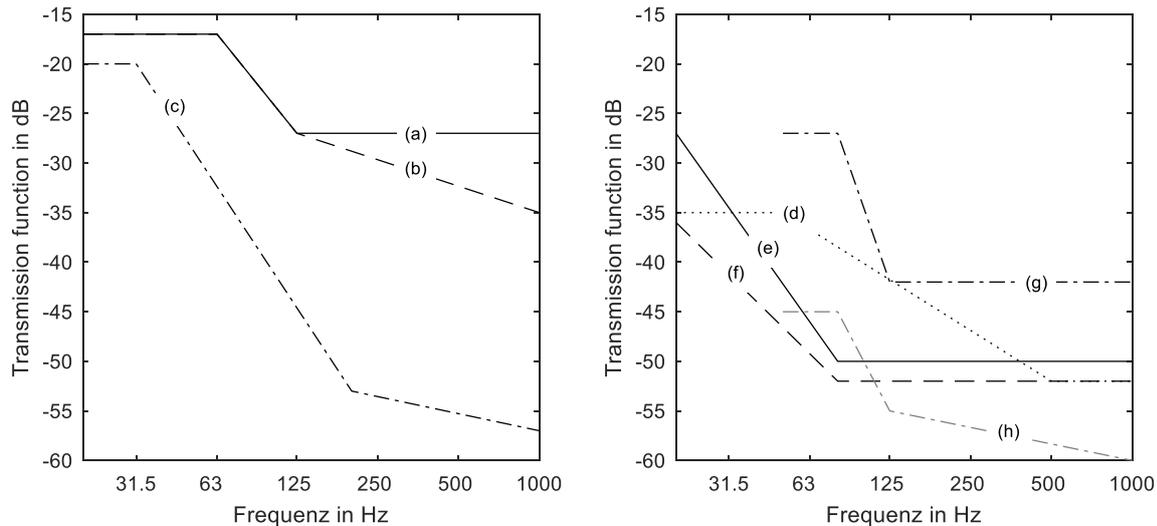


Abbildung 6: Übertragungspfad: Vertikal vom Kellergeschoß in darüber liegende Geschosse in Holzbauweise. Anregung auf der Betonaußenwand im Kellergeschoß.



Übertragung horizontal/direkt:

- (a) Einfachständerwerk, keine Vorsatzschale (Abbildung 1a)
- (b) Einfachständerwerk, mit Vorsatzschale in Holzrahmenbauweise (Abbildung 1b)
- (c) Wohnungstrennwand, getrennte Ständer (Abbildung 1d)

Übertragung über ein oder mehrere Geschoße:

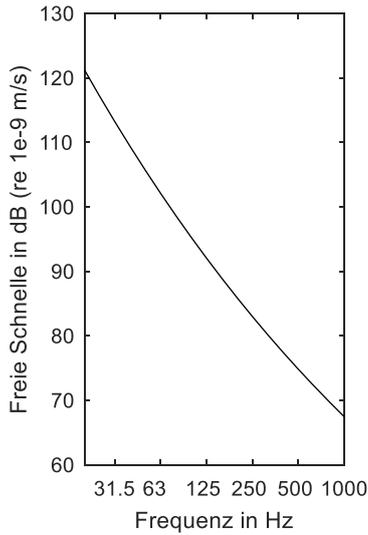
- (d) vertikal: Außenwand Holzmassivbau, keine Vorsatzschale (Abbildung 4c)
- (e) vertikal: Außenwand Holzrahmenbauweise, keine Vorsatzschale (Abbildung 4a)
- (f) diagonal: Kreuz-Stoß, Holzrahmen, keine Vorsatzschale (Abbildung 5a)
- (g) KG→EG (Abbildung 6a)
- (h) KG→EG (Abbildung 6b)

Abbildung 7: Qualitative, zusammengefasste Spektren basierend auf den gruppierten Datensätzen für acht exemplarische Situationen.

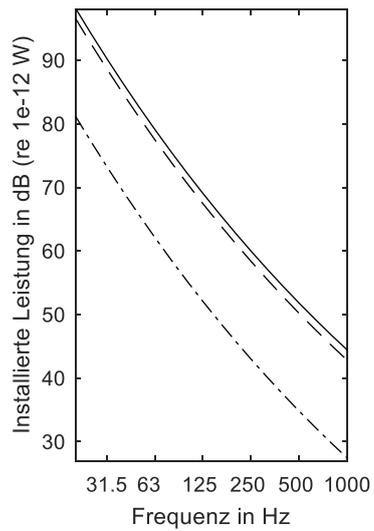
4. Anwendungsbeispiel

Die im vorherigen Abschnitt gezeigten qualitativen Spektren für einzelne Gruppen werden nun verwendet, um die Anwendung des empirischen Verfahrens am Beispiel vorzustellen. Hierfür wird eine fiktive Körperschallquelle verwendet. Da typische gebäude-technische Geräte Anregespektren mit maßgeblichen Komponenten im tieffrequenten Bereich aufweisen [11], wurde ein mit der Frequenz fallendes Spektrum der freien Schnelle gewählt (Abbildung 8 a)). Der Verlauf und die Größenordnung liegt erfahrungsgemäß im Bereich eines kompakten wandhängenden Gerätes. Für die Admittanz der Quelle wird ein frequenzunabhängiger Wert von $1e-4 \text{ (m/s)N}^{-1}$ verwendet der ebenfalls in der Größenordnung eines kompakten wandhängenden Gerätes liegt.

In Abhängigkeit der Empfangsstruktur kann nach Gleichung (1) die installierte Leistung in der jeweiligen Situation berechnet werden. Hier werden näherungsweise drei Varianten unterschieden: I) Holzrahmenbauwand, II) Holzmassivwand und III) Betonwand. Für die Admittanzen der drei Wandtypen werden frequenzunabhängige Werte verwendet die im Mittel die jeweilige Konstruktion repräsentieren. Hier wurde auch Erfahrungen und Daten aus den Baumessungen zurückgegriffen. So wird für eine Holzrahmenbauwand eine Admittanz von $1e-4 \text{ (m/s)N}^{-1}$, für die Holzmassivbauwand $4e-5 \text{ (m/s)N}^{-1}$ und die Betonwand $1e-6 \text{ (m/s)N}^{-1}$ angesetzt. Somit ergeben sich für die drei Wandtypen drei verschiedene Spektren für die installierte Leistung, die in Abbildung 8 b) dargestellt sind. Diese Werte dienen nun als Eingangsdaten für die Prognose des Schalldruckpegels durch umstellen von Gleichung (2). So kann der zu erwartende Schalldruckpegel verursacht durch die gleiche Quelle für verschiedene Situationen verglichen werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt. Da es sich um eine fiktive Quelle handelt, sind Zahlenwerte dieses Beispiels eher relativ als absolut zu bewerten.

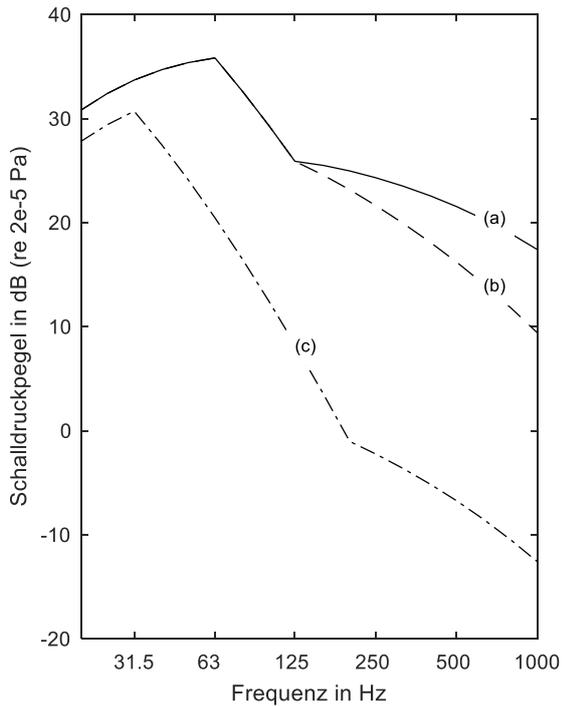


a) Freie Schnelle der fiktiven Körperschallquelle

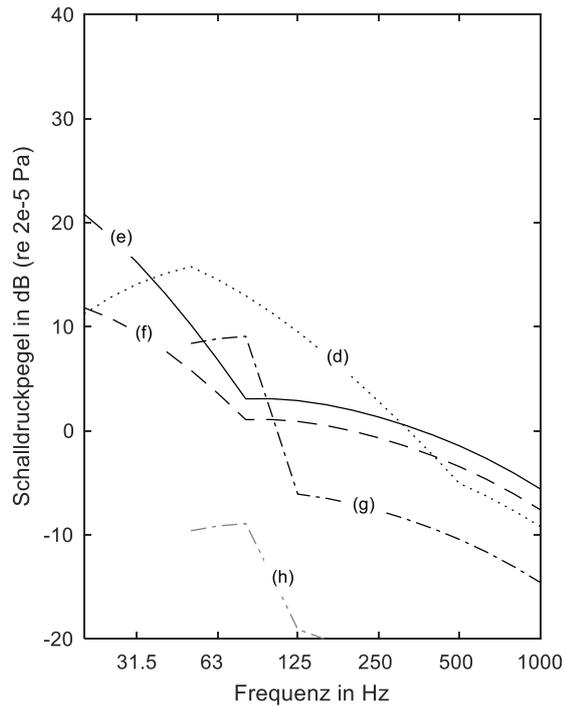


b) Installierte Leistung der fiktiven Quelle für:
 Holzrahmenbauwand (voll)
 Holzmassivwand (gestrichelt)
 Betonwand (strichpunkt)

Abbildung 8: Eingangsdaten für fiktive Quelle



Übertragung horizontal/direkt:
 (a) 43 dB(A) (20Hz bis 1000 Hz)
 (b) 0 dB relativ zu (a)
 (c) -7 dB relativ zu (a)



Geschoßübertragung:
 (d) -20 dB relativ zu (a)
 (e) -18 dB relativ zu (a)
 (f) -25 dB relativ zu (a)
 (g) 14 dB(A) (50 Hz bis 1000Hz)
 (h) -17 dB relativ zu (g)

Abbildung 9: A-bewertete Schalldruckpegel für die fiktive Quelle aus Abbildung 8 in den Übertragungssituationen aus Abbildung 7. A-bewertete Summenpegel für (b) bis (f) sind relativ zum Summenpegel von (a) angegeben. (h) relativ zu (g) da für diese beiden Gruppen zu wenig Werte unter 50 Hz vorhanden sind.

5. Zusammenfassung

Im diesem Beitrag wurden ergänzende Baumessungen zum Beitrag von 2017 [5] vorgestellt. Die ergänzenden Daten fügen sich in die bereits 2017 vorgestellten Gruppen für ähnliche Übertragungssituationen ein. Allerdings konnte der Datensatz deutlich erweitert und die Gruppierungen verfeinert werden. So wurden bis jetzt 120 Übertragungsfunktionen gemessen werden. Aus den, für ähnliche Übertragungspfade und Konstruktionen gruppierten Daten wurden qualitativ charakteristische Spektren abgeleitet. Für diese Situationen wurde in einem Anwendungsbeispiel der resultierende Schalldruckpegel für eine fiktive Quelle berechnet. So kann ein erster Eindruck über die Übertragung für verschiedene Situationen mit der gleichen Quelle gewonnen werden.

6. Danksagung

Der Autor bedankt sich bei den Kooperationspartnern des Forschungsprojektes «Übertragungsfunktionen im Holzbau» für die Möglichkeit zur Durchführung von Baumessungen. Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen der Projektförderung des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau, Förderkennzeichen SWD-10.08.18.7-16.39, erarbeitet. Besonderer Dank gilt meinen Kollegen für die Unterstützung bei den Baumessungen.

7. Literatur

- [1] DIN 4109-1:2018-01. Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderung.
- [2] DIN 4109:1989-11 Beiblatt 2. Schallschutz im Hochbau - Hinweise für die Planung und Ausführung -Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz - Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich.
- [3] VDI 4100:2012-10. Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz.
- [4] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (Ed.) (2015). DEGA Memorandum 0104 – Schallschutz im eigenen Wohnbereich.
- [5] Schöpfer, F. (2017). Körperschallübertragung im Holzbau Übertragungsfunktionen. HolzBauSpezial|Bauphysik 2017, Bad Wörishofen, Deutschland.
- [6] DIN EN 15657:2017-10. Akustische Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden - Messung des Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand für alle Installationsbedingungen.
- [7] Schöpfer, F., Hopkins, C., Mayr, A. R., & Schanda, U. (2016). Measurement of transmission functions in lightweight buildings for the prediction of structure-borne sound transmission from machinery. Submitted to Acta Acustica united with Acustica (12/2016).
- [8] DIN EN ISO 10848-1:2016-10 (Entwurf). Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von Gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau: Teil 1: Rahmendokument.
- [9] DIN EN 12354-5:2009-10. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche; Deutsche Fassung EN 12354-5:2009.
- [10] Villot, M (2017). Predicting in-situ sound levels generated by structure-borne sound sources in buildings. Acta Acust united Ac 103(5), pp. 885-886.
- [11] Scheck, J., Reinhold, S., Eschbach, P., & Fischer, H.-M. (2016). Messung und Prognose der Luft- und Körperschallübertragung von gebäudetechnischen Anlagen im Massivbau. DAGA 2016, Aachen, Deutschland.

Schallschutz und Gebäudehülle – Anforderungswirrwarr und kritische Bauteile

Schallschutz gegen Aussenlärm bei Holzbauweisen – Planungsgrundsätze für die Praxis

Dr. Andreas Meier
Müller-BBM GmbH
Planegg bei München, Deutschland



Schallschutz gegen Außenlärm bei Holzbauweisen – Planungsgrundsätze für die Praxis

1. Vorbemerkungen

Der Nachweis zum Schallschutz gegen Außenlärm in der zentralen deutschen Bauakustiknorm DIN 4109 ist mit der aktuellen Ausgabe der Norm Anfang 2018 überarbeitet worden. Die aktualisierte Norm nimmt moderate Anpassungen der Mindestanforderungen vor. Für den Schallschutz gegen Außenlärm wurde die separate Untersuchung des Tag- und Nachtzeitraum eingeführt und die für die Planung zu grobe 5 dB-Stufung der Anforderungswerte gegen eine 1 dB-Stufung abgelöst. Der Beitrag beschreibt die Hintergründe und die neue Nachweisführung. Hieraus werden Planungsgrundsätze für die Holzbauweise abgeleitet.

2. Neufassung der DIN 4109

2.1. Allgemeines

Die zentrale Schallschutznorm für den Hochbau, die DIN 4109, wurde auf Basis der Ausgabe aus dem Jahr 1989 in einer neuen Fassung herausgegeben [1]. Die Zeit für eine Anpassung der Schallschutznorm war überreif, denn folgende Entwicklungen fanden im Laufe der Zeit statt:

- Die regelmäßige Anwendung der alten Fassung förderte Defizite zu Tage, die beseitigt werden mussten.
- Die Planung des Schallschutzes kann durch neue Erkenntnisse heute deutlich zielorientierter und sicherer erfolgen. Der Einfluss jedes Bauteils und einzelner Schallübertragungswege kann separat diagnostiziert werden.
- Anpassungen an Vereinbarungen zu Nachweisverfahren im europäischen Handelsraum wurden notwendig.
- Für den Schallschutz gegen Außenlärm sollte auch der für einen erholsamen Schlaf wichtige Nachtzeitraum einbezogen werden.
- Baustoffe und Bauweisen haben sich durch Detailentwicklungen und gute Ideen fortlaufend weiterentwickelt.

Der bauakustisch erfahrene Anwender wusste längst, dass die aufgelaufenen Defizite der alten Norm insbesondere in Bezug auf die Berechnungsverfahren mittlerweile ein erhebliches Ausmaß erreicht hatten. So wurden z.B. sehr leichte flankierende Bauteile regelmäßig unterschätzt. Für die monolithische, wärmedämmende Ziegelbauweise musste hilfsweise in Ergänzung zur Norm eine bauaufsichtliche Zulassung für die Berechnung der Luftschalldämmung geschaffen werden. Diese wurde nun in die neue Norm integriert. Die Holzbauweise hat sich weiterentwickelt und war in der alten Norm nur rudimentär behandelt. Neue Erkenntnisse z.B. zu Reihenhaustrennwänden, Vorsatzschalen, Estrichen oder Fenstern, waren nicht eingearbeitet. Was erfahrene Anwender ausgleichen können, stellte für weniger erfahrene Anwender durchaus ein Anwendungs- und Haftungsrisiko dar.



Abbildung 1: Struktur der neuen Schallschutznorm für den Hochbau DIN 4109:2018-01

Nachfolgend werden die wichtigsten Änderungen der Schallschutznorm erläutert.

2.2. Schalltechnische Anforderungen – nur geringe Änderungen

Die Norm formuliert in Teil 1 Mindestanforderungen an den baulichen Schallschutz, was nun im Titel eindeutig angegeben ist. Die schalltechnischen Schutzziele (Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise, Schutz vor unzumutbarer Belästigung) sind benannt und entsprechen der Zielsetzung nach der EU-Bauproduktverordnung Nr. 305/2011. Die daraus abgeleiteten schalltechnischen Anforderungen erscheinen unter Berücksichtigung dieser Schutzziele nach der Erfahrung der Planung und der Bauwirtschaft mit einer vergleichsweise geringen Zahl an Beschwerderückläufer von Gebäudenutzern im Wesentlichen als angemessen. Sie entsprechen also offensichtlich der allgemeinen Erfahrung und sind immer in Kombination mit üblichen, zugelassenen Bauweisen und Baumaterialien zu sehen [3].

Im Wesentlichen ist das Anforderungsniveau gegenüber der alten Fassung der DIN 4109 aus dem Jahr 1989 gleichartig geblieben. Anpassungen wurden lediglich bei langjährig erprobten Bauweisen nach den Regeln der Technik, wie z. B. der Trittschalldämmung von Decken oder der Schalldämmung von Haustrennwänden (Doppel- und Reihenhaus) vorgenommen. Neu aufgenommen wurde eine Anforderung an die Trittschalldämmung von Balkonen und zulässigen Geräuschpegel bei Betrieb von raumlufttechnischen Anlagen im eigenen Wohnbereich, was bislang nicht geregelt war. Die Erfahrung aus der Praxis zeigt, dass diese Anforderungen mit allen wesentlichen und bauüblichen Regelkonstruktionen erfüllt werden können.

2.3. Schallschutz gegen Außenlärm

Urbane Räume werden mit neuen Bauprojekten weiter verdichtet. Auch mit Lärm belastete Grundstücke scheiden aufgrund der hohen Nachfrage von Nutzern bei der Auswahl aktuell nicht mehr grundsätzlich aus. In der Folge rücken Gebäude stärker an Verkehrswege und Gewerbeflächen heran. Daher gelangt der Außenlärm in Planungsprozessen häufiger als früher in den Fokus.

Eine wesentliche Änderung und Verbesserung der neuen Schallschutznorm für die Gebäudenutzer ist die Einbeziehung der Schallbelastung des Nachtzeitraums. Es wird nun sichergestellt, dass der Schallschutz grundsätzlich mindestens 10 dB besser als am Tag ist. Sofern sich die Außenlärmpegel gegenüber dem Tagzeitraum im Nachtzeitraum nicht um 10 dB mindern, so müssen die Schalldämm-Maße der Außenbauteile von Schlafräumen entsprechend höher dimensioniert werden. Das ist z.B. regelmäßig bei Einwirkung von Schienenverkehrslärm der Fall, da die bereitgestellten Zugzahlen nachts häufig eine gleiche Belastung wie am Tag anzeigen. Für Straßenverkehr ist bei stark frequentierten Straßen nachts von einem Rückgang der Beurteilungspegel von 5 dB gegenüber dem Tag auszugehen. Innerorts treten in der Regel für relevante Straßen eine Minderung von 8 dB auf. Durch die Einbeziehung des Nachtzeitraums ist daher für Verkehrsgereusche von einer Erhöhung der schalltechnischen Anforderungen an die Außenbauteile auszugehen. Eine Unterscheidung zwischen Tag- und Nachtzeit sowie eine 10 dB Stufung ist jedoch schon seit langem in den einschlägigen Regelwerken zu Verkehrsgereuschen obligatorisch.

Im Zuge der Einbeziehung des Nachtzeitraums wurde die grobe 5 dB Stufung der Anforderung überprüft. In der Vergangenheit führte die Erhöhung der Außenlärmpegel um 1 dB teilweise zur Erhöhung der Anforderung um 5 dB, da der nächste Lärmpegelbereich erreicht wurde. Die Heranziehung von Lärmpegelbereichen ist noch möglich, jedoch bietet sich dem Planer die Möglichkeit zur dB-genauen Auslegung der Außenbauteile, um Überdimensionierung zu vermeiden.

In der Praxis besteht regelmäßig die Frage, wann der Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 detailliert betrachtet werden muss. Als erster Indikator können hier Lärmaktionspläne der Kommunen dienen. Zeigen diese im Fall von Wohngebäuden für das betreffende Grundstück z.B. einen Wert von Nachts $L_N > 50$ dB(A) an, dann ist eine detaillierte Berechnung der Beurteilungspegel angeraten. Prinzipiell sind die Lärmaktionspläne jedoch nur als Indikator geeignet, da in Bezug auf die 16. BImSchV inkompatible Pegelgrößen und lediglich grobe Raster verwendet werden.

Es können für einfache Verkehrswege (z.B. „lange gerade Straße») auch Nomogramme verwendet werden, mit denen aus der jeweils vorhandenen Verkehrsstärke Beurteilungspegel ablesbar sind. Solche Nomogramme finden sich in Anhang A der DIN 18005-1.

Mittlerweile ist es für größere Bauvorhaben oder Planungsumgriffe üblich, dass eine Gebäudelärmkarte auf Grundlage eines digitalen 3D-Modells erstellt wird. Hieraus lassen sich fassaden- und geschossweise Beurteilungspegel angeben und maßgebliche Außenlärmpegel L_a ableiten, mit denen in Abhängigkeit der Gebäudeart, z.B. Wohn- oder Bürogebäude, die Anforderung an die Schalldämm-Maße $R'_{w,ges}$ der Außenbauteile berechnet werden können, vgl. Gleichung 1.

$$R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart}$$

mit $K_{Raumart} =$

- 25 dB für Krankenhäuser und Sanatorien
- 30 dB für Wohngebäude, Übernachtungsräume in Hotel, Schulräumen
- 35 dB für Bürogebäude

Gleichung 1: Berechnung der Anforderung an das Gesamt-Schalldämm-Maß der Außenbauteile $R'_{w,ges}$ in Abhängigkeit des maßgeblichen Außenlärmpegels L_a und der Raumart.

2.4. Schienenbonus? – Kein Schienenbonus, aber Untersuchungsbedarf!

Mit Einführung der Anforderung für den Nachtzeitraum ergab sich für die neue DIN 4109 ein besonderes Dilemma: In der alten DIN 4109 wurde keine Unterscheidung für Schienen- und Straßenverkehrslärm vorgenommen. Im Fall von Schienenverkehr war seinerzeit jedoch bekannt, dass aufgrund hochfrequenter Schallanteile des Schienenverkehrs physikalisch bedingt eine bessere Dämmwirkung der Außenbauteile vorhanden ist [9]. Für Straßenverkehr mit Verbrennungsmotoren traten hingegen verstärkt tieffrequente Anteile auf, die durch übliche Bauteile weniger gut gedämmt werden.

Um weiterhin mit Einzahlangaben (A-Bewerteter Schalldruckpegel, bewertetes Schalldämm-Maß) zu arbeiten, wendete man Korrektursummanden an, um aus der gewünschten A-Schallpegeldifferenz von maßgeblichen Außenlärm und Innenpegel die Anforderung an das bewertete Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ des Außenbauteils abzuleiten [8].

Entsprechende Unterscheidungen bzw. Differenzierungen für einzelne Lärmarten wurden z.B. mit Herausgabe der VDI 2719 [6] im Jahr 1987 eingeführt und sind auch in der vom Gesetzgeber erlassenen 24.BImSchV [7] etabliert. Da in der alten Norm DIN 4109 im Jahr 1989 jedoch nur die Tagbelastung herangezogen wurde, hatte man sich Ende der 80er Jahren offensichtlich entschieden, keine Unterscheidung zwischen den Lärmarten vorzunehmen. Man nahm offensichtlich bei Schienenverkehr eine Überdimensionierung der Bauteile auf Basis des Tagwertes in Kauf, um aufgrund der geringen Nachtreduzierung des Schienenverkehrslärms auch nachts den Schallschutz sicherzustellen.

Leider sind die genauen Hintergründe in den verfügbaren Unterlagen nicht dokumentiert. Lediglich aus einem handschriftlichen Dokument ist nachzuvollziehen, dass als historischer «Spektrumsanpassungswert» in den Anforderungen an die Schalldämm-Maße einheitlich ein Zuschlag von 5 dB angewendet wurde, um einen mittleren Innenpegel von 35 dB(A) am Tag sicherzustellen. Da dieser Wert jedoch mit vom Verbrennungsmotor geprägtem Straßenverkehr korreliert wurde und bei Schienenverkehr nicht anzuwenden war, ist in der neuen DIN 4109 mit Einführung der separaten Tag-/Nachtbetrachtung vom Beurteilungspegel von Schienenverkehr ein Abschlag von 5 dB anzuwenden, um den in den Anforderungen enthaltenen Zuschlag zu neutralisieren. Eine Bonus / Malus-Regelung für unterschiedliche Lärmträger ist in DIN 4109 nicht beabsichtigt und auch sicherlich fehl am Platz. Es geht um den Schallschutz von Nutzern im Hochbau und für diese ist in erster Linie unabhängig vom Lärmträger sicherzustellen, dass entsprechend der Zielsetzung der Norm eine ausreichende Schalldämmung der Gebäudehülle für entsprechende Innenpegel vorgesehen wird.

Aus den Erläuterungen ist ersichtlich, dass die zugrundeliegenden Erkenntnisse vor mehr als 30 Jahre ermittelt wurden. Ungeklärt ist, ob die Unterscheidung Straße/Schiene im Hinblick auf den Schallschutz gegen Außenlärm uneingeschränkt gültig ist. Die im Laufe der Zeit verschärften Anforderungen an Vorbeifahrtgeräusche von Kraftfahrzeugen als auch die Verschärfungen der Anforderungen an Schienenfahrzeuge lassen vermuten, dass die spektrale Verteilung des Außenlärms Veränderungen unterworfen ist.

2.5. Überarbeitetes Berechnungsverfahren und erweiterter Bauteilkatalog

Wesentliche Änderungen der neuen Norm betreffen das Nachweisverfahren sowie den deutlich erweiterten Bauteilkatalog. Das tabellarische Nachweisverfahren wurde ersetzt durch ein Rechenverfahren. Dieses Verfahren berücksichtigt alle relevanten Schallübertragungswege zwischen Räumen nach den abgestimmten europäisch vereinheitlichten Methoden [4] [5].

Das Verfahren ist anwendbar für alle gängigen Bauarten, ausreichend validiert und praxiserprobt. Es ist festzustellen, dass mit großer Sorgfalt seit 20 Jahren im Zusammenwirken aller relevanten Baustoffhersteller und Interessensgruppen, die in DIN 4109 [1] angewendeten Rechenmethoden in transparenter Weise von allen Seiten beleuchtet und überprüft wurden. Das Verfahren wird bereits seit 2010 im Bereich von Baustoffzulassungen angewendet. Die Praxis zeigt, dass für die Anwendung von der Industrie bereitgestellte Softwareprodukte bereits verfügbar und erprobt sind.

In angrenzenden Ingenieurdisziplinen wie z.B. der Tragwerksplanung ist die bewusste Steuerung der gewünschten Sicherheit zwischenzeitlich obligatorisch. Auch in DIN 4109 wurde ein Sicherheitskonzept implementiert und dieses klar gekennzeichnet. Diese neue Klarheit schneidet bewusst die alten Zöpfe ab, nach denen im alten Verfahren die Sicherheiten teils versteckt und immer pauschal integriert waren. Hier besteht zukünftig Potenzial, um bewusst mit den anzuwendenden Sicherheiten umzugehen.

Die Bauteilangaben in Form eines Bauteilkatalogs wurden stark erweitert. Die angegebenen Kennwerte sind durch schalltechnische Messungen abgesichert. Durch den neuen Bauteilkatalog ist die Wahrscheinlichkeit gestiegen, dass der Anwender schalltechnische Angaben zur benötigten Konstruktion findet.

Aktuell werden neueste Erkenntnisse aus der anwendungsbezogenen Forschung zu Vorhangfassaden und WDV-System eingearbeitet. Verbänden, die z.B. einzelne Bauweisen oder Produktgruppen vertreten, steht es offen, abgesicherte schalltechnische Auslegungen in die Berechnungsverfahren zu implementieren, um den Planer herstellerneutral bei der Auslegung und Bewertung zu unterstützen. Durch die klare Gliederung soll eine ggf. dynamische Ergänzung der Normenteile unterstützt werden.

Das neue Berechnungsverfahren in Verbindung mit dem neuen Bauteilkatalog erlaubt eine detaillierte Auslegung. Durch die Vermeidung von Überdimensionierungen sind Baukosteneinsparungen möglich.

Die Anwendung der überarbeiteten Berechnungsverfahren schärft den Blick auf die Mechanismen der Schallübertragung und führt zu vorteilhaften Produktentwicklungen. Beispiele finden sich auch im Holzbau, z.B. durch schalltechnisch optimierte Stoßstellen.

3. Vergleichsrechnungen

In der Diskussion zu den Folgen der Überarbeitung des Schallschutzes gegen Außenlärm tritt die Frage auf, inwieweit sich das bislang bekannte Anforderungsniveau geändert hat. Hierzu sind nachfolgend Vergleichsberechnungen dargestellt.

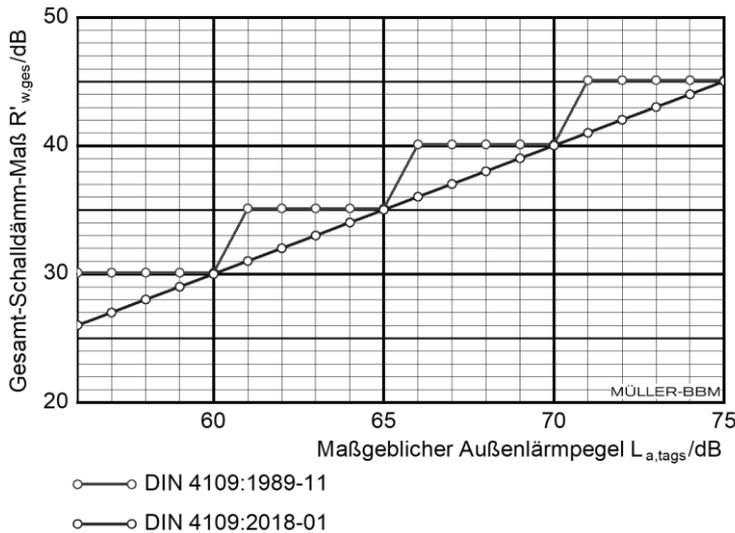


Abbildung 2: Straßenverkehrslärm an einer innerstädtischen Straße, $\Delta L_{Tag/Nacht} = 10$ dB (Verkehrsbelastung in der Nacht 10% vom Tagwert)

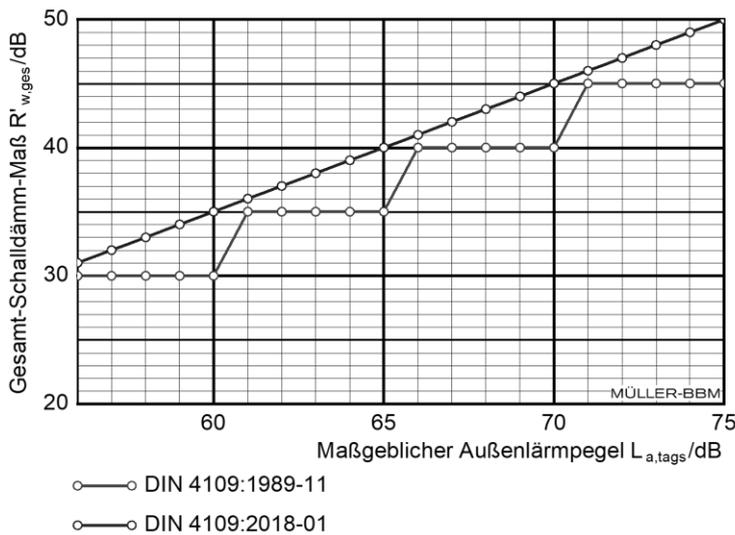


Abbildung 3: Straßenverkehrslärm an einer Autobahn, $\Delta L_{Tag/Nacht} = 5$ dB (Verkehrsbelastung in der Nacht 32% vom Tagwert)

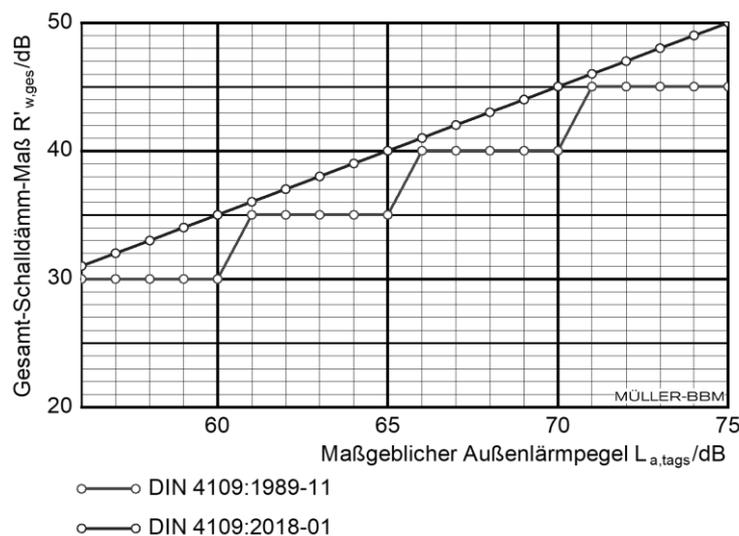


Abbildung 4: Schienenverkehrslärm, $\Delta L_{Tag/Nacht} = 0$ dB, d.h. gleicher Pegel am Tag und in der Nacht

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass durch die neue DIN 4109 im Bereich von Straßen, die nachts deutlich weniger befahren sind als am Tag, eine berechtigte Reduzierung der Anforderungen an die Außenbauteile von bis zu 4 dB auftritt (vgl. Abb. 2). Für Straßen und Schienen, die Nachts nur einen leichten bis keinen Rückgang der Lärmbelastung aufweisen, tritt hingegen eine Verschärfung um bis zu 5 dB auf (siehe Abb. 3 und 4).

Die Änderungen der Anforderungen berücksichtigen jeweils einzuhaltende Innenpegel, die unter anderem mit dem Umweltbundesamt abgestimmt wurden. Insofern kann erwartet werden, dass die in den jeweiligen länderspezifischen Bauordnungen definierten Schutzziele (siehe z.B. §3 der Musterbauordnung MBO) eingehalten werden.

4. Holzbauteile zum Schallschutz gegen Außenlärm

Das Gesamt-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ einer Fassade setzt sich in Abhängigkeit der jeweiligen Fläche aus dem Schalldämm-Maßen der einzelnen Bauteile und Elemente in der Fassade, bezogen auf die Fassadenfläche, zusammen. Das bedeutet, das Gesamt-Schalldämm-Maß wird vor allem durch schwache Bauteile oder Elemente beeinflusst.

In der Regel sind die Fenster die schalltechnisch schwächsten Außenbauteile. Die neue DIN 4109 [1] führt in den Bauteilkatalogen herstellerunabhängig Fensterkonstruktionen auf, die als Einfach-, Verbund- oder Kastenfensterkonstruktionen ein bewertetes Schalldämm-Maß von $R_w = 25$ dB bis 45 dB abdecken. Produktspezifisch sind schalltechnisch höchstwertige Sonderkonstruktionen bis zu $R_w = 55$ dB bekannt. Die Praxiserfahrung zeigt, dass unter Berücksichtigung aktueller Anforderungen an den Wärmeschutz Einfachfenster von $R_w = 35$ dB bis 45 dB gebräuchlich sind.

Die Außenwand oder die Dachkonstruktion als opake Außenbauteile sollten gegenüber den Fenstern ein deutlich höheres Schalldämm-Maß aufweisen. Folgende Angaben können im Sinne einer ersten Orientierung genannt werden: Ein Wert von ca. $R_w = 40$ dB bis 45 dB stellt auch ohne Außenlärmbelastung die unterste Grenze dar, die nicht unterschritten werden sollte, da das Gebäude ansonsten von den Nutzern als hellhörig gegenüber Außenlärm beschrieben wird. Bei moderater Außenlärmbelastung ist sicherlich ein Wert von $R_w = 45$ dB bis 50 dB einzuhalten. Bei höherer Außenlärmbelastung sind opake Außenbauteile mit bewerteten Schalldämm-Maßen von $R_w \geq 50$ dB erforderlich.

Um Konstruktionen in Holzbauweise schalltechnisch zu beurteilen eignet sich der Bauteilkatalog in DIN 4109-33 [1].

10 | Schallschutz gegen Aussenlärm bei Holzbauweisen – Planungsgrundsätze für die Praxis | A. Meier

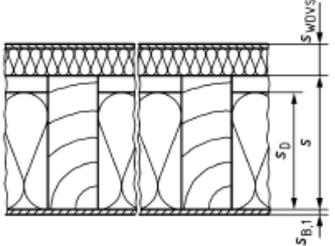
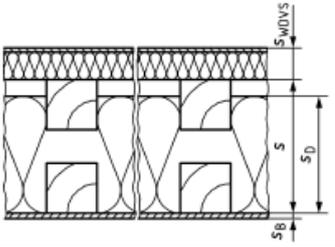
Zeile	Schnitt, horizontal	Konstruktionsdetails				R_w ($C; C_{tr}$) dB
		Mindestdämmschichtdicke ^a	Holzständer ^b	Mindestschalenabstand	Bekleidung ^c	
		s_D mm	b/h mm	s mm	$s_{B,n}$ mm	
7		140	60/160	160	s_{WDVS} Putz ^e + WF 60 $s_{B,1}$ HW 15	46 (-1; -6)
8		140	Stiel 2 x 60/60 Rähm 60/160 durchgehend	160	s_{WDVS} Putz ^e + WF 60 s_B HW 15	49 (-1; -4)

Abbildung 5: Auszug aus dem Bauteilkatalog zu Außenwänden in Holzbauweise in DIN 4109-33 [1]

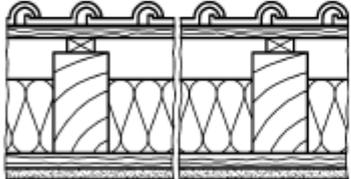
Spalte	1	2	3	
Zeile	Schnitt, vertikal	Konstruktionsdetails		R_w ($C; C_{tr}$) dB
		mm	Bauteilbeschreibung	
1			Dachdeckung	50 ^b (-3; -9)
			Lattung, Konterlattung,	
		120 bis 180	Zwischensparrendämmung ^a	
			Lattung	
2		12,5	Gipsplatten GK	52 (-3; -10)
			Dachdeckung,	
			Lattung, Konterlattung,	
		≥ 180	Zwischensparrendämmung ^c	
3		12,5	Gipsplatten GK	52 (-4; -11)
			Dachdeckung,	
			Lattung, Konterlattung,	
		≥ 200	Zwischensparrendämmung ^d	
		10	Gipsfaserplatten GF	

Abbildung 6: Auszug aus dem Bauteilkatalog zu Dächern in Holzbauweise in DIN 4109-33 [1]

Alternativ können auch bauphysikalische Datenbanken zu Holzbauteilen mit qualitätsgesicherten Angaben zu den Schalldämmungen herangezogen werden. Exemplarisch sei die Datenbank Dataholz.eu genannt [10]. In den beiden folgenden Abbildungen sind vergleichende Auswertungen dargestellt.

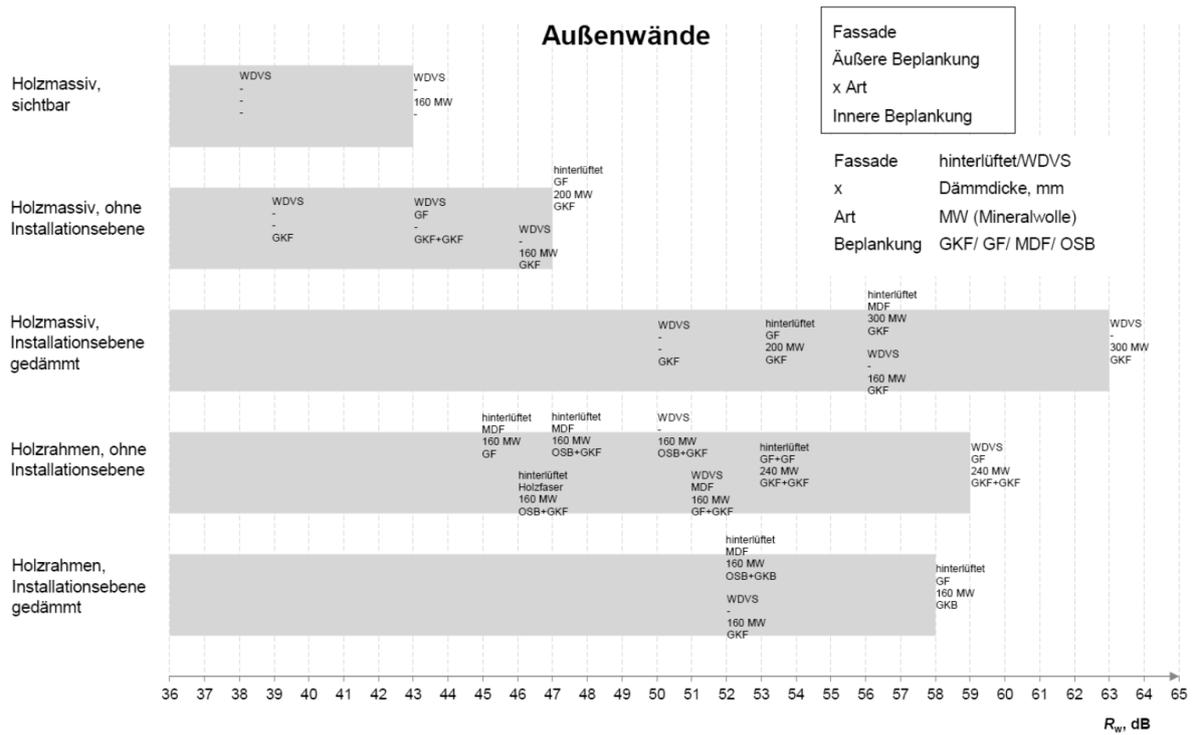


Abbildung 7: Zusammenstellung von Außenwänden aus der Datenbank Dataholz.eu [10]

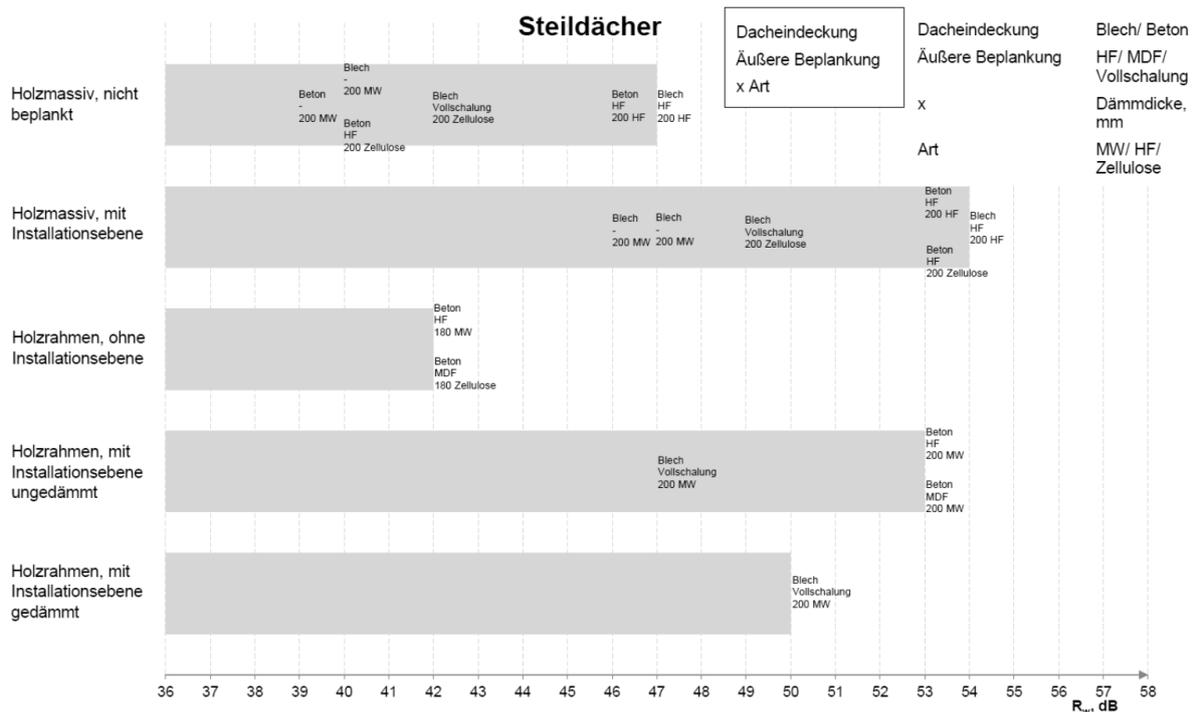


Abbildung 8: Zusammenstellung von Steildächern aus der Datenbank Dataholz.eu [10]

Für die Praxis können auf Grundlage solcher Zusammenstellungen vereinfachte und exemplarische Zusammenhänge angegeben werden:

- Bei Außenlärmbelastung sind Außenbauteile sowohl in Holzrahmen- als auch Holzmassivbauweise prinzipiell geeignet.
- Eine raumseitige Installationsebene ist bei Außenlärmbelastung sinnvoll, um ausreichend hohe Schalldämm-Maße sicherzustellen.
- Außenwände in Holzrahmenbauweise und einem WDV-System z.B. mit Holzfaserdämmstoffen erreichen vergleichsweise hohe Schalldämm-Maße.

- Durch eine Erhöhung der Konstruktionstiefe von Außenbauteilen können höhere Schalldämm-Maße erreicht werden. Der Schallschutz erfordert Platz.
- Dachkonstruktionen mit Sichtsparren oder sichtbaren Holzmassivbauteilen sind bei Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm nur bedingt geeignet.
- Für Dachkonstruktionen ist neben der Zwischensparrendämmung aus Faserdämmstoff eine Aufsparrendämmung ebenfalls aus Faserdämmstoff günstig.

5. Literatur

- [1] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, Ausgabe 2018-01 bzw. 2016-07
- Teil 1: Mindestanforderungen
 Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
 Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes
 Teil 31: Rahmendokument
 Teil 32: Massivbau
 Teil 33: Holz-, Leicht- und Trockenbau
 Teil 34: Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen
 Teil 35: Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden
 Teil 36: Gebäudetechnische Anlagen
 Teil 4: Bauakustische Prüfungen
- [2] VDI 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen
 Ausgabe 1987-08
- [3] Gerhard Hilz: Die neue DIN 4109 im Ländervergleich.
 Forum-Holzbau 8. HolzBauSpezial – Bauphysik, März 2017
- [4] Heinz-Martin Fischer: Neufassung der DIN 4109 auf Basis europäischer Regelwerke des baulichen Schallschutzes. In: Bauphysik-Kalender 2014, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn
- [5] Oliver Kornadt, Maximilian Redeker: Normative Neuerungen zum Schallschutz im Hochbau. In: Deutsches Ingenieurblatt 10-2018.
- [6] VDI-Richtlinie 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. Ausgabe 1987-08
- [7] 24. BImSchV «Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung» zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 1997-02
- [8] Wolfgang Moll, Renate Szabunia: Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile; Messtechnische Untersuchung der Relation zwischen bewertetem Bau-Schalldämm-Maß und A-Schallpegeldifferenz. Forschungsbericht 105 04 511 im Auftrag des Umweltbundesamtes, November 1985
- [9] S. Jovicic, R. Wettchureck: Bewertetes Schalldämm-Maß und A-Schallpegel-Differenz bei Fenstern – Statistische Auswertung der an fertigen Bauten gemessenen Schalldämmkurven, Bericht Nr. 7217-35/1, Oktober 1983
- [10] Datenbank für Gebäudebauteile in Holzbauweise: www.Dataholz.eu, Holzforschung Austria

Direkt- und Flankenschalldämmung bei Vorhangfassaden aus Holz und Metall

Bernd Saß
ift Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Direkt- und Flankenschalldämmung bei Vorhangfassaden aus Holz und Metall

1. Einleitung

In der bauakustischen Planung von Gebäuden werden Angaben zur Luft- und Längsschalldämmung von Bauteilen benötigt. Für die Bauteilgruppe «Vorhangfassaden» lassen sich solche Angaben bis dato nur anhand von Messungen im Labor oder aus Untersuchungen am Bau nachweisen. Eine Möglichkeit zur Planung und Nachweisführung über ein Tabellenverfahren existierte bislang nicht.

Um hier eine belastbare Planungsgrundlage zu schaffen wurde am ift Rosenheim, Labor Bauakustik, ein Forschungsprojekt durchgeführt, bei dem bestehende Messdaten analysiert und ergänzende Labormessungen zur Längsschalldämmung durchgeführt wurden, um Planungstabellen zu erstellen [1]. Ziel des Projektes war und ist es, diese Tabellen in die Bauteilkataloge der DIN 4109 und der Produktnorm für Vorhangfassaden EN 13830 zu integrieren. Dieser Beitrag stellt die Arbeiten und Ergebnisse zur Thematik der Luft- und Längsschalldämmung von Vorhangfassaden vor.

2. Luftschalldämmung

In diesem Kapitel werden die Auswertungen zur Luftschalldämmung von Vorhangfassaden aus dem Projekt betrachtet. Die Datensammlung basiert auf einer Reihe von Messungen an sogenannten Fassaden-Festfeldelementen im Normformat aus dem Prüflabor (1,23 m × 1,48 m) und einer Anzahl Messungen an Elementen mit größeren Abmessungen, in der Regel sind das Objektmessungen.

Zur Datenanalyse wurden Filterkriterien festgelegt. Die für die Analyse wesentlichen Felder können bei Interesse dem Forschungsbericht entnommen werden. Wichtigste Merkmale sind die Schalldämmung der Füllung, Abmessung der Elemente, die Ansichtsbreite b und die Bautiefe t der Profile.

Die Auswertungen wurden getrennt durchgeführt für die drei Kenngrößen R_w , $R_A (= R_w + C)$ und $R_{A,tr} (= R_w + C_{tr})$, auf Basis der jeweils gleichen Kenngröße zur Schalldämmung der Verglasung.

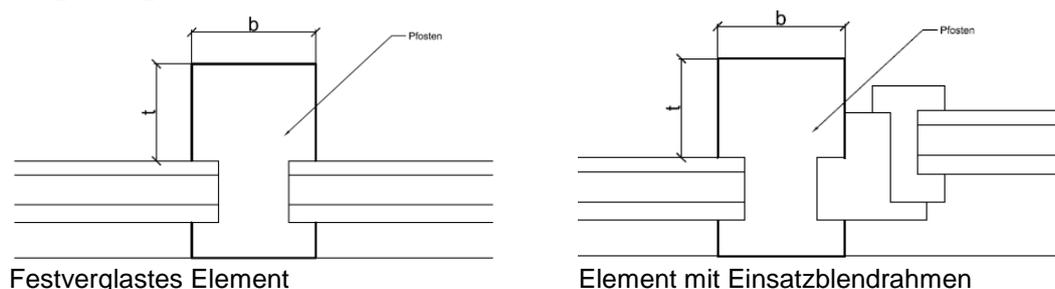


Abbildung 1: Ansichtsbreite b und Bautiefe t von Fassadenelementen

2.1. Fassadenelemente im Normformat

Für Fassadenelemente im Normformat wurde eine Datensammlung angelegt. Im Wesentlichen sind darin die Ergebnisse von Messungen an Rahmen aus Pfosten-Riegel-Fassaden enthalten mit einer Ansichtsbreite b von meist 50 mm bis 60 mm. Bei der Analyse wurde unterschieden zwischen Festfeldelementen und Elementen mit Einzelementen (z.B. Dreh-Kipp-Fenstern). Die Bauteiltabellen basieren auf Messdaten für Elemente im Normformat; Abbildung 2 zeigt ein Beispiel eines solchen einfeldrigen Fassaden-Festfeldelements, eingebaut in den Fensterprüfstand des ift Labor Bauakustik.



Abbildung 2: Beispiel für ein Fassaden-Festfeldelement im Normformat, eingebaut in den Fensterprüfstand nach DIN EN ISO 10140

2.2. Einsetzelemente

Bei Rahmen mit Einsetzelementen hat sich als relevantes Konstruktionsmerkmal die Einbaufuge zwischen dem Fassadenrahmen und dem Einsatzblendrahmen ergeben (Abbildung 3 und Abbildung 4).

In den Fällen, in denen diese Fuge nicht abgedichtet ist, entstehen zum Teil erhebliche Abschläge für das Schalldämm-Maß des gesamten Elementes durch Abstrahlung von Schallenergie aus dieser Fuge heraus. Ein systematischer Einfluss lässt sich im Sinne des Bauteilkataloges nicht verallgemeinert beschreiben; diese Einflüsse sind bauartbedingt unterschiedlich stark ausgeprägt. Sobald aber diese Fuge mit einem Dichtstoff oder einem Dichtprofil abgedichtet wird, ist eine gesicherte Aussage über das zu erwartende Schalldämm-Maß auf Basis der Füllung und der Rahmenkonstruktion möglich.



Abbildung 3: Beispiel für ein Einsetzelement in einem Fassadenrahmen im Normformat, eingebaut in den Fensterprüfstand nach DIN EN ISO 10140

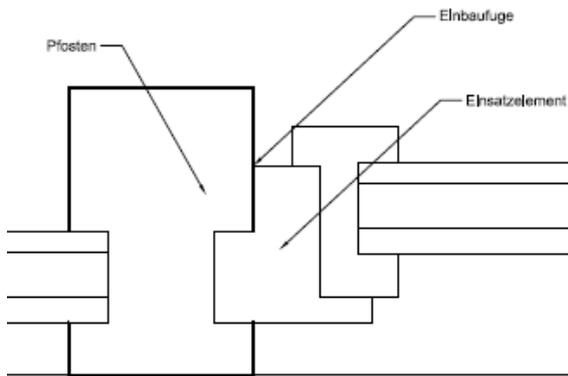
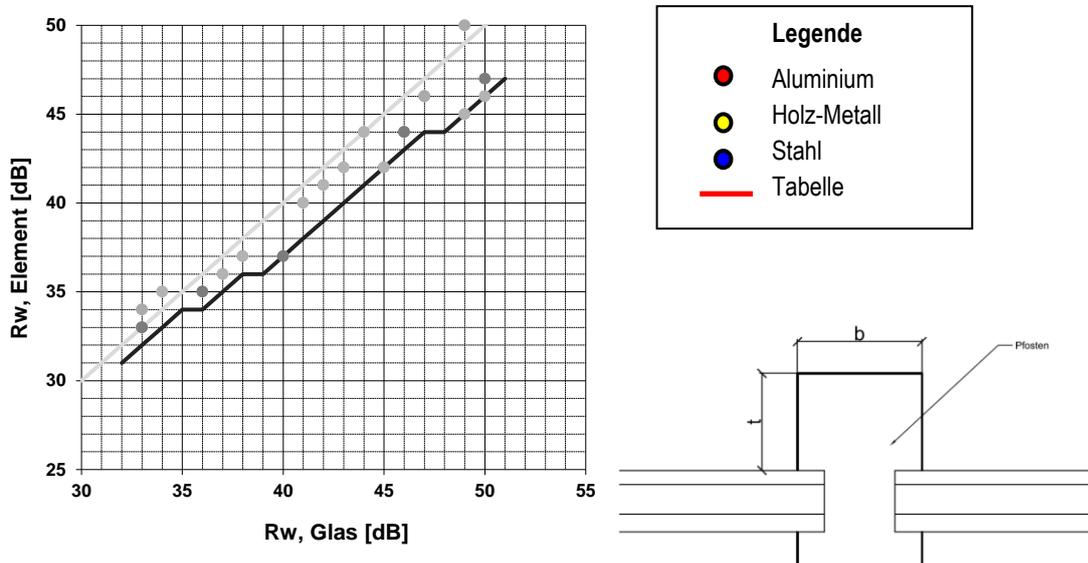


Abbildung 4: Prinzipskizze einer Einbaufuge von Einbauelementen in Pfosten-Riegel-Fassaden

Vergleicht man die Analyse mit den Werten aus der Tabelle für Fenster in DIN 4109-35 Tabelle 1, so ergibt sich ein ähnlicher Zusammenhang zwischen der Schalldämmung der Füllung und der Elementeschalldämmung für Festfeldelemente mit Einbauelement und auch für Elementfassaden.

2.3. Rahmenmaterial

In Abbildung 5 ist der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Rahmenmaterialien Aluminium, Holz-Metall und Stahl und der Luftschalldämmung von großformatigen, festverglasten Pfosten-Riegel-Fassaden ohne Einbauelemente aufgetragen. Weitere Randbedingungen sind die Rahmenansichtsbreite b von 50-60 mm und Bautiefe t bis 200 mm. Auch wurde die Fläche des größten Glasfeldes auf 2 m² begrenzt, um die Einflüsse großer Glasflächen auf die Analyse auszuschließen. Im Ergebnis liefern die Rahmenmaterialien Aluminium, Stahl oder Holz-Metall bei der Betrachtung der Schalldämmung gegen Außenlärm vergleichbare Ergebnisse.

Abbildung 5: Auswertung der Schalldämmung R_w von Fassaden ohne Einbauelement, basierend auf dem bewerteten Schalldämm-Maß R_w der Füllung, in Abhängigkeit vom Rahmenmaterial

2.4. Glasfläche

Der Einfluss der Glasfläche auf die Luftschalldämmung von Pfosten-Riegel-Fassaden ist in dargestellt. Basis für die Tabelle ist eine Auswertung für Pfosten-Riegel-Fassaden ohne Einsetzelemente mit allen Rahmenmaterialien. Die Analyse erfolgte für die Fläche des größten Glasfeldes (größte einzelne Glasfläche) in vier Schritten, nämlich bis 2 m², 2 bis 4 m², 4 bis 6 m² und mehr als 6 m².

Tabelle 1: Korrektursummand für Glasformate für die Luft-schalldämmung von Pfosten-Riegel-Fassaden

Fläche des größten Glasfeldes in m ²	Korrektursummand Schalldämmung
bis 2,0 m ²	0 dB
> 2,0 bis 4,0 m ²	-1 dB
> 4,0 bis 6,0 m ²	-2 dB
> 6,0 m ² bis 10 m ²	-3 dB

Für Einzel-Glasflächen > 10 m² wird keine allgemeine Aussage getroffen.

2.5. Tabellen für die Luftschalldämmung von Vorhangfassaden

Es werden für die Tabellen zwei Fallunterscheidungen in der Bauart getroffen. In Abhängigkeit der Schalldämmung der Füllung wird ein Schall-dämm-Maß der Fassadenelemente definiert, getrennt für die Kenngrößen R_w , R_A und $R_{A,tr}$. Um die Streubreiten bei den unterschiedlichen Fassadenkonstruktionen zu berücksichtigen, wurde bei der Ermittlung der tabellierten Werte eine Standardabweichung von 1 dB abgezogen.

Tabelle 2: Bewertetes Schalldämm-Maß R_w von Fassaden im Normformat

Füllung	Pfosten-Riegel-Fassaden ohne Einsetzelemente mit einer Ansichtsbreite b der Profile bis 70 mm	Pfosten-Riegel-Fassaden mit Einsetzelementen, Ansichtsbreite b zusammen ≤ 150 mm (Ansichtsbreite Einsetzelement ≤ 100 mm), und Elementfassaden bis zu einer mittleren Ansichtsbreite b der Profile von 75 mm
R_w in dB		
32	31	31
33	32	32
34	33	33
35	34	34
36	34	34
37	35	35
38	36	36
39	36	36
40	37	37
41	38	38
42	39	39
43	40	40
44	41	41
45	42	42
46	43	42
47	44	42
48	44	43
49	45	43
50	46	43
≥ 51	47	43

1. Bei Einsetzelementen in Pfosten-Riegel-Fassaden muss die Einbaufuge innen mit Dichtstoff oder Dichtprofil umlaufend abgedichtet werden.
2. Die Tabellen gelten für die Rahmenmaterialien Aluminium, Holz-Metall und Stahl.
3. Bei großen Glasformaten reduziert sich die Schalldämmung gemäß .
4. Fensterflügel benötigen mindestens zwei umlaufende Dichtungsebenen, eine davon als raumseitig umlaufende Dichtung aus-geführt.

5. Die Schalldämmung von Einzelementen in der Ausführung als Schiebeelement, Hebe-Schiebeelement, Schwing- oder Wendefenster, Lüftungsflügel, Klappe oder als Tür ist nicht mit den Tabellenwerten abgedeckt und muss separat betrachtet werden.
6. Liegen für die C und C_{tr}-Werte der geplanten Füllung keine Werte vor, kann ersatzweise ein Wert von C = -2 dB und C_{tr} = -6 dB für die Füllung angenommen werden.

Die Anmerkungen gelten auch für Tabelle 3 und Tabelle 4.

Tabelle 3: Schalldämm-Maß R_A (R_w+C) von Fassaden im Normformat

Füllung	Pfosten-Riegel-Fassaden ohne Einzelemente mit einer Ansichtsbreite b der Profile bis 70 mm	Pfosten-Riegel-Fassaden mit Einzelementen, Ansichtsbreite b zusammen ≤ 150 mm (Ansichtsbreite Einzelement ≤ 100 mm), und Elementfassaden bis zu einer mittleren Ansichtsbreite b der Profile von 75 mm
$R_A (= R_w+C)$ in dB		
30	29	29
31	30	30
32	30	30
33	31	31
34	32	32
35	33	33
36	34	34
37	34	34
38	35	35
39	36	36
40	37	37
41	38	38
42	39	39
43	40	40
44	41	40
45	42	40
46	42	41
47	43	41
48	44	41
≥ 49	45	41

Tabelle 4: Schalldämm-Maß $R_{A,tr}$ (R_w+C_{tr}) von Fassaden im Normformat

Füllung	Pfosten-Riegel-Fassaden ohne Einzelemente mit einer Ansichtsbreite b der Profile bis 70 mm	Pfosten-Riegel-Fassaden mit Einzelementen, Ansichtsbreite b zusammen ≤ 150 mm (Ansichtsbreite Einzelement ≤ 100 mm), und Elementfassaden bis zu einer mittleren Ansichtsbreite b der Profile von 75 mm
$R_{A,tr} (= R_w+C_{tr})$ in dB		
27	25	25
28	26	26
29	27	27
30	28	28
31	29	29
32	30	30
33	30	30
34	31	31
35	32	32
36	33	33
37	34	34
38	35	35
39	36	36
40	37	36
41	38	36
42	39	37
43	39	37
44	40	37
≥ 45	41	37

3. Längsschalldämmung

Zur Analyse der Längsschalldämmung von Vorhangfassaden wurden vorhandene Messungen ausgewertet und in einem zweiten Schritt gezielte Messungen von Musterfassaden durchgeführt.

Für die Analyse wurde eine Datenbank aus Messdaten des ift Labor Bauakustik und weiteren nationalen Prüflaboratorien aufgestellt. Dokumentiert sind Elemente aus den Rahmenmaterialien Aluminium, woraus der größte Anteil an Konstruktionen besteht, Holz, Holz-Metall und Stahl.

Zur Auswertung der Datenbank wurden Filterkriterien festgelegt, anhand derer die Datenanalyse durchgeführt wurde. Filter wurden u.a. zu folgenden Einflussgrößen gesetzt:

- Schallübertragungsweg (Flankenschalldämmung horizontal von Raum zu Raum und vertikal von Geschoß zu Geschoß)
- Bauweisen der Fassaden (z.B. Pfosten-Riegelfassade, Elementfassade)
- Rahmenmaterial (Metall, Holz und Kombinationen)
- Aufteilung sowie Größe der Füllungen
- Art der Füllungen (Isolierglas, opake Ausfachungen etc.)
- Konstruktionsdetails, z.B. Raster, Abmessung der Profile,
- Anschlussdetails an das trennende Bauteil (Wand / Decke)
- Ausführung von Fassadendetails im Anschlussbereich
- Gemeinsame Kantenlänge

Die im Zuge der Auswertungen ermittelten Standardabweichungen wurden für die betrachteten Bauteilgruppen aus allen Filterungen heraus gemittelt, bezogen auf die Messungen ohne weitere Korrektur und einmal bezogen auf die Bezugskantenlänge l_0 (2,8 m bei horizontaler Schallübertragung und 4,5 m bei vertikaler Schallübertragung, entsprechen den Vorgaben in DIN 4109). Für eine auf Statistik basierte Aussage ist prinzipiell eine möglichst geringe Standardabweichung von weniger als 2 dB, besser 1 dB wünschenswert; die Filterungen wurden auch dahingehend analysiert, zu welchen Merkmalen sich möglichst geringe Standardabweichungen ergeben. Dieses Ziel der geringen Standardabweichung ließ sich dennoch nicht in jedem Fall einhalten, die erarbeiteten Tabellen enthalten hier entsprechende Abschlüsse.

Die mittlere Standardabweichung σ der Datenanalyse liegt für das auf l_0 korrigierte Ergebnis von $D_{n,f,w}$ bei einem Stichprobenumfang n

Bei Fensterbändern:	$\sigma = 1,0$ dB (n = 144)
Bei Pfosten-Riegelfassaden:	$\sigma = 1,2$ dB (n = 158)
für Horizontale Flankenschalldämmung:	$\sigma = 1,4$ dB (n = 93)
für vertikale Flankenschalldämmung:	$\sigma = 0,9$ dB (n = 65)
Bei Elementfassaden:	$\sigma = 1,9$ dB (n = 267)
für Horizontale Flankenschalldämmung:	$\sigma = 2,3$ dB (n = 174)
für vertikale Flankenschalldämmung:	$\sigma = 1,4$ dB (n = 93)

Die Übertragungsrichtungen wurden in zwei Kapiteln zur horizontalen und vertikalen Längsschalldämmung, getrennt für die Bauarten der Pfosten-Riegelfassaden und Elementfassaden behandelt. Ergänzend wurde eine Analyse für Fensterbänder durchgeführt, obwohl die Bauart nicht als Vorhangfassade zu bezeichnen ist.

3.1. Horizontale Längsschalldämmung

Die horizontale Längsschalldämmung ist relevant für den Anschluss an eine Trennwand zwischen zwei Räumen in einer Etage. Aus der Anforderung an die resultierende Schalldämmung zwischen den beiden Räumen ergibt sich die Anforderung an die Längsschalldämmung.

Die Trennwand hat in Abhängigkeit der Anforderung häufig eine Dicke von 100 bis 150 mm, so dass bei dem Anschluss an die Fassade ein sogenannter Schwertanschluss mit reduzierter

Bautiefe erfolgen muss, wenn die Breite des an die Trennwand anschließenden Profils geringer ist. Schwertanschlüsse wurden im Rahmen des Forschungsprojektes nicht thematisiert, diese müssen in der Planung demnach eigenständig betrachtet werden.

3.2. Fensterbänder

Die Analyse für Fensterbänder hat gezeigt, dass für den Bauanschluss der Trennwand zwei prinzipielle Anschlussvarianten zu unterscheiden sind, dies ist der Anschluss an einen Montagepfosten und an einen Mittelpfosten, auch Kämpfer genannt.

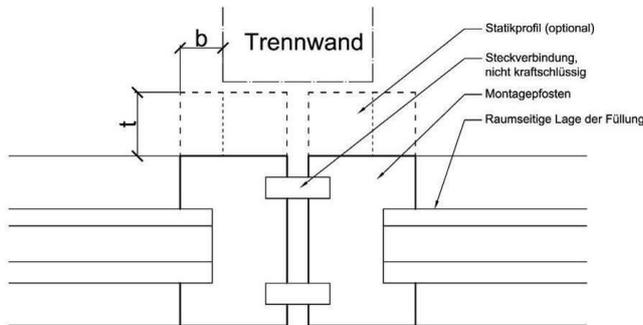
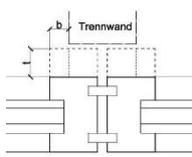
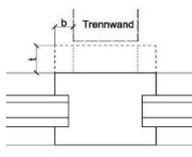


Abbildung 6: Prinzipskizze zum Trennwandanschluss an einen Montagepfosten

Die Datenanalyse zeigt, dass im Vergleich zu festverglasten Fensterbandelementen die Längsschalldämmung von Elementen mit offenen Flügeln mit Innendichtung etwas höher ist. Festverglaste Fassadenelemente sind in diesem Detail also der ungünstigere Fall, daher wurden die Tabellen auf festverglaste Elemente hin abgestimmt, die Tabellenwerte können somit auf festverglaste und Elemente mit Flügeln angewendet werden.

Zur Unterscheidung der Fensterbänder sind geometrische Angaben zu den Rahmenprofilen zu ermitteln, da breite Profile sich ungünstig auf die Längsschalldämmung auswirken können. Eine Unterscheidung im Rahmenmaterial wird nicht vorgenommen.

Tabelle 5: Längsschalldämmung von Fensterbändern

Trennwand-anchluss / waagerechte Rahmenprofile	Profilbreite b in mm	Bautiefe t in mm	Raums. Schale R_w [dB]	$D_{n,f,w}$ ($C;C_{tr}$) [dB]
Montagepfosten / keine durchlaufenden Profile 	$b \leq 10$	$t = 0$	29	59 (-3;-9)
			31	60 (-3;-9)
			33	61 (-3;-9)
			35	62 (-2;-9)
			37	63 (-2;-9)
		$t \leq 50$	-	55 (-2;-6)
	$b \leq 35$	$t = 0$	29	59 (-3;-9)
			31	60 (-3;-9)
			33	61 (-3;-9)
		$t \leq 50$	-	55 (-2;-6)
$b \leq 75$	$t = 0$	-	56 (-2;-6)	
Mittelpfosten / Rahmenprofil bis 50 mm durchlaufend 	$b \leq 35$	$t = 0$	29	54 (-2;-6)
			31	56 (-2;-6)
			33	57 (-2;-6)
			35	58 (-2;-6)
			$t \leq 50$	-
	$b \leq 75$	$t = 0$	-	49 (-1;-3)
Mittelpfosten / Blendrahmenverbreiterung bis 250 mm durchlaufend	$b \leq 35$	$t = 0$	-	42 (-1;-3)

Als kennzeichnende Größe wurde ein $D_{n,f,w}$ definiert, um klarzustellen dass diese Größe auf die Bezugsgröße $l_0 = 2,8$ m bezogen ist.

Für die Anwendung der Tabellen wurden folgende Randbedingungen formuliert:

- Sofern nicht anders beschrieben gelten die Werte für eine Mindestschalldämmung der raumseitigen Schale von $R_w \geq 31$ dB
- Mindestmaterialdicke bei Metall-Hohlprofile 2 mm
- Die Werte gelten für festverglaste Elemente und Elemente mit öffenbaren Flügeln mit raumseitig umlaufender Dichtung
- Fensterflügel benötigen mindestens zwei umlaufende Dichtungsebenen
- Die Tabelle gilt für die Rahmenmaterialien Aluminium, Holz, Holz-Metall und Stahl
- Schwertanschlüsse sind bei der Tabelle nicht berücksichtigt

3.3. Pfosten-Riegelfassaden

Die Analyse für Pfosten-Riegelfassaden hat gezeigt, dass für den Bauanschluss an die Trennwand für diese Bauweise drei prinzipielle Anschlussvarianten zu unterscheiden sind, dies ist der Anschluss an einen Montagepfosten, an einen monolithischen Pfosten, sowie die Ausführung als Doppelpfosten.

In der Datenanalyse enthalten sind Pfosten-Riegelfassaden aus Aluminium-Hohlprofilen, aus Holz-Metallprofilen und aus Stahlprofilen. Die Analyse hat ergeben, dass das Rahmenmaterial einen deutlich signifikanten Einfluss auf die Längsschalldämmung einer Pfosten-Riegelfassade mit horizontaler Schallübertragung hat.

Profilschalldämmung

Ein Ergebnis des Forschungsprojektes ist es, dass zur Berücksichtigung des Pfostenprofils die Profilschalldämmung herangezogen werden kann. So können auf diese Art und Weise gezielte Verbesserungsmaßnahmen zur Erhöhung der Flankenschalldämmung mit verhältnismäßig geringem messtechnischen Aufwand bewertet werden.

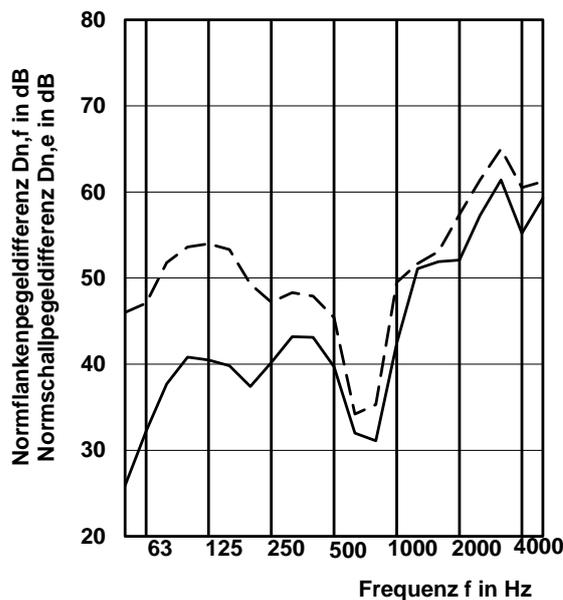


Abbildung 7: Vergleich von Profilschalldämmung und Längsschalldämmung mit dem gleichen Pfostenprofil am Trennstoß

In dem Forschungsprojekt wurde zu den einzelnen geprüften Varianten der Längsschalldämmung jeweils auch die Profilschalldämmung des Anschlussprofils untersucht. Vergleicht man die Messung der Profilschalldämmung mit der Messung der Längsschalldämmung der Pfosten-Riegelfassaden, bei der das gleiche Profil am Trennwandanschluss anschließt, so ergeben sich gute Übereinstimmungen im spektralen Verlauf oberhalb von etwa 500 Hz. Das gilt für Profile ohne und mit Maßnahmen zur Verbesserung der Schalldämmung. Abbildung 7 enthält dazu ein vergleichendes Beispiel.

Zur Berücksichtigung der Profilschalldämmung wurde ein Tabellenverfahren entwickelt, das neben tabellierten Werten auch die Berechnung der Längsschalldämmung vorsieht.

Dazu wird ein Bezugswert benötigt, der in Abhängigkeit der Füllung in einer Tabelle angegeben ist (siehe Tabelle 6). Zur Berechnung benötigt man dann die Profilschalldämmung als Normschallpegeldifferenz, die auf die gemeinsame Kantenlänge (2,8 m bei horizontaler Längsschalldämmung) bezogen ist.

Tabelle 6: Bezugswert zur horizontalen Längsschalldämmung $D_{n,f,0,w}$ von Vorhangfassaden

Trennwandanschluss	Raumseitige Schale R_w [dB]	$D_{n,f,0,w}$ ($C;C_{tr}$) in dB
Montagepfosten oder monolithische Pfosten/ keine am Stoß durchlaufenden Riegelprofile oder Hohlräume	31	56 (-2;-6)
	34	57 (-2;-6)
	37	58 (-2;-6)
	39	59 (-2;-6)

Mit dem Bezugswert und der Profilschalldämmung kann nun die Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$ berechnet werden, bezogen auf die Bezugs-Kantenlänge $l_0 = 2,8$ m:

$$D_{n,f,l_0,w} = -10 \cdot \log \left(10^{\frac{D_{n,f,0,w}}{10}} + 10^{\frac{D_{n,e,0,w}}{10}} \right) - 1 \text{ dB}$$

3.4. Elementfassaden

Die Datenanalyse ergab bei Elementfassaden eine große Formenvielfalt, die Rahmenquerschnitte und Ansichtsbreiten variieren stärker als die von Pfosten-Riegelfassaden. Ein wichtiges Kriterium hier ist die Lage der Elementstoßfuge. Wird der Trennwandanschluss an die Elementstoßfuge ausgeführt so sind höhere Längsschalldämm-Maße zu erwarten, da es keine über den T-Stoß hinweg laufenden Rahmenprofile gibt.

Über den T-Stoß hinweg laufende Hohlräume, also Hohlprofile oder auch Hohlräume zwischen Profilen und / oder zwischen Profil und Baukörper, können die Längsschalldämmung deutlich negativ beeinflussen. Abhilfe schafft hier ein Hohlraum-Schott im Bereich des T-Stoßes.

Für Vorhangfassaden in Pfosten-Riegel- und in Elementbauweise wurde eine Tabelle mit Konstruktionsmerkmalen erarbeitet, die nachfolgend als Tabelle 7 wiedergegeben wird. Für die Anwendung der Tabelle wurden folgende Randbedingungen festgelegt:

- Mindestschalldämmung der raumseitigen Schale $R_w \geq 31$ dB
- Mindestmaterialdicke bei Metall-Hohlprofilen 2 mm
- Die Tabelle gilt für festverglaste Elemente und Elemente mit öffnenbaren Flügeln mit zwei umlaufenden Dichtebenen, eine davon raumseitig
- Keine über den T-Stoß durchlaufende Hohlkammern in oder zwischen den Elementen (durchlaufende Hohlräume müssen mit einem Schott ausgestattet werden)
- Abdichtung der Fuge zwischen Pfostenprofil und Aufsatzkonstruktionen (wo zutreffend)
- Einbau der Füllung mit Dichtprofilen oder geklebt (Structural Glazing SG)
- Schwertanschlüsse sind nicht berücksichtigt.

Tabelle 7: Längsschalldämmung von Vorhangfassaden, horizontale Schallübertragung, bezogen auf $l_0 = 2,8$ m, Trennwandanschluss ≥ 100 mm Wanddicke

Trennwandanschluss / waagerechte Rahmenprofile	Profiltiefe t in mm	Rahmenmaterial	$D_{n,f,w}$ ($C;C_{tr}$) in dB
Pfosten-Riegel-Fassade, Anschluss an Montagepfosten / keine am Stoß durchlaufenden Riegelprofile oder Hohlräume	≤ 150	Aluminium-Hohlprofil, Profildicke ≥ 50 mm	42 (-3;-5)
		Holz (Fichte) Metall-Aufsatzkonstruktion Profildicke ≥ 50 mm	50 (-1;-3)

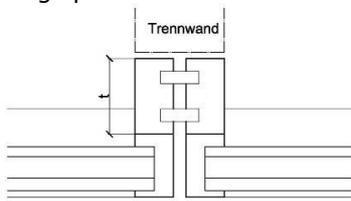


Tabelle 7: Längsschalldämmung von Vorhangfassaden, horizontale Schallübertragung, bezogen auf $l_0 = 2,8$ m, Trennwandanschluss ≥ 100 mm Wanddicke

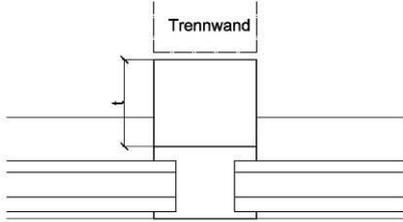
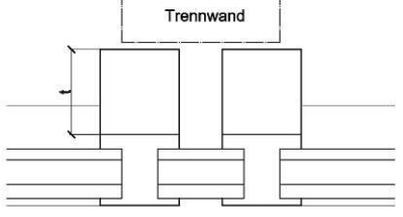
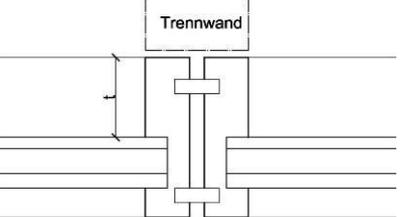
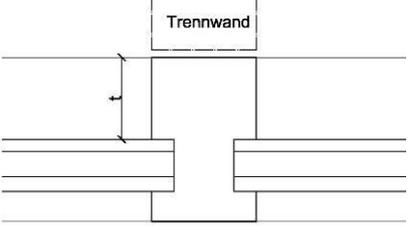
Trennwandanschluss / waagerechte Rahmenprofile	Profiltiefe t in mm	Rahmenmaterial	$D_{n,f,w}$ ($C;C_{tr}$) in dB
Pfosten-Riegel-Fassade, Anschluss an Mittelpfosten / keine am Stoß durchlaufenden Riegelprofile oder Hohlräume 	≤ 100	Aluminium- Hohlprofil, Profildbreite ≥ 50 mm	45 (-2;-5)
		Holz (Fichte) Metall- Aufsatzkonstruktion Profildbreite ≥ 50 mm	53 (-1;-5)
	≤ 150	Aluminium- Hohlprofil, Profildbreite ≥ 50 mm	40 (-3;-5)
		Holz (Fichte) Metall- Aufsatzkonstruktion Profildbreite ≥ 50 mm	48 (-1;-3)
≤ 200	Stahl- Hohlprofil, Profildbreite ≥ 50 mm	43 (-1;-2)	
	Aluminium- Hohlprofil, Profildbreite ≥ 50 mm	39 (-3;-5)	
Pfosten-Riegel-Fassade, Anschluss an Doppelpfosten / keine am Stoß durchlaufenden Riegelprofile oder Hohlräume 	≤ 150	Aluminium- Hohlprofil, Profildbreite ≥ 50 mm	58 (-1;-6)
Elementfassade, Anschluss an Elementstoß / keine am Stoß durchlaufenden Riegelprofile oder Hohlräume 	0 (Glasleiste oder Paneel- feld innen bündig)	Aluminium- Hohlprofil, Profildansichtsbreite ≤ 100 mm	58 (-2;-6)
	≤ 50		55 (-2;-6)
	≤ 100		50 (-1;-4)
	≤ 150		45 (-1;-3)
≤ 200	42 (-1;-3)		

Tabelle 7: Längsschalldämmung von Vorhangfassaden, horizontale Schallübertragung, bezogen auf $l_0 = 2,8$ m, Trennwandanschluss ≥ 100 mm Wanddicke

Trennwandanschluss / waagerechte Rahmenprofile	Profiltiefe t in mm	Rahmenmaterial	$D_{n,f,w}$ ($C;C_{tr}$) in dB
Elementfassade, Anschluss an Mittelpfosten / durchlaufender Elementrahmen, keine weiteren am Stoß durchlaufenden Riegelprofile oder Hohlräume 	0 (Glasleiste oder Paneelfeld innen bündig)	Aluminium-Hohlprofil, Profilsichtsbreite ≤ 100 mm	55 (-1;-4)
	≤ 50		48 (-1;-2)
	≤ 100		40 (-1;-2)
	≤ 150		37 (-3;-4)

3.5. Vertikale Längsschalldämmung

Die vertikale Längsschalldämmung ist relevant für den Anschluss einer Vorhangfassade an eine Trenndecke zwischen zwei übereinanderliegenden Etagen. Aus der Anforderung an die resultierende Schalldämmung zwischen den beiden Räumen ergibt sich, wie bei der Übertragung in horizontaler Richtung auch, die Anforderung an die Längsschalldämmung, die in der Planungsphase eines Gebäudes festzulegen ist. Die Schallübertragung ist in diesem Fall komplexer als bei der horizontalen Schallübertragung, was ein Rechenverfahren leider ausschließt. Es bleibt die Darstellung von beispielhaften Konstruktionen in Tabellenform.

Viele der in der Datensammlung dokumentierten Messungen entstammen Messungen für konkrete Bauvorhaben. Bei diesen Messungen wird häufig der Bauanschluss an die Decke nach Ausführungsplanung aufgebaut. Dabei reicht die Höhe des Deckenanschlusses in der Datenanalyse von 100 mm bis etwa 700 mm, die Fassade hat in den meisten Fällen einen Abstand zur Decke zwischen etwa 50 und 150 mm, in dem die Tragkonstruktion eingebaut wird (die Auflager, Los- und Festlager). Der so entstehende Hohlraum wird dann im Regelfall mit Mineralwollfüllstoff ausgefüllt und oben und unten mit einer Abdeckung verschlossen, häufig mit Metallblech aus Aluminium oder Stahl. Da dieser Bauanschluss häufig vom Fassadenbauunternehmen ausgeführt wird macht es Sinn dieses Detail des Anschlusses mit in die Beurteilung einzubauen, wenngleich es sich streng genommen nicht um einen Bestandteil des Übertragungsweges F_f der Fassade handelt.

Für die vertikale Längsschalldämmung wurden zwei Tabellen mit Konstruktionsmerkmalen erarbeitet, eine für Pfosten-Riegelfassaden und eine für Elementfassaden. Diese sind nachfolgend als Tabelle 8 und Tabelle 9 wiedergegeben. Für die Anwendung der Tabellen wurden folgende Randbedingungen festgelegt:

- Mindestschalldämmung der raumseitigen Schale von $R_w \geq 31$ dB.
- Mindestmaterialdicke bei Metall-Hohlprofile 2 mm
- Die Werte gelten für festverglaste Elemente und Elemente mit offenbaren Flügeln mit raumseitig umlaufender Dichtung.
- Fensterflügel benötigen mindestens zwei umlaufende Dichtungsebenen.
- Einbau der Füllung mit Dichtprofilen oder geklebt (Structural Glazing SG)
- Durchlaufende Profile und Hohlräume sind im Bereich des Deckenanschlusses mit einem Schott abzudichten
- Anschlüsse von Böden oder abgehängten Decken sind in der Tabelle nicht berücksichtigt.

Tabelle 8: Längsschalldämmung von Pfosten-Riegel-Fassaden, vertikale Schallübertragung, bezogen auf $l_0 = 4,5 \text{ m}$

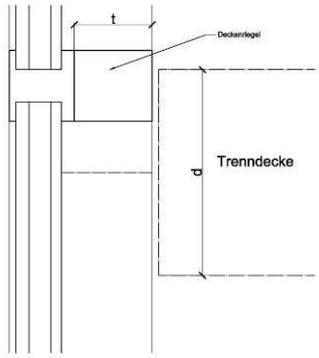
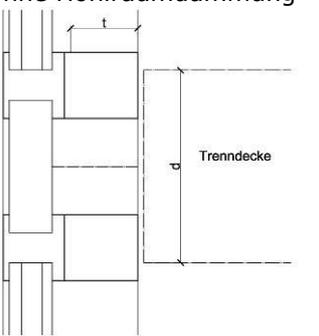
Trenndeckenanschluss	Pfostenprofil	Profiltiefe t in mm	Deckenhöhe d in mm	Rahmenmaterial	$D_{n,f,w} (C;C_{tr})$ in dB
Ein Deckenriegel 	Durchlaufend	≤ 125	Keine Angabe	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite $\geq 50 \text{ mm}$	32 (-2;-3)
		≤ 80		Stahl-Hohlprofil	40 (-2;-3)
	Getrennt mit Einschleibling	≤ 160	Keine Angabe	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite $\geq 50 \text{ mm}$	33 (-3;-4)
		≤ 80		Stahl-Hohlprofil	42 (-2;-4)
	Getrennt mit Einschleibling, Profilkammer mit Schott geschlossen	≤ 160	Keine Angabe	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite $\geq 50 \text{ mm}$	39 (-2;-5)
	Zwei Deckenriegel, ohne Hohlraumdämmung 	Durchlaufend	≤ 140	≥ 180	Holzprofile, Profildbreite $\geq 80 \text{ mm}$
Getrennt mit Einschleibling		≤ 160	≥ 200	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite $\geq 50 \text{ mm}$	36 (-1;-3)
Getrennt, gedübelt		≤ 140	≥ 180	Holzprofile, Profildbreite $\geq 80 \text{ mm}$	50 (-2;-4)
Getrennt mit Einschleibling, Profilkammer mit Schott geschlossen		≤ 160	≥ 280	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite $\geq 50 \text{ mm}$	47 (-5;-7)

Tabelle 8: Längsschalldämmung von Pfosten-Riegel-Fassaden, vertikale Schallübertragung, bezogen auf $l_0 = 4,5$ m

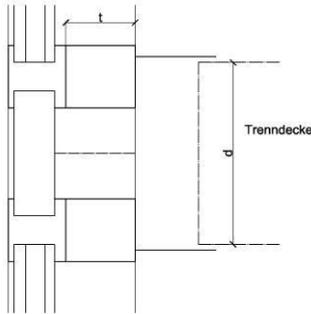
Trenndeckenanschluss	Pfostenprofil	Profiltiefe t in mm	Deckenhöhe d in mm	Rahmenmaterial	$D_{n,f,w}$ (C;C _{tr}) in dB
Zwei Deckenriegel, Hohlraum mit Mineralwolle gedämmt, Anschlussblech 2 mm Stahlblech oben und unten 	Durchlaufend	≤ 125	≥ 200	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite ≥ 50 mm	39 (-2;-3)
			≥ 400		45 (-3;-5)
		≤ 140	≥ 180	Holzprofile, Profildbreite ≥ 80 mm	48 (-1;-5)
	Getrennt mit Einschleibling	≤ 160	≥ 280	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite ≥ 50 mm	41 (-1;-3)
	Getrennt, gedübelt	≤ 140	≥ 180	Holzprofile, Profildbreite ≥ 80 mm	54 (-1;-4)
	Getrennt mit Einschleibling, Profilkammer mit Schott geschlossen	≤ 100	≥ 140	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite ≥ 50 mm	49 (-1;-4)
		≤ 125	≥ 400		48 (-2;-4)
≤ 160		≥ 280	48 (-4;-6)		

Tabelle 9: Längsschalldämmung von Elementfassaden, vertikale Schallübertragung, bezogen auf $l_0 = 4,5$ m

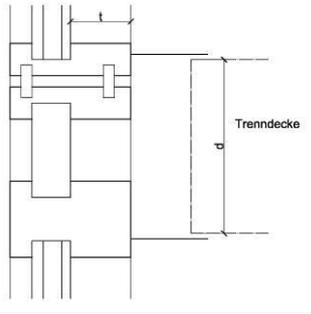
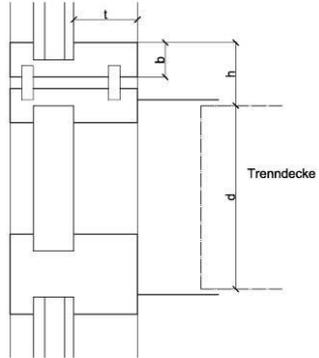
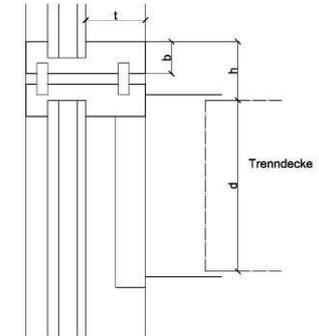
Trenndeckenanschluss	Abstand h in mm	Profiltiefe t in mm	Deckenhöhe d in mm	Rahmenmaterial	$D_{n,f,w}$ (C;C _{tr}) in dB
Elementstoß im Deckenbereich, zwei Deckenriegel, Hohlraumdämmung, Anschlussblech 2 mm Stahlblech oben und unten 	0 (Im Deckenbereich)	0 (Glasleiste oder Paneelfeld innen bündig)	≥ 300	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite $b \leq 50$ mm	61 (-2;-7)
		≤ 100	≥ 150	Aluminium-Hohlprofil, Profildbreite $b \leq 100$ mm	55 (-1;-6)

Tabelle 9: Längsschalldämmung von Elementfassaden, vertikale Schallübertragung, bezogen auf $l_0 = 4,5$ m

Trenndeckenanschluss	Abstand h in mm	Profiltiefe t in mm	Deckenhöhe d in mm	Rahmenmaterial	$D_{n,f,w}$ ($C;C_{tr}$) in dB	
Elementstoß oberhalb der Decke, zwei Deckenriegel, Hohlraumdämmung, Anschlussblech 2 mm Stahlblech oben und unten 	≤ 150	≤ 50	≥ 250	Aluminium-Hohlprofil, Profilbreite $b \leq 50$ mm	57 (-1;-5)	
			≥ 100	≥ 260	Aluminium-Hohlprofil, Profilbreite $b \leq 130$ mm	51 (-2;-5)
			≥ 260		56 (-2;-6)	
			≥ 190	Aluminium-Hohlprofil, Profilbreite $b \leq 200$ mm	49 (-1;-5)	
			≤ 100	≥ 150	Aluminium-Hohlprofil, Profilbreite $b \leq 50$ mm	54 (-1;-4)
			≤ 150	≥ 150		51 (-1;-3)
			≤ 200			45 (-1;-3)
Elementstoß oberhalb der Decke, 1 Deckenriegel (hinterschnitten), Hohlraumdämmung, Anschlussblech 2 mm Stahlblech oben und unten 	≤ 150	≤ 90	≥ 200	Aluminium-Hohlprofil, Profilbreite $b \leq 50$ mm	50 (-2;-4)	
		≤ 180			44 (-2;-4)	

4. Zusammenfassung

Das den Forschungsbericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumordnung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-14.26). Es wurden darin erstmals Vorschläge für einen Bauteilkatalog zum Nachweis der Längsschalldämmung von Fassaden ohne vorherige Prüfung erarbeitet.

5. Literatur

- [1] Forschungsbericht «Erarbeitung eines Bauteilkatalogs zur Ermittlung der Luftschalldämmung sowie Längsschalldämmung von Vorhangfassaden», ift Rosenheim zur Veröffentlichung vorgesehen in 2017
- [2] EN 12758:2011-01, «Glass in Buildings – Glazing and airborne sound insulation – Product descriptions and determination of properties»
- [3] EN 14351-1:2006+A1:2010, «Windows and doors - Product standard, Performance characteristics – Part 1: Windows and external pedestrian doorsets without resistance to fire and/or smoke leakage characteristics»
- [4] DIN 4109-35:2016-07, «Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden»
- [5] Ift Richtlinie SC08/1: 2017-01, «Bestimmung der Profilschalldämmung»

Bildquellen: ift Archiv

Flachdächer und Dachterrassen im Holzbau

Andreas Rabold
Technische Hochschule Rosenheim
und ift Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Camille Châteauevieux-Hellwig
Technische Hochschule Rosenheim
und ift Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Stefan Bacher
ift Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Flachdächer und Dachterrassen im Holzbau

1. Einleitung

Bei der Planung von modernen Büro- und Wohngebäuden ist vor allem im Bereich der mehrgeschossigen Bauweise i.d.R. ein Flachdach oder ein flachgeneigtes Dach mit ausgebautem Dachgeschoß vorgesehen. Um den Ansprüchen aus Wärmeschutz, Statik, Brandschutz und Schallschutz gerecht zu werden, müssen diese Dachkonstruktionen einer ganzen Reihe von Kriterien entsprechen. Auch im Bereich des Schallschutzes variieren die Ansprüche je nach Ausführung und Nutzung des Dachelementes als reines Dachelement oder als begehbare Dachterrasse.

Planungsdaten, insbesondere für Konstruktionen in Holzbauweise, die den bauakustischen Ansprüchen entsprechen, sind nur sehr bedingt verfügbar. So wurden auch in der neuen DIN 4109 [1] nur drei Aufbauten für leichte Flachdächer berücksichtigt. Geeignete Aufbauten für Dachterrassen und Loggien, sowie Konstruktionen mit Massivholzelementen fehlen ganz.

Neben den statischen und bauphysikalischen Anforderungen werden im Bereich von Dachterrassen (wie auch für Loggien) häufig zusätzliche Vorgaben, wie Lattenroste oder Betonplatten als Gehbelag gemacht, die nur eine geringe Entkopplung ermöglichen. Auch die Zielsetzung einer möglichst niedrigen Stufe zwischen Wohnbereich und Dachterrasse im Zuge einer barrierefreien Ausführung stellt eine zusätzliche Herausforderung dar.

In einem aktuellen Projekt [2] wurden deshalb Untersuchungen an praxisnahen Dachaufbauten durchgeführt, um die Einflussgrößen auf die Schalldämmung von Flachdächern und leicht geneigten Dächern beschreiben und Planungsunterlagen gut geeigneter Konstruktionen zur Verfügung stellen zu können.

2. Konstruktive Einflüsse

Zur Untersuchung der konstruktiven Einflüsse wurden zunächst die gängigsten Dachkonstruktionen mit Ihren Varianten in den Bauteilkomponenten erfasst. Darauf aufbauend wurde in enger Abstimmung mit den Projektpartnern eine Prüfmatrix erstellt, die folgende Bauteilvarianten berücksichtigt:

- Dachtypen: Flachdächer, Dachterrassen, leicht geneigte Dächer
- Elementtypen: Balken/Sparrenelemente, Massivholz Flächen-, Rippen- oder Kastenelemente
- Dämmweise: Aufsparrendämmung, Zwischensparrendämmung
- Dämmungstyp: EPS, PUR, Holzfaser, Vakuumpaneel
- Eindeckung / Belag: Blechdach, Gründach, Kiesdach, Betonplatten, Lattenrost

Durch vergleichende Messungen konnten für die verschiedenen Aufbauten die Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch die einzelnen Maßnahmen ermittelt werden. Nachfolgend werden diese für die Grundkonstruktion, zusätzliche Unterdecken, und unterschiedliche Dachaufbauten gezeigt.

2.1. Dachkonstruktionen

Sichtbare Tragkonstruktionen können mit Sichtsparrendächern, Dachelementen aus Massivholzelementen (Brettsperrholz-, Brettschichtholz-, Brettstapelelemente) oder Rippen- und Kastenelementen realisiert werden. Diese einschaligen Bauweisen der Grundkonstruktionen erfordern für schalltechnisch hochwertige Ausführungen Zusatzmassen in Form einer Beschwerung in oder auf dem Element. Alternativ kann durch eine (entkoppelte) Unterdecke die Luft- und Trittschalldämmung verbessert werden. Konstruktions- und Ausführungsvarianten sind in Abbildung 1 dargestellt.

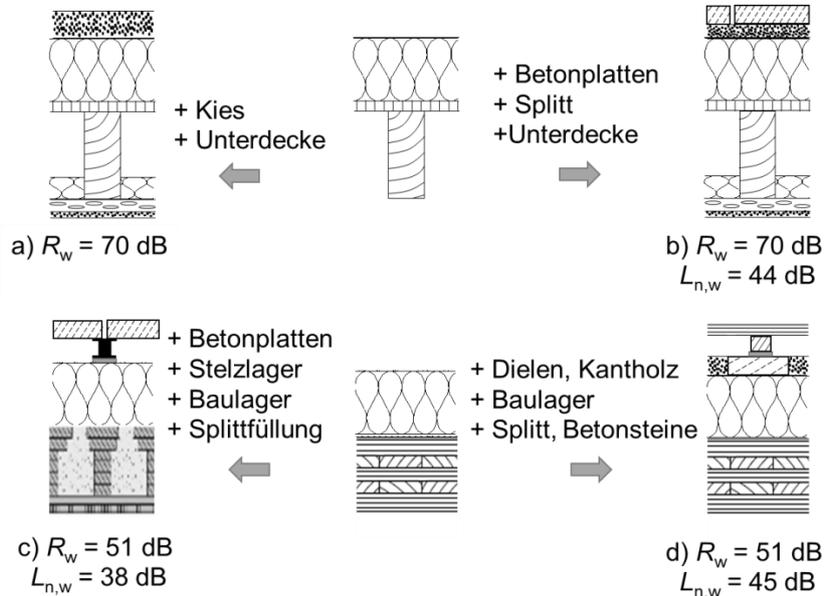


Abbildung 1: Flachdächer aus Sparren- oder Massivholzelementen mit unterschiedlichen Aufbauten:

- a) 50 mm Kies, Unterdecke mit Federschiene, 12,5 mm GKF und 40 mm Faserdämmstoff
- b) 40 mm Betonplatten, 30 mm Splitt, Unterdecke mit Federschiene, 12,5 mm GKF und 40 mm Faserdämmstoff
- c) 40 mm Betonplatten, > 40 mm Stelzlager, 12 mm Baulager, Splittfüllung im Element
- d) 26 mm Dielen, 44 mm Kantholz, 12 mm Baulager, 40 mm Splitt und Betonplatte (unter Baulager)

Massivholzelemente werden auch als Akustikelemente eingesetzt. Um zu überprüfen, inwieweit die Akustiklochung einen Einfluss auf die Schalldämmung des Dachelementes hat, wurde ein direkter Vergleich bei sonst gleichem Aufbau durchgeführt (siehe Abbildung 2). Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung.

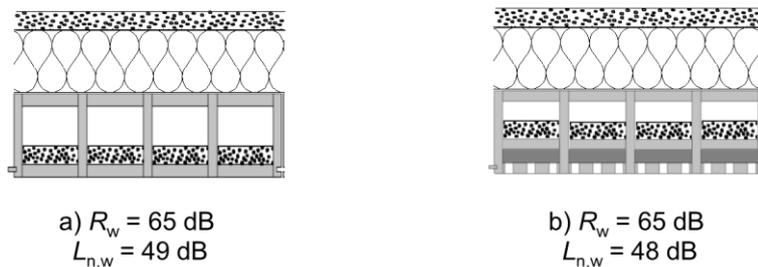


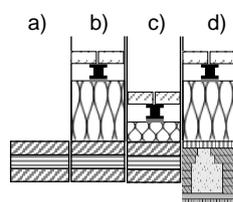
Abbildung 2: Flachdächer aus Massivholz-Kastenelementen, EPS Aufdachdämmung, Dachabdichtung, Bekiesung:

- a) Kastenelement mit 50 kg/m² Splittfüllung
- b) Akustikelement mit 50 kg/m² Splittfüllung

2.2. Dämmung

Nicht druckbelastete Dämmstoffe zwischen den Sparren und in der Unterdecke wirken schallabsorbierend, indem Schallenergie durch Reibung an und zwischen den Dämmstofffasern in Wärmeenergie umgewandelt wird. Hierzu ist eine offenzellige Struktur des Dämmstoffes erforderlich, die der Schallwechseldruckwelle einerseits ein Eindringen ermöglicht und andererseits einen genügend großen Widerstand entgegensetzt. Eine gute schallabsorbierende Wirkung wird mit Dämmstoffen erreicht, deren längenbezogener Strömungswiderstand r zwischen 5 kPa s/m^2 und 50 kPa s/m^2 liegt [1]. Dies kann sowohl mit Faserdämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen als auch mit konventionellen Dämmstoffen erreicht werden. Geschlossenzellige Dämmstoffplatten (z.B. Hartschaumplatten) sind nicht geeignet.

Druckbelastete Aufdachdämmungen haben neben der absorbierenden Wirkung auch die Aufgabe der Entkopplung. Bei Steildächern werden hierzu bei Dachkonstruktionen mit Schallschutzanforderungen häufig Faserdämmplatten eingesetzt. Dies ist auch bei flach geneigten Dächern mit Blecheindeckung möglich. Bei Flachdächern werden auf Grund der höheren Belastung meist Hartschaumdämmplatten verwendet. Diese verhalten sich auf Grund ihrer hohen Steifigkeit, der geringen Rohdichte und der fehlenden Absorption zunächst ungünstig. Wie Abbildung 3 zeigt, unterscheidet sich das bewertete Schalldämmmaß R_w des Aufbaus b) mit 200 mm EPS-Aufdachdämmung ($R_w = 38 \text{ dB}$) kaum vom Grundelement (Aufbau a) mit $R_w = 37 \text{ dB}$. Die EPS-Aufdachdämmung hat also keine verbessernde Wirkung auf den Einzahlwert. Auch frequenzabhängig erkennt man erst ab 500 Hz eine Verbesserung gegenüber dem Grundelement. Dies kommt hier besonders deutlich zum Vorschein, da auch die Betonplatten auf Stelzlager durch die Verlege-Fuge keinen Beitrag zur Luftschalldämmung leisten. Gleiches gilt für die Ausführung mit Vakuum-Paneelen, die gerne für barrierefreie Übergänge zur Dachterrasse eingesetzt werden. Eine deutliche Verbesserung wird erst durch eine Beschwerung des Dachelementes erreicht, wie dies in Aufbau d) durch eine Splittfüllung des Massivholz-Rippenelementes erfolgte. Durch die Beschwerung wird das Element bedämpft und die Resonanz der Dämmplatten zu tieferen Frequenzen verschoben (von 250 Hz auf 125 Hz).



- a) 140 mm Brettsperrholzelement,
 $m' = 68 \text{ kg/m}^2$
- b) Betonplatten auf Stelzlager
200 mm EPS Aufdachdämmung
140 mm Brettsperrholzelement
- c) Betonplatten auf Stelzlager
58 mm Vakuum-Dämmplatte
140 mm Brettsperrholzelement
- d) Betonplatten auf Stelzlager
200 mm EPS Aufdachdämmung
196 mm Rippenelement mit Splitt,
 $m' = 145 \text{ kg/m}^2$

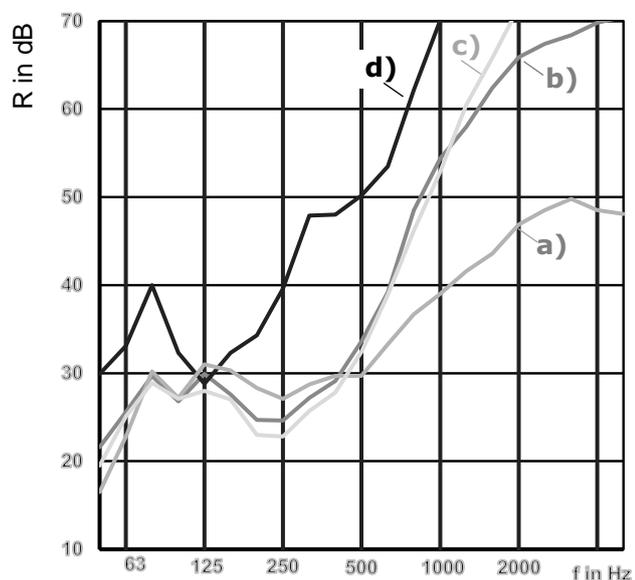


Abbildung 3: Einfluss der Aufdachdämmung auf das Schalldämm-Maß von Flachdachaufbauten. Der Aufbau oberhalb der Dämmplatte (hier: 40 mm Betonplatten, Stelzlager, Baulager, Dachabdichtung) ist für die Luftschallübertragung auf Grund der Fugen zwischen den Betonplatten nicht maßgebend.

a) Dachelement ohne Aufbau, $R_w = 37 \text{ dB}$

b) Dachelement mit 200 mm EPS und Betonplatten auf Stelzlager, $R_w = 38 \text{ dB}$

c) Dachelement mit 58 mm Vakuum Paneel und Betonplatten auf Stelzlager, $R_w = 37 \text{ dB}$

d) Dachelement mit Splitt-Beschwerung im Element, 200 mm EPS und Betonplatten auf Stelzlager, $R_w = 51 \text{ dB}$

Ein Dämmstoffvergleich zwischen EPS – und PUR-Aufdachdämmplatten wird in Abbildung 4 für die Trittschallübertragung dargestellt. Auch hier ist der Einfluss der Hartschaum-dämmplatte gering. Die etwas weichere EPS-Platte ergibt geringfügig bessere Werte.

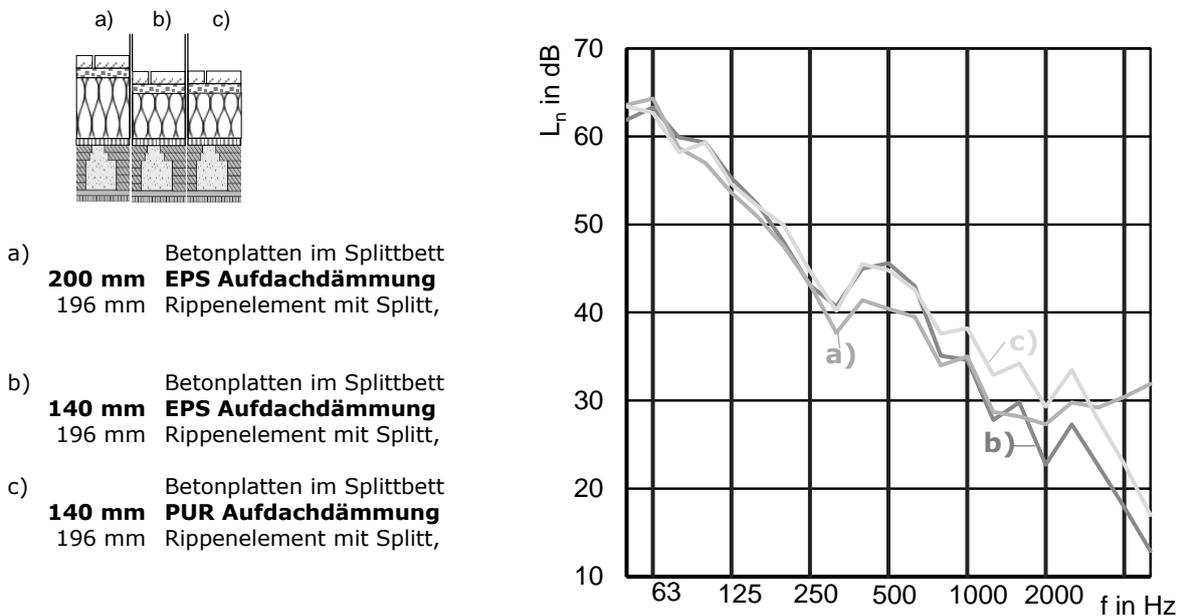


Abbildung 4: Einfluss der Aufdachdämmung auf das Schalldämm-Maß von Flachdachaufbauten
a) Dachelement mit 200 mm EPS, Dachabdichtung, Betonplatten im Splittbett, $L_{n,w} = 44$ dB
b) Dachelement mit 140 mm EPS, Dachabdichtung, Betonplatten im Splittbett, $L_{n,w} = 45$ dB
c) Dachelement mit 140 mm PUR, Dachabdichtung, Betonplatten im Splittbett, $L_{n,w} = 46$ dB

2.3. Abdichtung, Dachdeckung und Gehbelag

Der Aufbau oberhalb der Dämmstoffebene wird nutzungsabhängig variiert. Für nicht begehbare Flachdächer werden Kiesschüttungen, extensive Begrünungen oder Dachabdichtungsbahnen verwendet. Die Ausführung mit Dachabdichtungsbahnen ohne weitere Zusatzmassen ergibt erwartungsgemäß geringere Schalldämm-Maße (siehe Abbildung 5c). Bisherige Vergleichsmessungen ergaben jedoch auch für Dachaufbauten mit extensiver Dachbegrünungen deutlich geringere Schalldämm-Maße als für Dachaufbauten mit Kiesauflagen gleicher flächenbezogener Masse (siehe Abbildung 5a). Als Ursache kann hier der Einfluss der Dränschicht in Kombination mit einer Speichermatte genannt werden, die im Frequenzbereich von 125 Hz bis 2000 Hz eine Reduzierung der Schalldämmung bewirkt. Abbildung 6 zeigt hierzu einen direkten Vergleich für einen Dachterrassenaufbau mit und ohne Speichermatte (hier als Schutzvlies eingesetzt). Während im Trittschalldurchgang die zusätzliche Entkopplung eine Verbesserung ($\Delta L = L_{n,ohne\ Vlies} - L_{n,mit\ Vlies}$) bewirkt, zeichnet sich für die Luftschalldämmung die gleiche Verschlechterung ($\Delta R = R_{mit\ Vlies} - R_{ohne\ Vlies}$) ab. Hier besteht in Bezug auf die bauakustische Auswirkung üblicher Drän-, Speicher- und Schutzschichten noch Untersuchungsbedarf.

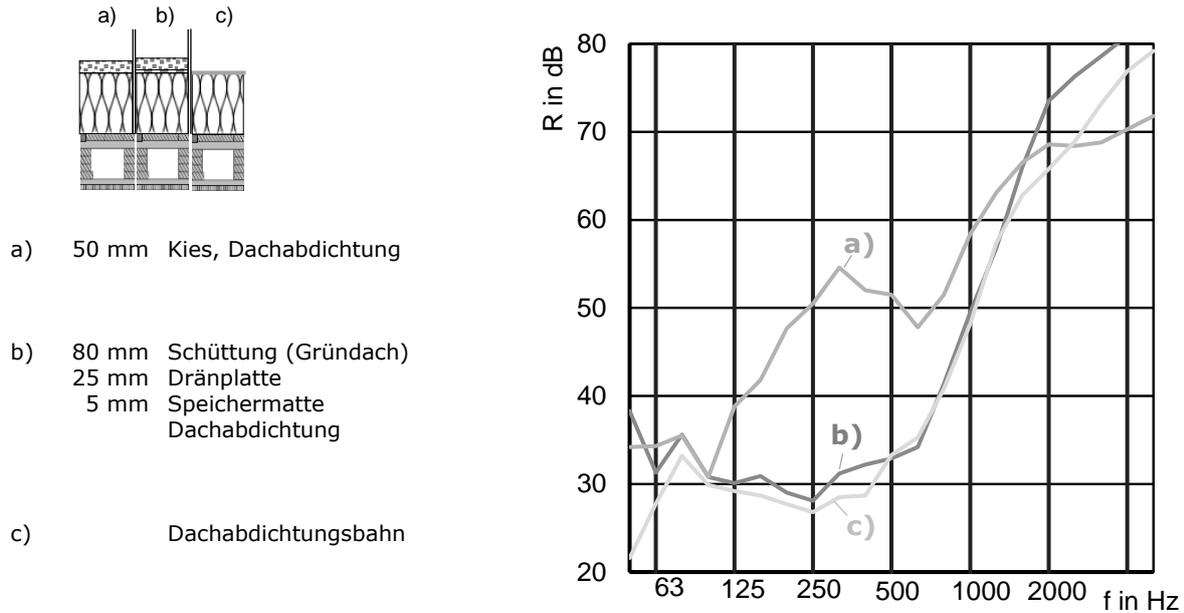


Abbildung 5: Vergleich der Aufbauten: Kiesdach, Gründach und einfache Dachabdichtungsbahn auf einem Brettsperrholz – Kastenelement mit 200 mm EPS Aufdachdämmung

- a) Kiesdach, $R_w = 55$ dB
- b) Gründach, $R_w = 39$ dB
- c) Dachabdichtung, $R_w = 38$ dB

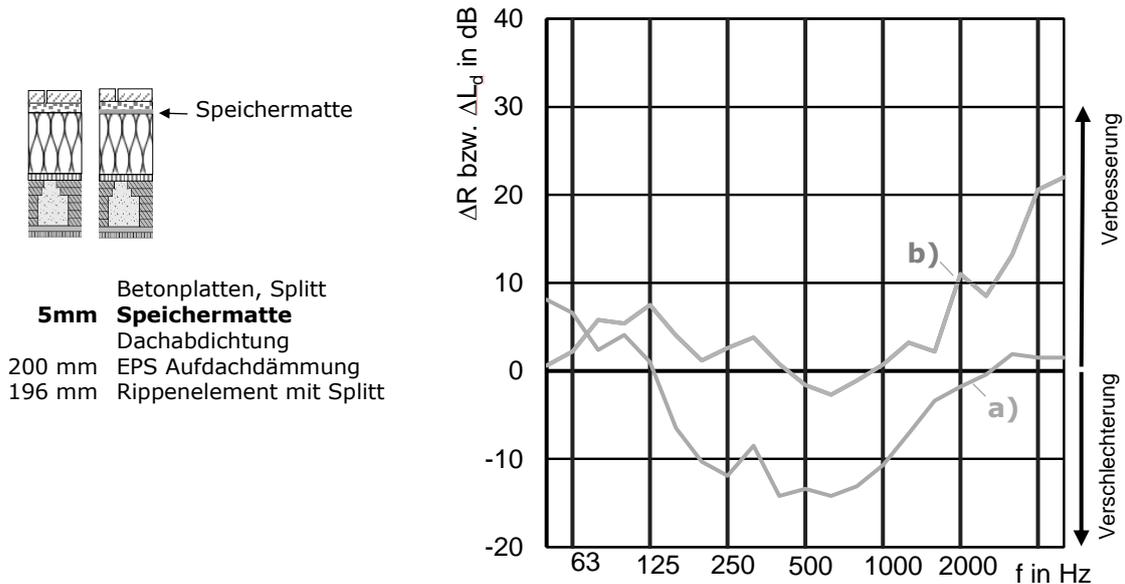
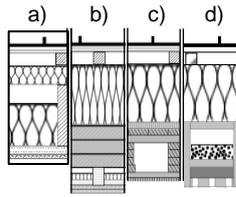


Abbildung 6: Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch Speichermatte aus der direkten Vergleichsmessung mit und ohne Speichermatte

- a) Differenz Luftschalldämmung ΔR mit und ohne Speichermatte
- b) Trittschalldämmung ΔL durch die Speichermatte

Für leicht geneigte Dächer kommen Metalldachdeckungen zum Einsatz. Leichte Dachabdichtungen und Metalldachdeckungen verhalten sich insgesamt ungünstiger als schwere, mehrlagig aufgebrachte Abdichtungsbahnen. Bei Metalleindeckungen können jedoch Holzfaserdämmplatten eingesetzt werden, die eine deutliche Verbesserung gegenüber Hartschaumdämmplatten ergeben. Zusätzlich wurde zur Bedämpfung der Metalleindeckung eine Bitumen-Unterdachbahn eingebaut, um die Geräuschentwicklung bei Starkregen zu reduzieren. Abbildung 7 zeigt Schalldämm-Maße für die verschiedenen Dachtypen mit Metalleindeckung.



Dacheindeckung:

- 0,5 mm Metalleindeckung
- 3 mm Bitumen Unterdachbahn
- 24 mm Schalung
- 80 mm Lattung, $e = 625$ mm
- 60-200 mm Holzfaserdämmplatte

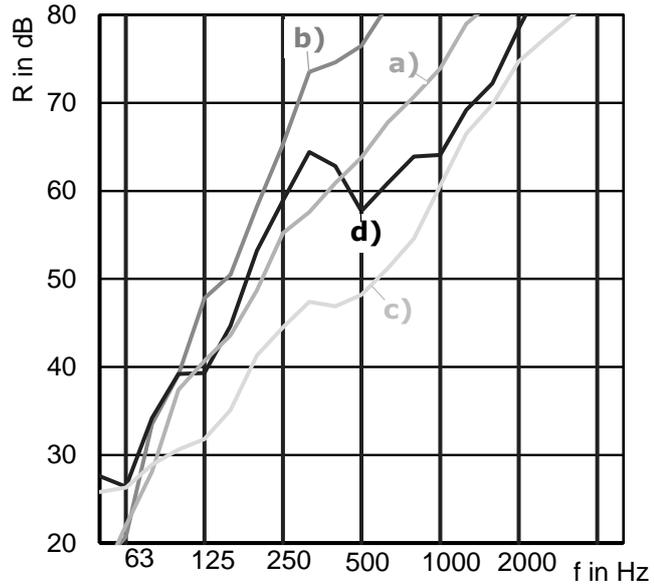
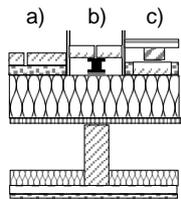


Abbildung 7: Schalldämmung flachgeneigter Dächer mit Metalleindeckung

- a) Sparrendach, Unterdecke mit Federschiene, $R_w = 63$ dB
- b) Brettsperrholzelement mit abgehängter Unterdecke, $R_w = 71$ dB
- c) Brettsperrholz-Rippenelement ohne Zusatzmaßnahmen, $R_w = 53$ dB
- d) Kastenelement als Akustikelement mit 50 kg/m^2 Splittfüllung, $R_w = 63$ dB

Begehbare Dächer die als Dachterrassen genutzt werden, können mit Betonplatten im Splittbett, Platten auf Stelzlager oder einem Holzrost (Holzdielen auf Lagerhölzern) ausgeführt werden. Während die Betonplatten im Splittbett durch ihre flächenbezogene Masse wirksam sind, kann bei Stelzlager und Holzrosten eine zusätzliche Reduzierung der Übertragung durch Entkopplungsmaßnahmen (elastische Lagerung auf Baulagern) erreicht werden. Hierzu wird das Entkopplungsmaterial vom Hersteller auf eine geeignete Eigenfrequenz des Aufbaus ausgelegt. Eine gute Entkopplung ist für Eigenfrequenzen $f_0 = 20$ bis 30 Hz zu erwarten. Um eine möglichst geringe Einfederung zu erreichen, wurde bei dem geprüften Aufbau die Eigenfrequenz auf $f_0 < 60$ Hz ausgelegt.



- a) 40 mm Betonplatten
30 mm Splitt
- b) 40 mm Betonplatten
40 mm Stelzlager
12,5 mm Baulager
- c) 26 mm Dielen
44 mm Lattenrost
12,5 mm Baulager
40 mm Splitt und Betonplatten
(unter dem Baulager)

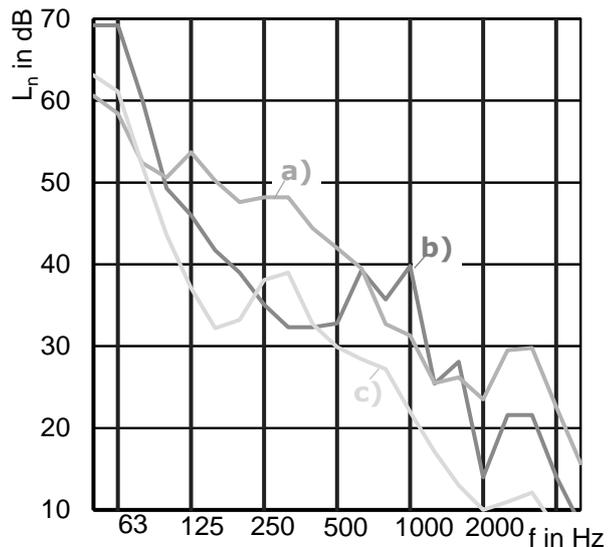


Abbildung 8: Norm-Trittschallpegel unterschiedlicher Aufbauten auf einem Sparren-/Balkenelement mit abgehängter Unterdecke und 140 mm EPS-Aufdachdämmplatten

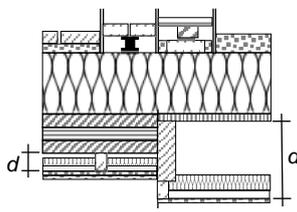
- a) Betonplatten im Splittbett, $L_{n,w} = 44$ dB
- b) Betonplatten auf Stelzlager, Entkopplung durch Baulager, $L_{n,w} = 38$ dB
- c) Dielen auf Lattenrost, Entkopplung durch Baulager, Zusatzmasse durch Splitt, $L_{n,w} = 31$ dB

2.4. Unterdecke und raumseitige Bekleidung

Die Bekleidung der Unterdecke erfolgt in der Regel mit Plattenmaterialien. Vorteilhaft ist eine große flächenbezogene Masse bei geringer Biegesteifigkeit der Plattenmaterialien. Anstelle einer dicken sollten deshalb besser mehrere dünne Lagen aufgebracht werden. Mit geschlossenen Gipsbauplatten lassen sich gegenüber Nut-und-Feder-Schalungen auf Grund des geringeren Fugenanteils und der höheren flächenbezogenen Masse deutlich bessere Schalldämm-Maße erreichen.

Unterdecken wirken nach dem „Masse-Feder-Masse-System“, das erst oberhalb seiner Eigenfrequenz f_0 eine deutliche Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung aufweist. Um eine möglichst große Verbesserung zu erzielen ist es deshalb sinnvoll f_0 zu tiefen Frequenzen hin zu verschieben. Dies kann durch die o.g. hohe flächenbezogene Masse der Plattenmaterialien sowie einer entkoppelten Montage der Unterdecke durch geeignete Abhänger erfolgen. Um eine gute Entkopplung zu gewährleisten, sollte nicht mehr als die konstruktiv erforderliche Anzahl an Abhängepunkten ausgeführt werden.

Parallel zum Abhänger wirkt auch das durch die schwingende Unterdecke eingeschlossene und komprimierte Luftvolumen als Feder. Die Steifigkeit dieser Luftschicht hängt vom Volumen bzw. der Luftschichtdicke d ab. Je größer d gewählt wird, umso weicher ist die Feder. Eine abgehängte Unterdecke wirkt deshalb unter einem Sparrendach deutlich besser als unter einem flächigen Massivholzelement (siehe Abbildung 9). Während die Unterdecke am Massivholzelement mit einer Masse-Feder-Masse Resonanz $f_0 \approx 50$ Hz zwar eine deutliche Verbesserung im bewerteten Schalldämm-Maß und im bewerteten Norm-Trittschallpegel ergibt, wird die Übertragung im Frequenzbereich von 50 Hz – 80 Hz durch die Resonanz verstärkt. Eine zum Vergleich eingezeichnete Unterdecke gleicher Bauart unterhalb einer Holzbalkendecke ergibt durch die günstigere Resonanzfrequenz $f_0 \approx 25$ Hz schon ab 50 Hz deutlich bessere Werte. Die Eigenfrequenz des Unterdeckenabhängers betrug in beiden Fällen $f_0 < 30$ Hz.



Unterdeckenaufbau:

65 - 90 mm Direktschwingabhänger
2 x 12,5 mm GKF, $m' = 2 \times 10 \text{ kg/m}^2$

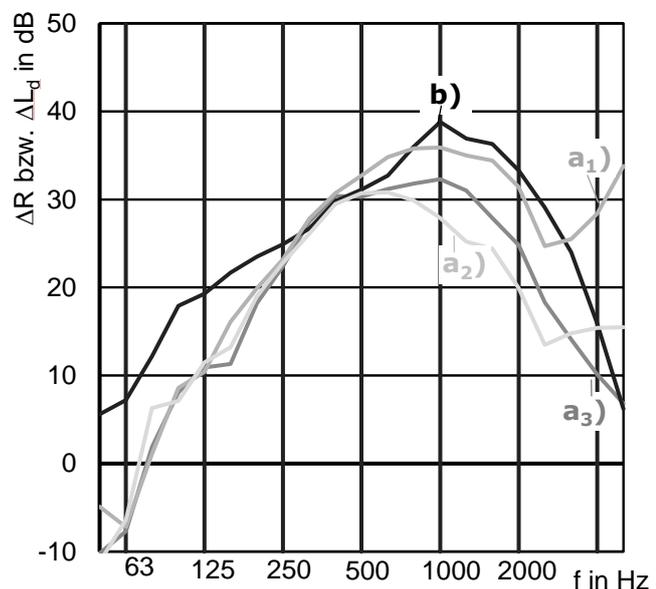


Abbildung 9: Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch Unterdecken mit unterschiedlich großen schalltechnisch wirksamen Luftschichtdicken d zwischen 90mm und 285 mm. Die Eigenfrequenz des Unterdeckenabhängers betrug in beiden Fällen $f_0 < 30$ Hz

a) Unterdecke unter Massivholzelement, $d = 90$ mm, Masse-Feder-Masse-Resonanz $f_0 \approx 50$ Hz

a₁: Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR , gemessen am Grundelement

a₂: Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR , gemessen am vollständigen Dachaufbau

a₃: Trittschallminderung ΔL_d , gemessen am vollständigen Dachaufbau

b) Unterdecke unter Balkenelement, $d = 285$ mm, Masse-Feder-Masse-Resonanz $f_0 \approx 25$ Hz aus [3]

3. Planungsdaten für den Schallschutznachweis

Flachdächer und flachgeneigte Dächer werden in Bezug auf die Luftschallanforderungen wie Außenbauteile behandelt. An Dachterrassen und Loggien werden zusätzlich Trittschallanforderungen gestellt, sofern Sie ein Trennbauteil zu fremden Wohn- und Arbeitsräumen bilden.

Der Nachweis der erforderlichen Luftschalldämmung am Bau erf. $R'_{w,ges}$ kann nach dem in DIN 4109-2 beschriebenen Verfahren für Außenbauteile erfolgen. Für die Anwendung im Holzbau siehe z.B. [6]. Für den Nachweis des zulässigen Norm-Trittschallpegels am Bau zul. $L'_{n,w}$ wurde bislang kein Verfahren zur Berücksichtigung der Flankenübertragung festgelegt. Da die Ausführung der tragenden Dachelemente und deren Wandaufleger gut mit der Ausführung von Deckenelementen vergleichbar ist, bietet sich die Anwendung des Verfahrens für Holzdecken nach DIN 4109-2 an. Die Ausführung der hier gezeigten Dachterrassenaufbauten sowie erste Vergleiche mit Bauergebnissen lassen vermuten, dass der Übertragungsweg Dff hierbei unberücksichtigt bleiben kann. Somit ergibt sich für die Prognose:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 \quad (1)$$

Bis zur Berücksichtigung einer Vorgehensweise in der Norm kann der Nachweis im Sinne der DIN 4109 nur durch eine Baumessung erfolgen.

Planungsdaten für Flachdächer und flachgeneigte Dächer werden im Anhang, Tabelle 1 und Tabelle 2 als Übersicht angegeben. Eine vollständige Beschreibung der Konstruktionen für die bauakustische Planung und Vorbemessung ist in [4], [5] enthalten. Korrektursummand K_1 für Übertragungsweg Df siehe [1].

Zusammenfassung

Die vorgestellten bauakustischen Untersuchungen an Flachdächern und flachgeneigten Dächern ergaben Planungsdaten für die verschiedenen Element- und Aufbaukombinationen, die für die Prognose und Nachweisführung verwendet werden können. Die Ergebnisse ermöglichen auch sehr hochwertige Ausführungen und schließen damit Planungslücken, die vor allem in der bauakustischen Planung von Dachterrassen und Loggien auftraten.

Weiterer Untersuchungsbedarf besteht noch in der bauakustischen Auswirkung unterschiedlicher Drän-, Speicher- und Schutzschichten im Dachaufbau, sowie in der Berücksichtigung der Flankenübertragung beim Trittschallnachweis.

Danksagung

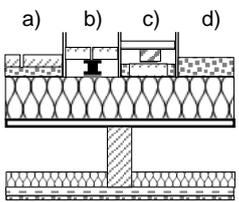
Die Autoren bedanken sich für die sehr hilfreichen Diskussionen und die planerische Unterstützung durch die Arbeitsgruppe: Kirchmayr, H. (Prefa), Hanf, H. (Prefa), Kumer, N. (Stora Enso), Löcherbach, J. (Alwitra), Müller, M. (BDF), Rupprecht, M. (Lignotrend), Schläpfer, R. (Lignatur AG), Schmidt-Hieber, F. (Holzbau Deutschland), Sebald, S. (Regnauer), Wiederin, S. (Getzner), sowie für die finanzielle Unterstützung durch die Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung.

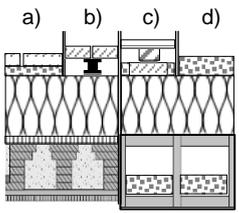
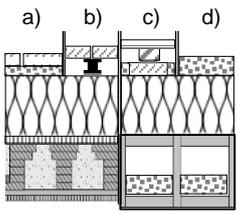
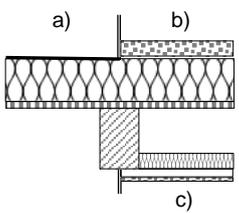
Literatur

- [1] DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau
Teil 1: Mindestanforderungen
Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
DIN 4109-33:2016-07 Schallschutz im Hochbau
Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau
- [2] Châteaueux-Hellwig C., Bacher, S., Rabold, A., Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise - Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen, Forschungsprojekt ift Rosenheim, in Bearbeitung
- [3] Rabold, A., Mecking, S., Huber, A., Kohrmann, M., Mehr als nur Dämmung – Zusatznutzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, Teilbereich Bauakustik, Forschungsprojekt Technische Hochschule Rosenheim, in Bearbeitung
- [4] Ecker, T., Erarbeitung eines Bauteilkatalogs für den Schallschutz von Flachdächern zur Verwendung in der Fachliteratur u. Normung mit wirtschaftlichem Vergleich in Form einer Nutzwert-Kosten-Analyse, Bachelorarbeit TH Rosenheim, 2019
- [5] Blödt, A., Rabold, A., Halstenberg, M., Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vor-bemessung, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 1, Holzbau Deutschland 2019
- [6] Rabold, A., Hessinger, J., Schallschutz von Außenbauteilen, Vorgehensweise nach der neuen DIN 4109, Tagungsband Holz[Bau]Physik-Kongress, Leipzig 2018

Anhang:

Tabelle 1: Schalldämm-Maße R_w und Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ von Flachdächern in Holzbauweise [2]

Zeile	Bauteil	Dicke Grundbauteil d in mm	Dicke Aufbau d in mm	Schalldämm- Maß Norm-Trittschall- pegel
1		Schutzlage und Dachdichtbahn ≥ 140 Aufdachdämmung Typ DAA (EPS) Luft- und Bauzeitabdichtung ≥ 22 Holzwerkstoffplatte ≥ 200 Sparren, $e \geq 625$ mm mit ≥ 50 mm Faserdämmstoff, $r \geq 5$ kPa s/m ² 27 Federschiene, $e \geq 500$ mm 12,5 GKF, $m' \geq 10$ kg/m ²	a) 40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40$ kg/m ² b) 40 Betonplatten ≥ 40 Stelzlager 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 70$ Hz c) 26 Dielen 44 Kantholz, $e \geq 520$ mm 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 60$ Hz 40 Betonplatten u. Kies d) 50 Kies, $m' \geq 80$ kg/m ²	$R_w = 70$ dB $L_{n,w} = 44$ dB $R_w = 52$ dB $L_{n,w} = 38$ dB $R_w = 64$ dB $L_{n,w} = 31$ dB $R_w = 70$ dB
		Schutzlage und Dachdichtbahn ≥ 200 Aufdachdämmung Typ DAA (EPS) Luft- und Bauzeitabdichtung ≥ 140 Massivholzelement (Brettsperrholz, Brettschichtholz, Brettstapel), $m' \geq 63$ kg/m ² Zusätzliche Unterdecke: 90 Abhänger ²⁾ + CD-Profil, $e \geq 500$ mm mit ≥ 50 mm Faserdämmstoff, $r \geq 5$ kPa s/m ² 2 x 12,5 GKF, $m' \geq 2 \times 10$ kg/m ²	a) 40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40$ kg/m ² b) 40 Betonplatten ≥ 40 Stelzlager 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 70$ Hz c) 26 Dielen 44 Kantholz, $e \geq 520$ mm 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 60$ Hz 40 Betonplatten u. Kies d) wie Aufbau c) +Unterdecke	$R_w = 53$ dB $L_{n,w} = 58$ dB $R_w = 38$ dB $L_{n,w} = 52$ dB $R_w = 51$ dB $L_{n,w} = 45$ dB $R_w = 72$ dB $L_{n,w} = 31$ dB
		Schutzlage und Dachdichtbahn ≥ 200 Aufdachdämmung Typ DAA (EPS) Luft- und Bauzeitabdichtung ≥ 140 Massivholzelement (Brettsperrholz, Brettschichtholz, Brettstapel), $m' \geq 63$ kg/m ² Zusätzliche Unterdecke: 90 Abhänger ²⁾ + CD-Profil, $e \geq 500$ mm mit ≥ 50 mm Faserdämmstoff, $r \geq 5$ kPa s/m ² 2 x 12,5 GKF, $m' \geq 2 \times 10$ kg/m ²	a) 40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40$ kg/m ² b) 40 Betonplatten ≥ 40 Stelzlager 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 70$ Hz c) 26 Dielen 44 Kantholz, $e \geq 520$ mm 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 60$ Hz 40 Betonplatten u. Kies d) wie Aufbau c) +Unterdecke	$R_w = 53$ dB $L_{n,w} = 58$ dB $R_w = 38$ dB $L_{n,w} = 52$ dB $R_w = 51$ dB $L_{n,w} = 45$ dB $R_w = 72$ dB $L_{n,w} = 31$ dB
		Schutzlage und Dachdichtbahn ≥ 200 Aufdachdämmung Typ DAA (EPS) Luft- und Bauzeitabdichtung ≥ 140 Massivholzelement (Brettsperrholz, Brettschichtholz, Brettstapel), $m' \geq 63$ kg/m ² Zusätzliche Unterdecke: 90 Abhänger ²⁾ + CD-Profil, $e \geq 500$ mm mit ≥ 50 mm Faserdämmstoff, $r \geq 5$ kPa s/m ² 2 x 12,5 GKF, $m' \geq 2 \times 10$ kg/m ²	a) 40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40$ kg/m ² b) 40 Betonplatten ≥ 40 Stelzlager 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 70$ Hz c) 26 Dielen 44 Kantholz, $e \geq 520$ mm 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 60$ Hz 40 Betonplatten u. Kies d) wie Aufbau c) +Unterdecke	$R_w = 53$ dB $L_{n,w} = 58$ dB $R_w = 38$ dB $L_{n,w} = 52$ dB $R_w = 51$ dB $L_{n,w} = 45$ dB $R_w = 72$ dB $L_{n,w} = 31$ dB

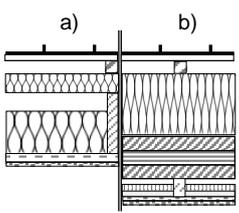
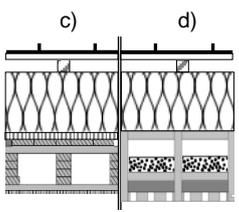
3		Schutzlage und Dachdichtbahn ≥ 200 Aufdachdämmung Typ DAA (EPS) Luft- und Bauzeitabdichtung	a)	40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 66 \text{ dB}$ $L_{n,w} = 44 \text{ dB}$
		≥ 22 Holzwerkstoffplatte ≥ 196 Brettsperrholz-Rippenelement gefüllt mit Splitt $m'_{\text{ges}} \geq 145 \text{ kg/m}^2$ (Lignotrend Rippe Q3)	b)	40 Betonplatten ≥ 40 Stelzlager 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 70 \text{ Hz}$	$R_w = 51 \text{ dB}$ $L_{n,w} = 38 \text{ dB}$
3		Schutzlage und Dachdichtbahn ≥ 200 Aufdachdämmung Typ DAA (EPS) Luft- und Bauzeitabdichtung	c)	26 Dielen 44 Kantholz, $e \geq 520 \text{ mm}$ 12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 60 \text{ Hz}$ 40 Betonplatten u. Kies	$R_w = 60 \text{ dB}$ $L_{n,w} = 37 \text{ dB}$
		≥ 240 Kastenelement gefüllt mit 40 mm Splitt $m'_{\text{ges}} \geq 92 \text{ kg/m}^2$ (Lignatur Flächenelement)	d)	50 Kies, $m' \geq 80 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 64 \text{ dB}$
4		Bitumenbahn, $m'_{\text{ges}} \geq 5 \text{ kg/m}^2$ ≥ 24 Holzwerkstoffplatte oder Nut- und Federschalung ≥ 200 Sparren, $e \geq 625 \text{ mm}$	a)	Dachabdichtung ≥ 180 Aufdachdämmung Typ DAA (MW, WF)	$R_w = 45 \text{ dB}^{(3)}$
		<i>Zusätzliche Unterdecke:</i> 24 Lattung, $e \geq 400 \text{ mm}$ mit ≥ 50 mm Faserdämmstoff, $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$ 12,5 GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$	b)	50 Kies, $m' \geq 80 \text{ kg/m}^2$ Schutzlage und Dachdichtbahn ≥ 140 Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)	$R_w \geq 40 \text{ dB}^{(3)}$
			c)	wie Aufbau b) +Unterdecke	$R_w \geq 57 \text{ dB}^{(3)}$

¹⁾ Baulager als elastische Lagerung (Getzner Sylomer), vom Hersteller ausgelegt auf die angegebene Eigenfrequenz f_0

²⁾ Abhänger, schallentkoppelt, Raster 750 mm x 500 mm, Eigenfrequenz $f_0 \leq 30 \text{ Hz}$

³⁾ Nach DIN 4109-33 (Aufbau a) bzw. aus Messdaten berechnet (Aufbau b und c)

Tabelle 2: Schalldämm-Maße R_w von flach geneigten Dächern in Holzbauweise [2]

Zeile	Bauteil	Dicke Grundbauteil d (mm)	Dicke Aufbau d (mm)	Schalldämm-Maß
1		60 Aufdachdämmung Typ DAA (WF) ≥ 200 Sparren, $e \geq 625 \text{ mm}$ mit ≥ 140 mm Faserdämmstoff, $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$ 27 Federschiene, $e \geq 500 \text{ mm}$ 2 x 12,5 GKF, $m' \geq 2 \times 10 \text{ kg/m}^2$	a)	Metalleindeckung ¹⁾ , $R_w = 63 \text{ dB}$ 3 Bitumen Unterdachbahn 24 Schalung 80 Lattung, $e \geq 625 \text{ mm}$
		Luft- und Bauzeitabdichtung Massivholzelement; $m' \geq 63 \text{ kg/m}^2$ 90 Abhänger ²⁾ + CD-Profil, $e \geq 500 \text{ mm}$ mit ≥ 50 mm Faserdämmstoff, $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$ 2 x 12,5 GKF, $m' \geq 2 \times 10 \text{ kg/m}^2$	b)	Metalleindeckung ¹⁾ , $R_w = 71 \text{ dB}$ 3 Bitumen Unterdachbahn 24 Schalung 80 Lattung, $e \geq 625 \text{ mm}$ 200 Aufdachdämmung Typ DAA (WF)
3		Luft- und Bauzeitabdichtung Holzwerkstoffplatte ≥ 22 Holzwerkstoffplatte ≥ 196 Brettsperrholz-Kastenelement $m'_{\text{ges}} \geq 63 \text{ kg/m}^2$ (Lignotrend Block Q3 Akustik)	c)	Metalleindeckung ¹⁾ , $R_w = 53 \text{ dB}$ 3 Bitumen Unterdachbahn 24 Schalung 80 Lattung, $e \geq 625 \text{ mm}$ 200 Aufdachdämmung Typ DAA (WF)
		Luft- und Bauzeitabdichtung Kasten-element gefüllt mit 40 mm Splitt $m'_{\text{ges}} \geq 92 \text{ kg/m}^2$ (Lignatur Flächenelement LFE Akustik)	d)	Metalleindeckung ¹⁾ , $R_w = 63 \text{ dB}$ 3 Bitumen Unterdachbahn 24 Schalung 80 Lattung, $e \geq 625 \text{ mm}$ 200 Aufdachdämmung Typ DAA (WF)

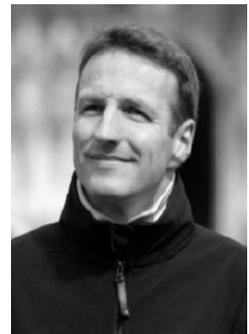
¹⁾ Metalleindeckung, Doppelstehfalzblech, $m' \geq 2 \text{ kg/m}^2$

²⁾ Abhänger, schallentkoppelt, Raster 750 mm x 500 mm, Eigenfrequenz $f_0 \leq 30 \text{ Hz}$

Bauteile – Schalltechnisches Detailverständnis für guten Schallschutz

Luftschalldämmung von Brettsperrholzwänden mit Wärmedämmverbundsystem

Dr. Franz Dolezal
IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Wien, Österreich



Niko Kumer
Stora Enso Wood Products GmbH
Österreich



Luftschalldämmung von Brettsperrholzwänden mit Wärmedämmverbundsystem

Nachdem Massivholzkonstruktionen, bestehend aus Brettsperrholz (BSP/CLT), vermehrt in mehrgeschoßigen Gebäuden mit Wohn- und Büronutzung, aber vor allem auch für Sonderbauten wie etwa Schulen Verwendung finden, steigt auch der Bedarf nach einem umfassenden, akustischen Verständnis für diese Bauweise.

Besondere Bedeutung kommt dabei den Außenwänden zu, welche die Menschen vor den akustischen Belastungen des steigenden Verkehrsaufkommens schützen sollen, nachdem Verkehrslärm in vielen Studien als die primäre Lärmquelle identifiziert wurde.

Eine weitere wesentliche Funktion der Außenwände besteht im Wärmeschutz zur Vermeidung bzw. Reduktion von Energieverlusten. Dieser wird in Österreich in den meisten Fällen mit einem sogenannten Wärmedämmverbundsystem (WDVS) erfüllt. Dies sind Dämmplatten die auf die Unterkonstruktion geklebt (ev. gedübelt) werden und zugleich als Putzträger dienen. Das daraus resultierende Schwingensystem (CLT-WDVS-Putz) akustisch zu beschreiben und eine vereinfachte, praxisnahe Berechnungsmethode zur Verfügung zu stellen, wird im vorliegenden Beitrag versucht.

1. Einleitung

Wärmedämmung ist eine essentielle Komponente der typischen zentraleuropäischen Außenwandkonstruktionen, da das Klima durch kalte Winter und heiße Sommer geprägt ist. Eine Möglichkeit hierfür stellt das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) dar, welches die in Österreich, u.a. aus finanziellen Gründen, am häufigsten ausgeführte Dämm-Methode darstellt. Allerdings hat ein Wärmedämmverbundsystem auch Auswirkungen auf den Schallschutz der gesamten Wand, und kann diesen sogar verschlechtern, wie beispielsweise Urban et al. in (2018a) eindrucksvoll errechnen.

Generell wird WDVS in erster Linie bei mineralischen Grundkonstruktionen ausgeführt, die Anwendung ist jedoch nicht auf massive Bauweise beschränkt, sondern mittlerweile auch im Holzrahmenbau als Zusatzdämmung und Putzträger üblich. Die Kombination WDVS mit CLT ist relativ neu, aufgrund der finanziell vorteilhaften Komponente nimmt jedoch die Häufigkeit der Ausführung zu.

Nachdem CLT eine signifikant geringere Masse als die üblichen mineralischen Wandkonstruktionen aufweist, können die üblichen Vorhersagemodelle (Weber et al. 2018, etc.) für die Kombination mit WDVS nicht angewendet werden. Darüber hinaus wird aktuell die schalltechnische Prognosenorm ÖNORM B 8115-4 überarbeitet und eine präzisere Prognosemethode für Holzbauteile mit WDVS und Vorsatzschalen gesucht.

2. Akustisches Verhalten der Komponenten

2.1. Akustische Performance von Brettsperrholz

CLT kann weder zu den schweren, noch zu den leichten Bauweisen gezählt werden. Während akustische Anforderungen von schweren Bauweisen durch deren Masse und jene von Pfosten-Riegel Konstruktionen durch die sehr niedrige Biegesteifigkeit der Beplankung erfüllt werden, zählt CLT zu keiner der beiden Kategorien. Üblicherweise reduziert sich die Schalldämmung um die Koinzidenzgrenzfrequenz, wobei schwere Elemente diese im sehr tiefen, Leichtbauteile im sehr hohen Frequenzbereich aufweisen.

In beiden Fällen findet sich diese außerhalb des bauakustischen Frequenzbereichs. In Brettsperrholzkonstruktionen ist die Koinzidenzgrenzfrequenz zwischen 100 und 500 Hz zu finden, also genau im bauakustisch relevanten Bereich (Dolezal 2010). Diese Tatsache muss berücksichtigt werden, wenn es darum geht einen Bauteil zu konfigurieren, mit dem ein zufriedenstellendes Schallschutzniveau und ein ausreichender Lärmschutz gewährleistet werden können.

2.2. Akustische Performance von Wärmedämmverbundsystemen

Die Anwendung von Wärmedämmverbundsystemen verändert das akustische Verhalten von Außenwänden signifikant. Nach dem Feder-Masse Prinzip, bestehend aus Brettsperrholzplatte – Wärmedämmung – Außenputz, führt der systemimmanente Resonanzeffekt zu einer reduzierten Schalldämmung rund um die Resonanzfrequenz, und einer erhöhten Schalldämmung im oberen Frequenzbereich. Nach (Urban et al. 2018a) sind Differenzen in der Einzahlangabe aufgrund des kombinierten Einflusses von Wärmedämmverbundsystemen bei hohen Frequenzen und der Resonanzfrequenz von -8 bis +19 dB gegenüber der Grundwand möglich. Genannte Ergebnisse resultieren aus Untersuchungen von Grundwänden aus massiven, mineralischen Baustoffen. Dabei stellen die dynamische Steifigkeit der Dämmung sowie die Masse des Außenputzes die wesentlichen Parameter dar.

2.3. Materialien für das Wärmedämmverbundsystem

Ein WDVS besteht üblicher Weise aus einem mineralischen Kleber mit dem die Dämmplatte mit dem Untergrund verbunden wird. Die Dämmplatte selbst muss eine gewisse (höhere) Mindestfestigkeit aufweisen da das komplette Putzsystem von ihr getragen wird, muss Windkräften standhalten und hohe Auszugsfestigkeiten aufweisen. Verfügbare Materialien sind expandiertes Polystyrol (EPS-F), Mineralwolle, Kork, Holzweichfaser, Hanf und Mineralschaum. In Kombination mit CLT finden vor allem Polystyrol, Mineralwolle, Holzweichfaser und Hanf Anwendung. In der vom IBO und Stora Enso Wood Products durchgeführten Studie wurden für die einzelnen WDVS-Dämmstoffe die (akustisch relevanten) Kennwerte gemäß Tabelle 1 für die dynamische Steifigkeit ermittelt. Diese Werte stellen nur einen Ausschnitt der möglichen Größenordnung der einzelnen Materialien dar und können natürlich bei anderen Herstellern des gleichen Materials abweichen. Darüber hinaus ist s' der Quotient aus dem dynamischen Elastizitätsmoduls E_{dyn} und der Dicke d , und somit von der Dämmstoffstärke abhängig.

Tabelle 1: Dynamische Steifigkeiten s' (gerundet) von WDVS-Dämmstoffen (lt. Messungen in der Studie)

	Polystyrol EPS-F	Mineralwolle	Holzweichfaser	Hanf
s' in MN/m ³	6, 16, 26, 22	5	23	5, 3, 2

Weiters erfordert ein WDVS einen Unterputz in den das Bewehrungsgitter aus Glasfasergewebe eingebettet wird. Darüber wird nach einer Vorbehandlung des Untergrundes der Oberputz gespachtelt, welcher zumeist entsprechend eingefärbt ist. Abhängig vom Dämmstoff sind Mindeststärken des Unterputzes von 3, 5 oder 8 mm zulässig. Oberputze weisen für gewöhnlich Stärken von 1 bis 2 mm auf. Die mittlere Rohdichte von Kleber und Putzschichten liegt bei 1400 kg/m³.

2.4. Bestimmung des dynamischen Verhaltens des Dämmstoffes

Die wichtigste Eigenschaft von WDVS Dämmstoffen hinsichtlich der Akustik ist die dynamische Steifigkeit s' (MN/m³) mit signifikantem Einfluss auf die Luftschalldämmungseigenschaften von Außenwänden. Das Spektrum des Schalldämm-Maßes von Außenwänden mit WDVS zeigt einen Einbruch bei der Masse-Feder-Masse Resonanz entsprechend der Masse des CLT und dem Außenputz sowie der als Feder agierenden Dämmplatte.

Untersuchungen hinsichtlich der dynamischen Steifigkeit von WDVS Platten aus expandiertem Polystyrol (EPS-F - das mit Abstand am häufigsten verwendete Material) wurden in (Kernöcker et al. 2017) vorgenommen. Die Autoren stellten an einem EPS-Block mit den Abmessungen 1,27 x 1,02 x 4,02 m (Produktionsergebnis bevor die Platten daraus zugeschnitten werden) fest, dass die Dichte und die dynamische Steifigkeit der daraus resultierenden Dämmplatten variieren. Dabei war zu erkennen, dass Proben aus dem oberen Bereich des Blockes ein höheres s' aufweisen, wobei ebenfalls eine gewisse, jedoch recht schwache Korrelation zwischen der dynamischen Steifigkeit und der Dichte der Probe nachweisbar war. Daraus wurde abgeleitet, dass bei diesem spezifischen Material, allein innerhalb einer Produktionscharge (ein Block), s' eine Streuung um den Faktor 1,5 aufweist (s' von 40,4 bis 61,4 MN/m³).

Bestimmt wird s' gemäß EN 29052-1, wobei ein 2016 durchgeführter Ringversuch Ergebnisdifferenzen bis zu 55 % ergab wenn die Standardmethode angewendet wurde und bis zu 300% wenn Spachtelung und Kitt nicht mit gleich hoher Präzision verarbeitet wurden

(Urban et al. 2018b). Berücksichtigt man diese Größenordnungen, so ist abzusehen, dass selbst Messergebnisse nicht absolut zuverlässig sind, was auch Einfluss auf die Zuverlässigkeit etwaiger Prognosemodelle haben muss.

3. Methode für ein vereinfachtes Prognosemodell

Ausgehend von dem Ziel, den Zusammenhang zwischen Schalldämmeigenschaften und der Masse des Elements zu finden, quasi ein Bergersches Massegesetz für CLT wie es gemäß EN 12354-1 seit Jahren im mineralischen Massivbau erfolgreich angewendet wird, wurde damit begonnen Messergebnisse von Brettsperrholzplatten die von Stora Enso Wood Products, zur Verfügung gestellt wurden, auszuwerten.

Der nächste Schritt ist der Aufbau einer umfassenden Datenbank für das bewertete Schalldämm-Maß R_w von Außenwänden aus CLT mit Wärmedämm-Verbundsystem. Basierend auf dieser Datenbank und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass verschiedene Parameter dieses Schwingensystems variiert werden können, wird die Resonanzfrequenz f_R gemäß Gleichung 1 als Basis für die Berechnung herangezogen. Dabei sind s' die dynamische Steifigkeit des Dämmstoffs, m'_{CLT} die Masse des Brettsperrholzes und $m'_{plaster}$ die Masse des Putzes.

$$f_R = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{s' * \left(\frac{1}{m'_{CLT}} + \frac{1}{m'_{plaster}} \right)} \text{ in Hz} \quad (1)$$

Die verschiedenen existierenden Prognosemodelle zur Vorhersage der Schalldämmung von BSP mit WDVS wurden angewandt und mit den Messergebnissen verglichen. Nachdem die dynamische Steifigkeit den Parameter mit der größten Auswirkung und der Größenva-riation darstellt, wurden Messergebnisse ohne zuverlässiger Spezifikation von s' aus dem Modell ausgeklammert. Zuletzt wird die Standardabweichung des neuen Einzahlmodells für CLT mit WDVS berechnet und Anwendungsgrenzen definiert.

4. Existierende Einzahl-Vorhersagemodelle

Verschiedene Modelle zur Vorhersage des bewerteten Schalldämm-Maßes von CLT aus dessen Masse wurden bereits publiziert (Rabold 2018, Di Bella et al. 2018). Dabei gelten die Ergebnisse bei (Rabold 2018) auch für beplankte CLT-Wände, gleichwohl limitiert auf 160 mm Stärke, und jene von Di Bella für Plattenstärken von 78 bis 245 mm, also auch für Decken.

Modelle für die Einzahlberechnung des Schalldämm-Maßes von Wänden mit Wärmedämmverbundsystem gibt es seit langem für den mineralischen Massivbau (Weber 2018, etc.) und haben es auch in die Normung (EN 12354-1) geschafft. Diese Modelle sind jedoch auf den mineralischen Massivbau beschränkt und deren Anwendung auf CLT nicht möglich, da die Massendifferenz der Grundkonstruktion und des Putzes gegenüber mineralischen Baustoffen viel geringer ist.

In Holtz et al. 2006 wird erstmals ein Prognosemodell für Massivholz mit WDVS präsentiert, welches sich mit den uns zur Verfügung stehenden Messergebnissen aus verschiedenen Prüfständen nicht gut deckt.

5. Vereinfachtes Prognosemodell

Das neue, vereinfachte Prognosemodell wurde exklusiv für die Anwendung von CLT bzw. CLT mit WDVS zur thermischen und akustischen Verbesserung entwickelt. Daher konnte die Komplexität im Vergleich zu herkömmlichen akustischen Modellen reduziert werden, da nur eine Art von Grundwand mit den am häufigsten ausgeführten Befestigungsmethoden zu betrachten war.

5.1. Prognosemodell für die Schalldämmung von Brettsperrholz

In Abbildung 1 sind Mittelwerte (und Messwertbereich bei mehreren Messungen) diverser Ergebnisse von Messungen der Luftschalldämmungen von Brettsperrholz unterschiedlicher Stärke dargestellt.

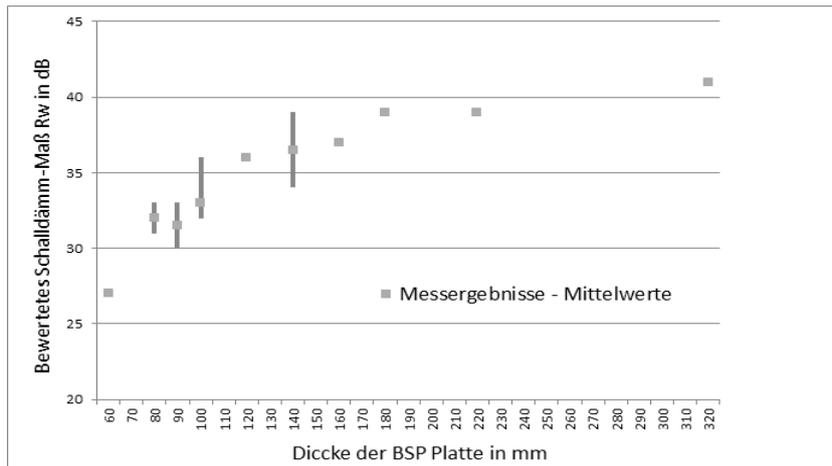


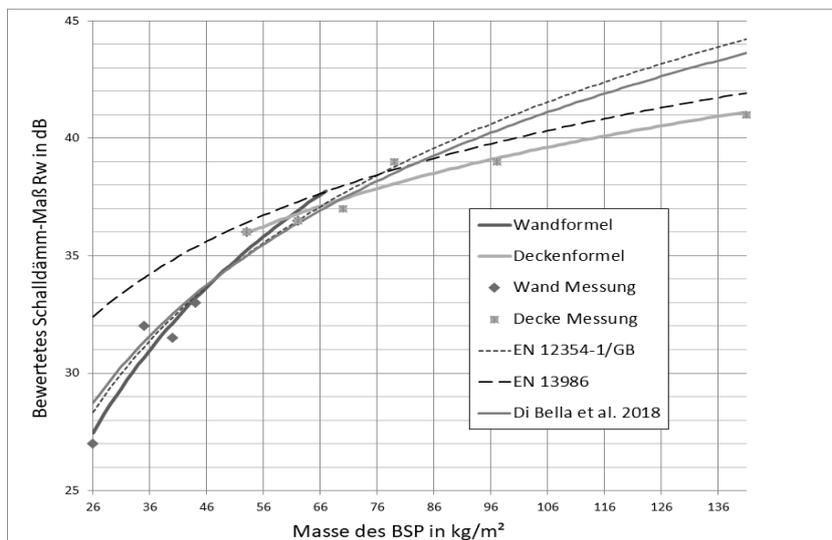
Abbildung 1: Messergebnisse (Mittelwerte und Bereiche) der Luftschalldämmung von BSP

Die Masse der Platten wurde aus einer durchschnittlichen Rohdichte von 440 kg/m^3 errechnet. Das stellt die Basis für die Gleichung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w dar. Darüber hinaus wurde berücksichtigt, dass der Einbauwinkel einen wesentlichen Einfluss auf die Schalldämmung hat (Thorsson 2016), weshalb 2 Gleichungen (eine für Wände und eine für Decken), unter Berücksichtigung der üblichen Stärken bei der jeweiligen Anwendung, entwickelt wurden. Das «Massegesetz für CLT» wurde aus den Mittelwerten der verfügbaren Messergebnisse abgeleitet, wobei besondere Ausreißer (Ursache den Autoren bekannt) ausgeklammert wurden. Gleichungen 2 und 3 stellen die jeweilige Masseformel für Wände und Decken dar.

$$R_{w,CLT,wall} = 25 \lg m'_{CLT} - 8 \text{ in dB (anwendbar für CLT Wände von 60 bis 150 mm)} \quad (2)$$

$$R_{w,CLT,fl oor} = 12,2 \lg m'_{CLT} + 15 \text{ in dB (anwendbar für CLT Decken von 120 bis 320 mm)} \quad (3)$$

Das Ergebnis aus der Anwendung der beiden Gleichungen 2 und 3 ist in Abbildung 2 dargestellt. Darüber hinaus wurden auch weitere Berechnungsmethoden des bewerteten Schalldämm-Maßes wie etwa in EN 12354-1, EN 13986 und (Di Bella 2018) darin skizziert.

Abbildung 2: Messergebnisse (Punkte) und Ergebnisse verschiedener Prognosemodelle (Linien) für R_w

5.2. Prognosemodell für die Schalldämmung von CLT mit WDVS

Für gegenständliches Prognosemodell wurden nur Messergebnisse herangezogen, bei denen s' des tatsächlich verwendeten Dämmstoffs zuverlässig gemessen wurde. Generell wurde besonderes Augenmerk auf die Materialeigenschaften der einzelnen Schichten gelegt, wobei sämtliche Messungen von Stora Enso Wood Products zur Verfügung gestellt wurden. Zuerst muss die Resonanzfrequenz f_R des Schwingensystems gemäß Gleichung 1

unter Berücksichtigung der Massen des CLT und des Putzes sowie der dynamischen Steifigkeit der Dämmung ermittelt werden. Im Anschluss erfolgt die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w des Außenbauteils, bestehend aus CLT und WDVS gemäß der vereinfachten Gleichung 4.

$$R_w = -30 \lg f_R + 110 \text{ in dB} \quad (4)$$

Abbildung 3 zeigt die Messergebnisse der Luftschalldämmung von Außenbauteilen aus CLT mit WDVS und das Berechnungsergebnis aus dem vereinfachten Berechnungsmodell in Abhängigkeit der Resonanzfrequenz f_R .

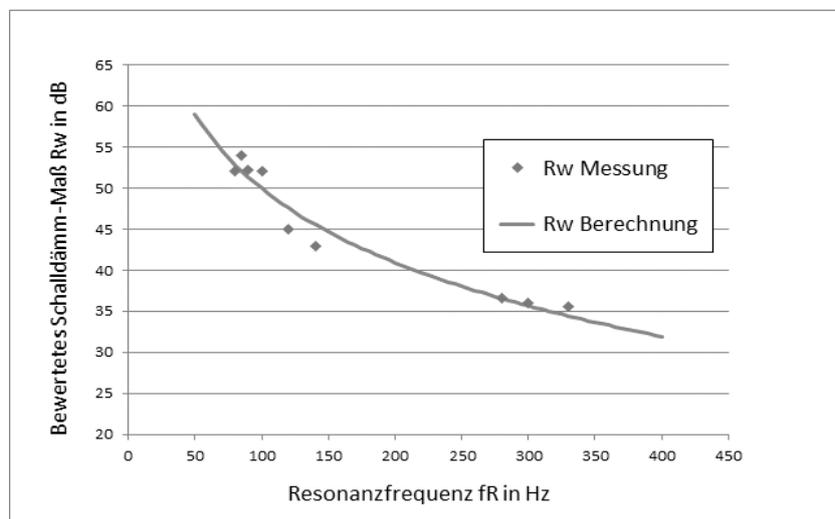


Abbildung 3: Messung (Punkte) und Berechnung (Linie) von R_w von CLT mit WDVS

5.3. Genauigkeit des Prognosemodells

Das beschriebene Prognosemodell für R_w basiert auf einem semiempirischen Zugang mit strikter Einschränkung auf Messgrundlagen mit zuverlässig ermittelter dynamischer Steifigkeit des Dämmstoffes, was zu einer reduzierten Anzahl zugrunde liegender Messungen führt. Die Gleichung 4 des Modells kann als offenes System betrachtet werden, welches sich durch Hinzufügen weiterer Messungen verfeinern lässt. Bereits jetzt ist die Genauigkeit des Modells mit einer Standardabweichung $\sigma = 1,6$ und maximale Abweichungen von $+ 2$ dB bzw. $-2,6$ dB (Abbildung 4) als ausreichend für bauakustische Anwendungen zu betrachten. Dies vor allem auch in Hinblick darauf, dass alleine bei der Messung der gleichen CLT-Platten in Prüfständen, Ergebnisdifferenzen von bis zu 4 dB, abhängig von den Randbedingungen, auftreten können (Dolezal 2018).

Wird eine genauere Bestimmung angestrebt, so können Außenwände mit WDVS auch frequenzabhängig mit dem Akustikmodul der Bemessungssoftware Calculatis von Stora Enso berechnet werden. Vergleichende Berechnungen haben gezeigt, dass sich dadurch die Standardabweichung des Einzelnwertes auf 0.8 und die maximale Abweichung auf $+2$ und $- 0,5$ verringern lässt. Näheres hierzu kann Kapitel 6 entnommen werden.

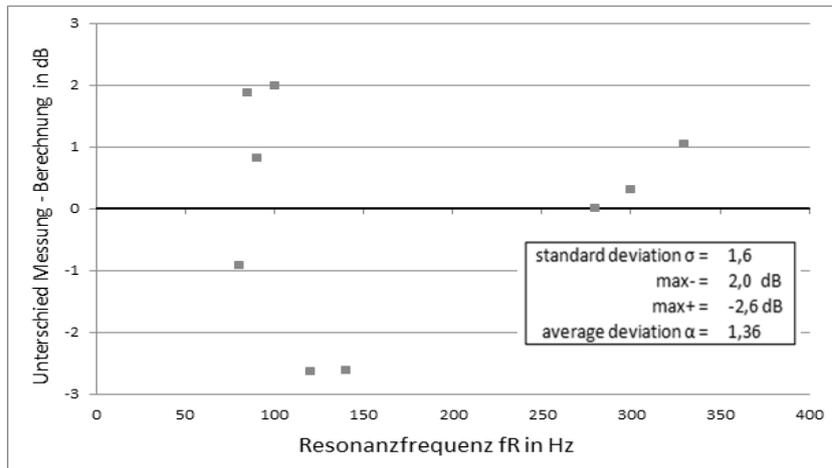


Abbildung 4: Unterschied zw. Messung und Berechnung im vereinfachten Modell

5.4. Zusätzliche Aspekte

Die Schalldämmung ändert sich mit der Befestigungsmethode des Wärmedämmverbundsystems. Für gegenständliches Modell wurde eine vollflächige (100 %) Verklebung zugrunde gelegt, was gemäß der Auskunft einer Reihe von Verarbeitern und Herstellern die aktuell übliche Methode darstellt. Dabei wird der Klebstoff mit einer Zahnspachtel aufgebracht. Untersuchungen haben ergeben, dass eine Verdübelung mit Abdeckung durch Dämmstoffrondellen kaum Auswirkungen auf das bewerteten Schalldämm-Maß hat, ebenso wenig wie die Anzahl der Dübel (in den üblicherweise verwendeten Mengen). Ohne Dübelabdeckung empfehlen die Autoren einen Abschlag vom errechneten R_w von 1 dB.

Ebenso wurden Untersuchungen zum Einfluss der Masse der Dämmplatten selbst durchgeführt. Deren Berücksichtigung hat jedoch nur eine minimale Erhöhung der Genauigkeit des Ergebnisses zur Folge, was in keiner Relation zum Aufwand hierfür steht.

Es wurden auch Messungen mit Gipsplattenbepunktungen analysiert. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine zusätzliche innenseitige Gipsplattenlage von 12,5 mm (Standardtype) zu einer Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes von + 1 dB führt. Eine weitere Lage (gesamt 2 x 12,5 mm) bringt ein weiteres dB (gesamt +2 dB).

Nachdem Verkehrsgeräusche die Hauptlärmquellen vor denen Außenwände schützen sollen darstellen, sind auch die Spektrum-Anpassungswerte – C_{tr} und $C_{tr,50-5000}$ – für Verkehrslärm zu beachten. Während diese für die Brettsperrholzplatte nur geringe Bedeutung haben (-2 bzw. -4 dB) so können die Ergebnisse von $C_{tr,50-5000}$, in Abhängigkeit vom Dämmstoff, durchaus Größenordnungen von bis zu - 23 dB erreichen. Näheres hierzu kann bei Interesse (Dolezal 2018) entnommen werden.

6. Vergleichsberechnungen mit dem Akustikmodul der Bemessungssoftware Calculatis von Stora Enso

Zwecks Darstellung komplexerer Berechnungswerkzeuge und weiterer Möglichkeiten die demnächst von Planern genutzt werden können, wurden auch Vergleichsberechnungen mit einem von Stora Enso entwickelten Berechnungsprogramm für das Schalldämm-Maß und den Normtrittschallpegel von Massivholzkonstruktionen durchgeführt. Dieses Tool berechnet den Frequenzverlauf der bauakustischen Deskriptoren, generiert daraus aber auch die Einzahlangabe gemäß EN ISO 717-1. Berechnet wurde der Luftschall mit exakt denselben Eingangsparametern wie auch bei der oben vorgestellten vereinfachten Einzahlermittlung. Aus Abbildung 5 kann die hervorragende Übereinstimmung der Einzahl-Berechnung nach Calculatis mit den Messergebnissen entnommen werden.

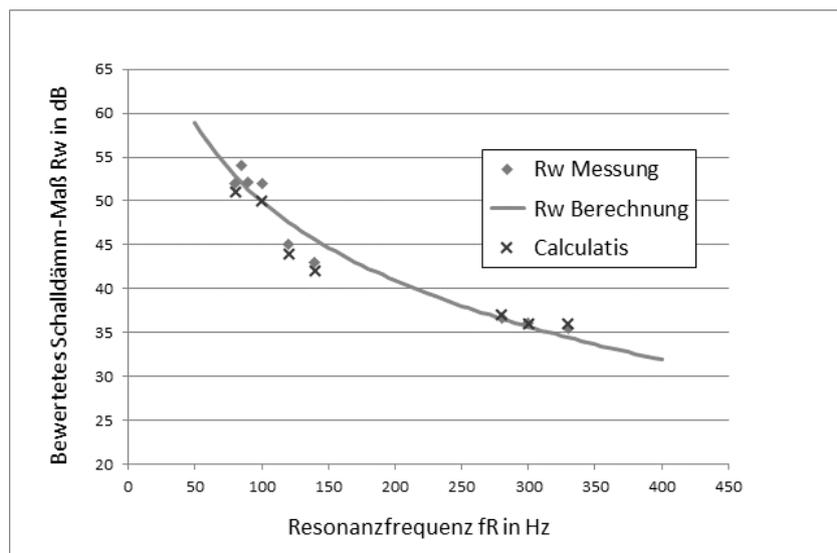


Abbildung 3: Messung (blaue Punkte), vereinfachte Berechnung (grüne Linie) und frequenzabhängige Berechnung mit Calculatis (rote Kreuze) von R_w von CLT mit WDVS

7. Literatur

Urbán D. et al. (a): *Influence of the Dynamic Stiffness of External Thermal Insulation on the Sound Insulation of Walls*, DAGA, München, 2018.

Weber L., Müller S., Kaltbeizel B.: *Einfluss von Wärmedämm-Verbundsystemen auf die Schalldämmung von Außenwänden*, Bauphysik 40 Heft 1, 2018.

ÖNORM B 8115-4: *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen*, ASI, Wien, 2003.

Dolezal F. et al.: *Flanking Transmission of Impact Noise at Solid Wood Structures*, WCTE, Riva, 2010.

Kernöcker R. et al.: *Systematische Untersuchung der dynamischen Steifigkeit von EPS-Fassadendämmplatten (EPS-F)*, HTL 1 Bau und Design, Linz, 2017.

EN 29052-1: *Determination of dynamic stiffness -- Part 1: Materials used under floating floors in dwellings*, 1992.

Urbán D. et al. (b): *On the Uncertainty of Dynamic Stiffness Measurements*, DAGA, München, 2018.

EN ISO 12354-1: *Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1 – Airborne sound insulation*, 2017.

Rabold A. et al.: *Mehrgeschosser in Massivholzbauweise. Teil 2: Schalltechnische Planung von Trennwänden*, Holzbau Quadriga, 2018.

Di Bella A. et al.: *Analysis of airborne sound reduction index of bare CLT walls*, WCTE, Seoul, 2018.

Holtz F. et al.: *Erarbeitung eines Prognoseverfahrens zur Bestimmung der Schalldämmung von Holzständerwänden auf der Grundlage der Konstruktion und der verwendeten Werkstoffe*, LSW, Abschlussbericht, Rosenheim, 2006

Thorsson P., Hagberg K., Golger A.: *Measurement Series to Verify the Accuracy of Stora Enso Acoustic Prediction Tool – SEAP*, ICA, Buenos Aires, 2016.

EN 13986: *Wood-based panels for use in construction. Characteristics, evaluation of conformity and marking*, 2004.

EN ISO 717-1: *Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Airborne sound insulation*, 2013.

Dolezal F., Kumer N.: *Semiempirical model for prediction of weighted sound reduction index of cross laminated timber walls with external thermal insulation composite systems*. Proceedings AAAA, Zagreb, 2018.

Konstruktive Massnahmen bei Holzdeckenkonstruktionen

Bernhard Furrer
Lignum Holzwirtschaft Schweiz
Zürich, Schweiz



Konstruktive Massnahmen bei Holzdeckenkonstruktionen

1. Einleitung

Das Ziel von Schallschutzmassnahmen ist in erster Linie, geeignete Bedingungen für die Nutzerinnen und Nutzer zu schaffen – die Komfortansprüche der Bewohnerschaft sind massgebend. Im Hochbau geht es dabei um Luftschalldämmung gegenüber Innen- und Aussengeräuschen, um Trittschall- und Körperschalldämmung und um die Schallabsorption (Raumakustik). Die schallschutztechnischen Anforderungen sind in der Schweiz in der Norm SIA 181 <Schallschutz im Hochbau> geregelt. Die verlangten Einzahlwerte beziehen sich hauptsächlich auf das Frequenzspektrum zwischen 100 und 3150 Hz. Neben den normativen Vorgaben bestehen bewohnerbedingte Anforderungen. Gemessen an Umfragen und der Anzahl von Reklamationen ist auch bei erfüllten Normwerten der am meisten störendste Lärm bei in Leichtbauweise errichteten Gebäuden die Trittschallübertragung aus fremden Wohnbereichen [1]. Dieser dumpfe Lärm wird im darüber liegenden Stockwerk hauptsächlich durch Schritte verursacht. Diese in Gebäuden üblichen Schallemissionen sind sehr tieffrequent und haben ihre wesentlichen Schallanteile unterhalb 100 Hz.

Zur validen Vorhersage der empfundenen Belästigung der Bewohner ergibt sich somit die Notwendigkeit der Berücksichtigung der tieffrequenten Anteile von Trittschallgeräuschen. Bei der Konstruktion von Holzbauteilen sind beim Trittschall Zielwerte ab 50 Hz ($L_{n,w} + C_I$ 50-2500) zu definieren [2]. Schalltechnische Kennwerte ab 100 Hz ($L_{n,w} + C_I$ 100-2500) sind in Bezug zur subjektiven Wahrnehmung nicht genug aussagekräftig.

Der Holzbau erreicht seine guten Schallwerte vorrangig durch intelligente Bauteilaufbauten. Dazu ist es von Bedeutung, bei der Konstruktion von Holzdecken die einzelnen Systeme wie Tragkonstruktion, Bodenaufbau und Unterdecke aufeinander abzustimmen. Nachfolgend werden wichtige konstruktive Massnahmen behandelt.

2. Rohdecken, Rohdeckenbeschwerung

Infolge der relativ geringen flächenbezogenen Masse bei Holz-Rohdeckenkonstruktionen treten im Vergleich mit einer Stahlbetondecke hohe Schallübertragungen im tiefen Frequenzbereich auf [3]. Verbesserungsmassnahmen müssen deshalb vor allem bei tiefen sowie mittleren Frequenzen wirksam sein.

Die Beschwerung der Rohdeckenkonstruktionen bei leichten Holzdecken ist eine wirksame Massnahme zur Verbesserung der Schalldämmung. Die wichtigsten Einflussparameter bei der Rohdeckenbeschwerung sind das Flächengewicht der eingebrachten Masse sowie die Biegesteifigkeit der Beschwerung.

Abbildung 1 zeigt den unterschiedlichen Verlauf der Trittschalldämmkurve mit und ohne Splittbeschwerung am Beispiel einer Hohlkastendecke. Die zusätzliche Masse bewirkt insbesondere in den tiefen und mittleren Frequenzbändern deutliche Verbesserungen. Mit einer Rohdeckenbeschwerung können die störenden Schallanteile von Gehgeräusche somit wirksam gedämmt werden.

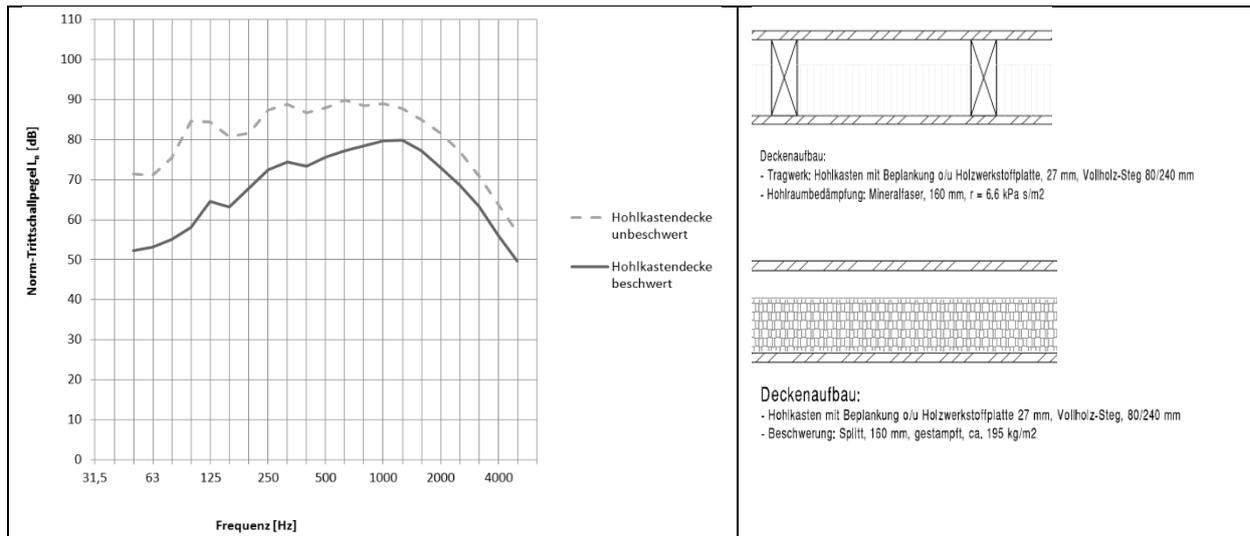


Abbildung 1 [4]: Verlauf der Trittschalldämmkurve einer Hohlkastendecke mit und ohne Splittbeschwerung

- Hohlkastendecke unbeschwert: $L_{n,w}$ (C_I , $C_{I\ 50-2500}$) 88 (-5, -5) dB
- Hohlkastendecke beschwert: $L_{n,w}$ (C_I , $C_{I\ 50-2500}$) 80 (-8, -8) dB

Der Einfluss der flächenbezogenen Masse von Rohdeckenbeschwerungen auf den Norm-Trittschallpegel zeigt Abbildung 2 am Beispiel einer Massivholzdecke mit identischem Fussbodenaufbau. Die Schalldämmung wird mit einer 60 mm Splittschüttung im Vergleich zu einer unbeschwerteten Decke über sämtliche Frequenzbereiche deutlich besser. Bei einer 90 mm Splittschüttung im Vergleich mit einer 60 mm Splittschüttung verbessert sich der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ um 5 dB, bei tiefen Frequenzen unter 100 Hz ist die Trittschallverbesserung noch geringfügig besser. Das zusätzliche Verbesserungsmass nimmt somit mit steigender Masse ab. Mit einer Beschwerung von insgesamt 120 mm Splitt wird im Vergleich zu einer Beschwerung mit 90 mm Splitt keine weitere Verbesserung beim Trittschall erreicht.

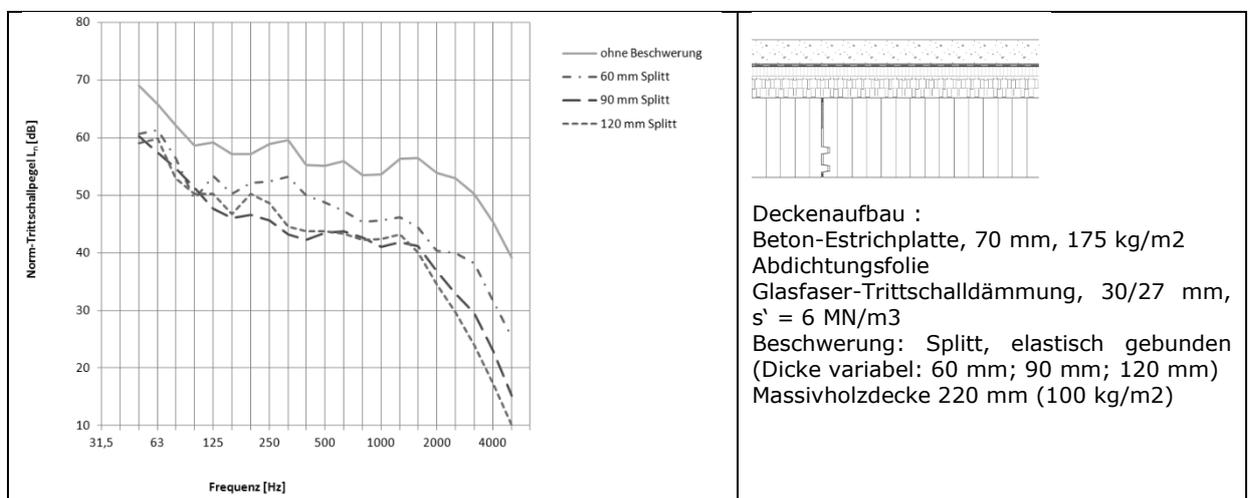


Abbildung 2 [4]: Norm-Trittschallpegel L_n mit unterschiedlicher flächenbezogener Masse der Rohdeckenbeschwerung auf einer Massivholzdecke mit identischem Bodenaufbau, ausgeführt mit einer Beton-Estrichplatte und einer Glasfaser-Trittschalldämmung

- Massivholzdecke 220 mm unbeschwert (100 kg/m²): $L_{n,w}$ (C_I , $C_{I\ 50-2500}$) 60 (-6, -2) dB
- Massivholzdecke 220 mm beschwert mit 60 mm Splitt (100+90 kg/m²): $L_{n,w}$ (C_I , $C_{I\ 50-2500}$) 49 (-3, 2) dB
- Massivholzdecke 220 mm beschwert mit 90 mm Splitt (100+135 kg/m²): $L_{n,w}$ (C_I , $C_{I\ 50-2500}$) 44 (-2, 5) dB
- Massivholzdecke 220 mm beschwert mit 120 mm Splitt (100+180 kg/m²): $L_{n,w}$ (C_I , $C_{I\ 50-2500}$) 44 (-1, 5) dB

3. Fussbodenaufbau

Eine weitere wesentliche Massnahme zur Verbesserung des Schallschutzes von Decken ist der Einsatz eines geeigneten Fussbodenaufbaus. Damit wird ein Masse-Feder-Masse-System geschaffen, bestehend aus einem schwimmenden Estrich (Masse), einer Trittschalldämmung (Feder) und der Rohdeckenkonstruktion (Masse). Die Resonanzfrequenz f_0 ist die wichtigste Grösse bei der Dimensionierung des Fussbodenaufbaus. Um beim Trittschall gute Resultate zu erzielen, ist es wesentlich, die Resonanzfrequenz des Fussbodenaufbaus möglichst tief zu planen, also unterhalb des fürs menschliche Gehör störenden Bereichs. Das System ist daher so abzustimmen, dass die Resonanzfrequenz deutlich unter 50 Hz liegt.

Die Wirksamkeit von Estrichaufbauten wird somit massgebend von der flächenbezogenen Masse des Estrichs und der Rohdeckenkonstruktion sowie der dynamischen Steifigkeit der Trittschalldämmung beeinflusst. Dabei muss die Masse des Estrichs sowie der Rohdecke ausreichend hoch sein und die Trittschalldämmung eine möglichst geringe dynamische Steifigkeit aufweisen, um eine tiefe Resonanzfrequenz zu erreichen und schalltechnisch optimale Resultate zu erzielen.

Bei der Wahl des Fussbodenaufbaus sind die Anforderungen, die sich infolge der Lasteinwirkung ergeben, zu berücksichtigen.

3.1. Estrich

Ein wesentlicher Einflussfaktor für die Wahl des Estrichs ist die flächenbezogene Masse des Estrichs. Weiter von Bedeutung sind die schwingungsdämpfenden Eigenschaften des Estrichs. Abbildung 3 zeigt exemplarisch am Beispiel einer mit Splitt beschwerten Hohlkastendecke das schalltechnische Verhalten verschiedener Estrichaufbauten. Aufgrund des hohen Gewichts kann mit einem mineralisch gebundenen Nassestrich (Zementestrich mit 80 mm Dicke) auf einer weichen Trittschalldämmung (Glasfaser-Trittschalldämmung 2x20 mm mit je einer dynamischen Steifigkeit von $s' = 9 \text{ MN/m}^3$) beim Trittschall im Vergleich mit der beschwerten Rohdecke ein hohes Verbesserungsmass erreicht werden. Bei einem leichten Trockenestrichaufbau (Gipsfaserplatte 25 mm auf Holzweichfaserplatte 22 mm; $s' < 45 \text{ MN/m}^3$) wird aufgrund des Verlaufs der Messkurve ersichtlich, dass Trittschallverbesserungen erst ab 125 Hz wirksam werden.

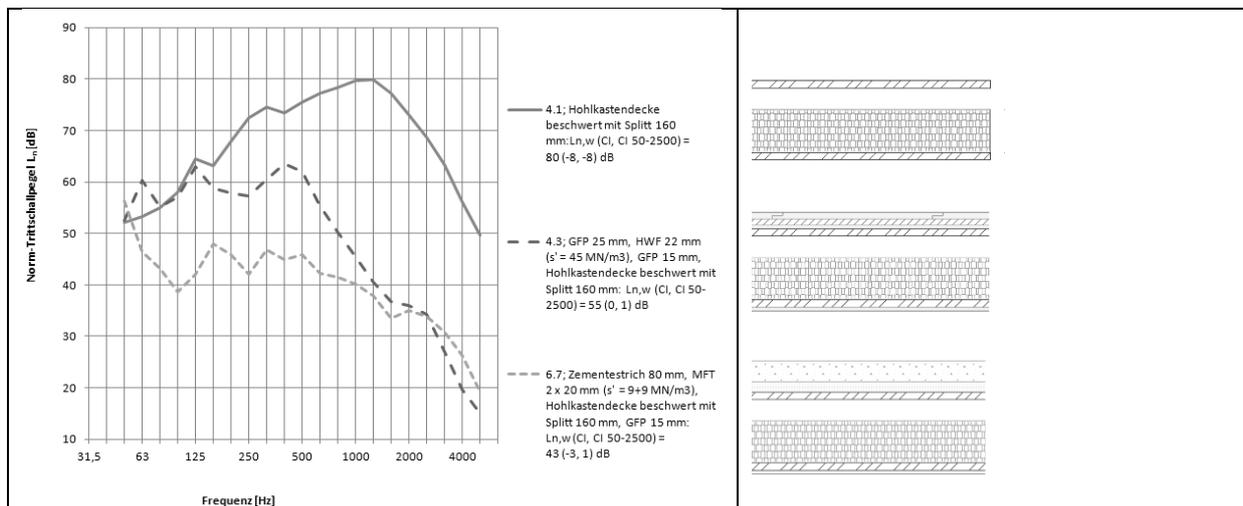


Abbildung 3 [4]: Vergleich von unterschiedlichen Fussbodenaufbauten auf einer beschwerten Hohlkastendecke mit Splittfüllung aus Laborversuchen (Norm-Trittschallpegel L_n)

3.2. Trittschalldämmung

Für eine optimale akustische Entkopplung des Estrichs ist die geeignete Wahl der Trittschalldämmung von zentraler Bedeutung. Die dynamische Steifigkeit s' von Trittschalldämmungen ist die wichtigste akustische Kenngrösse. Ein weiteres Kriterium ist der Verlustfaktor des Dämmmaterials.

Der Einfluss der dynamische Steifigkeit s' auf den Norm-Trittschallpegel L_n von Mineralfaser-Trittschalldämmungen in Kombination mit einer mineralisch gebundenen Estrichplatte ist in Abbildung 4 und 5 ersichtlich. Abbildung 4 zeigt den Vergleich einer Mineralfaser-Trittschalldämmungen mit 30 mm Dicke und einer dynamische Steifigkeit $s' = 6 \text{ MN/m}^3$ sowie mit $s' = 9 \text{ MN/m}^3$. Mit der Optimierung der dynamischen Steifigkeit verbessert sich der Norm-Trittschalpegel $L_{n,w}$ um 2 dB. Bemerkenswert ist, dass sich durch diese einfache Massnahme die Verbesserung bereits bei tiefen Frequenzen zwischen 50 und 100 Hz mit Verbesserungsmassen von 2 bis 5 dB zeigt. Bei einem Fussbodenaufbau mit einem mineralisch gebundenen Estrich sind folgerichtig Mineralfasertrittschalldämmungen mit einer Mindestdicke von 30 mm mit einer dynamischen Steifigkeit von $s' \leq 6 \text{ MN/m}^3$ zu verwenden.

Auf eine einlagige Ausführung mit EPS-Trittschalldämmung sollte aufgrund der Resonanzüberhöhung im Bereich der Resonanzfrequenz infolge der schlechten Dämpfungseigenschaften des Materials verzichtet werden. Zudem bewirkt die höhere dynamische Steifigkeit von EPS-Trittschalldämmungen im Vergleich zu den Mineralfaser-Trittschalldämmung eine deutliche Erhöhung der Resonanzfrequenz und dadurch eine Reduktion der Trittschalldämmung.

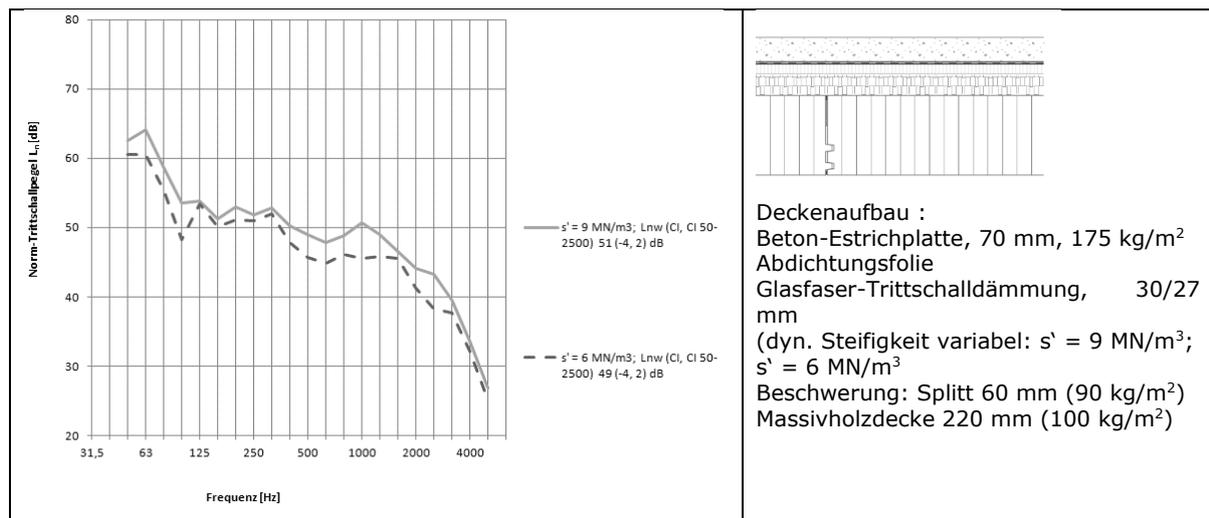


Abbildung 4 [4]: Norm-Trittschallpegel L_n eines Fussbodenaufbaus mit einer mineralisch gebundenen Estrichplatte 70 mm und einer Glasfaser-Trittschalldämmung 30 mm mit unterschiedlichen dynamischen Steifigkeiten s' auf einer Massivholzdecke 220 mm mit Splittbeschwerung 60 mm

- Glasfaser-Trittschalldämmung 30 mm mit $s' = 9 \text{ MN/m}^3$: $L_{n,w} (C_I, C_I 50-2500) 51 (-4, 2) \text{ dB}$
- Glasfaser-Trittschalldämmung 30 mm mit $s' = 6 \text{ MN/m}^3$: $L_{n,w} (C_I, C_I 50-2500) 49 (-4, 2) \text{ dB}$

Das schalltechnische Verhalten einer einlagigen Glasfaser-Trittschalldämmung (30 mm, $s' = 6 \text{ MN/m}^3$) im Vergleich mit unterschiedlichen zweilagigen Ausführung ist in Abbildung 5 ersichtlich. Eine zweilagige Ausführung mit einer tieferen resultierenden dynamischen Steifigkeit bringt nicht zwingend schalltechnische Vorteile. Bei den Norm-Trittschallpegeln L_n sind bei den unterschiedlichen Ausführungsvarianten frequenzabhängige Unterschiede sichtbar, beim bewerteten Norm-Trittschallpegeln $L_{n,w}$ sowie bei den Spektrumanpassungswerten ist die Differenz jedoch nur 1 dB. Eine zweilagige Ausführung mit einer EPS-Dämmung in Kombination mit einer Glasfaser Trittschalldämmung ist im Vergleich mit einer einlagigen Glasfaser-Trittschalldämmung schalltechnisch gleichwertig.

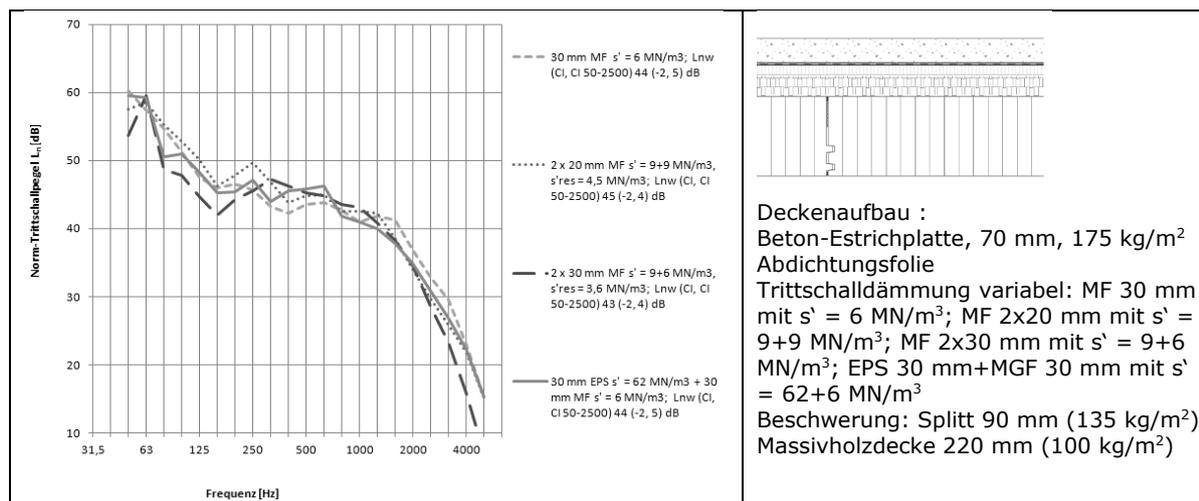


Abbildung 5 [4]: Norm-Trittschallpegel L_n eines Fussbodenaufbaus mit einer mineralisch gebundenen Estrichplatte 70 mm und unterschiedlicher Ausführung der Trittschalldämmung auf einer Massivholzdecke 220 mm mit Splittbescherung 90 mm

- Glasfaser -Trittschalldämmung 30 mm mit $s' = 6 \text{ MN/m}^3$: $L_{n,w} (C_I, C_{I 50-2500}) 44 (-2, 5) \text{ dB}$
- Glasfaser -Trittschalldämmung 2 x 20 mm mit $s' = 9 + 9 \text{ MN/m}^3$: $L_{n,w} (C_I, C_{I 50-2500}) 45 (-2, 4) \text{ dB}$
- MF-Trittschalldämmung 2 x 30 mm mit $s' = 9 + 6 \text{ MN/m}^3$: $L_{n,w} (C_I, C_{I 50-2500}) 43 (-2, 4) \text{ dB}$
- EPS 30 mm + Glasfaser-Trittschalldämmung 30 mm mit $s' = 62 + 6 \text{ MN/m}^3$: $L_n (C_I, C_{I,50}) = 44 (-2, 5) \text{ dB}$

4. Unterdecken

Zuzüglich zum Fussbodenaufbau wird durch eine abgehängte Unterdecke ein weiteres Masse-Feder-System geschaffen, bestehend aus einer biegeweichen Unterdecke (Masse) und einem Abhängesystem mit Luft/Hohlraumbedämpfung (Feder). Für eine wirksame Schalldämmung muss die Bekleidung eine möglichst grosse flächenbezogene Masse und eine geringe Biegesteifigkeit aufweisen. Zudem muss der Schalenabstand zwischen der Rohdecke und der Unterdecke möglichst gross sein. Weiter ist es von grosser Bedeutung, dass die Unterdecke von der Rohdecke entkoppelt wird.

Das schalltechnische Verhalten von Unterdecken am Beispiel einer Hohlkastendecken ist in Abbildung 6 ersichtlich. Konstruktionen mit entkoppelten, schweren, doppellagig ausgeführten Gipsplatten und einer Abhängehöhe von 120 mm zeigen im Vergleich zu Konstruktionen ohne biegeweiche Unterdecken erst in den Terzbändern über 100 Hz bessere Leistungen und verbessern die Deckenkonstruktion somit nur im Standardfrequenzbereich. In den Terzbändern unter 100 Hz bewirkt eine biegeweiche Unterdecke dieser Konstruktionen in der Regel keine Trittschallminderung. Die Normtrittschallpegel L_n können sich in tieffrequenten Frequenzbereichen bei geringeren Abhanghöhen mit z. B. 50 mm im Bereich der Resonanzfrequenz verschlechtern. Die gilt auch bei leichten einlagigen Unterdecken mit Gipsplatten bei Abhanghöhe von 120 mm.

Bei einer nicht entkoppelten Unterdecke mit einer Lattung stellt die starre Verbindung eine zusätzliche Schallbrücke dar. Im Vergleich mit dem Konstruktionsaufbau ohne Unterdecke verschlechtern sich die Trittschallpegel bei einer zusätzlichen Unterdecke mit einer starr verbundenen Lattung (Lattenabstand von 50 cm) und Hohlraumbedämpfung 40 mm und einer Gipsplatte 15 mm in den Terzbändern 63–160 Hz erheblich.

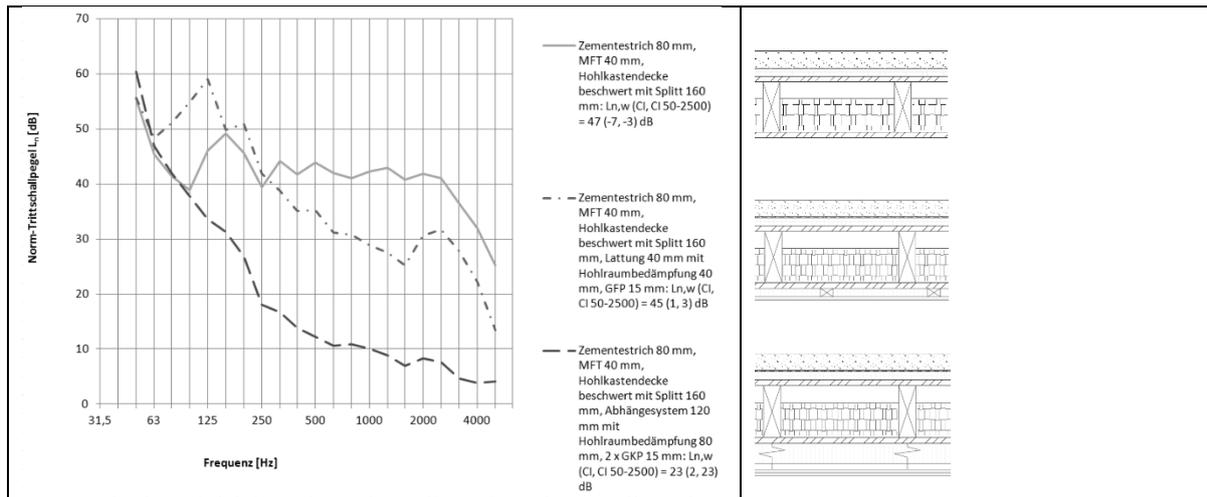


Abbildung 6 [4]: Vergleich von unterschiedlichen Unterdecken bei einer mit 160 mm Splitt gefüllten Hohlkastendecke und zusätzlichem Bodenaufbau mit Glasfaser-Trittschalldämmung 2 x 20 mm ($s' = 9 + 9 \text{ MN/m}^3$) und Zementestrich 80 mm (Norm-Trittschallpegel L_n)

- Ohne Unterdecke: $L_{n,w}(C_I, C_{I\ 50-2500})$ 47 (-7, -3) dB
- starr befestigte Unterdecke mit Lattung/Hohlraumdämmung 40 mm, GF 15 mm: $L_{n,w}(C_I, C_{I\ 50-2500})$ 45 (1, 3) dB
- entkoppelte Unterdecke mit Federbügel/Lattung 120 mm, Hohlraumdämmung 80 mm, GF 2 x 15 mm: $L_{n,w}(C_I, C_{I\ 50-2500})$ 23 (2, 23) dB

Bei Rippen- und Holzbalkendecken eignen sich als Verbesserungsmassnahme entkoppelte Unterdecken. Infolge des grossen Schalenabstandes zwischen der Tragschicht der Decke und der Unterdecke wird die Resonanzfrequenz f_0 in den tieferen Frequenzbereich verschoben und dadurch das Potenzial für die Verbesserung des Normtrittschallpegels L_n gelegt. Mit optimal federnd abgehängten doppellagigen Gipsdecken mit einem Schalenabstandes von 32 cm können Resonanzfrequenzen unter 40 Hz und dadurch sehr gute Norm-Trittschallpegel bereits ab 50 Hz erreicht werden – auch mit geringer Deckenbeschwerung der Tragschicht von 3 cm, wie Messungen im Rahmen des Projektes gezeigt haben [5].

5. Bewährte Deckenkonstruktionen

Nachfolgend sind verschiedene Konstruktionslösungen dargestellt, die sich in der Praxis bewährt haben. Diese Deckensysteme sind tieftonoptimiert und berücksichtigen den Frequenzbereich ab 50 Hz. Die Deckensysteme sind auf eine Resonanzfrequenz von ca. 40 Hz ausgelegt.

Fussbodenaufbau

- genügend schwere Estriche, z.B. 80 mm Zementestrich oder Anhydrit
- weiche Trittschalldämmung, Glasfaser-Trittschalldämmung mit dynamischer Steifigkeit $s' \leq 6 \text{ MN/m}^3$

Deckensystem:

- Massivholzdecke 16 cm, beschwert mit 9 cm Splitt
- Hohlkastendecke mit Splittfüllung 16 cm im Hohlkasten
- Holz-Beton-Verbunddecke mit 12 cm Massivholz und 12 cm Beton
- Rippendecke, beschwert mit 3 cm Splitt und entkoppelter biegeweicher Unterdecke mit genügend schweren Bekleidungen (z.B. 2x15mm Gipsfaser- oder Hartgipsplatten) und grossem Schalenabstand von mind. 30 cm

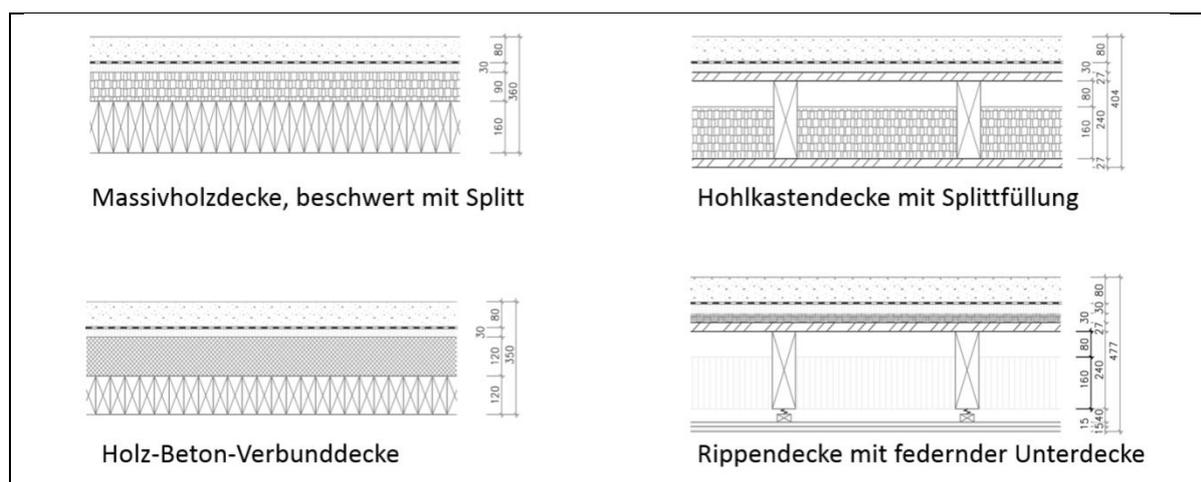


Abbildung 7: Bewährte Deckensysteme unter Berücksichtigung des Frequenzbereiches ab 50 Hz

6. Schalltechnische Kennwerte/Bauteildatenbank

Die Bauteildatenbank der Lignum bildet für zeitgemässe Konstruktionen in Holz die Schalldämm-Masse für Luftschall (R_w), Trittschall ($L_{n,w}$) sowie die Spektrum-Anpassungswerte (C , C_{tr} , C_i) ab (www.lignumdata.ch).

Auf der Grundlage von umfangreichen Untersuchungen an der Empa werden laufend schalltechnische Kennwerte für die direkte Schallübertragung sowie die Flankenübertragungen entlang relevanter Übertragungswege ermittelt. Diese Daten werden Eingang finden in ein geplantes Prognosetool als Hilfsmittel für den schalltechnischen Nachweis bei Holzbauten (vgl. Referat Flankenübertragungen an HBV-Decken – Eingangsdaten für ein Designtool von Stefan Schoenwald, Empa Dübendorf).

7. Literaturhinweise

- [1] Späh M., Liebl A., Leistner P.: AcuWood – Acoustics in Wooden Buildings – Evaluation of acoustic quality in wooden buildings: Listening tests and questionnaire field study, WoodWisdom-Net, Project Report 3, 2014
- [2] Späh M., Liebl A., Leistner P.: AcuWood – Acoustics in Wooden Buildings – Correlation analysis of subjective and objective parameters, WoodWisdom-Net, Project Report 4, 2014
- [3] Holtz, F.; Hessinger, J.; Buschbacher, H.P.; Rabold, A. (1999): Informationsdienst Holz – Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken. Holzbau Handbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 3. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH), München
- [4] Projekt Schallschutz im Holzbau¹, Resultate aus Labormessungen im Leichtbauprüfstand an der Empa in Dübendorf
- [5] Projekt Schallschutz im Holzbau¹, Resultate aus In-situ-Messungen durch das Fraunhofer-Institut IBP Stuttgart im Teilprojekt Subjektive Wahrnehmung von Schall

¹ Das Projekt Schallschutz im Holzbau (http://www.lignum.ch/holz_a_z/schallschutz) ist ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt unter der Leitung der Lignum sowie unter Beteiligung der Empa, der Berner Fachhochschule Architektur, Bau und Holz sowie wichtiger Verbände und Industriepartner der Holzwirtschaft. Das Projekt wird massgeblich unterstützt durch das Bundesamt für Umwelt BAFU, Aktionsplan Holz.

Leichtbautreppen – Probleme und Lösungen beim Schallschutz

Jochen Scheck
Hochschule für Technik Stuttgart
STEP GmbH
Stuttgart, Deutschland



Leichtbautreppen – Probleme und Lösungen beim Schallschutz

1. Einleitung

Leichtbautreppen werden hauptsächlich als wohnungsinterne Treppen zur Verbindung von Geschossen eingesetzt. Die am häufigsten verbauten Leichtbautreppen sind Holztreppen und Stahl-Holztreppen (Abbildung 1). Durch das im Vergleich zu Massivtreppen geringe Gewicht ergeben sich bedeutende Vorteile bei der Bau-Ausführung wie z.B. die nachträgliche Montage nach Fertigstellung des Rohbaus. Vergleichsweise geringe Kosten und ästhetische Aspekte sind weitere Ursachen dafür, dass sich Montagetreppen bei Planern und Bauherrn einer großen Beliebtheit erfreuen. Weniger erfreulich sind für alle Beteiligten die vor allem in Reihenhäusern oft auftretenden schalltechnischen Probleme durch die Trittschallübertragung.



Holztreppe



Stahl-Holztreppe



Massivtreppe

Abbildung 1: Beispiele für wohnungsinterne Treppen.

Diese resultieren daraus, dass Montagetreppen beim Begehen oder „Bespringen“ zu Schwingungen angeregt werden und über die Ankopplungspunkte an Wänden und Decken Körperschall in den Baukörper einleiten. Der Körperschall breitet sich im Gebäude aus und wird als Luftschall in der Nachbarwohnung abgestrahlt. Dieser Trittschall wird von Bewohnern meist als dumpfes Wummern oder Poltern wahrgenommen, was auf die hauptsächlich tieffrequent starke Schallübertragung zurückzuführen ist. Besonders störend und oft Hauptursache für Beschwerden sind die von springenden Kindern erzeugten Geräusche. Werden beanstandete Treppen mit genormten Mess- und Bewertungsverfahren überprüft [1], [2] und mit den baurechtlich eingeführten Anforderungen der DIN 4109 [3] verglichen, dann zeigt sich sehr häufig, dass die geforderten Grenzwerte für den Trittschall eingehalten werden. Völlig unverständlich für die betroffenen Bewohner wird es dann, wenn sich herausstellt, dass die beanstandete Treppe sogar einen erhöhten Schallschutz, z.B. nach [4]-[6] aufweist. Verständlich wird diese irritierende Situation erst, wenn man weiß, dass bei den genormten Mess- und Beurteilungsverfahren nicht das reale Gehgeräusch, sondern das von einer genormten Körperschallquelle, dem Norm-Hammerwerk, bei Anregung der Treppe verursachte Geräusch, der Beurteilung zu Grunde gelegt wird. Des Weiteren wird für die Beurteilung nur ein eingeschränkter Frequenzbereich herangezogen. Die oft als besonders lästig wahrgenommene tieffrequente Übertragung unter 100 Hz wird derzeit in Deutschland nicht berücksichtigt. Zum Nachweis des Schallschutzes von Leichtbautreppen existiert auf nationaler Ebene (DIN 4109) derzeit noch kein Verfahren. Die Probleme und Lösungen beim Schallschutz von Leichtbautreppen werden im Folgenden anhand von Untersuchungen erläutert, die in Forschungsvorhaben an der Hochschule für Technik Stuttgart in Kooperation mit der STEP GmbH durchgeführt wurden [7], [8]. Dabei wurden bislang überwiegend Übertragungssituationen im Massivbau betrachtet.

2. Fallbeispiel: Stahl-Holz-Treppe im Leichtbau

Die Bewohner eines Reihenhauses in Holzbauweise beklagen die Trittschallübertragung von der Wohnungstreppe (Abbildung 1, Mitte und Abbildung 2) aus dem angrenzenden Reihnhaus. Vor allem die Geräusche bei der Anregung der Treppe durch die Nachbarskinder seien als dumpfes Poltern deutlich wahrnehmbar und werden als sehr störend empfunden. Zur Beurteilung der Trittschalldämmung wurden bei einem Ortstermin die Trittschalldämmung der Treppe und die Luftschalldämmung der Haustrennwand messtechnisch bestimmt. Zusätzlich wurden Schallpegel bei Anregung der Treppe durch eine gehende Person und ein springendes Kind gemessen. Die Messergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 2: Ankopplungspunkte der 2 x Viertel-gewendelten Stahl-Harfen-Treppe an Haustrennwand und Boden. Die 14 massiven Holzstufen der Dicke 4 cm sind mit ca. 5 mm Gummiunterlage auf die Stahl-Wangen (Rechteck-Profile) geschraubt. Die Stahlwangen sind durch quer zur Laufrichtung angeschweißte Rechteck-Profile unterstützt. Diese sind an die Holzständer angeschraubt. Die Ankopplung an die Decke erfolgt über einen Stahlrahmen, der an die Deckenstirn angeschraubt ist.

2.1. Beurteilung nach aktuell gültigen Normen und Regelwerken

Das bewertete Bau-Schalldämmmaß der Haustrennwand beträgt $R'_w = 65$ dB und erfüllt die baurechtlich verbindliche (Mindest-) Anforderung nach DIN 4109-1 von $R'_w = 62$ dB sicher. Der erhöhte Schallschutz nach DIN 4109 – Beiblatt 2 von $R'_w \geq 67$ dB wird knapp nicht erreicht. Nach DEGA-Empfehlung 103 wird Schallschutzklasse B sicher erreicht. Der bewertete Norm-Trittschallpegel der Treppe beträgt $L'_{n,w} = 40$ dB und erfüllt die baurechtlich verbindliche (Mindest-) Anforderung nach DIN 4109-1 von $L'_{n,w} = 53$ dB und auch der erhöhte Schallschutz nach DIN 4109 – Beiblatt 2 von $L'_{n,w} \leq 46$ dB wird sicher erreicht. Nach DEGA-Empfehlung 103 wird Schallschutzklasse B: $L'_{n,w} \leq 43$ dB sicher erreicht. Schallschutzklasse B entspricht „einer Wohneinheit mit gutem Schallschutz, die bei gegenseitiger Rücksichtnahme zwischen den Nachbarn ein ruhiges Wohnen bei weitgehendem Schutz der Privatsphäre ermöglicht; Hoher Schallschutz in Mehrfamilienhäusern. Normaler Schallschutz in Doppel- und Reihenhäusern“. In VDI 4100 ist die Anforderungsgröße der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$. Diese Größe ist zur Beurteilung des Schallschutzes besser geeignet als der bewertete Norm-Trittschallpegel [9]. Der bewertete Standard-Trittschallpegel der Treppe beträgt $L'_{nT,w} = 31$ dB und entspricht der (höchsten) Schallschutzstufe III: $L'_{nT,w} \leq 32$ dB. Demnach sind Gehgeräusche „nicht störend“.

2.2. Tieffrequente Trittschallübertragung

Der beim normalen Begehen der Treppe durch einen Erwachsenen gemessene Schalldruckpegel liegt 6 – 9 dB über der Wahrnehmungsschwelle nach DIN 43680, beim Springen des Kindes beträgt die Überschreitung über 45 dB bei 100 Hz. Der A-bewertete Summenpegel beim Springen des Kindes beträgt $L_{AF,max} = 48$ dB und liegt damit 30 dB über dem Grundgeräuschpegel. Erfahrungsgemäß treten Belästigungen und massive Beschwerden der Nachbarn dann auf, wenn der Grundgeräuschpegel durch Nutzergeräusche um mehr als 10 dB überschritten ist. Die von den Bewohnern beklagte, erhebliche Geräuschbelästigung infolge des Springens ist somit nachvollziehbar. Gleichzeitig stellt die

Anregung durch ein springendes Kind hinsichtlich der „Nutzung“ einer Treppe eine Extremsituation dar, die nicht als Maßstab für die schalltechnische Beurteilung der Konstruktion herangezogen werden sollte. Das übliche Gehen wird zwar wahrgenommen aber nicht als unzumutbare Störung empfunden. Diese Beurteilung spiegelt im Wesentlichen auch die Erfahrungen mit Leichtbautreppen in Gebäuden in Massivbauweise wieder und zeigen das grundsätzliche Problem der tieffrequenten Trittschallübertragung auf.

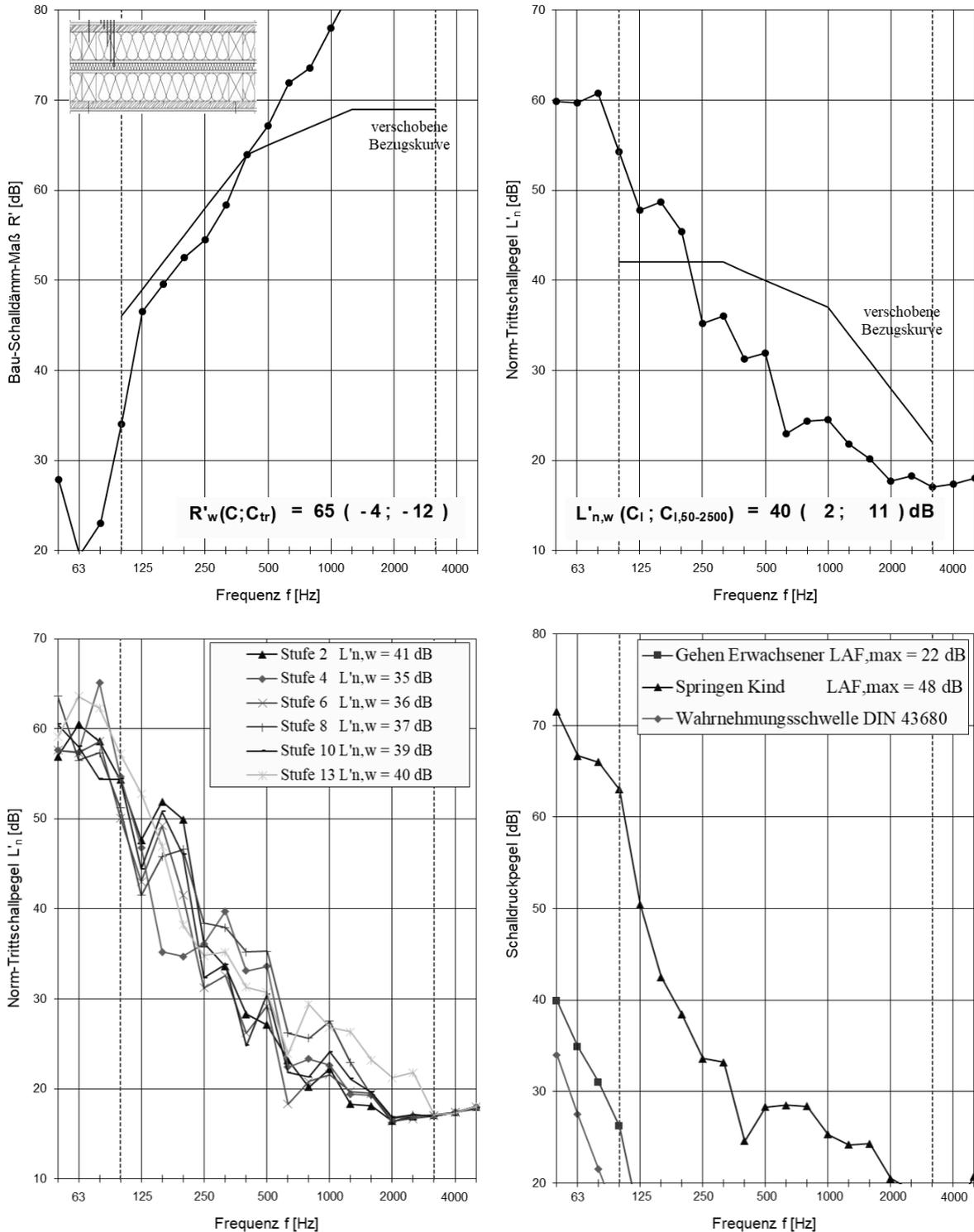


Abbildung 3: Messergebnisse in einem Reihenhaus in Holzbauweise mit einer Stahl-Holz-Treppe (Beschwerdefall); links oben: Bau-Schalldämm-Maß der Haustrennwand; rechts oben: Norm-Trittschallpegel der Treppe; links unten: Norm-Trittschallpegel einzelner Stufen; rechts unten: Schalldruckpegel eines gehenden Erwachsenen und eines springenden Kindes mit Wahrnehmungsschwelle nach DIN 43680.

Die Ursachen für die tieffrequent starke Trittschallübertragung sind:

- Durch Gehen/Springen erfolgt eine hauptsächlich tieffrequente Anregung
- Leichtbautreppen sind tieffrequent sehr gut zu Schwingungen anregbar und übertragen diese über «starre» Ankopplungspunkte effektiv in den Baukörper
- Die Schalldämmung des Baukörpers ist tieffrequent gering

Letzteres trifft v.a. im Leichtbau zu, wenn konventionelle Bauteile mit geringer Masse ohne sonstige schalltechnische Maßnahmen eingesetzt werden. Im Massivbau kommt es v.a. im Bereich der Resonanzfrequenz von zweischaligen Haustrennwänden zu einer starken Trittschallübertragung. Der Frequenzbereich unter 100 Hz wird bei der Beurteilung nach in Deutschland üblichen Norm- und Regelwerken [3]-[6] nicht berücksichtigt, liegt aber im Bereich der menschlichen Hörwahrnehmung. Zudem werden tiefe Frequenzen durch ein springendes Kind wesentlich stärker, als durch das Norm-Hammerwerk angeregt (siehe Beispiel in Abbildung 3) und der hochfrequente Bereich wesentlich geringer. Folglich wird bei der normgemäßen Bewertung der Trittschalldämmung der tieffrequente Bereich unterbewertet und der hochfrequente Bereich überbewertet.

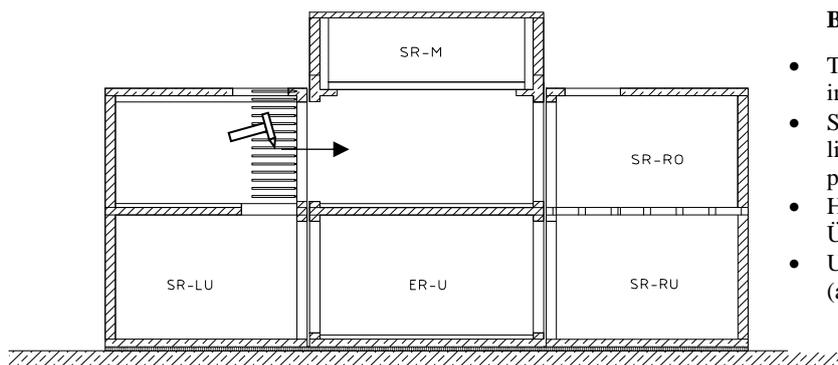
Hilfreiche Informationen zum schalltechnischen Verhalten bei «wohnüblicher» Trittschallanregung liefert der Spektrum-Anpassungswert C_I (mit Index I für Impact Sound = Trittschall). Da der Spektrum-Anpassungswert im nach unten erweiterten Frequenzbereich ab 50 Hz bestimmt werden kann ($C_{I,50-2500}$), gibt er Auskunft über das schalltechnische Verhalten von Bauteilen im problematischen tieffrequenten Bereich. Zum informativen Vergleich mit Anforderungen wird der Spektrum-Anpassungswert $C_{I,50-2500}$ zum Einzahlwert $L'_{n,w}$ addiert. Im Fallbeispiel in Abbildung 3: $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} = 40 + 11 = 51$ dB. Dadurch wird die Korrelation zwischen dem bewerteten Norm-Trittschallpegel und dem A-bewerteten Trittschallpegel beim Begehen deutlich verbessert [11]. Für Holzbalkendecken wurde ferner gezeigt, dass der A-bewertete Trittschallpegel gut mit der Lautheit nach Zwicker korreliert, welche die beste psychoakustische Beurteilung ermöglicht. Auf dieser Grundlage können geeignete Zielgrößen abgeleitet werden, für Holzbalkendecken: $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 53$ dB zur hinreichenden Vermeidung von Trittschall-Problemen durch gehende Personen, bei $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 46$ dB sind Gehgeräusche kaum noch wahrnehmbar. Diese Beurteilung entspricht den bisherigen Erfahrungen mit Leichtbautreppen. Um darüber hinaus Belästigungen durch springende Kinder mit hinreichender Sicherheit zu vermeiden ist die

Zielvorgabe für Leichtbautreppen: $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 39$ dB.

Wie in Abschnitt 6 noch gezeigt wird, kann diese Zielvorgabe von leichten Treppen an massiven, einschaligen Trennwänden bei gezielter Anwendung von Optimierungsmaßnahmen eingehalten werden. Im Holzbau liegen noch zu wenige Erfahrungen mit Entkopplungsmaßnahmen bei Leichtbautreppen vor. Allerdings wurde in [12] schon gezeigt, dass durch Entkopplungsmaßnahmen auch im tieffrequenten Bereich Verbesserungen von 10 dB erreichbar sind. V.a. in Kombination mit schalltechnisch optimierten Holzdecken [11] und Trennwänden erscheint das Erreichen der o.g. Zielvorgabe auch für Leichtbautreppen im Holzbau nicht unrealistisch.

3. Treppenprüfstand

Um grundlegende Untersuchungen zum Verständnis der Trittschallübertragung von Leichtbautreppen durchführen zu können und darauf basierend geeignete Labor-Prüfverfahren zur Kennzeichnung von Leichtbautreppen zu entwickeln, wurde im Jahr 2001 ein schalltechnischer Treppenprüfstand gebaut (Abbildung 4). Der Prüfstand wurde auf Basis der Vorgaben an die Prüfnormen für die Luft- und Trittschalldämmung von Wänden und Decken konzipiert und ermöglicht die Prüfung beliebiger Kombinationen Treppen und Treppwänden und Übertragungssituationen unter Laborbedingungen.



Besondere Merkmale

- Treppenprüfungen im Massivbau und im Leichtbau (Holzständerbau)
- Systemprüfungen von Treppen an beliebigen ein- und zweischaligen Treppenraumwänden
- Horizontale, diagonale und vertikale Übertragungssituationen
- Unterschiedliche Treppengrundrisse (auch Spindeltreppen)

Abbildung 4: Schalltechnischer Treppenprüfstand der STEP GmbH. Für Grundlagenuntersuchungen wurde hauptsächlich die horizontale Übertragung einer Holztreppe an einer Massivwand im 1. OG genutzt.

4. Fallbeispiel: Holz-Treppe im Massivbau

Die Trittschallübertragung einer handwerklichen Holzwangetreppe wurde im Treppenprüfstand detailliert untersucht und Methoden zur Charakterisierung als Körperschallquelle zur Bestimmung von Eingangsdaten für Prognosen (Abschnitt 5) angewendet [13]-[15]. Im Vordergrund stand dabei die horizontale Übertragung in einen unmittelbar angrenzenden Empfangsraum. Um für die Grundlagenuntersuchungen möglichst einfache Verhältnisse zu schaffen, wurde ein geradläufiger Treppengrundriss gewählt. Die Ankopplung der Treppenwanne an die Wand erfolgte an einem einzigen starren Wandkontakt. Die Wanne selbst wurde von der Wand abgerückt, um eine physikalisch einfacher zu beschreibende, punktförmige Verbindung zu schaffen. Durch Entkopplung der Deckenaufleger wurde gewährleistet, dass die Körperschallanregung der Wand ausschließlich über den Wandkontakt erfolgte. Die Treppenwand war eine typische einschalige Wohnungstrennwand aus Kalksandvollsteinen der Rohdichteklasse 2,0 mit einer Dicke von $d = 240$ mm.

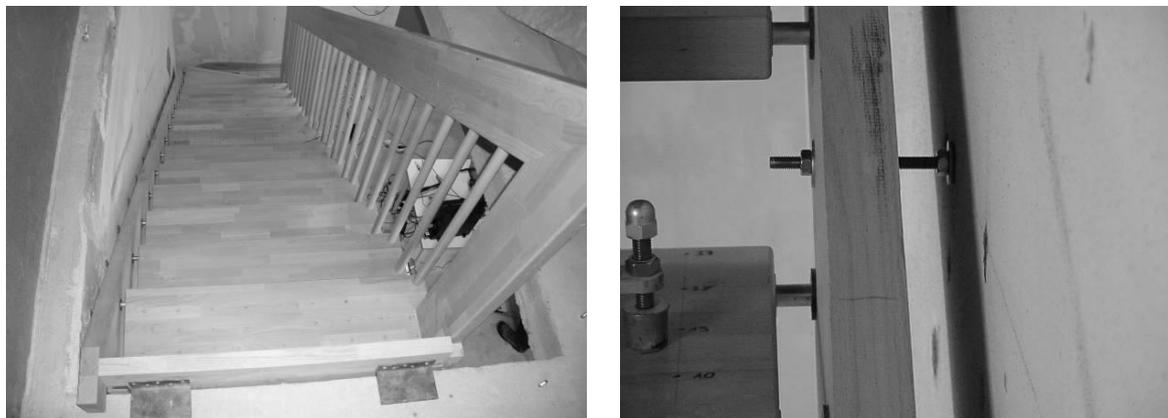


Abbildung 5: Handwerkliche Holztreppe mit Wandwanne und punktförmigem Wandkontakt.

4.1. Schwingungsverhalten

Das Schwingungsverhalten ist eine maßgebliche Eigenschaft für die Körperschallübertragung von der Treppe in den Baukörper und somit hinsichtlich der Charakterisierung der Treppe als Körperschallquelle von grundlegender Bedeutung. Mittels experimenteller Modalanalyse wurden die Eigenschwingungen bestimmt. Diese sind auszugsweise in Abbildung 6 dargestellt. Die Schwingungsbilder sind geprägt von den Eigenschwingungen der einzelnen Komponenten der Treppe: Handlauf, Wanne und Stufen und deren komplexem Zusammenspiel. Bei den zugehörigen Eigenfrequenzen ist die Treppe besonders gut anregbar, das heißt sie kann stark schwingen. Dies ist wiederum die Voraussetzung für eine starke Körperschallanregung der Wand. Maßgeblich ist auch, wo die Treppe angeregt wird (Beispiel: Schwingungsverhalten bei 106 Hz), dadurch sind die frequenzabhängigen Unterschiede der Norm-Trittschallpegel in der Größenordnung von 10 dB für die Anregung

unterschiedlicher Stufen in Abbildung 3 zu erklären. Die treppenspezifischen Eigenschwingungen sind ein wesentliches Merkmal hinsichtlich der Charakterisierung von Leichtbautreppen als Körperschallquellen. In Anbetracht der Komplexität des Schwingungssystems Treppe mit starkem Einfluss von Resonanzen ist eine schalltechnische Beschreibung generell nur auf Basis von Messungen sinnvoll.

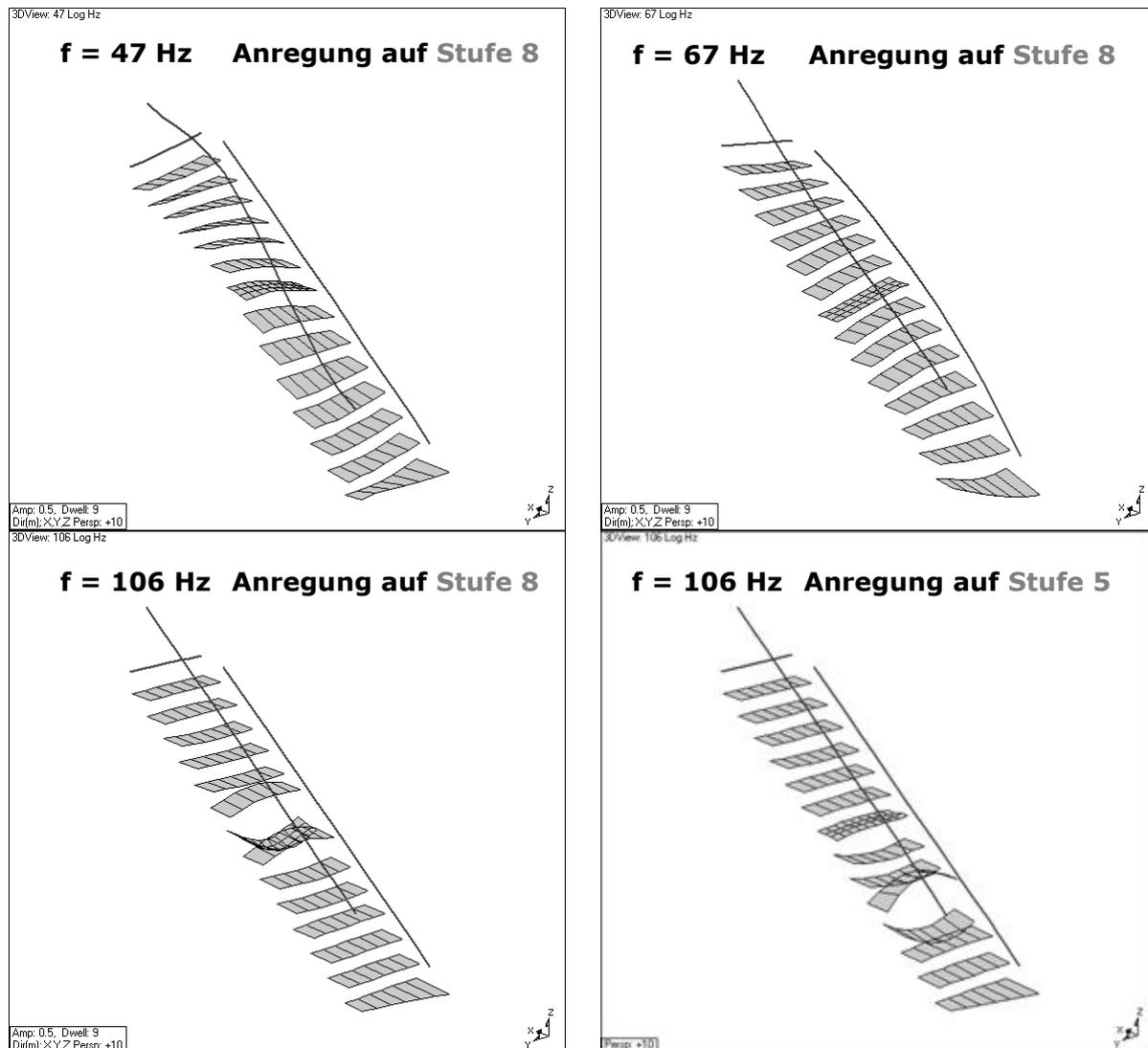


Abbildung 6: Tieffrequente Treppen-Eigenschwingungen bestimmt aus experimenteller Modalanalyse.

4.2. Charakterisierung von Leichtbautreppen im Prüfstand

Eine zu Schwingungen angeregte Treppe ist eine komplexe Körperschallquelle und kann in gleicher Weise charakterisiert werden, wie eine gebäudetechnische Anlage [8], [13]-[15]. Basierend auf einer Charakterisierung im Prüfstand kann die Vorherberechnung der Schallübertragung im Massivbau nach EN 12354-2 [16] (für Trittschall) oder EN 12354-5 [17] (für gebäudetechnische Anlagen) für den schalltechnischen Nachweis zur Einhaltung von Anforderungen erfolgen. Beide Gebäude-Übertragungsmodelle führen, wenn nur die Körperschallübertragung relevant ist, zum gleichen Ergebnis, verwenden nur unterschiedliche Eingangsdaten. Die Anwendung der EN 12354-2 ist wesentlich einfacher, hier wird als Eingangsgröße die Trittschallminderung der Treppe, gegenüber der direkten Anregung der Wand/Decke durch das Norm-Hammerwerk verwendet (Abbildung 7). Diese Trittschallminderung durch die Treppe wird in analoger Weise bestimmt, wie die eines schwimmenden Estrichs auf einer Decke, bei der erst auf der Decke und dann auf dem Estrich angeregt wird. Zur Anregung von Wänden wird ein geeignetes Hammerwerk benötigt [15].

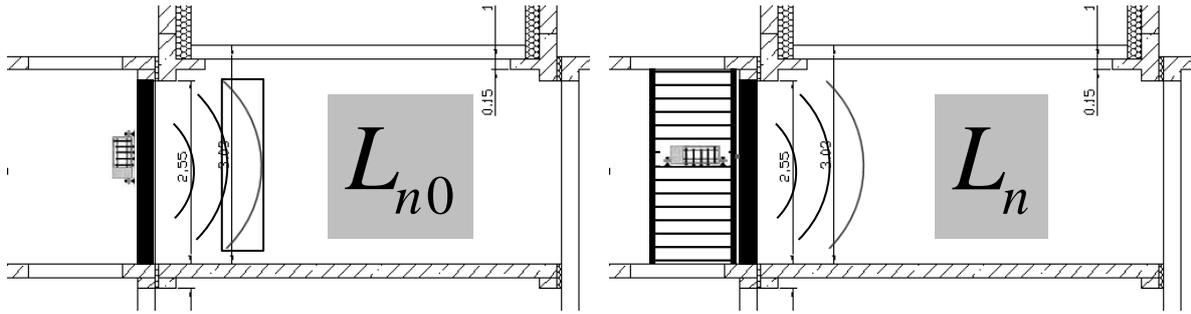


Abbildung 7: Messungen zur messtechnischen Charakterisierung einer Leichtbautreppe durch eine Trittschallminderung nach EN 12354-2 [16]: Schritt 1: Norm-Trittschallpegel der Treppenwand; Schritt 2: Norm-Trittschallpegel der mit der Wand verbundenen Treppe.

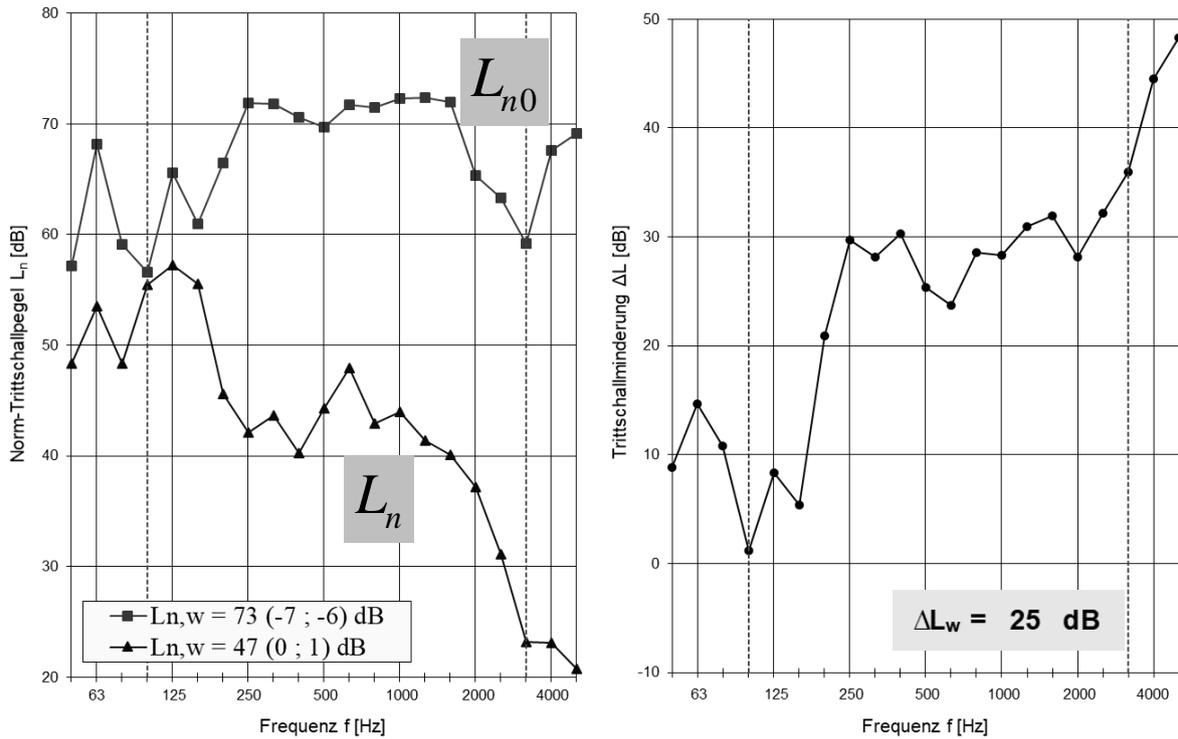


Abbildung 8: Norm-Trittschallpegel von Treppenwand und Treppe (Abbildung 5) und daraus bestimmte Trittschallminderung.

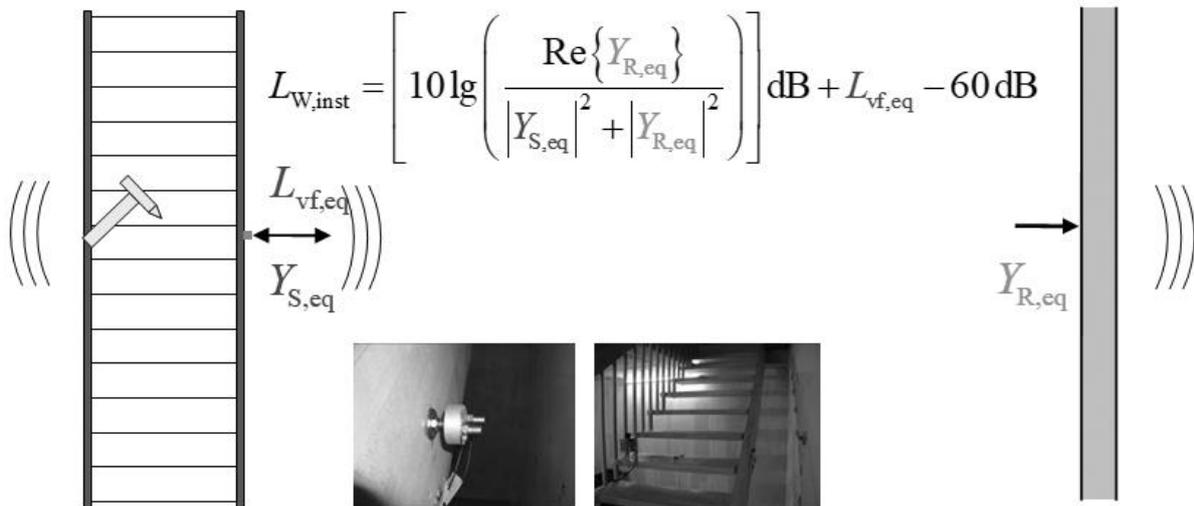


Abbildung 9: Prognose der installierten Leistung im Holzbau.

Für die Vorherberechnung der Schallübertragung von Leichtbautreppen im Holzbau muss eine etwas aufwändigere Charakterisierung erfolgen, die eine Bestimmung der installierten Leistung im Gebäude ermöglicht (Abbildung 10). Dazu kann derselbe Prüfaufbau verwendet werden, jedoch muss die blockierte Kurzschlusskraft oder die freie Schnelle der Treppe und die Admittanz der Treppe an den Kontaktpunkten bestimmt werden, wobei die Verfahren in EN 15657 [18] zur Anwendung kommen, wie ausführlich in [8], [13]-[15] beschrieben. Basierend darauf kann die Körperschallausbreitung im Gebäude mit Übertragungsfunktionen erfolgen. Dieses Vorgehen wird am Beispiel von haustechnischen Anlagen ausführlich in [19] erläutert, wurde für Leichtbautreppen jedoch noch nicht angewandt.

5. Prognose des Norm-Trittschallpegels im Massivbau

In einer Reihenhausanlage sind die Haustrennwände einschalig aus 24 cm Stahlbeton ausgeführt. Der Grundriss im Erdgeschoss ist offen, das heißt der Treppenraum und der schutzbedürftige Wohnraum sind miteinander verbunden (Abbildung 10). Für die horizontale Trittschallübertragung der Treppe stellt das den ungünstigsten Fall dar. Die Treppe ist eine geländertragende Holztreppe, dessen einzelne Stufen direkt in der Treppenwand gelagert sind (14 Stufen mit je 2 Bolzen mit Gummiummantelung). Eine baugleiche, jedoch geradläufige Treppe wurde zuvor nach dem in Abschnitt 4 beschriebenen Verfahren charakterisiert und die Trittschallminderung als Eingangsgröße für die Prognose nach EN 12354-2 verwendet.

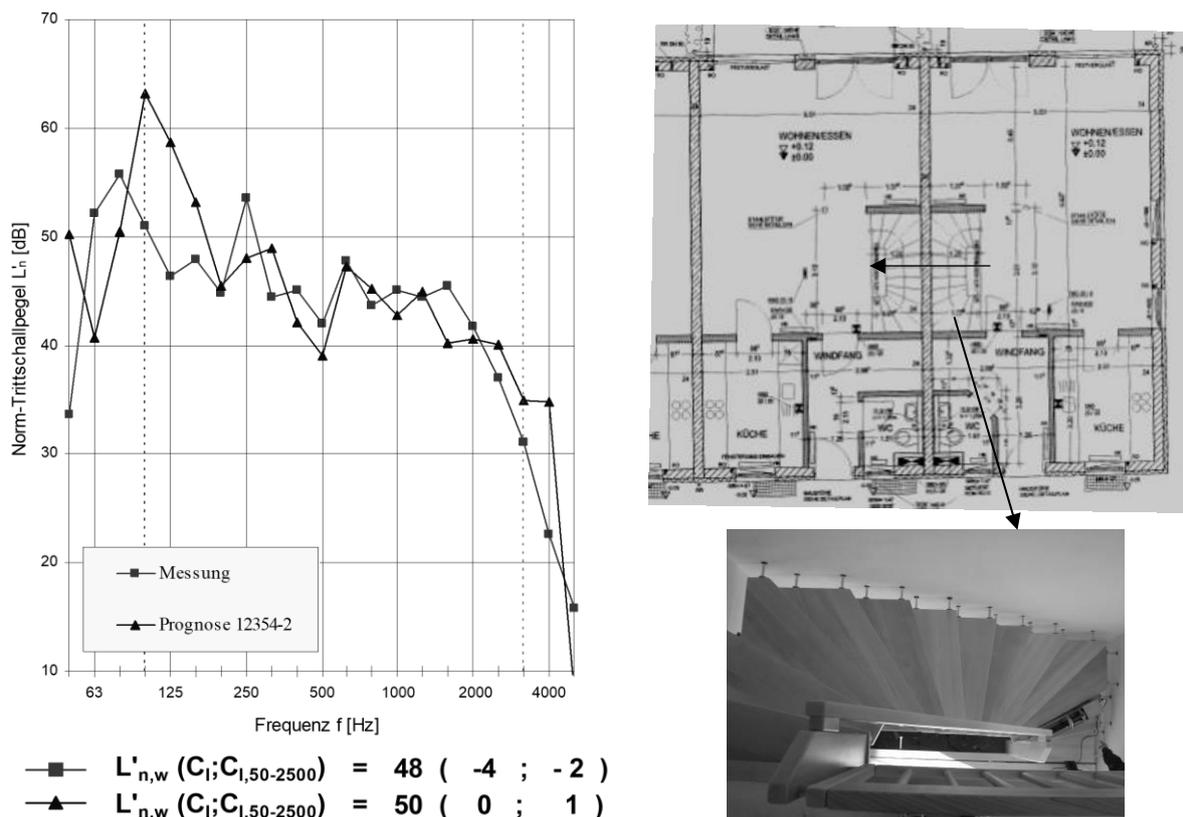


Abbildung 10: Vergleich Prognose und Messung des Norm-Trittschallpegels einer geländertragenden Holztreppe in einer Bausituation.

Im Frequenzbereich ab 200 Hz ist die Übereinstimmung von Prognose und Messung gut, darunter ergeben sich größere Abweichungen, die aufgrund des im Vergleich zur Prüfstands-Treppe anderen Treppengrundrisses und damit anderen Schwingungsverhaltens zu erwarten sind. Die Prognose liegt auf der sicheren Seite. Unter Berücksichtigung des Spektrums-Anpassungswertes $C_{1,50-2500}$ beträgt die Abweichung 6 dB, liegt aber auf der sicheren Seite. Weitere Vergleiche von Prognosen und Messungen in Gebäuden ergaben ähnlich gute Übereinstimmungen [7].

6. Schalltechnische Optimierung

Die Holztreppe in Abbildung 5, jedoch mit, im Ausgangszustand, vollflächigem Wandkontakt, sollte schalltechnisch optimiert werden. Die damaligen Zielvorgaben waren:

- erhöhter Schallschutz ($L_{n,w} = 46$ dB) an einer einschaligen Wohnungstrennwand
- eine erhebliche Minderung der tieffrequenten Trittschallübertragung
- keine grundlegenden konstruktiven Veränderungen an der Treppenkonstruktion selbst
- sichere Begehrbarkeit und Einhaltung der statischen Anforderungen n. ETAG 008 [20]

Als Optimierungsstrategie wurde die Reduzierung der Körperschalleinleitung in den Baukörper durch Entkopplung der Auflagerpunkte gewählt, da diese mit relativ geringem konstruktivem Aufwand verbunden ist, weil keine Veränderungen an der Treppe selbst vorgenommen werden müssen. Bei der Umsetzung wurde in mehreren Schritten vorgegangen, um den Einfluss der einzelnen Ankopplungspunkte an Treppenwand und Decken auf die Übertragung festzustellen. Zur Ermittlung der Optimierungsgrenze wurden zunächst alle Verschraubungen entfernt, die Treppe wurde von der Wand abgerückt und mit Elastomerlagern auf den Decken aufgesetzt. Bei dieser vollständigen Entkopplung wird der Norm-Trittschallpegel durch Schallabstrahlung der Treppe im Senderraum und Luftschallübertragung in den Empfangsraum bestimmt. Die einzelnen Maßnahmen und deren Auswirkung auf den Norm-Trittschallpegel zeigt Abbildung 11, eine ausführliche Dokumentation der Maßnahmen findet sich in [21]. Im Endergebnis wurde mit entkoppelten Deckenauflagern und einer statisch notwendigen (entkoppelten) Verschraubung der Wandwange ein $L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 39$ dB erreicht. Messungen der Lautheit nach Zwicker ergaben beim Begehen der Treppe eine Reduzierung um den Faktor 6. Wirkungsvolle Entkopplungsmaßnahmen wurden für zahlreiche weitere Treppenkonstruktionen im Prüfstand durchgeführt und deren Wirksamkeit exemplarisch in Gebäuden bestätigt.

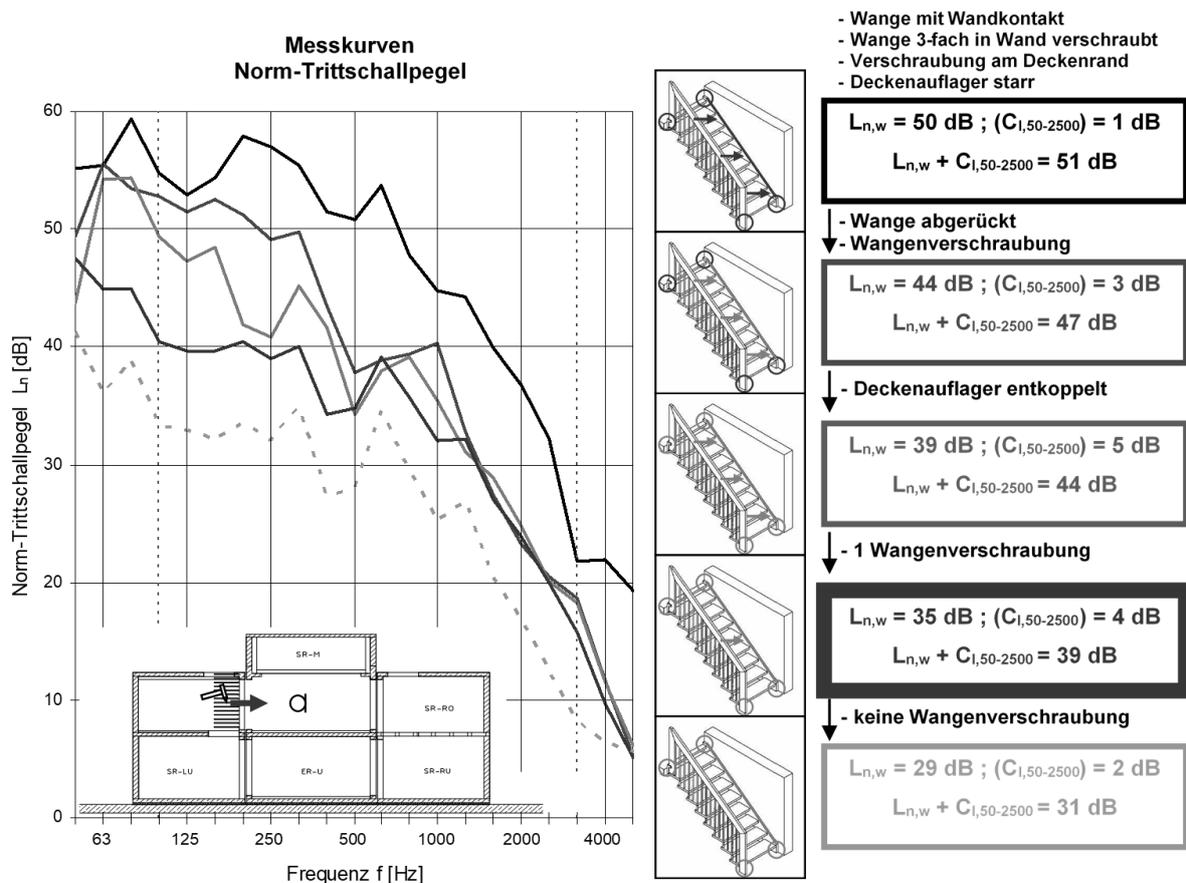


Abbildung 11: Schalltechnische Optimierung einer Holztreppe mit Wandwange im Treppenprüfstand.

7. Literatur

- [1] DIN EN ISO 16283-2:2018-11: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung.
- [2] DIN EN ISO 717-2:2013-06: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung.
- [3] DIN 4109-1:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen.
- [4] DIN 4109:1989-11 Beiblatt 2: Schallschutz im Hochbau – Hinweise für die Planung und Ausführung – Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz – Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich.
- [5] VDI 4100:2012-10: Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz.
- [6] DEGA-Empfehlung 103:2018-01: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis.
- [7] Scheck, J., Drechsler, A., Fischer, H.-M.: Innovative Lösungen zur schalltechnischen Simulation und Optimierung leichter Treppen, Abschlussbericht der Hochschule für Technik Stuttgart zum Forschungsprojekt im Rahmen des Förderprogramms «Innovative Projekte» an den Fachhochschulen Baden-Württembergs, 2006.
- [8] Scheck, J.M, Characterisation of lightweight stairs as structure-borne sound sources, PhD thesis at the University of Liverpool, 2011.
- [9] Fischer, H.-M., Schneider, M.: Handbuch zu DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau: Grundlagen – Anwendung – Kommentare, Beuth-Verlag, 2019.
- [10] DIN 45680: 2013 (Entwurf): Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen.
- [11] Rabold, A.: Schallschutz in der Geschossbauweise – Decken, Trennwände und Stossstellen, Holzbauforum 2015.
- [12] Holtz, F., Buschbacher, H. P., Rabold, A., Hessinger, J., (2001). Trittschalldämmung von Treppen im Holzbau, Bestandsaufnahme, Analyse, Optimierung. DGfH – Forschungsbericht des Labors für Schall- und Wärmemesstechnik.
- [13] Scheck, J., Gibbs, B.: Impacted lightweight stairs as structure-borne sound sources, Applied Acoustics 90, 2015.
- [14] Scheck, J., Gibbs, B., Fischer, H.-M.: Prediction of horizontally transmitted Sound from Impacted Lightweight Stairs – Part 1: Case study, DAGA 2013.
- [15] Fichtel, C., Scheck, J.: Prediction of horizontally transmitted Sound from Impacted Lightweight Stairs – Part 2: Proposal for a Standard Test Procedure, DAGA 2013.
- [16] DIN EN ISO 12354-2:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen.
- [17] DIN EN 12354-5:2009-10: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche.
- [18] DIN EN 15657:2017-10: Akustische Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden – Messung des Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand für alle Installationsbedingungen.
- [19] Schöpfer, F.: Prognose von Körperschall aus haustechnischen Anlagen – ein robustes und einfaches Tabellenverfahren für den Holzbau, Holzbauforum 2019.
- [20] ETAG 008: Guideline for European Technical approval of prefabricated stair kits, EOTA Brüssel, Januar 2002.
- [21] Scheck, J., Fichtel, C., Kurz, R.: Schallschutz bei Wohnungstreppen, 2007.

GEBÄUDE – technik | bauteile | materialien
Wärmeschutz und Wärmespeicherung

Ein neues Verfahren zur Berechnung der dynamischen Wärmekapazität von Holzbalkendecken

Prof. Dr. Christoph Geyer
Bernere Fachhochschule AHB
Biel, Schweiz



Barbara Wehle
Bernere Fachhochschule AHB
Biel, Schweiz



Amabel Mélian Hernandez
Bernere Fachhochschule AHB
Biel, Schweiz



Ein neues Verfahren zur Berechnung der dynamischen Wärmekapazität von Holzbalkendecken

1. Einleitung

Leichtbauweisen wie der Holzbau weisen geringere Wärmespeicherfähigkeiten als Massivbauten aus mineralischen Baustoffen auf. Daher sind Vorbehalte gegenüber der Funktionsfähigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes von Holzgebäuden bei Planern weit verbreitet.

Dem Holzbau wird daher unterstellt, dass aufgrund der geringeren wirksamen Wärmespeicherfähigkeit der sommerliche Wärmeschutz bei Büro- und Gewerbeimmobilien nicht oder nur mit hohem energetischem Aufwand funktioniert. Deshalb ist es wichtig, die wirksame Wärmespeicherfähigkeit von Holzkonstruktionen durch innovative Maßnahmen soweit zu verbessern, dass vergleichbare Werte wie bei Massivbauteilen erreicht werden. Im Rahmen eines Forschungsprojekts [1], gefördert durch den Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung des Bundesamts für Umwelt, wurde eine neuartige Berechnungsmethode für die Berechnung der dynamischen oder wirksamen Wärmekapazität entwickelt. Mit dieser Berechnungsmethode kann die wirksame Wärmekapazität von inhomogenen Bauteilen berechnet werden. So lässt sich z. B. eine deutliche Steigerung der wirksamen Wärmekapazität von Holzbauteilen durch Profilierungen nachweisen, was mit den bisherigen Rechenmethoden nicht möglich war.

2. Sommerlicher Wärmeschutz und wirksame Wärmekapazität

Die wirksame Wärmekapazität wird für die Einschätzung des Wärmespeichervermögens eines Raumes benötigt. Eine Erhöhung der wirksamen Wärmekapazität von Holzbauteilen führt zu einer Verbesserung der Wärmespeicherfähigkeit von Holzgebäuden.

Da Geschossdecken in der Regel Bauteile mit einer grossen Fläche sind und die Geschossuntersichten meist nicht verkleidet werden, konzentrieren sich die Untersuchungen auf die Erhöhung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit durch innovative Massnahmen an der Unterseite von Geschossdecken.

Das vorgestellte Verfahren kann aber auch auf andere Bauteile, wie zum Beispiel Wände, angewandt werden.

Für die Berechnung der wirksamen Wärmekapazität stehen bereits verschiedene Berechnungsverfahren zur Verfügung.

2.1. Berechnung der wirksamen Wärmekapazität

Gemäss SIA 180 [2] wird die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_R eines Bauteils als Produkt der Bauteilfläche A und der flächenbezogenen Wärmespeicherfähigkeit κ berechnet. Im Folgenden wird die flächenbezogene Wärmespeicherfähigkeit κ als wirksame Wärmekapazität bezeichnet.

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit wird nach dem Rechenverfahren der Norm EN ISO 13786 [3] bestimmt. Diese Methode kann aber nur für Bauteile mit ebenen und homogenen Schichten angewandt werden. Damit ist diese Methode bereits für die Berechnung der wirksamen Wärmekapazität von Holzrahmenbauelementen nur bedingt geeignet. Ebenso versagt das Rechenverfahren bei der Berechnung der wirksamen Wärmekapazität von inhomogenen Bauteilen, z. B. von Rippendecken oder von Bauteilen mit profilierten Oberflächen.

2.1.1. Berechnung nach EN ISO 13786

Die Norm EN ISO 13786 liefert ein analytisches Verfahren zur Berechnung der wirksamen Wärmekapazität für sinusförmige Temperaturrendbedingungen. Für die zeitliche Temperaturschwankung der Luft an der einen Bauteilseite wird eine Sinusfunktion, welche um einen Mittelwert schwingt, angenommen.

Diese Temperaturschwankung durchdringt das Bauteil. Die Weiterleitung dieser Schwingung im Bauteil hängt von den wärmeschutztechnischen Grössen der einzelnen Bauteilschichten, von ihrer Wärmeleitfähigkeit und ihrer spezifischen Wärmekapazität, ab.

Die zeitabhängigen wärmeschutztechnischen Grössen des Bauteils werden in einer komplexen Matrix, Z_{ij} zusammengefasst. Diese Matrix beschreibt den Einfluss des Bauteils auf die durchlaufende Temperatur- und Wärmestromdichtewelle.

Die wirksame Wärmekapazität kann mit bestimmten Randbedingungen berechnet werden. Für Aussenbauteile, an denen raumseitig eine Temperaturschwankung der Raumluft anliegt, ist die wirksame Wärmekapazität κ auf der Raumseite

$$\kappa = \frac{T}{2\pi} \cdot \frac{\hat{q}_i}{\hat{\Theta}_i} \quad \text{Formel 1}$$

Hierbei bezeichnet $\hat{\Theta}_i$ die Amplitude der Temperatur an der Vorderseite des Bauteils und \hat{q}_i die Amplitude der Wärmestromdichte durch die Vorderseite.

Für Innenbauteile, die an beiden Oberflächen einer Temperaturschwankung der Raumluft ausgesetzt sind, ergibt sich die wirksame Wärmekapazität der beiden Oberflächen ebenfalls nach Formel 1.

Dieses analytische Verfahren kann in begrenztem Umfang auch für inhomogene Bauteile erweitert werden, indem diese Bauteile analog zum Verfahren der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten zusammengesetzter Bauteile nach EN ISO 6946 [4] in Bereiche mit homogenem Aufbau zerlegt werden.

Für jeden homogenen Bereich wird die wirksame Wärmekapazität separat berechnet. Die wirksame Wärmekapazität des zusammengesetzten Bauteils ergibt sich dann als flächengewichteter Mittelwert zu

$$\kappa = f_a \cdot \kappa_a + f_b \cdot \kappa_b \quad \text{Formel 2}$$

Hierbei bezeichnet f_a den Flächenanteil des ersten homogenen Bereichs, κ_a die wirksame Wärmekapazität des ersten homogenen Bereichs, f_b den Flächenanteil des zweiten homogenen Bereichs und κ_b die wirksame Wärmekapazität des zweiten homogenen Bereichs.

Die Berechnung der wirksamen Wärmekapazität erfolgt für die beiden homogenen Bereiche mit dem Programm LESOSAI, Version 2016.0. Aus diesen beiden Werten wird die wirksame Wärmekapazität des zusammengesetzten Bauteils mit Formel 2 ermittelt.

Um aber die wirksame Wärmespeicherfähigkeit inhomogener Bauteile, wie z. B. Rippendecken, zu bestimmen, muss ein neues Berechnungsverfahren entwickelt werden.

Die Bestimmung der wirksamen Wärmekapazität dieser inhomogenen Bauteile erfolgt mit einem neuartigen Verfahren der Kombination von zwei- und dreidimensionalen Wärmebrückenprogrammen mit instationären, d. h. mit zeitabhängigen, sinusförmigen Temperaturrendbedingungen.

2.1.2. Berechnung mit dynamischen Wärmebrückenprogrammen

Aus Formel 1 folgt, dass die wirksame Wärmekapazität eines Bauteils aus dem Quotienten der Amplitude der Wärmestromdichte durch die Bauteiloberfläche und der Amplitude der Temperaturschwankung der am Bauteil angrenzenden Luft, dividiert durch die Kreisfrequenz der Temperaturschwankung, ausgedrückt werden kann. Bei konstanter Kreisfrequenz, die im Weiteren mit $\omega = 2\pi/24 \text{ h}$ angenommen wird, wird die wirksame Wärmekapazität umso grösser, je grösser die Amplitude der Wärmestromdichte bei einer bestimmten Amplitude der Temperaturschwankung ist.

Dieser Zusammenhang wird nun genutzt, um die wirksame Wärmekapazität zweidimensionaler Bauteile mit dem Wärmebrückenprogramm HEAT 2 [5] bzw. dreidimensionaler Bauteile mit ANSYS [6] zu berechnen.

Hierfür wird die zwei- oder dreidimensionale Bauteilgeometrie in den Wärmebrückenprogrammen modelliert. Als Randbedingung wird eine sinusförmige Temperaturschwankung der angrenzenden Luft mit einer Amplitude von 5 K und einer Periodendauer von 24 h mit einem Mittelwert von 20° C angesetzt.

Mit Hilfe des Wärmebrückenprogramms wird nun die zur Temperaturschwankung gehörende Schwankung der Wärmestromdichte durch die Oberfläche des Bauteils berechnet. Sodann wird für die Deckenober- und die Deckenunterseite die wirksame Wärmekapazität κ_{unten} und κ_{oben} als Quotient der Amplitude der Schwingung der Wärmestromdichte und der Amplitude der Temperaturschwankung nach Formel 1 berechnet.

2.1.3. Validierung des neuen Verfahrens

Um zu überprüfen, ob das Verfahren mit den Wärmebrückenprogrammen verlässliche Werte liefert, wird die wirksame Wärmekapazität für ein homogenes Bauteil zweimal berechnet: einmal mit dem Verfahren nach EN ISO 13768 und zum Zweiten mit einem Wärmebrückenprogramm mit dynamischen Temperaturrandbedingungen. Dann werden die berechneten Werte der wirksamen Wärmekapazität aus beiden Verfahren verglichen.

Da die im rechten Bild der Abbildung 1 dargestellte Brettstapeldecke als einzige Deckenkonstruktion ausschliesslich ebene, homogene Schichten aufweist, wird diese als Testaufbau verwendet.

Im linken Bild der Abbildung 1 ist der zeitliche Verlauf der Wärmestromdichte, der sich aus der Wärmebrückenberechnung ergibt, dargestellt. Als Amplitude der Temperaturschwankung wird $\hat{\theta} = 5 \text{ K}$ als Randbedingung angesetzt.

Es ergibt sich mit dem Wärmebrückenprogramm eine Amplitude der Wärmestromdichte von $\hat{q} = 28.3 \text{ W/m}^2$ für die Deckenoberseite (Unterlagsboden mit 70 mm dicker Zementestrichplatte) und von $\hat{q} = 10.7 \text{ W/m}^2$ für die Deckenunterseite (200 mm dicker Brettstapel). Damit berechnet sich die wirksame Wärmekapazität der Rohdecke ohne Unterdecke nach Formel 1 für die Deckenoberseite zu $\kappa_{\text{oben}} = 77.9 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$ und für die Deckenunterseite zu $\kappa_{\text{unten}} = 29.4 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$.

Mit dem analytischen Verfahren nach EN ISO 13768 ergeben sich Werte von $\kappa_{\text{oben}} = 77.9 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$ und von $\kappa_{\text{unten}} = 29.4 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$.

Damit führen beide Verfahren zu identischen Werten der wirksamen Wärmekapazität.

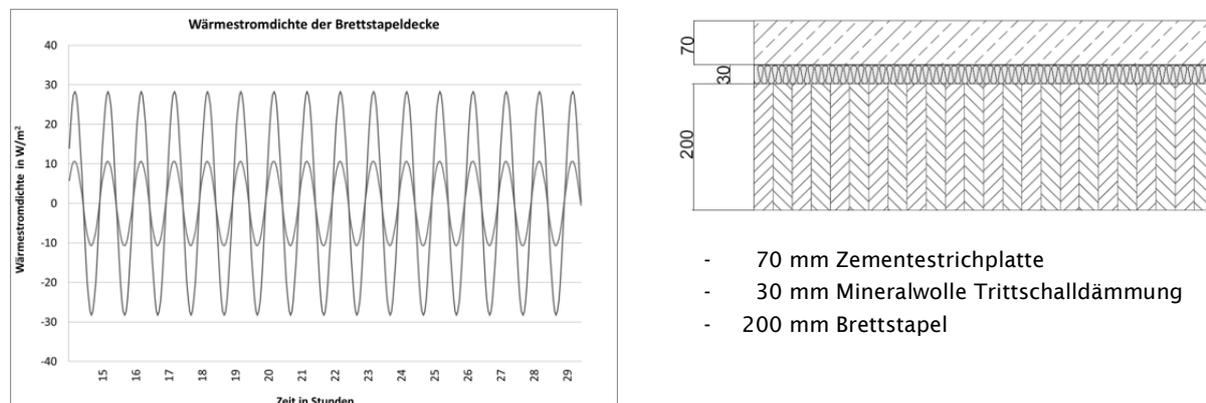


Abbildung 1: Linkes Bild: Zeitlicher Verlauf der Wärmestromdichte der Deckenoberseite (rote Kurve) und der Deckenunterseite der Brettstapeldecke (blaue Kurve). Rechtes Bild: Prinzipskizze des Aufbaus der Brettstapeldecke

3. Optimierung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit

Die wirksame Wärmekapazität eines Holzbauteils kann durch folgende Massnahmen erhöht werden: durch die Verwendung von Laubholzarten mit höherer Rohdichte, wie Buche, durch eine optimale Orientierung des Holzes im Bauteil oder durch die Vergrößerung der Oberfläche durch Profilierung.

3.1. Einfluss verschiedener Holzarten und der Anisotropie des Holzes

Da jede Holzart andere Werte für die Wärmeleitfähigkeit und die spezifische Wärmespeicherfähigkeit aufweist, ergeben sich bei der Verwendung anderer Holzarten andere wirksame Wärmekapazitäten für die Deckenkonstruktionen.

Es wird daher neben der Verwendung von Fichte auch Buche und Eiche für die Deckenkonstruktion untersucht.

Darüber hinaus wird auch der Einfluss der Anisotropie der Wärmeleitfähigkeiten von Holz, d. h. die unterschiedlichen Werte der Wärmeleitfähigkeit in den drei anatomischen Richtungen tangential, radial und longitudinal auf die wirksame Wärmekapazität analysiert.

Die Berechnung der wirksamen Wärmekapazität zur Bestimmung des Einflusses der Holzarten auf die wirksame Wärmekapazität erfolgt wiederum für die Brettstapeldecke. Die Berechnungen werden mit der Software HEAT 2 durchgeführt.

Die Brettstapeldecke wird ohne abgehängte Decke analysiert. Aus statischen Gründen werden die Bretter in der Brettstapeldecke so eingebaut, dass die longitudinale Richtung des Holzes parallel zur Bauteiloberfläche steht.

Die beiden anderen Richtungen werden vereinfachend als radial in horizontaler Richtung und tangential in vertikaler Richtung angesetzt.

In der Tabelle 1 sind die Materialeigenschaften, die in der Berechnung angesetzt werden, für jede Holzart mit den Quellenangaben zusammengestellt. Es ist zu erkennen, dass sich die Wärmeleitfähigkeiten in tangentialer und in radialer Richtung nur geringfügig unterscheiden.

Tabelle 1: Wärmetechnischen Eigenschaften der Holzarten Fichte, Eiche und Buche.

Holzart	Rohdichte ρ in kg/m^3	Spezifische Kapazität C_p in $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	Volumetrische Kapazität in $\text{MJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$	Wärmeleitfähigkeit λ in $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$		
				R	T	L
Fichte [7]	420	1510	0.63	0.09	0.07	0.22
Eiche [8]	640	1590	1.02	0.17	0.14	0.29
Buche [7]	720	2021	1.46	0.12	0.09	0.26

Der Einfluss verschiedener Holzarten auf die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite wurde für die drei aufgeführten Holzarten für die Brettstapeldecke untersucht.

Hierfür wurde mit dem Programm HEAT 2 die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite einer Brettstapeldecke berechnet. Die wärmetechnischen Eigenschaften der Holzarten werden Tabelle 1, die Normwerte für die isotropen Wärmeleitfähigkeiten werden EN ISO 10456 [9] entnommen.

Berücksichtigt man die Anisotropie des Holzes, so führt dies zu einer Verringerung der wirksamen Wärmekapazität der Unterseite der Brettstapeldecke, verglichen mit der Brettstapeldecke mit isotropen Normwerten. Der Einbruch der wirksamen Wärmekapazität der Deckenunterseite fällt besonders bei Fichte ins Gewicht. Bei Buche ergibt sich auch eine Reduzierung der wirksamen Wärmekapazität der Deckenunterseite. Allerdings fällt diese Verringerung geringer aus als bei Fichte. Der Grund für diese Abnahmen sind die geringeren Werte der Wärmeleitfähigkeit in transversaler und radialer Richtung, verglichen mit den Wärmeleitfähigkeiten nach EN ISO 10456.

Erwartungsgemäß ergeben sich die höchsten Werte der wirksamen Wärmekapazität der Deckenunterseite bei der Verwendung der Holzsorte Eiche.

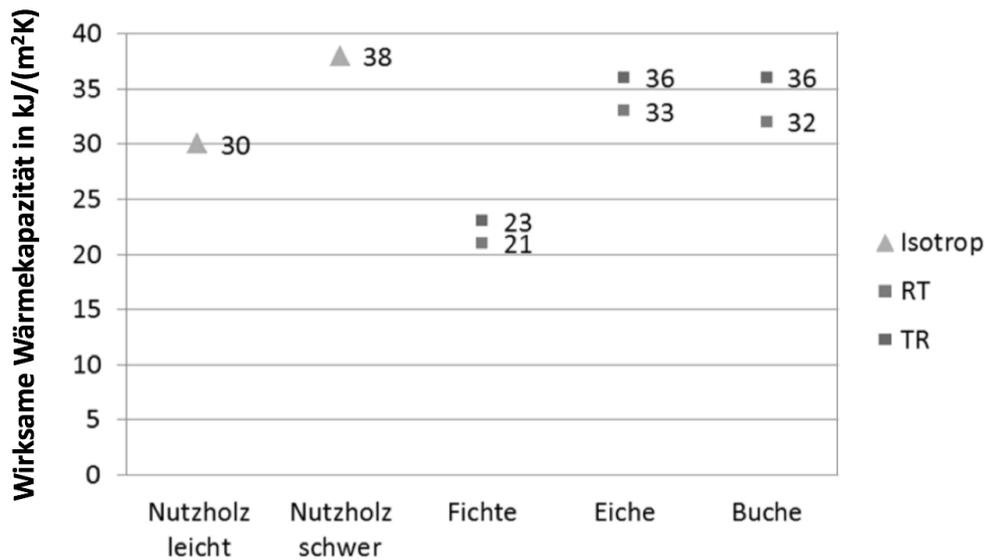


Abbildung 2: Zusammenstellung der wirksamen Wärmekapazitäten der Deckenunterseite von Brettstapeldecken in Abhängigkeit der Holzarten Fichte, Buche und Eiche. Die Abkürzung RT bezeichnet die anisotropen Wärmeleitfähigkeiten radial tangential, TR die anisotropen Wärmeleitfähigkeiten tangential radial.

Für Fichte ergeben sich Werte der wirksamen Wärmekapazität der Deckenunterseite von $\kappa_{\text{unten}} = 21 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$ bis $23 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$, je nach Orientierung des Holzes. Für Buche lauten die Werte $\kappa_{\text{unten}} = 32 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$ bis $36 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$ und für Eiche $\kappa_{\text{unten}} = 33 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$ bis $36 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$. Damit zeigt sich ein grösserer Einfluss der Holzart und der Anisotropie des Holzes auf die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite als durch die Holzorientierung.

3.2. Profilierung der Deckenunterseite

Eine weitere Möglichkeit, die wirksame Wärmekapazität zu optimieren, ist die Profilierung der Deckenunterseite. Durch die Profilierung der Decke wird die Bauteiloberfläche der Deckenunterseite erhöht und somit die Wärmeaufnahmefähigkeit des Bauteils gesteigert. Die Bilder 8 und 9 zeigen als Beispiel eine Brettstapeldecke mit und ohne Profilierung. Da die obere wirksame Wärmekapazität aller Deckensysteme vom Fussbodenaufbau bestimmt wird, wird nur die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite der Geschossdecken weiter analysiert und optimiert.

Zunächst wird der Einfluss der Profilierung für die Holzart Fichte untersucht, da diese am häufigsten als Bauholz Verwendung findet.

Für die Brettstapeldecke werden fünf Varianten entwickelt. Das Ziel der Variation ist, die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite möglichst nah an den Wert einer massiven Betondecke von $\kappa = 88 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$ zu bringen.

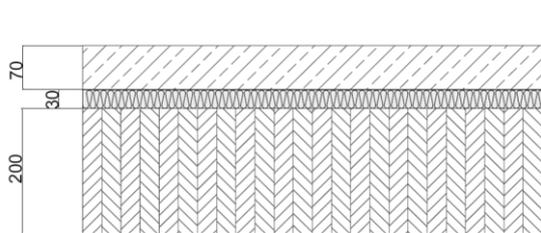


Abbildung 2 : ebene Brettstapeldecke

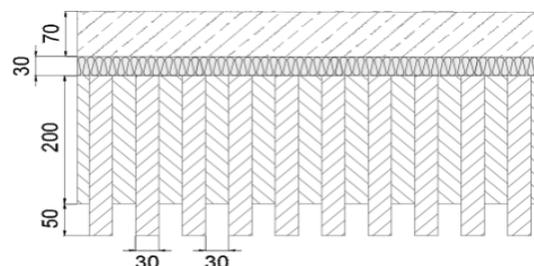


Abbildung 3 : Profilerte Brettstapeldecke

3.2.1. Zweidimensionale Profilierung

Als Maßstab für die Vergrößerung der Oberfläche der Deckenunterseite dient das Verhältnis der Abwicklungslänge l der Profilierung zur Elementbreite b .

Die Berechnungen zum Einfluss der Oberflächenvergrößerung der Deckenunterseite auf die wirksame Wärmespeicherfähigkeit wurden mit den isotropen Normwerten der EN ISO 10456 für die Wärmeleitfähigkeiten von *Nutzholz leicht* und *Nutzholz schwer* durchgeführt. Die Berechnungen der Amplituden der sinusförmigen Wärmeströme erfolgt wiederum mit dem Programm HEAT 2.

Durch die Oberflächenvergrößerung wird bei *schwerem Nutzholz*, was etwa Buche oder Eiche entspricht, die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite von 39 kJ/(m²K) auf 61 kJ/(m²K) gesteigert.

Die Steigerung der wirksamen Wärmekapazität fällt bei *leichtem Nutzholz*, was etwa der Holzart Fichte entspricht, geringer aus: Hier wird die wirksame Wärmekapazität von 30 kJ/(m²K) auf 45 kJ/(m²K) gesteigert.

3.2.2. Dreidimensionale Profilierungen

Die Berechnung des Einflusses dreidimensionaler Profilierungen auf die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite wird mit dem Finite Elemente Programm ANSYS durchgeführt. Bei der Berechnung der wirksamen Wärmekapazität wird die Anisotropie der Holzarten Fichte und Buche berücksichtigt. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die anisotropen Wärmeleitfähigkeiten parallel zu der x-, y- oder z-Achse des rechtwinkligen Koordinatensystems angeordnet sind.

Die entsprechenden Werte für die Wärmeleitfähigkeiten werden der Tabelle 1 entnommen. Der Aufbau der Brettstapeldecke entspricht dem Grundaufbau, der in Abbildung 1 beschrieben wurde. Es werden drei unterschiedliche Profilierungen untersucht: Lattenrost, Würfel und Kassettendecke.

Lattenrost

Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt eine perspektivische Darstellung der Geometrie des Lattenrostes mit den Parametern, A Abstand zwischen den Latten, B Lattenbreite, C Höhe der Latten, D Profiltiefe, E Breite der überstehenden Bretter und F Breite des Zwischenraumes zwischen den Brettern.

Mit dem Programm ANSYS wurden nun die verschiedenen Parameter der Geometrie variiert, um eine möglichst optimale wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite der Brettstapeldecke zu erzielen.

Mit der Optimierung konnte eine wirksame Wärmekapazität von 131 kJ/(m²K) für Buche und von 137 kJ/(m²K) für Fichte für die Deckenunterseite der Brettstapeldecke erzielt werden.

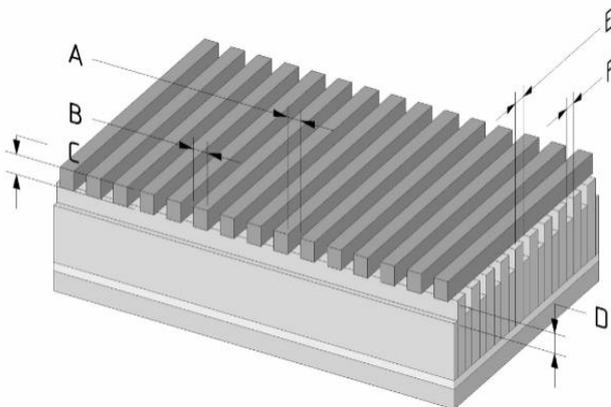


Abbildung 4: Perspektivische Darstellung der Deckenprofilierung mit einem Lattenrost. Die Abkürzungen stehen für folgende geometrische Eigenschaften: A für den Abstand zwischen den Latten, B für die Lattenbreite, C für die Höhe der Latten, D für die Profiltiefe, E für die Breite der überstehenden Bretter und F für die Breite des Zwischenraumes zwischen den Brettern.

Diese extrem hohen Werte der wirksamen Wärmekapazität können aber nur erreicht werden, wenn die Dicke der Decke um den Überstand des Rostes und die Profiltiefe erhöht wird. Dies führt im Falle der Buche zu einer Erhöhung der Deckenstärke um 140 mm und im Falle der Fichte sogar zu einer Erhöhung der Deckenstärke von 305 mm.

Darüber hinaus hat die Berechnung ergeben, dass relativ kleine Spaltbreiten zwischen dem Rost einerseits und den vorstehenden Lamellen andererseits für die wirksame Wärmekapazität optimal sind. Hier muss aber die Frage gestellt werden, ob bei solch kleinen Spaltbreiten nicht die Belüftung der Oberflächen und somit der Wärmestrom durch diese Oberflächen reduziert wird.

Daher wurde auch untersucht, wie sich eine reduzierte Belüftung der Oberflächen mit Raumluft auf die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite auswirken würde. Hierzu wurde in den Berechnungen der raumseitige Wärmeübergangswiderstand zwischen $R_{si} = 0,1 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ und $R_{si} = 0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ variiert. Die Belüftung der Oberflächen ist umso schlechter, je größer der raumseitige Wärmeübergangswiderstand wird.

Durch eine Erhöhung des raumseitigen Wärmeübergangswiderstands von $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ auf $R_{si} = 0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ reduziert sich die wirksame Wärmekapazität der Deckenunterseite von $131 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})$ auf $75 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})$, also um 43 % für die Holzart Buche. Die Reduzierung der wirksamen Wärmekapazität der Deckenunterseite fällt für die Holzart Fichte geringer aus: sie reduziert sich von $137 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})$ auf $117 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})$, also lediglich um 15 %.

Da die sehr hohen Werte der wirksamen Wärmekapazität nur mit sehr großen Aufbauhöhen der Profilierung erreicht werden können, werden zusätzliche Berechnungen für Profilierungen, unter Berücksichtigung einer minimalen Deckenaufbauhöhe, durchgeführt

Es ergeben sich für die Brettstapeldecke durch die dreidimensionalen Profilierungen mit Aufbauhöhen von 60 mm bis 70 mm Verbesserungen der wirksamen Wärmekapazität der Deckenunterseite von $22 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})$ auf $42 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})$ bis $49 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})$ für Fichte, also Steigerungen zwischen 91 % und 123 %.

Alle beschriebenen Rechenergebnisse für die wirksame Wärmekapazität finden sich im Bauteilkatalog der im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeitet wurde und der aus der Projektdatenbank der Berner Fachhochschule heruntergeladen werden kann.

4. Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesamt für Umwelt – BAFU, namentlich dem Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojekts.

Bei den Industriepartnern, Pirmin Jung Büro für Bauphysik AG und Nägeli AG für die Unterstützung des Forschungsprojekts. Besonders wertvoll waren die Beiträge, durch die Erfahrungen aus der Praxis in das Projekt einfließen. Ganz besonders möchten wir uns bei der Firma Nägeli AG für die Herstellung der Prüfkörper bedanken.

5. Referenzen

- [1] Schlussbericht Holzkonstruktionen mit optimierter Wärmespeicherfähigkeit Projekt-nummer 2016.09 Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung, Bericht-Nr. R.00 7844-10-72FE-01-02, Berner Fachhochschule, 2017
- [2] SIA 180 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2014
- [3] SN EN ISO 13786 Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren, Ausgabe 2007
- [4] SN EN ISO 6946 Bauteile- Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Ausgabe April 2008
- [5] HEAT 2, T. Blomberg, Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics
- [6] ANSYS, Version 18.1 ANSYS Switzerland GmbH Services & Development, Zürich
- [7] W. Sonderegger, S. Hering und P. Niemz, «Thermal behaviour of Norway spruce and European beech in and between the principal anatomical directions», *Holzforschung*, Vol 65, pp. 369-375, 2011
- [8] P. Niemz, Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe, DRW- Verlag, 1993.
- [9] SN EN ISO 10456, Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnischen Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswert und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte, Ausgabe 2010

Wärmeschutz bei Aufstockungen und Nachverdichtungen

Prof. Dr. Martin H. Spitzner
HBC. Hochschule Biberach
Biberach an der Riß, Deutschland



Wärmeschutz bei Aufstockungen und Nachverdichtungen

1. Einleitung

Aufstockungen und Anbauten in Holzbauweise ermöglichen aufgrund ihrer typischerweise guten Wärmedämmung einen hohen thermischen Komfort im Winter, bei gleichzeitig relativ geringen Energiebedarf. Großzügige Fensterflächen helfen im Winter durch die eingefangene Solarenergie, Heizkosten zu sparen, müssen jedoch im Sommer effektiv verschattet werden, um die dann teilweise erwünschten solaren Energieeinträge zu reduzieren. Hinsichtlich der Vermeidung von Wärmebrücken, dem klimabedingten Feuchteschutz und der Sicherstellung der Luftdichtheit des neuen Gebäudeteils gelten die üblichen Anforderungen. Besondere Aufmerksamkeit ist in dieser Hinsicht den Anschlussstellen zwischen dem neuen und dem alten Gebäudeteil zu widmen. Gerade durch Aufstockungen oder durch Nachverdichtung mittels Ausbau des Dachgeschosses zu Wohnraum kann nicht nur der verfügbare Platz vergrößert werden, sondern gleichzeitig Die Wärmedämmung des oberen Gebäudeabschlusses auf ein zukunftsfähiges Niveau gebracht werden.

Im Zusammenhang mit der Aufstockung bietet es sich an zu überlegen, ob nicht auch gleich der restliche Baukörper energetisch saniert werden sollte. Vor allem ist zu prüfen, ob nicht der finanzielle Mehraufwand für die zusätzliche energetische Sanierung des restlichen Baukörpers im Zusammenhang mit der Aufstockung geringer ausfällt als bei einer späteren, separaten Wärmedämmung des Gebäudes, weil einige Kosten für die Aufstockung ohnehin anfallen (z.B. Gerüst, Nacharbeiten der Anschlusspunkte zwischen altem und neuem Baukörper; ggf. Aufmauern von Giebelwand und Kniestock etc.). Bei Anbauten mit ihrem üblicherweise geringeren Eingriff in den bestehenden Baukörper werden häufig solche «Kosten-Synergieeffekte» kaum erzielbar sein.

2. Wärmebrücken

Bauteilanschlüsse im Holzbau haben typischerweise eine sehr geringe Wärmebrückenwirkung aufgrund der relativ guten Dämmwirkung des Konstruktionsbaustoffs Holz. Von daher wäre für Holzbauten die Einhaltung der Kategorie B nach der bevorstehenden Neuausgabe 2019 der DIN 4108 Beiblatt 2 anzustreben. Tatsächlich empfiehlt es sich aber im Holzbau, den Wärmebrückeneinfluss nicht pauschal zu berücksichtigen, sondern individuell detailliert, weil dies typischerweise in einem nochmals deutlich niedrigeren Wärmebrückenzuschlag resultiert.

Im Gegensatz zu flächigen Bauteilen werden in Deutschland an Wärmebrücken keine allgemeingültigen energetischen Mindestanforderungen gestellt; es gibt es auch keine verbindlichen Höchstgrenze für Ψ -Werte (eine hygienische Mindestanforderung wird sehr wohl gestellt, nämlich die Pflicht zum Einhalten des Schimmelpilzkriteriums nach DIN 4108-2, d.h. die Pflicht zur Vermeidung von Schimmelbildung bei üblicher wohn- und wohnähnlicher Nutzung und gleichmäßiger Beheizung und Lüftung).

Das nicht-normative Beiblatt DIN 4108 Beiblatt 2 gibt in Prinzipskizzen Planungs- und Ausführungsempfehlungen, wie der Einfluss von Wärmebrücken energetisch und thermisch vermindert werden kann. Es wurde in den letzten Jahren gründlich überarbeitet, aktualisiert und erweitert, und soll Mitte 2019 in einer neuen Fassung erscheinen. Zukünftig werden zwei Kategorien im Sinne von Niveaus definiert, wobei die Kategorie A eher dem bisherigen Niveau 2 entspricht (A wie «alt») und die Kategorie B einer weiter verbesserten Wärmebrückenvermeidung (B wie «besser»). Bezieht sich der Planer im EnEV-Nachweis oder in der Baubeschreibung auf Kategorie A oder B des Beiblatts, wird das dort definierte Niveau der Wärmebrückenverminderung verbindlich.

Der zusätzliche Wärmedurchgang durch alle relevanten Wärmebrücken eines Gebäudes kann im EnEV-Nachweis wahlweise detailliert oder pauschalisiert berücksichtigt werden: mit einem pauschalen Zuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ($0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bei Innendämmung in Gebäuden mit Massivdecken) zu den U-Werten aller Hüllflächenbauteile; mit einem reduzierten pauschalen Zuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (Kategorie A) bzw. $0,03 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (Kategorie B), wenn alle relevanten Wärmebrücken entweder der Kategorie A oder B aus DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen. Sind einzelne Wärmebrücken schlechter als die insgesamt gewählte Kategorie A oder B, ist ihr über die Kategorie hinausgehender Einfluss auf den Wärmebrückenzuschlag der betreffenden Kategorie aufzuschlagen («Kombinierter Wärmebrückenzuschlag», siehe auch DIN V 18599-2). Und schließlich darf der resultierende Wärmebrückenzuschlag für das Gebäude komplett individuell berechnet werden; dafür können die Ψ -Werte aller relevanten Wärmebrücken selber bestimmt oder aus Wärmebrückenkatalogen entnommen werden.

«Relevante Wärmebrücken» meint hier die Gebäudekanten, Laibungen (umlaufend) von Fenstern und Türen, sowie Decken- und Wandeinbindungen und Deckenaufleger. Andere linienförmige sowie einzelne punktförmige Wärmebrücken brauchen im Rahmen der EnEV nicht berücksichtigt zu werden. Eine Auflistung der zu berücksichtigenden und der vernachlässigbaren Wärmebrücken finden sich auch in genannten Wärmebrückenbeiblatt DIN 4108 Beiblatt 2, sowohl in der aktuellen als auch in der zukünftigen Fassung, dort noch etwas klarer strukturiert.

Als Orientierung seien die Festlegungen der DIN 4108 Beiblatt 2 für einen Anschluss von Holzkonstruktion (z.B. neue Aufstockung) an massive Bauteile (z.B. bestehender Altbau) wiedergegeben:

	<p>Gilt auch für Holzbaukonstruktionen mit Innendämmung anstelle der Außendämmung bzw. zusätzlicher Innendämmung</p>	<p>$\leq 0,13$</p>	<p>B</p>
	<p>Gilt auch für Holzbaukonstruktionen mit Innendämmung anstelle der Außendämmung bzw. zusätzlicher Innendämmung</p>	<p>$\leq 0,06$</p>	<p>B</p>

Abbildung 1: Beispielausführungen für den Anschluss von Außenwänden in Holzbauweise an die Kellerdecke um beheizten Keller bei monolithischer Kellerwand (oben) bzw. außengedämmter Kellerwand (unten) aus dem Neuentwurf der DIN 4108 Beiblatt 2:2019. Spalte 3 ist der Referenz- Ψ -Wert für den rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweis, Spalte 4 die WB-Kategorie (A oder B) des Anschlussbeispiels.

3. Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen

Der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit (declared value mit Index «D») wird nach europäisch standardisierten Mess- und Statistikverfahren aus einzelnen Labormesswerten der Wärmeleitfähigkeit bestimmt und vom Hersteller oder von einem Prüfinstitut festgelegt. Er stellt die vom Hersteller zugesicherte Eigenschaft des gehandelten Dämm- oder Baustoffes dar, unter den in den Messvorschriften genannten Laborbedingungen und für neues, trockenes Material. Er ist immer auf dem Dämmstoffetikett bzw. in der Leistungserklärung des Herstellers angegeben.

Demgegenüber berücksichtigt der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit die «Einsatztemperatur und -feuchte» des Materials, welche einen spürbaren Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit haben können. Dadurch kann die Dämmwirkung des Materials im Gebäude schlechter als der deklarierte Nennwert sein. Die energetischen Berechnungen sollen aber dem langjährigen Gebrauchszustand des Dämm- oder Baustoffs im tatsächlichen Gebäude entsprechen. Deshalb wird der Nennwert auf den Bemessungswert umgerechnet, als gebrauchstypische Wärmeleitfähigkeit, teilweise inkl. Sicherheitszuschlag.

Nachdem der Hersteller nicht unbedingt weiß, unter welchen klimatischen Bedingungen sein Produkt eingesetzt wird, muss er in seiner Leistungserklärung nur den Nennwert zusichern. Er darf aber den zugehörigen Bemessungswert auf dem Dämmstoffetikett und in seiner Technischen Dokumentation mit angeben. Ist der Bemessungswert nicht angegeben, ist es Aufgabe und Verantwortung des Planers, aus dem deklarierten Nennwert den für das jeweilige Material und den jeweiligen Einsatzort (geographisch und im Gebäude) zutreffenden Bemessungswert zu ermitteln. Für diese Umrechnung bestehen national unterschiedliche Regelungen, welche je nach Ort der Anwendung zu berücksichtigen sind.

Beim Einsatz loser Wärmedämmstoffe in Hohlräumen von Holzständerwänden ist ein angemessenes Formstabilität des Wärmedämmstoffs über die Lebensdauer sicherzustellen. Hinsichtlich experimenteller Untersuchungen zum Setzungsverhalten loser Dämmstoffe und zu deren Auswirkung auf die Wandoberflächentemperatur sei z.B. auf [1] [2] verwiesen.

4. Sommerlicher Wärmeschutz

Das sommerliche Temperaturverhalten eines nicht klimatisierten Aufenthaltsraums wird maßgeblich bestimmt von:

- Außenklima
- Sonneneinstrahlung
- Fensterfläche, -orientierung und -neigung
- Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster inklusive deren Sonnenschutz
- Lüftungs- und Wohnverhalten der Nutzer (um das Raumklima behaglich kühl zu halten, müssen die Wärmezufuhr von außen, d.h. Nutzung der Verschattungseinrichtungen bei Sonnenschein, und der Wärmegewinn in den Räumen, d.h. Abwärme von Geräten, möglichst gering und die Wärmeabfuhr nach außen über erhöhte Nachtlüftung möglichst groß gehalten werden)
- Wärmespeicherverhalten des betrachteten Raumes: Es sollten (raumseitig!) Speichermassen mit direktem Kontakt zur Raumluft zur Verfügung stehen, um tagsüber den Anstieg der Raumtemperatur wirksam zu begrenzen.
- baulicher Wärmeschutz (U-Wert) der Außenbauteile.

Diese Aspekte sind vom Planer in der Gebäudekonzeption und der Planung zu berücksichtigen und entsprechende Vorkehrungen zu treffen, um möglichst durch bauliche Maßnahmen einen angenehmen thermischen Komfort im Sommer im Gebäude zu ermöglichen, und Kühlenergiebedarf zu vermeiden oder gering zu halten.

Im Rahmen des Nachweises nach Energieeinsparverordnung (Deutschland) ist bei beheizten Gebäuden der Nachweis eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 zu führen. Dafür steht in der Norm mit dem so genannten Sonneneintragskennwertverfahren ein einfaches Handrechenverfahren zur Verfügung, welches auch die Berücksichtigung verschieden schwerer Bauweisen, erhöhter Nachtlüftung und von passiver Kühlung gestattet. Dieses Handrechenverfahren ist ein einfacher ingenieurmäßiger Nachweis unter Berücksichtigung der wichtigsten Einflussfaktoren. Es soll sicherstellen, dass im Sommer in Gebäuden auch ohne Kühlmaßnahmen keine unzumutbar hohen Temperaturen über längere Zeiträume auftreten. Das Sonneneintragskennwert-Verfahren passt als Tabellenkalkulation auf 2 bis 3 Seiten, welche, ausgefüllt und ausgedruckt, dem EnEV-Energieausweis beigelegt werden können [3]. Alternativ kann im Zuge der detaillierten Planung des Gebäudes eine genaue Berechnung der zu erwartenden sommerlichen Raumtemperaturen mittels einer dynamischen Gebäudesimulation vorgenommen werden. Hierfür stehen dem Fachplaner verschiedene Simulationsprogramme zur Verfügung.

Besonders gefährdet hinsichtlich sommerlicher Überhitzung sind Räume, bei denen eine starke Sonneneinstrahlung (z. B. große Süd- bis Westfenster) und geringe Speichermassen (z. B. Großraumbüros, Räume mit abgehängter Decke, leichte Bauweise und Holzbau, Räume im Dachgeschoss, Innendämmung) zusammenkommen. Es sollte darauf geachtet werden, dass raumseitig genügend schwere, wärmespeichernde Bauteile mit direkter Raumanbindung als Speichermasse verbleiben.

Die Begrenzung der direkten Sonneneinstrahlung in den Raum ist die wichtigste Maßnahme zur Wahrung einer angenehmen Raumtemperatur im Sommer. Dies ist vor allem eine Aufgabe des Planers bereits bei der Grundkonzeption des Gebäudeentwurfs. Am einfachsten ist dies durch eine außenliegende Sonnenschutzvorrichtung zu erreichen.

Einen praktisch vernachlässigbaren Einfluss auf die sommerliche Raumtemperatur hat die Materialart des Dämmstoffs; der Einfluss beträgt im Massivbau nur wenige Zehntel Grad und im Leichtbau bis zu etwa 1 Grad. Dies liegt darin begründet, dass der Energieeintrag durch die (gut gedämmten) opaken Bauteilflächen völlig unerheblich ist gegenüber jedem durch die Fenster [4].

Für den Nachweis wird generell nur der vermutlich kritischste Raum betrachtet. Ist dort die Anforderung eingehalten, gilt die Einhaltung für alle anderen Räume des Gebäudes. Bestehen Zweifel, welcher der Räume der vermutlich kritischste ist, weist man die zwei oder drei ungünstigsten Räume nach.

Das Handrechenverfahren der Norm ist anwendbar für eingeschossige Raumsituationen mit quadratischem oder mehr oder weniger rechteckigem Raumgrundriss, in etwa senkrechten Umschließungsflächen, und mit Fenstern in nicht mehr als 2 Fassaden. Es ist ebenso anwendbar für normalhohe Räume unter Dachschrägen, auch mit Dachflächenfenstern. Aus Vereinfachungsgründen gilt es auch für Maisonette-Wohnräume mit Galerie. Es gilt nicht für Atrien, mehrgeschossige Räume, Räume mit stark von einem Quadrat abweichendem Grundriss («Schläuche») etc.

Bei 1- und 2-Familienhäusern mit Rollläden an den Ost-, Süd- und Westfenstern kann generell auf eine Nachweisführung verzichtet werden; der sommerliche Mindestwärmeschutz gilt dort als eingehalten, weil die Nutzer ausreichende Eingriffs- und Ausweichmöglichkeiten haben. Ähnliches gilt für Räume hinter unbeheizten, zum Aufenthaltsraum hin abgeschlossenen Glasanbauten, wenn der unbeheizte Glasvorbau einen Sonnenschutz mit einem Abminderungsfaktor $F_c \leq 0,35$ und Lüftungsöffnungen im obersten und untersten Glasbereich hat, die zusammen mindestens 10% der Glasfläche ausmachen, und der dahinterliegende nachzuweisende Raum nur über den Glasvorbau belüftet wird.

5. Luftdichtheit

Seit November 2018 liegt, nach jahrelanger Erarbeitung, eine deutsche Norm zur Prüfung und nachvollziehbaren Bewertung der Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen mit Klebebändern und Klebemassen zur Herstellung von luftdichten Schichten vor: DIN 4108-11:2018-11. Sie stellt, «aufbauend auf bereits vorhandene Prüfverfahren und den Ergebnissen von Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der luftdichten Verklebung, geeignete Prüfverfahren für die Bewertung der Dauerhaftigkeit von Verklebungen mit Klebebändern und Klebemassen» bereit, und legt «Mindestanforderungen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen unter Verwendung von Klebemitteln zur Herstellung luftdichter Schichten fest» [DIN 4108-11:2018-11].

Eine möglichst luftdichte Ausführung der Gebäudehülle ist vor allem aus Feuchteschutzgründen wichtig. Anderenfalls kann warme, feuchte Raumluft durch Undichtheiten der Gebäudehülle nach außen strömen. Dabei kann es an kalten Stellen innerhalb der Konstruktion zu Kondensatbildung und Schimmelpilzwachstum kommen. Dies kann letztlich zur Schädigung oder gar Zerstörung von Konstruktionsteilen führen.

Aber auch unter dem Aspekt der Energieeinsparung ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle zu sehen. Bei freier Lüftung (Fensterlüftung) beträgt der Lüftungswärmeverlust bei gut gedämmten Neubauten zwischen 30 und etwa 50 % der gesamten Wärmeverluste. Ähnlich wie bei den Wärmebrücken gilt auch hier, dass der prozentuale Anteil der Lüftungswärmeverluste mit zunehmender energetischer Qualität der Gebäudehüllfläche ansteigt. Dementsprechend ist darauf zu achten, dass die Gebäudehülle möglichst wenig ungeplante Undichtheiten enthält, durch die ein unkontrollierbarer Luftwechsel stattfindet. Lüftungsanlagen (ohne, vor allem aber mit Wärmerückgewinnung) können die Lüftungswärmeverluste reduzieren bei gleichzeitiger Sicherstellung einer guten Raumluftqualität und hohem Nutzerkomfort.

Hervorzuheben ist, dass die erforderliche Lüftung eines Gebäudes planmäßig über natürliche Lüftung (Fensterlüftung), durch Lüftungseinrichtungen (z. B. Aussenwanddurchlass, Lüftungsgitter) oder durch mechanische Lüftung erfolgt, nicht durch mehr oder weniger zufällige Undichtheiten der Gebäudehülle wie undichte Bauteilanschlüsse, undichte Durchdringungen, undichte Fenster etc. Der Luftdurchgang durch solche Undichtheiten ist zu stark abhängig von der momentanen Wind- und Luftdrucksituation, um eine sichere, ausreichende, energieeffiziente Lüftung sicherzustellen – und beinhaltet keine Wärmerückgewinnung.

Auch für die Fugestelle zwischen dem bestehenden Gebäude und der neuen Aufstockung ist die Luftdichtheit dauerhaft sicherzustellen. Dabei kommen grundsätzlich dieselben Ausführungsmöglichkeiten wie bei vergleichbaren Fugen im restlichen Gebäude in Betracht. Besonders hinzuweisen ist im Zusammenhang mit der Luftdichtheit auch z.B. auf folgende Detailpunkte: alle Bauteilanschlüsse im Dach- und Fensterbereich, alle Durchdringungen im Dach, Mauerkronen bei Lochsteinen, Bereiche hinter abgehängten Decken und Spülkästen etc., Ständerwände und vorgesetzte Innenschalen.

Literatur und Quellen

Der Text wurde zusammengestellt, überarbeitet und ergänzt aus folgenden Quellen:

Spitzner M. H.: Sommerlicher Wärmeschutz. In: Kalksandstein-Planungshandbuch, 2018. Downloadbar unter www.kalksandstein.de.

Spitzner M. H., Sprengard C: Winterlicher Wärmeschutz. In: Kalksandstein-Planungshandbuch, 2018. Downloadbar unter www.kalksandstein.de.

DIN 4108 Beiblatt 2:2019 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele. Neuausgabe 2019 (in Bearbeitung).

DIN 4108-11:2018-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 11: Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen mit Klebebändern und Klebemassen zur Herstellung von luftdichten Schichten.

- [1] Cammerer J., Spitzner, M. H., Treiber G., Schmitt H., Heinz G.: Settling and acceptable size of gaps in loose-fill thermal insulation in walls. In: Carmeliet J., Hens H., Vermeir G. (Hrsg.), *Research in Building Physics; Proceedings of the 2nd International Conference on Building Physics 14.-18 09.2003, Leuven, Belgien*; S. 545-553. Lisse/NL: A.A. Balkema 2003.
- [2] Spitzner M. H.: Im Winter warm, im Sommer heiss? Wärmeschutz und Energieeinsparung. 11. Internationales Holzbauforum, Holz wird zum Markenzeichen – Der Holz(haus)bau und seine vielen Gesichter, Garmisch-Partenkirchen, 07.-09.12.2005, Tagungsband (2006).
- [3] Spitzner M. H.: Hitzeschutz – So rechnen Sie richtig. *mikado* 8/2014, S. 28-31.
- [4] Holm A., Sprengard C., Simon H.: Was im Sommer wirklich zählt. Hitzeschutz. *Mikado* Nr.8, 2013.

Sommerlicher Wärmeschutz durch Verbundelemente im HBV-Deckensystem

Klaus Roschmann
Schmid Janutin AG
Urdorf, Schweiz



Sommerlicher Wärmeschutz durch Verbundelemente im HBV-Deckensystem

1. Einleitung

Der Holzbau gewinnt in den letzten Jahren in Verwaltungs- und Bürogebäuden vermehrt an Bedeutung. Das immer stärker werdende Bewusstsein für den Klimaschutz ist dabei die grösste Triebfeder. Die Anforderungen an die gewählten Raumklimasysteme, insbesondere in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz, muss dabei zwingend den spezifischen Randbedingungen angepasst werden. Ein hoher thermischer Komfort ist ein zentrales Bedürfnis einer guten Arbeitsumgebung. Dies muss jedoch im Einklang mit den gesetzlichen Grundlagen und den Anforderungen für das nachhaltige Bauen geschehen. Die hohen und schwankenden Wärmebelastungen muss einer ausreichenden Wärmespeichermasse gegenüber gestellt werden, damit eine energiesparende Klimatisierung erst erfolgen kann.

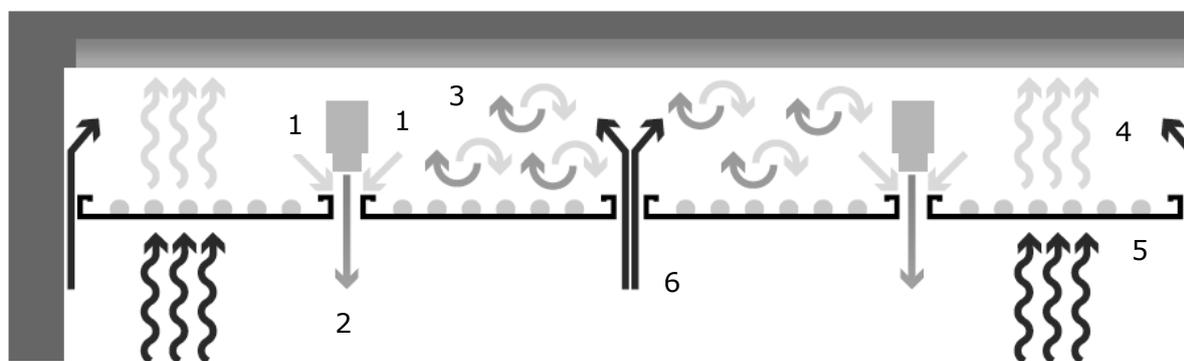
2. HBV und EcoBoost

Der konventionelle Holzbau, mit thermisch leichter Gebäudekonstruktion, eignet sich nicht für Räume mit Arbeitsplätzen. Die Mindestanforderung der thermischen Speichermasse ist $30 \text{ Wh/m}^2 \text{ K}$, was einer thermisch mittelschweren Bauweise entspricht.

Holz-Beton-Verbunddecken (HBV) und EcoBoost erfüllen in beeindruckender Weise diese Anforderung und darüber hinaus ist EcoBoost leistungsstark und ökologisch.

2.1. EcoBoost

EcoBoost basiert auf der neu entwickelten Mikroinduktion im Deckenhohlraum. Die 10-fache Induktion von Raumluft in den Deckenhohlraum macht das System zum überlegenen und damit zur führenden Spitzentechnologie in der Raumklimatisierung. EcoBoost erzeugt einen Unterdruck im Deckenhohlraum. Die Raumluft wird in grosser Menge in den Hohlraum geführt, sodass der gesamte Deckenhohlraum am Wärmeaustauschprozess beteiligt ist. Dies erweitert die Funktionalität enorm.



1 Mehrfachinduktion 2 Impulsarme Luftführung 3 Luftwechsel Deckenhohlraum
4 Nachtauskühlung 5 Additive Kühlung 6 Nachströmluft

Abbildung 1: Funktionsprinzip von EcoBoost

Die Mehrfachinduktion bewirkt den sofortigen Abbau der Untertemperatur der Zuluft. Die Zuluft tritt über den in der Decke integrierten Diffusor impulsarm in den Raum und nutzt die Eigendynamik der Raumluft zur hocheffizienten Lüftung. Die Lüftungseffektivität ist dabei um 30% gesteigert.

Die Raumluft steht im intensiven Wärmeaustausch mit der durch Nachkühlung vorkonditionierten Betondecken. Die Speicherkapazität des EcoBoost-Systems beträgt $97 \text{ Wh/m}^2 \text{ K}$. Dies ist dreimal höher als der erforderliche Minimalwert.

Im Kühldeckenbetrieb wirkt nicht nur die raumseitige Fläche, sondern auch die rückseitige Kühldeckenfläche. Die Kühldeckenleistung verdoppelt sich so gegenüber herkömmlichen Kühldeckensysteme.

Im Deckenhohlraum herrscht Raumluftzustand und ermöglicht eine unkomplizierte und günstige Abluffassung.

Im Nachtkühlbetrieb kühlt die wasserdurchströmte Kühldeckenfläche die Gebäudemasse vor. Die Lüftung ist dabei abgestellt. Im Tagbetrieb werden 1/3 der Wärmelasten über die Masse abgeführt und das ohne zusätzlichen Kühlwasserbetrieb.

Die Kühldecke wird beim EcoBoost-System additiv bei sehr hohen Wärmelasten zugeschaltet. So können auch Kühllasten von über 200 W/m² bewältigt werden.

3. Der Mensch im Mittelpunkt

Der Mensch nimmt mit fünf Sinnen seine Umgebung wahr – mit unterschiedlicher Sensitivität. Jeder Mensch fühlt sich nur dann behaglich, wenn keines der Sinnesorgane einem zu starken Reiz ausgesetzt und der Körper zu einer ungewollten Reaktion veranlasst wird. EcoBoost sorgt in Innenräumen auf verschiedenen Ebenen (Kühlen, Heizen, Lüften, Akustik) für Behaglichkeit und Komfort.

In behaglichen Zustand ist der Stoffwechsel des Menschen minimal belastet, was die Leistungsreserven vergrößert und die Ermüdung verringert. Thermischer Komfort am Arbeitsplatz ist deshalb kein unnötiger Luxus, sondern Grundvoraussetzung für Gesundheit und optimale Arbeitsleistung.

Dabei muss höchstes Gewicht auf Nachhaltigkeit gelegt werden! Nur nachhaltiges Bauen gewährt, dass künftige Generationen nicht schlechter dastehen als die heutige.

4. Suprafloor EcoBoost

Suprafloor EcoBoost ist das in Projektpartnerschaft entwickelte System von Erne AG Holzbau und Schmid Janutin AG.



Abbildung 2: Aufbau von Suprafloor EcoBoost



Abbildung 3: Achsmodule von Suprafloor EcoBoost

Alle wichtige Raumfunktionen werden durch das System Suprafloor EcoBoost in eindrücklicher Weise erfüllt.

Die Achsmodule werden im Werk mit sehr hoher Genauigkeit industriell vorgefertigt und mit allen wesentlichen Einbauten fertig ausgerüstet auf die Baustelle geliefert und eingebaut (Abb. 3).

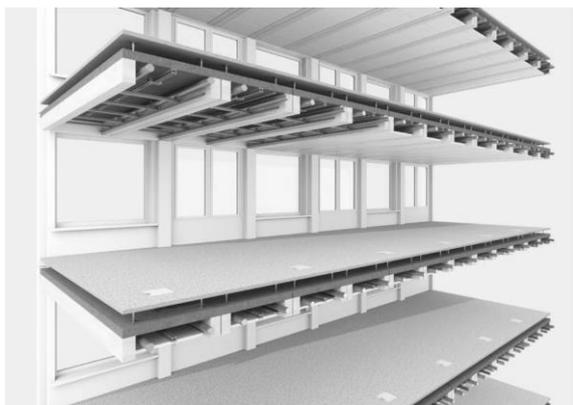


Abbildung 4: Bauleistungen oben

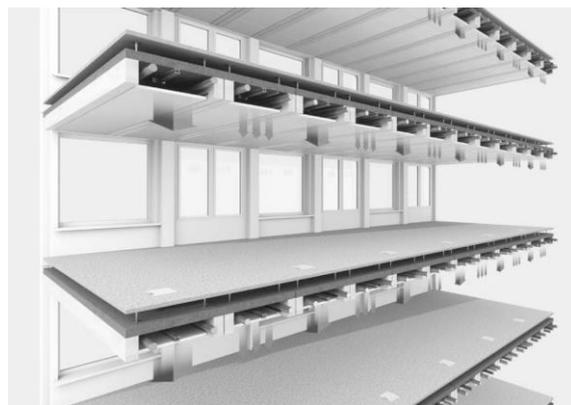


Abbildung 5: Bauleistungen unten

Das System wird oben mit einem Nassestrich oder einem Hohlboden ergänzt. Vorteile und Funktionen sind: Hoher Trittschallschutz, hohe Steifigkeit, geringe Schwingungen, hoher Brandschutz und trockene Bauweise (Abb. 4).

Das System wird unten mit einer Strahlungs-Kühl-/Heizdecke ergänzt. Vorteile und Funktionen sind: Hohe Schallabsorption, hohe Kühlleistungen, hohe Heizleistungen, hohe Lüftungseffektivität und beste thermische Behaglichkeit (Abb. 5).



Abbildung 6: Weitere Bauleistungen an der Decke



Abbildung 7: Nachtkühlbetrieb

Deckeneinbauten werden koordiniert und dezent integriert: Einbau-, Anbau- und Pendelleuchten, Stromschielen, Strahler und Downlights, Sprinkler, Rauchmelder und Indikatoren, Lautsprecher, Präsenzmelder und Sensoren (Abb. 6).

Das System nutzt einen intensiven Nachtkühlbetrieb für die konsequente Energieeinsparung. Der elektrische Energiebedarf ist um ca. 35% und die Wärmeenergie zur Aussenluftherwärmung um ca. 60% reduziert!

4.1. Die Nachhaltigkeit Suprafloor EcoBoost

Das Drei-Säulen-Konzept der nachhaltigen Entwicklung setzt das gleichzeitige und gleichberechtigte Umsetzen von umweltbezogenen, wirtschaftlichen und sozialen Zielen voraus. Nur auf diese Weise kann die ökologische, ökonomische und soziale Leistungsfähigkeit einer Gesellschaft sichergestellt und verbessert werden. Die drei Aspekte bedingen dabei einander.

Suprafloor EcoBoost setzt diesen Anspruch konsequent um, was die Zusammenstellung in der Abbildung 8 eindrücklich aufzeigt.

Geringe Investitionskosten

- ✓ Hohe spezifische Kühlleistung spart 1/3 der Kühldecken-aktivierung
- ✓ Reduktion der installierten Kälteleistung (Kältemaschine)

Einsparung von Betriebskosten

- ✓ Geringer Energieverbrauch
- ✓ Wartungsfreie Systeme
- ✓ Geringer Betreiber Aufwand durch niedrige Reklamationsrate

Thermische Behaglichkeit

- ✓ Raumtemperatur
- ✓ Zugluftfreiheit

Akustische Behaglichkeit

- ✓ Schallabsorption
- ✓ Telefonieschalldämpfung

Hygienische Behaglichkeit

- ✓ Hohe Lüftungseffizienz
- ✓ Unbedenkliche Materialien

Geringer Energieverbrauch

- ✓ Kühlmedium Wasser
- ✓ Aktive Nutzung der Gebäudemasse
- ✓ Hohe Kühlwassertemperaturen
- ✓ Bedarfsabhängige Regelung
- ✓ Wärmeaustausch mit hohem Strahlungsanteil

Reduktion des CO₂-Ausstosses

- ✓ Nutzung der freien Kühlung
- ✓ Einsatz von alternativen Kälteerzeugern (Grundwasser, Seewasser, etc.)
- ✓ Holzbaustoff mit positivem CO₂-Äquivalent (917kgCO₂/m³ Holz)

Abbildung 8: Vorteile von Suprafloor EcoBoost im 3-Säulen-Konzept der Nachhaltigkeit

4.2. Ausführungsbeispiele

Suurstoffi 22, Rotkreuz, CH

Geschosse	10
Bürofläche	17900 m ²

Zug Estates AG, Zug
Burkard Meyer Arch., Baden

Realisierung 2016..2018

Geschosse 10

Bürofläche 17900 m²

Zug Estates AG, Zug
Burkard Meyer Arch., Baden

Realisierung 2016..2018

Abbildung 9: Suurstoffi 22, Rotkreuz

Bio Familia, Sachseln, CH

Geschosse	4
Bürofläche	2300 m ²

Bio Familia, Sachseln
Kundert Planer AG, Schlieren

Realisierung 2017..2018

Geschosse 4

Bürofläche 2300 m²

Bio Familia, Sachseln
Kundert Planer AG, Schlieren

Realisierung 2017..2018

Abbildung 10: Bio Familia, Sachseln

Gymnasium Nord, Frankfurt am Main, D

Geschosse	3
Nettofläche	12300 m ²

Stadt Frankfurt am Main
Raumwerk GmbH, Frankfurt

Realisierung 2017..2019

Geschosse 3

Nettofläche 12300 m²

Stadt Frankfurt am Main
Raumwerk GmbH, Frankfurt

Realisierung 2017..2019

Abbildung 11: Gymnasium Nord, Frankfurt a.M.

Feuchteschutz – Fakten – Bauteile – Normung

Abdichtungen im Holz- und Trockenbau

Heinrich Rohlf's
James Hardie Europe GmbH
Bad Grund, Deutschland



Abdichtungen im Holz- und Trockenbau

Einleitung

Nach den Bauordnungen der Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland sind Bauwerke und Bauteile so anzuordnen, «dass durch Wasser, Feuchtigkeit ... sowie andere chemische, physikalische und biologische Einflüsse Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen».

Das ist ganz sicher nicht erst seit gestern so. Die bis 2017 vorhandenen eingeführten Regeln, wie z.B. die DIN 18195, enthielten aber keine Möglichkeiten, diesen geforderten Schutz in unserer Bauweise auszuführen. Die neue Norm DIN 18534 ermöglicht jetzt auch die Anwendung für den Holz- und Trockenbau, lässt aber auch noch Lücken in der Interpretation offen. Darum möchte ich Ihnen das Merkblatt zu Innenraumabdichtungen im Holz- und Trockenbau vorstellen. Es ist entstanden in der Zusammenarbeit des Bundesverbandes Gips mit verschiedenen maßgebenden Verbänden im Holz- und Fertighausbau sowie des Trockenbaus.

1. Historie der Abdichtungsregeln für den Holz- und Trockenbau

Bis Anfang der 80er Jahre existierte nur die DIN 18195 ohne Angaben für eine funktionierende Abdichtung im Holz- und Trockenbau. Diese Angaben bezogen sich ausschließlich auf den Massivbau und gingen von geputzten Oberflächen oder Nassestrichen mit bituminösen Abdichtungen aus. Im Fertighausbau versuchte man, diesen Missstand durch den Einbau von Faserzementplatten in den Duschbereichen zu beheben. Auch die Verwendung von imprägnierten Gipsplatten wurde als Abhilfe gesehen. Allerdings zeigte das veränderte Verhalten der Bewohner und die dichtere, energieeinsparende Bauweise deutlich die Grenzen dieser Konstruktionen auf: Feuchteschäden traten gehäuft auf und Fertighaus-Firmen, die bis zu 5.000 Häuser im Jahr produzierten, hatten entsprechend zu kämpfen.

Die Hersteller von Fliesenklebern reagierten dann mit den ersten Abdichtungsmaterialien, die direkt auf den Untergrund gestrichen/gerollt und dann auch direkt verfließt werden konnten. Diese Abdichtungen bestanden zunächst aus einer Art Bitumen, zeigten aber ein gewisses Fließverhalten auch nach der Aushärtung und damit die Gefahr des Abrutschens des Fliesenbelages.

Nächste Schritte waren die Entwicklungen von speziellen Zementpulverklebern, die durch Zufügung einer Dispersion elastifiziert und gleichzeitig wasserdicht gemacht wurden. Die geforderte Schichtdicke war aber durch das Einschieben der Fliesen in den frischen «Dichtkleber» nicht immer gewährleistet.

Danach bzw. zeitgleich kamen die sogenannten «flüssigen Dichtfolien» auf den Markt und brachten den gewünschten Erfolg. Diese Massen werden auf den Untergrund in 2 Arbeitsgängen (Schichten) aufgestrichen bzw. gerollt und bilden mit dem Fliesenkleber und den Fliesen die «Abdichtung im Verbund» (AIV).

Da es zu der Zeit keine amtlichen Regelungen für diese Bauart gab, hat sich der «Zentralverband Deutsches Baugewerbe» (ZDB) zusammen mit namhaften Flieseninstituten um Prüfreregularien und um Ausführungs-Merkblätter bemüht und damit die Grundlage für «amtliche bauaufsichtliche Prüfzeugnisse» (abP) und damit für Nachweise geschaffen. Das Ausführungs-Merkblatt enthielt neben Tabellen für die Wasserbeanspruchungsklassen und für die nutzbaren Untergrundmaterialien (hier waren auch Gipsplatten enthalten) Details und Beispiele für die prinzipielle Anordnung der Verbundabdichtungen in Bädern. Aber auch in diesen Unterlagen wurde der Holz- und Trockenbau mit seinen speziellen Anforderungen nicht vollständig berücksichtigt.

Parallel zu den Bemühungen des ZDB hat die Fertighaus-Industrie ein umfangreiches Forschungsvorhaben zum Thema «Abdichtung» betrieben und zusammen mit der «Deutschen Gesellschaft für Holzforschung» (DGfH) und verschiedenen Verbänden aus dem Bereich des Holz- und Trockenbaus ein erstes Merkblatt für den Informationsdienst Holz entwickelt.

Unter dem Titel «Nassbereiche in Bädern» ging man auf alle wesentlichen bzw. wichtigen Details dieser Bauweise ein. So wurde z.B. die 2-lagige flüssige Dichtfolie empfohlen oder es wurden Holzbau-geeignete Armaturen oder auch spezielle Randformen bei Dusch- und Badewannen vorgestellt.

Dieses Merkblatt wurde 2006 vom Bundesverband Gips und verschiedenen Holz- und Trockenbauverbänden aufgenommen und mit dem Merkblatt 5, «Bäder und Feuchträume im Holz- und Trockenbau», mit Tabellen, Details und Anwendungsdarstellungen auf einen Stand gebracht, der bis 2017 Gültigkeit hatte und die wesentlichen Regelungen für die Innenraumabdichtung im Holz- und Trockenbau dargestellt hat.

2. Die neue Norm für Innenraumabdichtungen und das neue Merkblatt 5

2010 wurde die Aufteilung der alten DIN 18195 in Einzelnormen beschlossen:

- DIN 18195 Abdichtung von Bauwerken – Begriffe
- DIN 18531 Abdichtung von Dächern
- DIN 18532 Abdichtung von befahrbare Verkehrsflächen aus Beton
- DIN 18533 Abdichtung von erdberührten Bauteilen
- **DIN 18534 Abdichtung von Innenräumen**
- DIN 18535 Abdichtung von Behältern und Becken

Die DIN 18534 «Abdichtung von Innenräumen» besteht aus folgenden Teilen:

DIN 18534-1 Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze

DIN 18534-2 Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen

DIN 18534-3 Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen im Verbund mit Fliesen oder Platten (AIV-F)

DIN 18534-4 Abdichtung mit Asphaltmastix und Gussasphalt

DIN 18534-5 Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen im Verbund mit Fliesen oder Platten (AIV-B)

DIN 18534-6 Abdichtung mit plattenförmigen Abdichtungsstoffen im Verbund mit Fliesen oder Platten (AIV-P)

Diese neue Normenreihe berücksichtigt die Anforderungen des Holz- und Trockenbaus, gibt aber in vielen Punkten auch die Verantwortung an Planer und Verarbeiter weiter. Die Tabelle der Wassereinwirkungsklassen z.B. enthält Interpretationsmöglichkeiten zur Zuordnung von belasteten Flächen in Feuchträumen. Hier und an anderen Stellen der Norm hat der Bundesverband Gips und haben verschiedene Verbände aus Holz- und Trockenbau die Notwendigkeit gesehen, an einem Merkblatt weiterhin festzuhalten.



So werden im neuen Merkblatt 5 «Bäder, Feucht- und Nassräume im Holz- und Trockenbau» Tipps gegeben, wie rechtliche Ansprüche dem Bauherren gegenüber abzusichern sind und die Ausführung von Bädern sicherer gemacht werden kann.

Auch werden im Merkblatt die Wassereinwirkungsklassen weiter erklärt und konkretisiert. Anhand von Beispielen werden skizzenhaft die belasteten Flächen dargestellt. Im Vergleich zur Norm hat man hier weitere Möglichkeiten gefunden und aufgenommen.

Die Untergründe werden in der Norm in «feuchteempfindliche» Untergründe, z.B. Holz oder Gips, und «feuchteunempfindliche» Untergründe, z.B. Stein, Beton oder andere zementgebundene Bauprodukte, eingeteilt. Das Merkblatt enthält dazu eine entsprechende Tabelle mit den Wassereinwirkungsklassen und den dazu erforderlichen Abdichtungstoffen bzw. Systemen. In übersichtlicher Weise wird die Anwendung an Boden, Wand und Decke dargestellt.

	Wassereinwirkungsklassen											
	W0-I / gering			W1-I / mäßig			W2-I / hoch			W3-I / sehr hoch		
	Boden	Wand	Decke	Boden	Wand	Decke	Boden	Wand	Decke	Boden	Wand	Decke
Untergrund												
Gipsplatten DIN EN 520 ¹⁾	o ²⁾	o	o	F-B-P ²⁽³⁾	F-B-P	o	-	-	-	-	-	-
Gipsplatten mit Vliesarmierung DIN EN 15283-1 (GM-H1)	o	o	o	F-B-P ^{2(3/5)}	F-B-P ²⁽⁵⁾	o	-	2)	2)	-	2)	2)
Gipsfaserplatten DIN EN 15283-2	o	o	o	F-B-P ³⁾	F-B-P	o	-	-	-	-	-	-
Gips-Wandbauplatten DIN EN 12859		o			F-B-P			-			-	
Gipsputze		o	o		F-B-P	o		-	-		-	-
Kalk-Zementputze		o	o		o ⁷⁾	o		F-B-P	D		MR	D
Calciumsulfat-Estrich	o			F-B-P ³⁾			-			-		
Zementestrich	o			o ⁷⁾			MR-B-P			MR		
Gussasphaltestrich	o			o ⁷⁾			o ⁷⁾			o ⁷⁾		
Zementgebundene mineralische Bauplatten ⁴⁾	o	o	o	o ^{2(5/7)}	o ²⁽⁷⁾	o	MR-B-P	F-B-P	D	MR	MR	D
Zementbeschichtete Hartschauplatte ⁶⁾	o	o	o	o ⁷⁾	o ⁷⁾	o	o ⁷⁾	o ⁷⁾	o	2)	2)	2)
Holz und Holzwerkstoffplatten ⁸⁾	o	o	o	P ⁷⁾	P ⁷⁾	o	-	-	-	-	-	-

Untergründe für Wassereinwirkungsklassen

Die Abdichtungsstoffe gemäß dem Teil 2 «bahnenförmige Abdichtungen» und Teil 4 «Abdichtung mit Asphaltmastix und Gussasphalt» sind normativ geregelt und benötigen keine weiteren Nachweise. Die übrigen Abdichtungen – flüssig, bahnenförmig und plattenförmig – sind «Abdichtungsstoffe im Verbund mit Fliesen und Platten» (AIV) und benötigen für den Nachweis der Eignung ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder eine ETA. Dieser Nachweis muss alle abgestimmten Komponenten des Systems enthalten (z.B. Verstärkungseinlagen, Dichtband, Fliesenkleber). Im Vergleich zur Vergangenheit wird hier auch kein Unterschied gemacht zwischen «bauaufsichtlich nicht relevanten Bereichen» (Privatbereich – kein Nachweis erforderlich) und «bauaufsichtlich relevanten Bereichen».

Im Kapitel 8 «Ausbildung von Konstruktionen und Details» wird auf die speziellen Belange des Holz- und Trockenbaus eingegangen. Neben Beschaffenheit der Unterkonstruktion – Einfach- oder Doppelständer, Holz oder Metall, Holz- und Korrosionsschutz, Unterkonstruktionsabstand – werden Plattendicken und Plattenarten berücksichtigt.

Die Detaillösungen der Norm werden im Merkblatt erweitert und noch deutlicher dargestellt. Der Anschluss von Dusch- und Badewannen und die Führung der Abdichtung hinter bzw. unter diesen Sanitärkörpern wurden im Normenausschuss lange diskutiert und wird hier auf den Punkt gebracht:

Der Anschluss an die Abdichtungsebene ist durch entsprechende Dichtbänder, z.B. spezielle Wannendichtbänder sicherzustellen. Auf die Abdichtung hinter und unterhalb der Wannenkörper mit einer zusätzlichen Entwässerung sollte verzichtet werden, da durch die fehlende Wassersperre der Geruchsverschluss nicht sichergestellt werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass Wasserschäden im Holzbau schnell sichtbar werden (sollen) und behoben werden können (bevor sie größeren Schaden anrichten können).

Neben Erklärungen zur Ausführung von Estrichen in Bädern finden sich wertvolle Hinweise zum Einbau von Armaturen bzw. zur Durchdringungen von Armaturen durch die Abdichtungsebene. Da hier in Deutschland grundsätzlich eine Gewerketrennung vorliegt, müssen die einzelnen Arbeitsgänge sehr sorgfältig zwischen den Handwerkern abgestimmt sein. Steht z.B. ein Rohrdurchgang nicht weit genug über die Abdichtungsebene über oder wird ein zu dicker Baustellenstopfen verwendet, kann der Abdichter (i.d.R. der Fliesenleger) keine funktionierende Abdichtung herstellen.



Rohrdurchführung mit Dichtmanschette



Unterputz-Einhandmischer

Ein weiterer kritischer Punkt ist die nachträgliche Befestigung von Lasten. Geringe Lasten lassen sich evt. noch durch geklebte Verbindungen befestigen, schwere Lasten, z.B. Haltegriffe oder Klappsitze, benötigen entsprechende Halteplatten in der Konstruktion und setzen eine sorgfältig geplante Abdichtung voraus. Hier ist die Industrie gefordert, Lösungen zu entwickeln und anzubieten.

3. Fazit

Ich beschäftige mich jetzt seit fast 40 Jahren mit dem Thema Abdichtung im Holz- und Trockenbau – eine allumfassende Lösung gibt es immer noch nicht! Es fehlen nach wie vor Detaillösungen, wie z.B. Befestigungen im Nassbereich, und vielfach das Verständnis für den Einsatz der richtigen Baustoffe an der richtigen Stelle.

Die neue DIN18534 regelt die Abdichtungen in verschiedenster Form, lässt aber auch einen Spielraum für den Planer und für den Ausführenden. Dafür wird im Gegenzug von diesen aber auch Sorgfalt und die Übernahme eigener Verantwortung verlangt. Das Merkblatt 5 des Bundesverbandes Gips will hier eine Hilfe sein und gibt Tipps für die Abdichtungen im Holz- und Trockenbau.

Es ist im Internet jederzeit aktuell verfügbar unter www.gips.de im Download-Bereich.

Feuchteschutz im Geschossbau – eine Bilanz

Karl-Heinz Weinisch
IQUH GmbH
Weikersheim, Deutschland



Feuchteschutz im Geschossbau – eine Bilanz

1. Einleitung

Mehrgeschossige Holz- und Holzhybridgebäude oder Aufstockungen mit Holzkonstruktionen sind wegen der guten Ökobilanzen und digitalisierter moderner Fertigungstechnik stark im Kommen. Gleichzeitig geben die gute Ausbildungsqualität im Holzbaugewerbe und ein positiver Trend bei den Lehrlingszahlen Anlass zu einem optimistischen Ausblick. Trotzdem und vor allem wegen neuer praktischer Erfahrungen ist zukünftig ein intensiveres feuchtebezogenes Mess- und Qualitätsmanagement ratsam, im Bereich der Planung, bei der Materialauswahl und während der Ausführung, um Schäden zu vermeiden. Solch eine fachbezogene Weiterbildung im Feuchte- und Gesundheitsschutz sollte im Holzbau ausgebaut werden.

2. Problemstellung

Selbst bei gewissenhafter Planung und Ausführung kann es nach Fertigstellung zu einem Wassereintritt oder einer Auffeuchtung durch Undichtigkeiten kommen. Deshalb ist besonders im Holzbau eine kontinuierliche Vor-Ort-Prüfung des Wetterschutzes, der Anschlussstechnik (Fenster, Türen, Sockel usw.), der Luftdichtheit und des Feuchtegehaltes der Hölzer und Holzwerkstoffe dringend zu empfehlen, um im Streitfall den entlastenden Nachweis der Material- und Ausführungsqualität erbringen zu können.

Was tun, wenn aus Materialaufweitung ein Pilzbefall wird? Entsteht baufeuchte- oder witterungsbedingt ein Pilzwachstum, kann es zu Baukonflikten oder sogar Mängelanzeigen kommen. Daher ist schnelles Handeln oder die Hinzuziehung von holzbauerprobten Sachverständigen gefordert. Ist der Streit unausweichlich, wird unverzüglich die Einberufung von Schlichtungsgesprächen mit allen am Bauprozess Beteiligten empfohlen. Diese haben zum Ziel, dass einvernehmlich wirkungsvolle Gegenmaßnahmen inklusive Bautrocknung und Pilzbekämpfung festgelegt werden. Am Ende der Sanierungs- und Reinigungsmaßnahmen werden verschiedene Kontrollmessungen durchgeführt, um die Mangelfreiheit nachzuweisen.



Abbildung 1: Feuchtekontrolle

Noch besser ist es, Pilzwachstum von vornherein zu vermeiden. Durch kontinuierliche Feuchtekontrollen, rechtzeitige Trocknung und eine wirkungsvolle Pilzbekämpfung während der Bauphase lassen sich Belastungen der Gesundheit sowie Material- und Folgeschäden und damit Baustress verhindern.

3. Planerischer Feuchteschutz

Ziel einer Planung von mehrgeschossigen Gebäuden unter dem Gesichtspunkt des baulichen Feuchteschutzes insbesondere im (Hybrid) Holzbau ist es, Feuchteschäden in und an den Bauelementen zu verhindern. Wichtige bauphysikalische, planerische und arbeitstechnische Voraussetzungen sind:

- Bauphysikalische Regel: Holz-Bauelemente sind nach außen diffusionsoffen.
- Materialauswahl: Geeignete Material- und Holzarten je nach Lage und Anwendung gem. DIN 68800-1 verwenden.
- Konstruktiver Holzschutz: Holzkonstruktionen gem. DIN 68800-2 erstellen, damit eine Gefährdung durch Feuchte vermieden wird.
- Luftdichte Raumseite: Planung, Ausführung und Leckagenkontrolle einer luftdichten Gebäudehülle.
- Holz Trocknung: Verwendung ausreichend getrockneter Holzwerkstoffe. Einbau- und Bauteilschließung erst nach orientierender Feuchte-Zwischenprüfung.
- Wetterschutzplanung: Feuchteabwehr beim Transport, während des Aufbaus und bei der Fertigstellung.
- Dichte Anschlüsse: Feuchteschutztechnische Planung, Ausführung und Endkontrolle der Außenanschlüsse an Durchdringungen wie Fenster, Türen oder im Sockel- und Flachdachbereich.
- Materialoberflächen: Hygroskopisch (sorptiv und desorptiv) wirksame Oberflächen verringern die Gefahr von Überschussfeuchte und in der Folge eine Poren- oder Fasersättigung und Pilzwachstum.
- Kontrollmessungen: Kontinuierliche Überwachung der Raumluftfeuchtwerte.

3.1. Holzschutz

Die Maßnahmen zum Schutz des Holzes sind nach DIN 68800 durchzuführen. Nach allen einschlägigen Fachregeln und Normen des Holzbaus ist das Konstruktionsholz mit einer Feuchte von maximal 20% einzubauen. Die CE-Kennzeichnung des Konstruktionsholzes ist erforderlich. Erstrangig sind die baulichen Maßnahmen nach Teil 2 sicherzustellen und ein chemischer Holzschutz ist nach Möglichkeit zu vermeiden.

3.2. Feuchteschutz

Nach heutigem Wissensstand kommt es vermehrt zu (Neubau) Pilzbefall durch überschüssige und nur unzureichend abgelüftete Restbaufeuchte, die durch das Anmachwasser in Putzen, Mörtel, Beton und Estrichen entsteht. Nach Fertigstellung des Holz- oder Mauerwerksrohbaus mit aufgesetztem Dachstuhl und Eindeckung folgen oft, ohne ausreichende Trocknungszeiten, der Innenputz an Wand und Decke und kurze Zeit später der schwimmende Estrich.

Auch Kondensatausfall, d. h. Schweißwasserbildung durch Klima- und Temperaturschwankungen, kann eine Ursache für (Neu)Bauschimmel sein. Bleibt es bei einem nur kurzzeitigen Feuchteangebot für den Schimmel, kann er sich erfahrungsgemäß nicht mehr weiter ausbreiten. Eine Gesundheitsgefahr oder ein befürchteter Material- oder Baumangel kann aber nur dann ausgeschlossen werden, wenn die Verantwortlichen schnell und sachgerecht handeln.



Abbildung 2: Kondensatfeuchte im DG

(Neubau) Pilzbefall durch holzverfärbende Spezies wegen Leckagen- und Kondensatfeuchteproblemen ist nicht gleichzusetzen mit gefährlichen Schimmelpilzspezies in Folge massiver Feuchteschäden, die gewöhnlich durch defekte Wasserleitungen (Heizung, Dachentwässerung, etc.), durch das Eindringen von Schmelz- oder Regenwasser aufgrund schadhafter Dachabdichtungen, durch undichtes Mauerwerk etc. oder durch Unglücksfälle, wie das Eindringen größerer Wassermengen in die Baustanz entstehen können.

(Neubau) Pilzbefall entsteht einerseits durch Restbaufeuchte bei Renovierungen oder Neubauvorhaben in Verbindung mit mangelnder Keller-, Zimmer- oder Dachbodenentlüftung, andererseits durch Kondenswasser infolge starker Temperaturschwankungen und Wärmebrücken während der Bauzeit.

Je nach Wachstumsstadium sind die an der Zersetzung von organischem Material beteiligten Schimmelpilze unterschiedlich zerstörerisch tätig und bzgl. gesundheitlicher Aspekte mehr oder weniger relevant.

4. Baufeuchte führt zu (Neubau) Pilzschäden

Schon in der Rohbauphase kann es also zu Feuchteproblemen mit Oberflächenverfärbungen durch Pilzbefall und nach langanhaltender Feuchte zu Holzverformungen und Rissen kommen, was auch wegen falscher Trocknungsverfahren durch Sanierungsfirmen passieren kann. Auch das Ausbaugewerbe sieht sich zunehmend mit derartigen Schwierigkeiten konfrontiert. Ein reklamationsträchtiger Bewuchs mit verschiedenartigen Mikroorganismen kann sich unmerklich auf eingebautem Holz, Holzwerkstoff-, Weichfaser- und Gipskartonplatten oder Farb- und Putzoberflächen entwickeln.

Pilze können keine Energie aus Sonnenlicht gewinnen, sondern brauchen wie Lebewesen und Pflanzen organische Nährstoffe. Sie bilden Sporenträger und Hyphen bzw. Myzelien, d.h. Geflechte als Verbund oder Einzeller wie die Hefepilze. Sie vermehren sich über Sporen. Anders als die Bakterien haben sie einen Zellkern.

Pilze in und an Baustoffen lassen sich grob unterscheiden in

- Holzerstörende Pilze wie der Braune Kellerschwamm oder der Hausschwamm,
- Holzverfärbende Pilze wie die Bläue- u. Schwärzepilze,
- Gesundheitsrelevante Schimmelpilzspezies.



Abbildung 3: Holzerstörende Organismen

Diese Unterscheidung ist wichtig, wenn es um rechtliche und gesundheitliche Einstufungen im Streitfall geht, da nicht jede Holzverfärbung durch Pilze gleichzusetzen ist mit einer Gesundheitsgefahr oder Materialzerstörung und damit auch die Höhe eines rechtlichen Anspruchs beeinflusst.

4.1. Pilzfördernde Bedingungen

Schimmelpilze lieben neben der Feuchtigkeit auch Wärme, Luft- und Windstille und eine pH-neutrale oder leicht saure Umgebung. Sie benötigen organische Substrate, wie Holz, Papier und Kunststoffe als Grundnahrung.

Rein anorganische Materialien, wie Metall, Glas, Stein, Zement, Silikate und Kalke dienen Pilzen und Bakterien selbst nicht als Nahrung, allenfalls der Staub darauf. Oberflächen wie Gips und Lehm hemmen ein Pilzwachstum nicht im Gegensatz zu den hoch alkalischen Silikat- und Kalkputzen oder einem Kalk- oder Sumpfkalkanstrich.

4.2. Unterscheidung der (Umwelt) Pilzarten

Pilzsporen sind überall anzutreffen. Die große Mehrzahl der Schimmelpilze führt ein eher ungefährliches und nützliches Dasein in der Natur. Schimmelpilze halten die Umwelt sauber und man findet sie besonders im Herbst auf Laub aber auch auf verdorbenen Lebensmitteln (z. B. Brot, Früchte), auf feuchtem Brennholz oder auf Pflanzen. Der Feuchtegehalt der Oberfläche ist Grundvoraussetzung sowohl für das Wachstumsverhalten bestimmter luftgetragener Schimmelpilzarten als auch für das Ausmaß ihrer Verbreitung, ihre Zersetzungskraft und damit für die Gefährlichkeit eines Schimmelpilzbefalls.

Wenn Schimmelsporen sich vermehren können, bilden sie zahlreiche feine Fäden, die insgesamt das Myzel aufbauen. Die durch Fäden gebildeten Myzelien sind die eigentlichen Schimmelpilze. Sie können weißlich, grünlich, grau oder andersfarbig aussehen. Von den Myzelien zu unterscheiden sind die der Fortpflanzung dienenden Sporenträger, die Sporangien. Diese bilden ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen den einzelnen Arten. Bei den Schimmelpilzen lassen sich, je nach Form der Sporenträger, zum Beispiel Köpfchenschimmel, Pinselschimmel und Gießkannenschimmel unterscheiden. Weiterführende und bildunterstützte Informationen bietet das Institut Enius.¹ Von den etwa 130.000 Pilzarten sind nur wenige nutzbar.

Da Schimmelpilze in allen häuslichen Lebensumfeldern vorkommen, können sie auf optimalen Oberflächen wie Holz und Holzwerkstoffen, organischen Farben, Tapeten oder Bauplatten wachsen, aber auch mit Hilfe eines Staubbefalls auf weniger geeigneten Oberflächen, wie Kunststoffbeschichtungen, Plexiglas und Laminat. Dort nutzt der Schimmel die Raumfeuchte und die organischen Luftbestandteile für den Wachstumsstart, und zersetzt dann mit eigenen Stoffwechsellzymen (z.B. Oxidasen) fast jedes Material. Die zersetzten Stoffe dienen ihm anschließend wieder als Nahrung.

4.3. Unterscheidung der Pilzarten im Bauwesen

Zu unterscheiden sind (Innenraum) Schimmelpilze von holzverfärbenden Spezies und den holzerstörenden Pilzen und Schwämmen. Die am Holz oder Holzbohrkern durchgeführte Pilzanalytik muss eindeutig einen gefährlichen und echten Hausschwamm von einem weniger gefährlichen Nassfäulepilz unterscheiden.

Durch falsche Schlussfolgerungen kann aus einem lediglich holzverfärbenden Umweltpilz schnell eine vermutete Gefahr werden: Vermeintliche Schimmelexperten schüren Ängste und Bauherren befürchten dann holzerstörende, bauwerksgefährdende Pilze/Schwämme oder einen gesundheitsschädlichen Schimmelpilzbefall. Aufgrund der mangelnden holzbaubezogenen Bau- und Sachkenntnis einiger «Experten», Juristen und Bauexperten wird von einem Gang zum Gericht abgeraten. Zunächst müssen eindeutige, belastbare Ergebnisse zur Pilzspezies und dem Zerstörungsgrad vorliegen, die von akkreditierten und erfahrenen Prüflaboren ermittelt werden müssen.

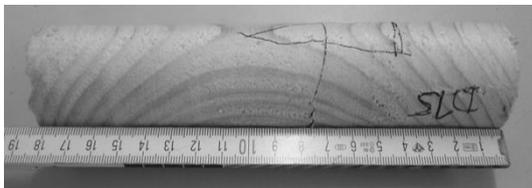


Abbildung 4: Holzbohrkern

Eine mikroskopische Stranganalyse bringt Klarheit über das Ausmaß des Mycelwachstums. Eine sichere Identifizierung des Schadensausmaßes durch Pilze ist für den Statiker zur Bestimmung der Holzschwächung (Schadensausmaß) und der daraus folgenden statischen Erfordernisse bzw. eines möglichen Rückbaus wichtig. Die weitreichende Bestimmung der Holzfeuchte in allen Materialtiefen und eine fachlich richtige Planung der Holz Trocknung am Bauteil sind grundlegend für eine erfolgreiche Sanierungsplanung.

4.4. Schimmelpilz Leitfaden – Umweltbundesamt

Es ist strittig, ob ein rein oberflächliches Pilzwachstum im Bereich von ein bis zwei Millimetern schon eine Baumangelanzeige wegen fraglicher Holzerstörung rechtfertigt oder eine Gesundheitsgefährdung vermuten lässt. Sachverständige urteilen oftmals unterschiedlich zur möglichen Material- oder Gesundheitsgefährdung durch Pilzbewuchs. Gutachten zu Holzschäden oder Gesundheitsgefährdungen sind anzuzweifeln, wenn ein beweisführendes mikrobiologisches und mikroskopisches Gutachten von akkreditierten Analyselaboren fehlt. Unbestritten ist, dass beim Nachweis von gesundheitsgefährlichen Schimmelpilzspezies drastische Sanierungs- und Sicherheitsmaßnahmen nötig sind, doch sind solche Pilzarten im Neubaubereich eher selten. Die Grundlagen zu Schimmelpilzen in

¹ <http://www.enius.de/schadstoffe/schimmelpilze.html>

schon bezogenen Wohn- und Arbeitsräumen werden maßgeblich im Leitfaden vom Umweltbundesamt festgelegt und aktualisiert. Grenz- und Richtwerte für die Raumluft gibt es nicht:

«Die gesundheitliche Bewertung von Verunreinigungen der Innenraumluft erfolgt in der Toxikologie und Umweltmedizin üblicherweise mithilfe von gesundheitlich begründeten Grenz-, Richt- oder Leitwerten. Diese Vorgehensweise ist für Schimmel im Innenraum so nicht anwendbar, da es für Schimmelpilzkonzentrationen in der Innenraumluft, im Hausstaub oder in Materialien keine gesundheitlich begründeten Grenz- oder Richtwerte gibt.»²

Es ist empfehlenswert, alle gesundheitsbezogenen Aussagen in Gutachten bei Feuchte-, Schimmel- oder Pilzbefall noch kritischer zu betrachten. Der UBA Leitfaden nimmt hierzu ebenfalls kritisch Stellung:

«Aussagen über die pauschale gesundheitliche Wirkung der nachgewiesenen Schimmelpilze, wie potentiell toxische oder infektiöse Wirkungen, sind nicht sinnvoll und sollten in Gutachten nicht erfolgen, sie führen nur zu einer Verunsicherung der Betroffenen und haben im Prinzip keinen Informationsgehalt für den konkreten Fall.»³

Da in Gutachten oftmals von unbewiesenen Umwelt- oder Gesundheitsgefährdungen oder Holzzerstörungen ausgegangen wird, werden von den beauftragenden Bauherrschaften leider allzu oft ungerechtfertigt hohe Schadensforderungen oder in Einzelfällen sogar der Rückbau von Dachstühlen oder von kompletten Holzhäusern gefordert.

Sowieso ist die Einholung einer zweiten Meinung oder Durchführung einer weiteren Raumluftmessung sinnvoll – alleine schon wegen möglicher Messfehler.

4.5. Bläuepilze

Schnittholz- oder Holzwerkstoffplatten dunkeln im Außenbereich durch die UV-Strahlung nach. Sie werden dunkelbraun bis dunkelschwarz oder dunkelgrau bis silbergrau. Dieser natürliche Prozess stellt keinen Mangel dar. Bei unzureichend abgeführter Neubaufeuchte können sich auch im Innenbereich Hölzer verfärben. Dies geschieht durch die Entwicklung farbiger Pilze. Sie entstehen auf Holz, Anstrichen oder Werkstoffplatten. Durch Bläue verfärbte Oberflächen sind mangelhaft und ein Zeichen für zu hohe Feuchtigkeit.

Bläuepilze selbst zerstören das Holz nicht und haben auch keinen Einfluss auf seine Festigkeit. Sie sind jedoch ein Indikator dafür, dass sich möglicherweise andere Schimmel und Bakterien ansiedeln. Schädlinge wie Porlinge, Blättlinge oder Schwämme finden hier ebenfalls gute Wachstumsbedingungen vor. Deshalb hat ein schnelles pilzbekämpfendes Eingreifen allerhöchste Priorität.

4.6. Schwärzende Pilze



Abbildung 5: Schwärzende Pilze im DG

Zur Familie der Dematiaceae zählen beispielsweise die Schimmelpilze der Gattung *Alternaria* und *Cladosporium*. Die umgangssprachliche Bezeichnung «schwärzende Pilze» rührt daher, dass sich Sporen und Teile der Hyphen braun bis schwarzbraun färben. Dies geschieht durch Bildung von Melanin.

Schwärzende Pilze kommen auf der ganzen Welt vor, die Polargebiete ausgenommen. Sie befinden sich unsichtbar auf neu gelieferten Baumaterialien, Bettbezügen und Teppichen; kommen aber auch auf Nahrungsmitteln, im Bau- und Hausstaub und in der Luft vor.

² **Herausgeber und Redaktion:** Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, 2018. Leitfaden „Zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden“, S. 110

³ **Herausgeber und Redaktion:** Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, 2018. Leitfaden „Zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden“, S. 120

Gerade schwärzende Pilze verfügen über einen sehr komplexen Stoffwechsel, der es ihnen ermöglicht, schnell und ohne größere Wassermengen eine Vielzahl von Nährstoffen zu verwerten. Es existiert kaum ein organischer Nährstoff, der unter geeigneten Bedingungen nicht von einer oder mehreren Schimmelpilzarten genutzt werden kann.

Dabei erfolgt der Angriff auf das Material einerseits direkt durch Enzyme, die vom Pilz abgegeben werden. Andererseits wirken Ausscheidungsprodukte des pilzlichen Stoffwechsels zerstörend, die als Endprodukte einer Nährstoffverwertung anfallen.

Der schwärzende Pilz wächst im Neubaubereich meist nur kurzzeitig, da das Feuchtigkeitsangebot begrenzt ist. Er entwickelt sich höchstens ein bis zwei Millimeter in die Materialien hinein und er vermehrt sich wenig sporenverbreitend.

Handelt man rechtzeitig, kann eine Materialzersetzung ausgeschlossen werden. Solche verfärbenden Pilze sind Verunreinigungen. Sie schränken bei einer sachgerechten, pilzwidrigen Bearbeitung und Entsorgung weder die Gesundheit noch die Materialtauglichkeit ein.

4.7. Typischer (Neubau) Pilzbefall

Pilze, die zum Wachstum nur wenig Zeit hatten, nennt man einen typischen **(Neubau) Pilzbefall** wie zum Beispiel den durch Bläue- und Schwärzepilze. Diese definieren sich als optisch erkennbarer Pilzbewuchs auf Baustoffen und Innenraumbooberflächen oder Gegenständen, denen nur eine nachweislich kurze Wachstumszeit und ein zu geringes Feuchteangebot zur Verfügung stand.

Die Verfärbung kann punktuell oder geschlossen vorliegen, wobei der Pilz nur in einem Bereich von ca. 1 -2 mm nach außen oder nach innen wächst.

Somit kann bei einem (Neubau) Pilzschaden von einem wenig besorgniserregenden Oberflächenproblem ausgegangen werden, das von sachkundigen Handwerkern relativ einfach zu beheben ist. Die auslösenden Pilzarten sind in der Regel natürliche Bestandteile im Hausstaub oder in der Raumluft.



Abbildung 6: Pilzbefall - Oberflächenbehandlung mit H₂O₂ und Kalk

Ein Befall mit typischen (Neubau) Pilzen ist kein dauerhafter Materialmangel. Er gilt als ein Sicht- und Verunreinigungsmangel, der fachmännisch behoben werden muss, damit eine Gefährdung durch Staubverschleppung sicher verhindert werden kann. Eine gesundheitliche Gefährdung für Arbeiter und Bauherrschaft kann bei sachgerechter Beseitigung⁴ ausgeschlossen werden.

4.8. Bedingungen für Pilzwachstum

Grundsätzlich gilt:

- Je länger Pilzspezies mit Feuchtigkeit versorgt und ungestört bleiben, desto größer und weitreichender ist ihre schädigende Wirkung auf das Material und für die Gesundheit.
- Je niedriger die Material- und Raumtemperatur während der Bauphase, desto mehr steigt das Risiko für Materialfeuchte und Pilzschäden.
- Je geringer die Luftbewegung und die Luftwechselrate in den Innenräumen während der Bauphase, desto mehr steigt das Risiko für Feuchte- und Pilzschäden.
- Je geringer der Tageslichteinfall ist, desto ungestörter können Pilze weiterwachsen.
- Je höher die witterungsbedingte Außenluftfeuchte, desto mehr steigt die Problematik eines überschüssigen Feuchtegehalts in Luft und Material im Innenraum, was wiederum ein Pilzwachstum begünstigt.

⁴ <http://www.baua.de> TRBA= Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe

- Je höher der organische Baustoffanteil ist und je geringer der Anteil alkalisch wirkender Oberflächen wie z.B. Kalk und Silikat im Innenraum ist, desto wahrscheinlicher ist ein Pilzwachstum.
- Je höher der Anteil von Hohlraumkonstruktionen im Innenraum, desto drastischer kann sich eine Auffeuchtung und ein Pilz- und Materialschaden auswirken.
- Je höher der Staubanteil im Neubau oder in renovierten Innenräumen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich Schimmelpilzsporen in der Raumluft oder im Mikrostaub ausbreiten. (Sekundärkontamination)
- Je mehr sichtbare Pilze auf der Oberfläche des Materials erkennbar sind, desto gefährlicher kann sich der Befall für die Konstruktion oder für Menschen (Arbeiter, Bewohner, Anwohner) auswirken.

4.9. Präventive Maßnahmen im Bauablauf

Schadensvermeidend können verschiedene Maßnahmen ins Auge gefasst werden.

- Messgeräte für den Feuchte- und Temperaturverlauf nach dem Aufstellen installieren und die Werte archivieren.
- Vorbeugend und bedarfsgerecht auf Be- und Entlüftung achten, besonders nach der Verarbeitung von Putzen oder Estrichen.
- Vorbeugend vor dem Wochenende, vor den Ferien oder bei Baustillstand den Bauleiter, Vorarbeiter oder Arbeitgeber über die Notwendigkeit einer ausreichenden Be- und Entlüftung und Feuchteabfuhr informieren.
- Möglicherweise müssen Trocknungsgeräte und Ventilatoren rechtzeitig auf die Baustelle mitgenommen werden.
- Bei Entdeckung von Feuchtflecken vorsorglich eine Pilzbekämpfung durchführen, damit der überall anzutreffende Sporenstaub nicht anwachsen kann.
- Bei sichtbarem Pilzbefall sofort handeln, Schutzmaßnahmen beachten. Schimmelbekämpfende Mittel (Wasserstoffperoxid 11,9 %) immer vor- und bereithalten.

5. Rechtliche Folgen

Pilzsporenfreie Innenräume oder Baustoffe gibt es grundsätzlich nicht und können deshalb auch nicht vom Unternehmer geschuldet werden. Sporen können grundsätzlich überall in der Umwelt also auch auf/in Dämm- oder Schüttmaterial und in der Raumluft gemessen werden – also auch relativ schnell wieder nach einer Sanierung alleine durch die Lüftungstätigkeit, durch belastete Nachbarräume oder unsachgemäße Feinreinigung.



Abbildung 7: Baustopp wegen unklarer Gefährdungslage

Doch was kann passieren, wenn bei einem (Neubau) Pilzbefall keine einvernehmliche Lösung gefunden wird? Wenn die Verfassungen als Mangel angezeigt werden und Anwälte und Sachverständige zum Einsatz kommen, beginnt nicht selten für beide Parteien eine juristische Odyssee, die meist in einem Vergleich endet. Die bessere Lösung für beide Parteien ist erfahrungsgemäß eine außergerichtliche gütliche Einigung mit konkreten Lösungsschritten. Hierbei soll nicht die Schuldfrage geklärt werden – wohl wissend, dass die Schuldfragenklärung für die Schimmelenstehung in der Rechtsprechung oft schwierig und langwierig verhandelt wird und somit für alle Parteien teuer werden kann.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Warum muss man schnell handeln?
- Wie sollten der Unternehmer und seine Mitarbeiter bei Pilzbefall reagieren, damit ein Rechtsstreit verhindert werden kann?
- Welche Bewertungsmöglichkeiten gibt es, um die Gesundheitsgefährdung normgerecht und belastbar einzustufen?
- Welche Bekämpfungs- und Bleichmittel sind auf dem Markt und welche haben sich bewährt, sind umweltverträglich und garantiert wirksam?

- Handelt es sich bei trockenen Pilz- und Stockflecken auf Holz um einen material- und gesundheitsgefährdenden Materialschaden oder kann man von einem lediglich optischen Mangel ausgehen?
- Wie ist die medizinische, behördliche, wissenschaftliche und rechtliche Bewertung der verschiedenen Spezies?

Die Klärung dieser Fragestellungen mit allen am betroffenen Bauprozess Beteiligten trägt zur Vertrauensbildung bei, wobei die Problemlösung laienverständlich dargestellt und mit Referenzprojekten praktisch abgesichert, wissenschaftlich belegt und normengerecht sein muss. Lösungsvorschläge beinhalten die Mängelbeseitigung aber auch die genauen Materialvorgaben und die Mess- und Sanierungsplanung wozu auch langfristige Vorsorgemaßnahmen aber auch Qualitätskontrollen gehören, um einen höchstmöglichen und dauerhaften Feuchte-, Holz- und Gesundheitsschutz zu garantieren.

5.1. Konfliktlösung am «runden Tisch»

Bei einem gemeinsamen Gespräch werden daher zuallererst alle Beteiligte auf den gleichen Wissensstand gebracht. Auf bestehende Missverständnisse und Ängste wird eingegangen und diese anschließend durch sach- und fachgerechte Informationen beseitigt. So entstehen die Voraussetzungen dafür, dass mängelbeseitigende Lösungsansätze auch seitens der Bauherren akzeptiert werden. Nach der Einigung am runden Tisch müssen planungs- und baubegleitend kostengünstige Lösungen entwickelt werden. Je nach Sachlage muss ein mögliches Fremdverschulden, was die Einbeziehung von Haftpflichtversicherungen ermöglichen würde, geklärt werden.

Ein holzbauererfahrener Sachverständiger wird Vorschläge ausarbeiten, die den Bedürfnissen und Interessen beider Konfliktparteien entsprechen. Je nach Bedarf kooperiert er dazu mit Juristen, weiteren Bausachverständigen und Fachingenieuren.

Der zweite Schritt ist die Umsetzung. Entscheidend ist die kontinuierliche Kommunikation zwischen den Konfliktparteien: Beide Seiten sollten jederzeit über die Planung und Ausführung von schadensbeseitigenden Bau- und Hygienemaßnahmen informiert werden.

Der Konfliktberater begleitet die Umsetzung. Abschließend wird er den Sanierungserfolg messtechnisch belegen. Dazu zieht er unabhängige Sachverständige und akkreditierte Prüfinstitute hinzu.

5.2. Hindernisse auf dem Weg zur Streitbeilegung

Erfahrungsgemäß kann ein schnelles Eingreifen Zahlungsverweigerungen und Rechtsstreitigkeiten verhindern. Schwierig wird es nur, wenn von einer Konfliktpartei der mangelbezogene Sanierungsaufwand oder ein Preisnachlass unter- oder übertrieben dargestellt werden. Dann rücken Lösungen in weite Ferne. Deshalb muss in solch einem Fall eine Einigung darüber erzielt werden, ob es sich um einen großen, mittleren oder geringfügigen Mangel handelt. Daran bemessen sich letztlich die zu verhandelnde Schadenshöhe und der Sanierungsaufwand.



Abbildung 8: Pilzbekämpfung mit Akkugerät und H2O2 Sprühlanze auf Pilzbefall

Das Bauunternehmen muss darstellen können, dass durch die Maßnahmen der bestellte und mangelfreie Bauwerkszustand hergestellt wird. Im Fall von Feuchteschäden sind ein ausreichender Rückbau, eine schadensfreie Rücktrocknung und ein unbedenklicher mikrobieller und hygienischer Zustand zu garantieren. Für eine mangelfreie Bauabnahme müssen nach den Maßnahmen hygienisch unbedenkliche Schimmel-, Pilz- und Materialfeuchtemesswerte durch Freimessungen erreicht werden.

Es wird empfohlen, dass schon beim Auftreten von erhöhten Holz- und Materialfeuchtwerten neben den Trocknungsmaßnahmen vorsorglich auch pilzbekämpfende Maßnahmen durchgeführt werden, die aber in der Folge für den Menschen und die Umwelt unbedenklich sein sollten. Durch schnelles Handeln und eine normgerechte Bautrocknung und Pilzsanierung können in den meisten Fällen drohende Baumängelanzeigen verhindert werden.

6. Maßnahmen im Schadensfall

Vor allem bei Feuchteschäden im Sockel- und Schwellholzbereich oder innerhalb geschlossener Bauteile ist Zeit ein wesentlicher Faktor, um eine Holzzerstörung oder die Verbreitung gesundheitsgefährlicher Pilzsporen zu vermeiden.



Abbildung 9: Schwellholz Feuchtemessung

Bleiben die Feuchtwerte im Bauteil länger als 2-4 Wochen erhöht (Holz > ca. 20%) und man versäumt eine rechtzeitige Bauteiltrocknung und Pilzbekämpfung durchzuführen, dann entsteht mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Pilzmangel oder sogar ein Bauschaden.

Nach der Bestandsaufnahme müssen zügig Pilzbekämpfungs-, Mess- und Trocknungsmaßnahmen und eine normgerechte und arbeitschutzrechtlich zugelassene Feinstaubbeseitigung erfolgen.

6.1. Bestandsaufnahme bei Feuchte- und Folgeschäden

Sobald Feuchte, Schimmel oder Pilzverfärbungen festgestellt werden, sollten Bauunternehmen deshalb unverzüglich handeln. Signalisieren Sie Verhandlungs- und Gesprächsbereitschaft, wenn sich Konflikte abzeichnen. Ziehen Sie einen neutralen Experten hinzu, der Sie hinsichtlich der Argumentation berät. Dieser sollte, wie anfangs erläutert, zu den Konfliktthemen (Feuchte, Schimmel/Pilze) über Bau-, Rechts- und Sachverständigenerfahrung verfügen und Referenzobjekte vorlegen können. Ziel der Konfliktberatung bei einer Mängelanzeige ist die Deeskalation und eine nachhaltige Lösung des Konflikts mit beidseitig akzeptierten Handlungs- und Sanierungsvorschlägen.

Voraussetzung dafür ist eine umfassende Bestandsaufnahme vorab. Prüfen Sie die Sachlage fachübergreifend. Konkret muss als Erstes geklärt werden, ob die Feuchtemesswerte normen- und regelgerecht ermittelt wurden. Dann folgt die Überprüfung der Gutachten. Geklärt wird auch, ob die Prüfräume vor der Staub-, Raumluft- oder Materialprobenahme korrekt vorbereitet worden sind.

6.2. Holz- und Materialfeuchtemessungen

Will man orientierend in einem Neubauvorhaben die Feuchtwerte ermitteln, fängt man mit der orientierenden Messung der Material- und Raumtemperatur an und erfasst gleichzeitig die Raumluft- und Materialfeuchte. Zur Suche nach Feuchtequellen auf sämtlichen Oberflächen eignen sich Kugelkopfgeräte (dielektrisch und zerstörungsfrei) der Fa. Gann.

Werden auf diese Weise oder durch optische oder geruchliche Auffälligkeiten verdächtige Feuchtwerte ermittelt wird man Tiefenmessungen (Widerstandsmessungen mit Gann Messsensoren und Messgerät) soweit durchführen, bis man wieder auf trockene Bereiche stößt. «Unter dem Verfahren der elektrischen Holzfeuchtemessung wird die Messung des Wassergehaltes im Holz, abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers und dem elektrischen Widerstand des Holzes, verstanden. Der elektrische Widerstand des Holzes steigt mit abnehmendem Feuchtegehalt. Aufgrund dieses Sachverhaltes ist eine Umrechnung auf die Holzfeuchte möglich. Das Verfahren kann für Schnitthölzer mit einer Holzfeuchte von 7% bis 30% angewandt werden.»⁵

Juristisch belastbare Feuchteergebnisse erhält man nur durch die Darmmethode nach DIN 52183 von Holzproben oder Bohrkernen. Das Holzschadensausmaß bzw. die Quantifizierung des Fäuleschadens (unter Angabe des Restquerschnitts) durch holzzerstörende Organismen erhält man nur über makro- und mikroskopische Schadensanalysen zugelassener Labore. Dieses gutachterliche Ergebnis ist zudem die Grundlage für eine Beurteilung über die Berechnung der Tragfähigkeit und Standfestigkeit durch den Statiker.

⁵ DIN EN 13183-2 „Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Schätzung durch elektrisches Widerstandsmessverfahren“ und Merkblatt „Elektrische Holzfeuchtemessung“ S. 1, Holzbau Deutschland/Bund Dt. Zimmermeister

6.3. Pilzschäden richtig bewerten

Neben der Feuchte- und Schadensanalyse ist die Einschätzung einer möglichen Gesundheits- und Umweltgefährdung zu berücksichtigen. Pilzbefall ist von Pilzschäden zu unterscheiden.

Unterscheidungsmerkmale:

- **Pilzschäden** entstehen meist versteckt in Bauteilen, hinter Tapeten oder hinter Möbeln. Sobald sich massiv Sporen bilden sollte man generell und vorsorglich von einer Gesundheitsgefährdung ausgehen, da sich unter dem Sporengemisch auch besonders **gesundheitsgefährliche Spezies** befinden können. Sie bilden und verbreiten Millionen von Sporen. Im Grunde findet eine Aufkonzentrierung mit sehr stark erhöhten Sporenbelastung im Staub und in der Atemluft statt, die über das «natürliche Außenluftmaß» hinausgeht. Bei feuchteinduzierter Fasersättigung des Holzes können sich sogar **holzerstörende Pilze** entwickeln, die sich ansonsten eher in Kellern und im Erdboden befinden und die das Holz durch Myzelien und Myzelstränge schädigen und Zellwandbestandteile des Holzes abbauen. Die Braun-, Weiß- und Moderfäulepilze oder der echte Hausschwamm (Sonderstellung) können einen massiven Schadensumfang verursachen und deshalb sind sie sorgfältiger zu sanieren.
- **(Neubau) Pilzmängel** definieren sich über einen oberflächlichen, optisch erkennbaren und holzverfärbenden Pilzbewuchs auf Baustoffen, dem wegen eines kurzzeitigen und geringfügigen Feuchteangebots, nur eine kurze Wachstumszeit zur Verfügung stand. Die Verfärbung kann punktuell oder geschlossen vorliegen. Wächst der Pilz im Holzbereich von ca. 1 -2 mm nach innen, ist er ohne Feuchte nicht mehr wachstumsfähig und im Holz gebunden. Es kann folglich von einem geringen bis sehr geringen Sporenflug ausgegangen werden. Üblicherweise kann solch ein Pilzbefall nur bei fortwährend erhöhtem Feuchteangebot sein Wachstum fortsetzen was dann sicherlich zu einer Sporenverbreitung und damit zu einer erhöhten Gefährdung von Menschen führen würde. Generell muss jedoch **jeder sichtbare Pilzbefall** als Sichtmangel bewertet und beseitigt werden. Er wird erfahrungsgemäß als geringfügiger Mangel eingestuft und bedeutet keinen Materialmangel oder Bauschaden, sondern es handelt sich um einen Sicht- und Verunreinigungsmangel, der fachmännisch behoben werden muss, um eine Staub- oder Sporenverteilung im Gebäude zu verhindern. Eine gesundheitliche Gefährdung für Arbeiter und Bauherrschaft kann bei sachgerechter Beseitigung^[1] ausgeschlossen bzw. minimiert werden.

So äußert sich Dr. Gabrio (ehemals Landesgesundheitsamt Bad. Württ.), der in Deutschland die Schimmelpilzgrundlagen im Bauwesen maßgeblich beeinflusst hat kritisch zu uneinheitlichen Schimmelpilzbewertungen: «Die Zersplitterung des Meinungsbildes, das gerade in den letzten Jahren verstärkt in die Öffentlichkeit getragen wurde, dient nicht der Versachlichung der Schimmelpilzproblematik» ... «Nur wenige Gutachter sind sich darüber im Klaren, dass Äußerungen über eine theoretisch mögliche Wirkung von Schimmelpilzarten zur Beurteilung des gesundheitlichen Risikos im konkreten Fall nicht hilfreich sind und oft zu unbegründeten Panikreaktionen bei den Betroffenen führen» ... «Nicht-medizinische Gutachter sollten bedenken, dass sie mit Statements zur gesundheitlichen Wirkung von Schimmelpilzen eine Haftung in einem Fachgebiet übernehmen, in dem sie nicht kompetent sind.»⁶

6.1. Gesundheitliche Bewertung eines Pilzbefalls

Nur oberflächlich gewachsener und schnell entfernter Pilzbefall, der nur kurzzeitig durch Kondensat oder Restbaufeuchte wachsen konnten und dem nach den Hygiene-, Ausbleichungs- und Vorsorgemaßnahmen das «Wasser abgedreht wurde» hat keine Überlebenschance. Oftmals handelt es sich um weniger problematische Umweltpilze.

⁶ „Interdisziplinäre Zusammenarbeit ist zwingend erforderlich“ aus „umwelt-medizin-gesellschaft“ Fachzeitschrift, Ausg. 24/2/2011, S. 157

Trifft ein extrem sporender Schimmelpilz aber auf hervorragende Wachstumsbedingungen, kann er eine extrem hohe Zahl von Sporen und Hyphen bilden, die direkt gesundheitsschädlich sind, oder er gibt schädigende oder allergen wirkende b-D-Glucane, Enzyme und Toxine an die Raum- und Atemluft ab. Wird Schimmel nicht schnell und wirkungsvoll saniert, oder wächst er im Verborgenen, können seine Zellbestandteile, Stoffwechselprodukte, Sporen und Partikel beim Menschen Sensibilisierungen, Allergien, Infektionen, Vergiftungssymptome, Geruchsstörungen und noch viele weitere Befindlichkeitsstörungen auslösen.



Abbildung 10: Pilzartbestimmung auf Nährlösung

Laut UBA-Leitfaden⁷ können eingeatmete Sporen und Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen allergische und reizende Reaktionen

beim Menschen auslösen. Es wird angenommen, dass dies grundsätzlich für alle Schimmelpilze gilt.

«Umweltschimmel» wie *Cladosporium* spp. wachsen mit Vorliebe auf Lebensmitteln, Papier oder Staub, und man rechnet sie auch zu den Auslösern von (Neubau) Pilzmängeln, die nicht zu den Toxin-Bildnern zählen. *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* und *Stachybotrys* spp. hingegen zählen durch ihre Stoffwechselprodukte zu den Toxin-Bildnern.

6.2. Mykotoxine durch Pilzbefall

Geruchs- und Gesundheitsbelastungen können auch durch Mykotoxine⁸ oder durch MVOCs⁹ entstehen und werden von erfahrenen Geruchsprüfern folgendermaßen grob unterschieden:

- Geringfügiges und kurzzeitiges (Neubau) Pilzwachstum wird in der Anfangszeit nur unauffällige Mengen Mykotoxine oder MVOCs bilden und daher sollte es keinen schimmeltypischen Geruch entwickeln.
- Ein modrig-muffiger Geruch (z.B. 2-Octen-1-ol) deutet nicht auf typische (Neubau) Pilzbefall hin, sondern eher auf einen verborgenen Altschaden im Keller, im Estrich, hinter Möbeln, unter Tapeten oder Teppichen.
- Bei einem pilztypisch-scharfen Geruch (z.B. Octen-3-ol) im Gebäude vermutet man eher einen aktiven Schimmelpilz mit ausreichendem Feuchteangebot, aber keinen (Neu)Bauschimmel.
- Erdiger Geruch (z.B. Geosmin) entsteht vorzugsweise in alten Kellerräumen mit Mauerwerks- oder Bodenfeuchte und geringer Luftwechselzahl.

Geruchserfahrene Sachverständige überprüfen ihre geruchliche Beurteilung mit einer Raumluftmessung auf MVOC. Bei großen Gebäuden oder versteckten Feuchte-, Geruchs- und Pilzschäden kann es sinnvoll sein einen Schimmelpühhund zur erweiterten Quelle suchung einzusetzen.

6.3. Schimmelpilzanalytik

Einen sichtbaren (Neu)Bauschimmel untersuchen zu lassen macht wenig Sinn, wenn die Ursache und das Schadensausmaß eindeutig zuordenbar sind. Kontrollmessungen werden jedoch am Ende der Schimmelsanierung als vertrauensbildende Maßnahme generell empfohlen. Bei einer sachgerechten Durchführung der empfohlenen Maßnahmen sind keine schadenstypischen Schimmelbelastungen mehr zu erwarten.

⁷ Download <https://www.umweltbundesamt.de/www.umweltbundesamt.de/schimmelleitfaden>

⁸ Mykotoxine (Schimmelpilzgifte) sind sekundäre Stoffwechselprodukte aus Schimmelpilzen, die bei Wirbeltieren bereits in geringsten Mengen giftig wirken. Im Unterschied dazu werden die toxischen Inhaltsstoffe von Großpilzen als Pilzgifte bezeichnet. Eine durch Mykotoxine verursachte Erkrankung wird Mykotoxikose genannt. (Wikipedia)

⁹ Microbial Volatile Organic Compounds = leichtflüchtige mikrobielle organische Verbindungen/Gasgerüche durch Organismen wie Pilze, Bakterien, Hefen etc. sind durch Raumluftmessungen, Geruchsprüfer oder Schimmelhunde auffindbar.

Eine Raumluftanalyse kann nur von ausgebildeten Fachleuten durchgeführt werden. Bei einem Ursachen- oder Rechtsstreit werden meist folgende Untersuchungen zur Schimmelleinschätzung beauftragt:

- Luftkeimsammlung
- Partikelsammlung
- Luftmessung (Leichtflüchtige mikrobielle organische Verbindungen, Mykotoxine)

Entnommene Proben werden sowohl an akkreditierte Schimmelpilzlabore (Kontrollmessung, Gefährdungseinschätzung) aber auch an akkreditierte Pilz- und Materialprüfanstalten (holzerstörende Pilzgattung, Holzerstörungsmaß) versendet. Abklatsch- und Klebefilmprobenahmen sind ungenau und als orientierende Methoden oder geeignet zur End- und Reinigungskontrolle geeignet.

7. Handlungsempfehlung im Schadensfall



Abbildung 11: Wasserränder – prüfen u. behandeln

Das schnelle Eingreifen beim bloßen Erkennen einer feuchten Holz- oder Materialstelle ist dringend anzuraten. Bevor es zum Anwachsen von Pilzsporen kommen kann, sollten die Feuchtstellen pilzzerstörend mit Wasserstoffperoxid 11,9 % behandelt werden.

Eine Gebäude- und Bauteiltrocknung sollte angepasst an die aktuelle Wetterlage und an die Luft- und Materialfeuchtwerte sowie gemäß der Materialart durchgeführt werden. Der Einsatz

von Kondensattrocknern im Holzbau ist wegen der Gefahr von Rissbildungen nicht oder nur bei sachgerechter Überwachung der Holzfeuchtwerte empfehlenswert.

Geschlossene Gebäude sind mit gezieltem Heizen und Lüften zu trocknen. In noch offenen Gebäuden sollte eine Tunnel- oder Bauteiltrocknung mit Heizgebläsen durchgeführt werden. Holzbauer können sich bei solch einer Spezialtrocknung von einem erfahrenen Holzbausachverständigen anleiten lassen. Bei beiden Trocknungsarten sind fortlaufende Raumluft- und Materialprüfungen bzgl. Temperatur und Feuchte durchzuführen.

Bei einer Holz- und Tunneltrocknung sind unterschiedliche Messsondenlängen in verschiedenen Materialtiefen zu installieren und laufend zu kontrollieren, um einen verformungs- und rissfreien Holz-trocknungsverlauf garantieren zu können.

Um die Pilze im Gebäude wirkungsvoll zu bekämpfen sind ausgiebige Behandlungen und Vernebelungen mit Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und speziellen Applikationsgeräten nötig. Somit werden alle Materialoberflächen, Hohlräume aber auch die Raumluft sicherheitshalber pilzwidrig behandelt und anschließend müssen die abgetöteten Pilzstäube mit hochwertigen H-Saugern entfernt werden.

Abschließend findet eine Qualitätskontrolle mit Hilfe einer normgerechten Raumluftmessung statt. Nachweis, Zählung und Probenahme von Schimmelpilzen in der Innenraumluft (inkl. Vergleichsmessung außen) sind die Themen der

- DIN ISO 16000-16 (2009): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Filtration
- DIN ISO 16000-17 (2010): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Kultivierungsverfahren
- DIN ISO 16000-18 (2012): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Impaktion
- DIN EN ISO 16000-19 (2014): Probenahmestrategie für Schimmelpilze
- DIN ISO 16000-20 (2015): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Bestimmung der Gesamtsporenzahl
- DIN ISO 16000-21 (2014): Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme von Materialien

Die zu untersuchenden Räumlichkeiten sollten feingereinigt und 8 Stunden vor dem Beginn der Messungen nicht gelüftet werden, um den möglichen Einfluss der partikulären Belastung der Außenluft (Referenz) zu reduzieren.

8. Aussichten

Das Bauen mit Holz wird aktuell gefördert und mehrstöckige Gebäude oder Aufstockungen in Holz- oder Hybridbauweise erhalten immer häufiger den Zuschlag. Je mehr Geschosse aufeinander folgen, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass unverhofft Regenwasser in die Bauteile eindringen kann. Damit Holzbauunternehmen keine bösen Überraschungen erleben, sollte auf den Holz- und Feuchteschutz noch intensiver geachtet werden. Der Mehraufwand sollte in der Preiskalkulation berücksichtigt werden. Nicht zuletzt auch wegen immer häufiger auftretender extremer Wetterkapriolen ist vermehrt auf die Holz- und Baumaterialfeuchte zu achten. Zudem sind öffentliche und private Auftraggeber immer kritischer gegenüber Schimmelpilzbefall in ihrem Neubau eingestellt, selbst wenn es sich nur um Holzverfärbende und unproblematische Umweltpilze handelt.

Durch die Vorfertigung der Holzbauteile in trockenen Montagehallen und durch regensichere Schutzfolien während des Transports sind alle Baumaterialien optimal vor Wettereinflüssen geschützt. Auf organische und damit pilzanfälligere Dämm-, Holz- und Gipswerkstoffe ist jedoch zusätzlich während der gesamten Bauzeit zu achten. Deshalb sind stichprobenartige Holz- und Bauteilfeuchtemessungen ratsam.

9. Literaturverzeichnis

Umweltbundesamt (2017): Leitfaden Zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden («Schimmelpilz-Leitfaden»)

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (2001, überarbeitet 2004): Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement, Abgestimmtes Arbeitsergebnis des Arbeitskreises «Qualitätssicherung- Schimmelpilze in Innenräumen», Stuttgart

Bernd Nusser / Martin Teibinger: Flachgeneigte Dächer aus Holz. Planungsbroschüre. Holzforschung Austria, Wien 2010

Daniel Schmidt und Stefan Winter: Flachdächer in Holzbauweise. INFORMATIONSDIENST HOLZ Spezial, Bonn 2008.

9.1. Normenverzeichnis

- DIN 18533 – erdberührte Bauteile
- DIN 18195 – Bauwerksabdichtung
- DIN 4108-3 – Feuchte- und Regenschutz im Hochbau
- DIN 16000 – Norm zur Regelung von Raumluftmessungen u.a. bzgl. Schimmelpilze
- DIN 68800 – Holzschutznorm

Neue Normung beim Feuchteschutz fördert nachwachsende Bau- und Dämmstoffe

Prof. Dr. Hartwig M. Künzel
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Abteilung Hygrothermik
Holzkirchen, Deutschland



Neue Normung beim Feuchteschutz fördert nachwachsende Bau- und Dämmstoffe

Kurzfassung

Nachwachsende Bau- und Dämmstoffe werden in Bezug auf den Feuchteschutz häufig als kritischer angesehen als mineralische oder kunststoffbasierte Materialien. Dabei sind sie i. d. R. gute Feuchtespeicher, was im praktischen Einsatz viele Vorteile bietet und meist die winterliche Tauwasserproblematik entschärft. Der bisher übliche Feuchteschutznachweis nach Glaser berücksichtigt diese positive Eigenschaft allerdings nicht. D. h. dieses Verfahren behandelt z. B. nachwachsende Dämmstoffe genauso wie die hydrophoben Schaumstoffe oder Mineralwolleprodukte, die keinerlei Sorptionsfähigkeit besitzen. Mithilfe des neuen normativen Anhangs D zur hygrothermischen Simulation in der DIN 4108-3, kann jetzt ein Nachweis geführt werden, der die besonderen Eigenschaften der nachwachsenden Baustoffe vollumfänglich berücksichtigt. Außerdem lassen sich damit die Einflüsse von kleinen Ausführungsfehlern abschätzen. Dies dient der Bemessung feuchtetoleranter und damit langfristig schadensfreier Bauteile. Damit können Planer und Bauherren darauf vertrauen, dass Konstruktionen aus nachwachsenden Bau- und Dämmstoffen bei der Feuchtesicherheit und Dauerhaftigkeit den höchsten Ansprüchen genügen. Dieser Beitrag beschreibt die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Feuchteschutznachweisverfahren und zeigt die Neuerungen der deutschen Feuchteschutznorm DIN 4108-3 vom Oktober 2018 auf.

1. Einleitung

Will man die CO₂-Emissionen im Bausektor wirksam reduzieren, dann sollten in möglichst vielen Gebäuden nachwachsende Bau- und Rohstoffe Anwendung finden. Während beispielsweise zur Herstellung von Massivbauteilen große Mengen an CO₂ emittiert werden, bleibt bei Baukonstruktionen aus nachwachsenden Rohstoffen das gebundene CO₂ aus der Wachstumsphase im Gebäude gespeichert. D. h. die Verwertung als Baustoff ist in Bezug auf die CO₂-Bilanz wesentlich sinnvoller als z. B. die Nutzung als Brennstoff. Wichtig ist natürlich, dass dabei auch die Aspekte des Feuchteschutzes angemessen berücksichtigt werden, denn nur langlebige Bauteile speichern das CO₂ auch dauerhaft und sparen zudem Reparatur- und Sanierungskosten. Bei richtiger Planung und Ausführung hat der Einsatz von Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen meist deutlich mehr Vorteile als Nachteile. Mithilfe der Neufassung der DIN 4108-3 zum klimabedingten Feuchteschutz vom Oktober 2018 lassen sich Bauteile generell wesentlich besser und schadensfreier bemessen als das mit dem 60 Jahre alten Glaserverfahren möglich ist.

2. Was bedeutet Feuchteschutz

Der Feuchteschutz dient neben der Hygiene für die Nutzer vor allem der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Konstruktionen. Durch die Notwendigkeit der Energieeinsparung ist dessen Bedeutung weitergewachsen, denn mit der Verbesserung von Wärmedämmung und Gebäudedichtheit sind auch die Feuchtelasten gestiegen. Das liegt einerseits an der tendenziell höheren Raumluftfeuchte in dichten Gebäuden, andererseits nimmt durch die größeren Temperaturunterschiede zwischen innerer und äußerer Bauteiloberfläche die Gefahr von Tauwasserbildung zu. Da weniger Wärme aus dem Raum in der Gebäudehülle ankommt, kann weniger Wasser verdunsten, so dass unplanmäßig eingedrungene Feuchte, wie z. B. Tauwasser durch Luftkonvektion oder Baufeuchte, zu einem Schadensrisiko werden kann.

Vor der Auswahl geeigneter Feuchteschutzmaßnahmen ist eine Analyse der klimatischen Bauteilbeanspruchungen erforderlich. Weicht das Raumklima von den üblichen Verhältnissen in Wohn- oder Bürogebäuden ab, hat das häufig große Auswirkungen auf das Feuchteverhalten einer Konstruktion. Standardlösungen, wie sie in Normen, Verbandsrichtlinien oder Produktbeschreibungen zu finden sind, können hier Probleme bereiten. Das gleiche

gilt für Außenklimaverhältnisse, die vom bekannten Standardklima abweichen. Während den meisten Planern bewusst ist, dass eine Konstruktion in den Tropen anderen wärme- und feuchtetechnischen Belastungen ausgesetzt ist als in Mitteleuropa, ist die Wahrnehmung klimatischer Unterschiede innerhalb eines Landes oder einer Region häufig zu gering. Besonders verschattete Gebäude oder solche in Hochlagen, deren Oberflächen sich auch im Sommer nicht ausreichend erwärmen, sind besonderen Risiken ausgesetzt.

Neben der Dampfdiffusion aus dem Raum gibt es in der Praxis auch andere – manchmal wesentlich bedeutendere – Feuchtebeanspruchungen, wie z. B.:

- Tauwasser infolge von konvektiv einströmender Raumluft im Winter,
- Feuchtebeanspruchung durch Bau- und Sorptionsfeuchte,
- Schlagregenbeanspruchung,
- aufsteigende Grundfeuchte,
- Tauwasser von außen auf Grund von nächtlicher Unterkühlung oder durch Umkehrdiffusion bei Besonnung.

Die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit sowie das energetische Verhalten von Baukonstruktionen werden durch das Zusammenspiel von Feuchte- und Temperaturbeanspruchungen beeinflusst. Negative Auswirkungen, die vor allem durch zu hohe Feuchte oder zu rasche Temperatur- und Feuchtewechsel hervorgerufen werden, sind z. B.:

- feuchtebedingte Erhöhung des Heizenergieverbrauchs,
- Schäden durch physikalische Prozesse, z. B. Frost-Tau, Salzkristallisation,
- Schäden durch chemische Reaktionen, z. B. Korrosion,
- Schäden durch mikrobielles Wachstum, z. B. Algen, Pilze, Bakterien,
- Alterung oder Entfestigung durch Feuchtewechsel- (Quell- und Schwindvorgänge) sowie temperaturbedingte Verformungsprozesse.

Zur Beurteilung der Risiken von Feuchte in Bauteilen stehen dem Planer Methoden und Richtlinien unterschiedlicher Komplexität und Genauigkeit zur Verfügung auf die im Folgenden etwas näher eingegangen wird.

3. Methoden und Richtlinien zur Feuchteschutzbeurteilung

Die Bauphysik hat sich im Wesentlichen aus experimentellen Untersuchungen und empirischen Erfahrungen entwickelt. Während numerische Rechenverfahren auf den Gebieten der Tragwerksplanung und der Energieoptimierung bereits seit langem zum Standardrepertoire von Bauingenieuren gehören, setzen sich Simulationsverfahren zur Beurteilung des feuchtetechnischen Verhaltens von Baukonstruktionen nur langsam durch. Gleichzeitig wird von vielen Planern nach wie vor die in den 50er Jahren von Glaser (1958) entwickelte, stationäre Dampfdiffusionsberechnungsmethode eingesetzt. Im Folgenden werden die Hintergründe beider Berechnungsmethoden kurz zusammengefasst.

3.1. Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser

Das sog. Glaser-Verfahren betrachtet ausschließlich die Tauwassergefahr unter winterliche Bedingungen. Es arbeitet mit stationären Randbedingungen und vernachlässigt alle wärme- und feuchtetechnischen Speicherphänomene sowie den Feuchtetransport durch Kapillarleitung, die vor allem bei mineralischen Baustoffen und solchen aus nachwachsenden Rohstoffen eine große Rolle spielen. In der Fassung der DIN 4108-3 von 2014 wurden gegenüber früher neue Randbedingungen für die Tau- und für die Verdunstungsperiode eingeführt. Das neue Rechenverfahren nennt sich Periodenbilanzverfahren. Es geht davon aus, dass für die Tauwasserbildung und die anschließende Verdunstung in erster Linie die Winter- bzw. Sommermonate eine Rolle spielen, während die Übergangszeiten von untergeordneter Bedeutung sind. Deshalb werden die Diffusionsberechnungen nicht, wie in der DIN EN ISO 13788 Vorlage (2013) auf der Basis von Monatsmittelwerten durchgeführt. Stattdessen werden die Wintermonate zu einer 90-tägigen Tauperiode (Außenluftbedingungen -5 °C , 80% r.F.; Raumluftbedingungen 20 °C , 50% r.F.) und die Sommermonate

zu einer 90-tägigen Verdunstungsperiode (Dampfdruck von Raum- und Außenluft 1200 Pa) zusammengefasst. Dadurch gelingt es, das neue Verfahren sehr ähnlich aussehen zu lassen, wie das alte.

Eine Anpassung dieser Randbedingungen an andere Gebäudenutzungs- oder Außenklimabedingungen ist unzulässig, da es sich beim Periodenbilanzverfahren um ein modellhaftes Nachweis- und Bewertungsverfahren handelt, das nicht die realen physikalischen Vorgänge in ihrer tatsächlichen zeitlichen Abfolge abbildet.

3.2. Hygrothermische Simulation

Bei der hygrothermischen Simulation wird das dynamische Temperatur- und Feuchteverhalten von Baukonstruktionen in Abhängigkeit von den wechselnden Randbedingungen realitätsnah abgebildet. Das hat den Vorteil, dass alle oben genannten Wärme- und Feuchtetransportphänomene sowie eventuelle Quellen und Senken in ihren Auswirkungen berücksichtigt werden können. Die Durchführung einer hygrothermischen Simulation ist allerdings komplizierter als eine Glaser-Berechnung und erfordert mehr Eingangsdaten, die nicht immer alle vorhanden sind. Außerdem sollte der Anwender eine gewisse Erfahrung im Umgang mit numerischen Berechnungsmethoden mitbringen. Die Möglichkeiten und Grenzen der hygrothermischen Simulation sowie ihre Anwendung zur Feuchteschutzbeurteilung sind Gegenstand der DIN EN 15026 (2007) „Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation“. Sie basiert auf den Inhalten des WTA-Merkblatts 6-2 „Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse“ von 2001 (aktualisierte Fassung Dez. 2014).

3.3. Bedeutung für die Praxis

Seit dem Erscheinen der DIN EN 15026 ist die Akzeptanz und die praktische Anwendung von hygrothermischen Simulationsverfahren zur Feuchteschutzbeurteilung von Bauteilen stark angestiegen. In begründeten Fällen kann es weiterhin ausreichend sein, nur eine Glaser-Berechnung durchzuführen, allerdings müssen das zu beurteilende Bauteil und der geplante Einsatz auch dafür geeignet sein. Für jemanden, der bislang keine Erfahrungen mit hygrothermischen Simulationsverfahren sammeln konnte, ist es sinnvoll, zu Anfang beide Beurteilungsmethoden einzusetzen, um die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu eruieren.

Sowohl das Periodenbilanzverfahren nach Glaser als auch die hygrothermische Simulation durchgeführt gemäß DIN EN 15026 (2007) haben einen gravierenden Schönheitsfehler. Sie setzen voraus, dass Außenbauteile ohne jegliche Fehlstellen ausgeführt werden, d. h. die Möglichkeit von Feuchteinträgen durch Luftkonvektion oder Schlagregenpenetration wird nicht betrachtet. Das hat in der Vergangenheit häufig dazu geführt, dass Bauteile mit sehr diffusionshemmenden inneren und äußeren Schichten geplant wurden. Wenn dann doch eine gewisse Feuchte während der Bauphase oder im Betrieb in die Konstruktion eindrang, konnte dieses Wasser nur sehr langsam wieder austrocknen. Dadurch waren zahlreiche Schäden, insbesondere bei Holzkonstruktionen, zu verzeichnen. Die Holzschutznorm DIN 68800-2 (2012) hatte bereits darauf reagiert indem sie basierend auf Empfehlungen in Künzel (1999) und Borsch-Laaks et al. (2009) bei der Dampfdiffusionsberechnung die Berücksichtigung einer sog. Trocknungsreserve von 100 g/m² bei Wänden bzw. 250 g/m² bei Dächern fordert. Diese Trocknungsreserve wird zur errechneten Tauwassermenge addiert bevor diese mit der Verdunstungsmenge verglichen wird.

Das Prinzip der Trocknungsreserve zur Berücksichtigung von Konvektionseffekten ist auch auf die hygrothermische Simulation übertragbar und wurde dort auch schon erfolgreich angewendet (Künzel et al. 2010). Es ist auch in der Neufassung des WTA Merkblatts 6-2 von (2014) zur hygrothermischen Simulation enthalten. Dieses Merkblatt zeigt auch wie das Eindringen von Schlagregen durch kleine Fehlstellen in der Konstruktion (z.B. bei Fensteranschlüssen gedämmter Fassaden) rechnerisch behandelt werden kann, indem beispielsweise eine gewisse Menge des auf die Fassade auftreffenden Schlagregens in die Konstruktion eingebracht wird. Solche Prinzipien, die kaum vermeidbare Fehlstellen in der Konstruktion berücksichtigen, werden in Zukunft eine wesentlich größere Rolle spielen. Sie helfen bei der Planung feuchtetoleranter Bauteile, die selbst bei Anwesenheit kleiner

Fehlstellen schadensfrei bleiben. Umgekehrt können auch solche Konstruktionen identifiziert werden, die nur bei perfekter Ausführung und regelmäßiger Wartung dauerhaft funktionieren. Hier muss der ausführende Betrieb eine besondere Qualitätskontrolle vorsehen oder vom Architekten eine feuchtetechnische Nachbesserung seiner Planung verlangen.

4. Neuerungen in der DIN 4103-3 von Oktober 2018 gegenüber 2014

Die DIN 4103-3 von Oktober 2018 beschreibt zum ersten Mal explizit das dreistufige Verfahren zur Feuchteschutzbeurteilung von Baukonstruktionen. Der Nachweis der feuchtetechnischen Unbedenklichkeit von Baukonstruktionen kann im Prinzip mittels geeigneter Vorgehensweisen unterschiedlicher Komplexität (Stufe) durchgeführt werden. Die 1. Stufe ist die Auswahl einer nachweisfreien Konstruktion, die 2. Stufe der einfache Nachweis mithilfe des Periodenbilanzverfahrens und die 3. Stufe der Nachweis durch hygrothermische Simulation.

Damit wird klar ausgedrückt, dass die Auswahl einer nachweisfreien Konstruktion, die Beurteilung mithilfe des Periodenbilanzverfahrens (Glaserverfahren mit den Randbedingungen von 2014) und die Beurteilung durch hygrothermische Simulation nach Anhang D gleichberechtigt nebeneinanderstehen sofern für den jeweiligen Fall keine Einschränkungen in Hinblick auf die Anwendbarkeit gelten. Beispielsweise können die ersten beiden Stufen nur zur Beurteilung von Bauteilen für nicht klimatisierte Wohn- oder wohnähnlich genutzte Gebäude verwendet werden. Weitere Einschränkungen beziehen sich auf spezielle Bauteile, wie z.B. begrünte oder bekiesete Dachkonstruktionen, erdberührte Bauteile, Bauteile die an unbeheizte Räume angrenzen, etc..

4.1. Nachweisfreie Konstruktionen

Bei den nachweisfreien Konstruktionen wurden im Vergleich zur Version von 2014 inhaltlich nur geringe Anpassungen vorgenommen. Neu aufgenommen wurde die Dämmung von bestehenden Dachkonstruktionen von außen mit Umschlaufung der Sparren durch eine Schicht mit variablem s_d -Wert.

4.2. Nachweis mithilfe des Periodenbilanzverfahrens nach Glaser

Die Anwendungseinschränkungen dieser Nachweismethode wurden weiter präzisiert und ausgeweitet. Beispielsweise wurden neben Flachdächern mit Begrünung auch solche mit Bekiesung, Plattenbelägen oder Holzrosten ausgeschlossen. Dasselbe gilt für Holzdachkonstruktionen mit Metaldeckung oder ähnlich dichten Eindeckungen ohne Hinterlüftung der Eindeckung. Außerdem wurden zahlreiche Warnhinweise für Bauteile aufgenommen die durch Schichten mit $s_d > 2$ m begrenzt sind. Auf die Einführung einer zusätzlichen Trocknungsreserve, wie in der DIN 68800-2 (2012), wurde verzichtet, aufgrund von Bedenken bezüglich der Allgemeingültigkeit dieser Vorgehensweise.

4.3. Nachweis durch hygrothermische Simulation

Eingaben, Durchführung der hygrothermischen Simulation und Ergebnisbewertungen sind im normativen Anhang D der DIN 4103-3 (2018) beschrieben. Der Inhalt dieses Anhangs umfasst:

- Allgemeines
- Klimadatensätze, raumseitige Randbedingungen und Oberflächenübergang
- Anfangsbedingungen, z. B. Rohbaufeuchte
- Feuchtequellen aufgrund von Luftkonvektion oder Schlagregenpenetration durch unvermeidbare Leckagen
- Beurteilung der Simulationsergebnisse
- Wahl geeigneter Simulationsverfahren, Fehlerkontrolle, Dokumentation

5. Schlussfolgerungen

Bis 2014 stand das Glaserverfahren in der Feuchteschutznorm DIN 4108-3 von 2001 absolut im Vordergrund bei der Feuchteschutzbeurteilung. Das hatte nicht nur den Nachteil, dass risikoreiche, beidseitig diffusionshemmende Konstruktionen den feuchtetechnischen Nachweis bestanden, während es in der Praxis bereits zahlreiche Schadensfälle gab. Die Norm stellte auch ein großes Innovationshemmnis und eine Benachteiligung ökologischer Bauweisen dar. Da mit dem Glaserverfahren weder feuchteadaptive bzw. feuchtevariable Dampfbremsen noch kapillaraktive Dämmstoffe abgebildet werden können, mussten Hersteller solcher Produkte auf die hygrothermische Simulation ausweichen ohne dafür aber eine ausreichende Unterstützung durch die Norm zu bekommen, d. h. es bestand immer ein gewisses Risiko sich in einer rechtlichen Grauzone zu bewegen. Ähnliches galt auch für Flachdächer mit Begrünung, die explizit von einem Nachweis mithilfe des Glaserverfahrens ausgenommen waren. Da das Glaserverfahren keinerlei Feuchtespeicherung durch Sorption kennt, die das Tauwasserrisiko reduziert, konnten auch die Vorteile von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen nicht berücksichtigt werden. Gleichzeitig war es aber auch nicht möglich das Risiko der Einbaufeuchteumlagerung im Temperaturgefälle bei solchen Stoffen zu beurteilen.

Durch die Fassung vom November 2014 wurde die hygrothermische Simulation als echte Alternative zur Feuchteschutzbeurteilung nach Glaser etabliert, allerdings ohne genauere Angaben zur Durchführung einer solchen Simulation in der Norm. Damit lag das Risiko für eine Fehlanwendung oder Fehlinterpretation der Ergebnisse nach wie vor beim Anwender. Erst durch die Neufassung von Oktober 2018 wurde die hygrothermische Simulation mithilfe eines normativen Anhangs der Glaser-Berechnung gleichgestellt bzw. sogar höher bewertet, da gleichzeitig eine ganze Reihe von Einschränkungen für den Feuchteschutznachweis nach Glaser aufgenommen wurden. Der größte Fortschritt bei der Feuchteschutzbeurteilung liegt jedoch in der Planbarkeit feuchtetoleranter Konstruktionen. Durch die Berücksichtigung von unvermeidbaren Fehlstellen in Form von Feuchteinträgen, die auch bei Konstruktionen auftreten, die nach dem Stand der Technik ausgeführt wurden, ist es möglich Bauteile so auszulegen, dass auch unter praktischen Bedingungen Feuchteschäden sehr unwahrscheinlich werden. Damit wird auch dem Dauerhaftigkeitsaspekt endlich genügend Rechnung getragen.

6. Referenzen

Ackermann, TH., Kießl, K. und Grafe, M. (2013). Systematische rechnerische Untersuchungen zur ergänzenden Absicherung vereinfachter nationaler Klima-Randbedingungen bei der Übernahme des Diffusionsnachweisverfahrens gemäß EN ISO 13788 in die nationale Feuchteschutznorm DIN 4108-3. *Bauforschung Band T3288*, IRB Verlag, Stuttgart.

Borsch-Laaks, R., Zirkelbach, D., Künzel, H. M., Schafaczek, B. (2009). Trocknungsreserven schaffen! – Konvektive Feuchtebelastung bei Holzbaukonstruktionen und ihre Beurteilung mittels Glaserverfahren. *Tagungsband 30. AIVC Conference*, Berlin.

DIN 68 800-2 (2012): Holzschutz – Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.

DIN EN 15026 (2007). Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation.

DIN EN ISO 13788 (2013). Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren.

Glaser, H. (1958). Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis. *Kältetechnik 10*, H. 11, S. 358 – 364 und H. 12, S. 386 – 390.

Künzel, H. M. (1999). Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis? *IBP Mitteilung 26*, Nr. 355.

Künzel, H. M., Zirkelbach, D., Schafaczek, B. (2010). Berücksichtigung der Wasserdampfkongvektion bei der Feuchteschutzbeurteilung von Holzkonstruktionen. *wksb 55*, H. 63, S. 25 – 33.

WTA-Merkblatt 6-2 (2014). Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse.

Lüftung – Einfach und Modular

Praxisuntersuchung von Abluftanlagen mit ALD und dezentralen Lüftern mit WRG

Heinrich Huber
Hochschule Luzern, IGE
Horw, Schweiz



Praxisuntersuchung von Abluftanlagen mit ALD und dezentralen Lüftern mit WRG

Zusammenfassung

In 10 Siedlungen wurden in insgesamt 22 Wohnungen die installierten Einzel-Raum-Lüftungsgeräte und Abluftanlagen mit Aussenbauteil-Luftdurchlässen (ALD) untersucht. 13 Wohnungen waren mit Abluftanlagen mit ALD ausgerüstet, der Rest mit Einzel-Raum-Lüftungsgeräten. Im Rahmen des Projekts wurden die Filter gewechselt sowie die Geräte und die ALD gereinigt. Davor und danach wurden die Luftvolumenströme gemessen. Ebenfalls wurde der allgemeine Zustand und die Häufigkeit des Filterwechsels erfasst.

Bei den untersuchten Einzel-Raum-Lüftungsgeräten hatten Verschmutzungen die Luftvolumenströme um bis zu 80 % reduziert. Die Zuluft wurde in den meisten Fällen stärker beeinflusst als die Abluft. Um den Anfangswert wieder zu erreichen, genügt es nicht nur die Filter zu wechseln, sondern das gesamte Gerät, inkl. u. U. schlecht zugänglicher Elemente wie Aussenluftgitter und Insektenschutzgitter, muss gereinigt werden.

Eine Disbalance (ungleicher Zuluft- und Abluftvolumenstrom) reduziert den Nutzen der Wärmerückgewinnung (WRG). Eine Disbalance kann durch Verschmutzungen, Windeinflüsse und Auftriebskräfte, aber auch durch eine Kombination mit Abluftventilatoren in Bad/Dusche/WC entstehen. Je empfindlicher die Ventilatoren auf Störeinflüsse reagieren, desto grösser wird die Disbalance. Gegenüber dem Temperaturverhältnis (vereinfacht: Wirkungsgrad der WRG), das auf dem Prüfstand ermittelt wird, können die Disbalance, der Vereisungsschutz und geräteinterne Einflüsse den Nutzen der WRG markant reduzieren. Wenn auf dem Prüfstand ein Temperaturverhältnis von z. B. 70 % ermittelt wird, dürften die Lüftungswärmeverluste (bei einem mittleren europäischen Klima) bei den untersuchten Geräten typischerweise um ca. 40 bis 60 % reduziert werden.

Bei den Abluftanlagen mit ALD hat sich ebenfalls gezeigt, dass die Reinigung und der Filterwechsel einen deutlich grösseren Einfluss auf die Zuluft als auf die Abluft haben. Hier haben Verschmutzungen den Luftvolumenstrom um bis zu ca. 60 % reduziert. Bezüglich der Schweizer Normen waren die untersuchten ALD zu knapp dimensioniert. Bei den meisten marktgängigen Produkten müssten pro Zimmer zwei ALD eingesetzt werden, um den Anforderungen zu genügen.

Sowohl bei Abluftanlagen mit ALD wie auch bei Einzel-Raum-Lüftungsgeräten lag der Zuluftvolumenstrom im angetroffenen Zustand bei rund 60 % der Räume mindestens 30 % unter dem Minimalwert der Schweizer Wohnungslüftungsnorm SIA 2023. Bei etwa einem Viertel der Räume wurde gar ein Zuluftvolumenstrom gemessen, der bei höchstens 30 % des Normwertes lag. Dabei ist zu beachten, dass der hygienische Zustand im Allgemeinen zufriedenstellend bis gut war. Trotzdem führten Verschmutzungen zu massiv reduzierten Luftvolumenströmen. Das heisst, dass für diese Art von Anlagen eine regelmässige, professionelle Wartung unabdingbar ist. Insbesondere in Mietwohnungen können diese Arbeiten nicht an die Bewohner delegiert werden. Für eine einwandfreie Funktion der Lüftungsgeräte, resp. Elemente sind je nach Aussenluftqualität jährlich ein bis drei Instandhaltungsgänge durch Fachpersonen erforderlich.

1. Vorbemerkungen

Der Beitrag ist nach den schweizerischen Rechtschreiberegeln verfasst. Die Begriffe entsprechen Schweizer Normen und teilweise den deutschsprachigen Übersetzungen von Europäischen Verordnungen und CEN-Normen. In den Tabellen 1 und 2 finden sich die Beschreibungen der verwendeten Abkürzungen und Begriffe.

Tabelle 1: Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung	Abkürzung	Beschreibung
ABL	Abluft	SPI	Spezifische elektrische Geräteleistung (Specific Power Input)
ALD	Aussenbauteil-Luftdurchlass (vgl. Tab. 2)	WRG	Wärmerückgewinnung
AUL	Aussenluft	ZUL	Zuluft

Tabelle 2: Begriffe

Begriff	Beschreibung
Abluftanlage	Ventilatorgestützte Lüftung nur mit Abluftventilator. Hier sind immer Anlagen gemeint, bei denen die Ersatzluft hauptsächlich durch ALD nachströmt.
Aussenbauteil-Luftdurchlass	Luftdurchlass, der den geplanten Durchgang von Luft durch die äussere Gebäudehülle ermöglicht
Balancierte Lüftung	Ventilatorgestützte Lüftung, bei der Zu- und Abluftstrom den gleichen Auslegungswert besitzen und zeit- und lastabhängig aneinander angepasst werden
Einzel-Raum-Lüftungsgerät	Lüftungsgerät für die Lüftung einzelner Räume, hier immer mit WRG. Diese Geräte werden teilweise auch als 'dezentrale Lüfter mit WRG' bezeichnet.
Disbalance	Betriebszustand einer ventilatorgestützten Lüftung, bei der Zu- und Abluftvolumenstrom (temporär oder dauerhaft) nicht gleich gross sind.

2. Ausgangslage und Abgrenzung

In Schweizer Wohnbauten werden zunehmend Abluftanlagen mit ALD und Einzel-Raum-Lüftungsgeräte eingesetzt. Energieeffiziente Wohnraumlüftungen sind ein wichtiges Element in den kantonalen Energievorschriften [1]. Es ist unklar, wie weit die heutigen Abluftanlagen und Einzel-Raum-Lüftungsgeräte den schweizerischen Normen und Standards entsprechen. Die Energiefachstellen Regionalkonferenz Ostschweiz hat daher die Hochschule Luzern beauftragt solche Anlagen in einem Praxistest zu untersuchen. Die Untersuchung wurde 2017/18 durchgeführt und ist in einem Schlussbericht dokumentiert [2].

Die Untersuchung beschränkt sich auf raumluftechnische Einrichtungen in Wohnungen von Mehrfamilienhäusern. Bei den Einzel-Raum-Lüftungsgeräten wurden nur Geräte mit kontinuierlichem Betrieb untersucht, da alternierend arbeitende Lüftungsgeräte (Push-Pull) in der Schweiz bisher wenig verbreitet sind.

3. Vorgehen und Methode

Aus 10 Siedlungen wurden insgesamt 22 Wohnungen ausgewählt. In 13 Wohnungen mit Abluftanlagen wurden insgesamt 59 ALD und 31 Abluft-Durchlässe untersucht. In 9 Wohnungen mit Einzel-Raum-Lüftungsgeräten wurden insgesamt 16 Geräte untersucht. In diesen Wohnungen waren zudem 19 Abluftventilatoren (Bad/Dusche/WC) vorhanden. Im Rahmen des Projekts wurden die Filter gewechselt sowie die Geräte und die ALD gereinigt. Davor und danach wurden die Luftvolumenströme gemessen. Ebenfalls wurde der allgemeine Zustand und die Häufigkeit des Filterwechsels erfasst.

Ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen wurde der State of Art bei Abluftanlagen mit ALD und bei Einzel-Raum-Lüftungsgeräten beurteilt.

4. Ergebnisse der Praxisuntersuchung

4.1. Zustand der Anlagen

Interventionen durch Bewohner

Die Funktion von Anlagen kann durch Interventionen von Bewohnern beeinflusst werden. Dies kann ein manuelles oder zeitgesteuertes Abschalten von Geräten sein oder auch ein Verstellen von Luftdurchlässen. Bei der Erfassung der Interventionen (Abb. 1) wurde unterschieden, ob diese zeitlich begrenzt (z. B. nachts) oder dauernd erfolgten.

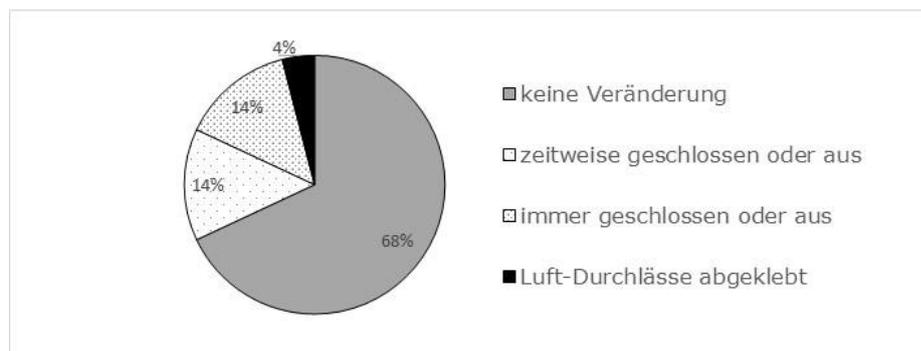


Abbildung 1: Interventionen durch Bewohner an den Lüftungen in den untersuchten Objekten

Hygiene und Verschmutzungen

Teilweise war ein regelmässiger Filterwechsel organisiert, so wurden bei 50 % der Wohnungen die Filter im letzten Jahr (oder kürzer) ersetzt. Bei 23 % der Wohnungen fand der letzte Filterwechsel vor 1 bis 2 Jahren statt. Bei 27 % der Wohnungen lag dies mehr als 2 Jahre zurück, resp. wurde noch nie durchgeführt (gemäss Erinnerung der Bewohner). Die untersuchten Einzel-Raum-Lüftungsgeräte waren alle mit Zuluftfiltern der Klasse F7 ausgerüstet, was den Schweizer Normen entspricht. Die ALD waren mit Aussenluftfiltern der Klassen G3 und G2 bestückt (die Norm-Anforderungen dazu sind nicht eindeutig).

Der angetroffene hygienische Zustand wurde visuell beurteilt und in drei Klassen (leicht, mittel und stark verschmutzt) eingeteilt. Die Auswertung in Abb. 2 zeigt, dass neben den Aussenluftfiltern speziell die Aussenluft-Gitter (inkl. Insektenschutzgitter) die am stärksten verschmutzten Elemente waren.

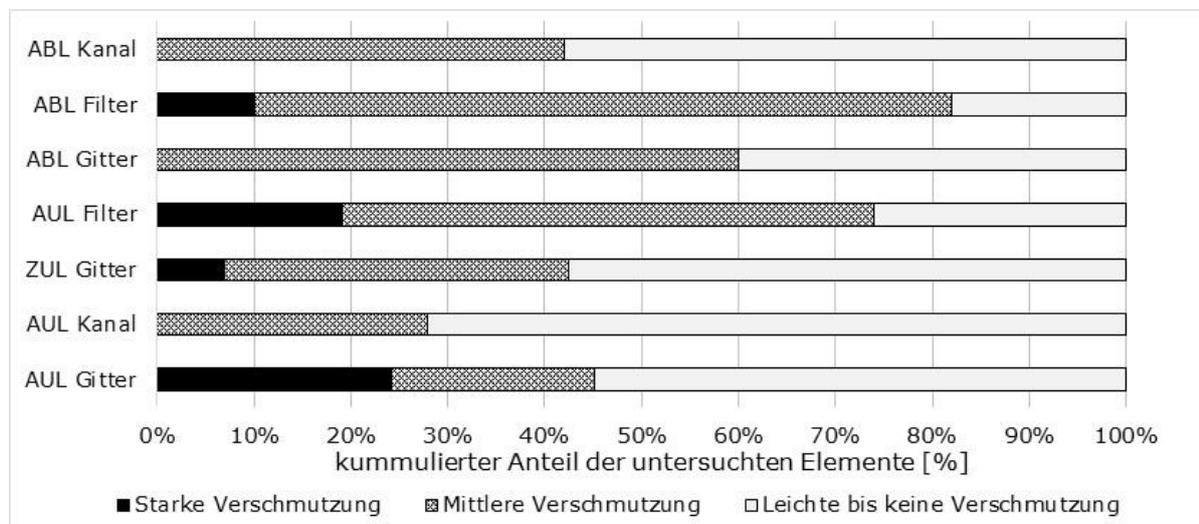


Abbildung 2: Auswertung der qualitativen Bewertung der Grobbeurteilung zur Hygiene (Total 22 Wohnungen)

Bei 7 Wohnungen wurden verdächtige Ablagerungen festgestellt, die ev. Schimmel enthalten könnten, bzw. es wurden Konditionen angetroffen, die ein erhöhtes Risiko für Schimmelbefall darstellen können (Kondensat an den Bauteilen). Im Projekt wurden keine Schimmeltests durchgeführt.

Komfort

In der Untersuchung wurden keine Schall- oder Behaglichkeitsmessungen durchgeführt. In den Objekten, in denen die Bewohner bei den Messungen anwesend waren, wurde diese Aspekte jedoch qualitativ abgefragt.

Einige Bewohner hatten ihre Einzel-Raum-Lüftungsgeräte nachts oder auch dauernd ausgeschaltet, da sie diese als zu laut empfinden. In anderen Wohnungen wurde dazu keine Bemerkungen gemacht. Auch bei den Abluftanlagen mit ALD war der Schall teilweise störend. Dabei wurden laute Abluftventilatoren bemängelt, welche dauernd in Betrieb sind.

Bei den Abluftanlagen mit ALD war Zugluft öfters ein Thema als bei Einzel-Raum-Lüftungsgeräten. In mehreren Objekten wurden die ALD in einzelnen oder allen Zimmern zeitweise oder dauernd geschlossen. In einem Objekt wurden die ALD gar abgeklebt. In einer Wohnung mit Einzel-Raum-Lüftungsgeräten war die Lüftung quasi ausser Betrieb gesetzt, indem die Schieber bei der Zuluft und Abluft geschlossen wurden.

4.2. Reinigung

Die untersuchten Lüftungselemente wurden gereinigt und, falls vorhanden, die Filter gewechselt. Diese Tätigkeit wird im Folgenden vereinfacht als Reinigung bezeichnet. In einigen Fällen waren Insektenschutzgitter (feinmaschige Gitter nach dem Aussenluftgitter) vorhanden. Diese Elemente waren teilweise schwer zugänglich, z. B. nur durch Demontage von anderen Elementen. Für Bewohner war es in solchen Fällen kaum ersichtlich, dass diese Elemente vorhanden sind und dass sie gereinigt werden müssen. Die schlecht zugänglichen Insektenschutzgitter waren in einigen Fällen stark verschmutzt. Die Reinigung dieser Elemente hat den Luftstrom stärker erhöht als der Filterwechsel.

4.3. Vergleich mit den Norm-Luftmengen

Die gemessenen Luftmengen wurden mit den Minimalwerten des aktuellen schweizerischen Standards SIA 2023 [3] verglichen. Diese Norm-Luftmengen sind:

- Zuluftvolumenstrom für Wohn- und Schlafzimmer 30 m³/h;
- Abluftvolumenstrom in Küche, Bad und Dusche 40 m³/h;
- Abluftvolumenstrom in einem WC (ohne Bad oder Dusche) 20 m³/h.

Die Auswertung der Abluftanlagen mit ALD zeigt bei der Zuluft einen deutlich grösseren Einfluss der Reinigung und des Filterwechsels als auf der Abluftseite (Abb. 3). Oft waren ALD vorhanden, welche zum Erreichen der Norm-Luftmengen höhere Unterdrücke in der Wohnung erfordern, als die 4 bis 5 Pa, die gemäss SIA 2023 vorgegeben werden.

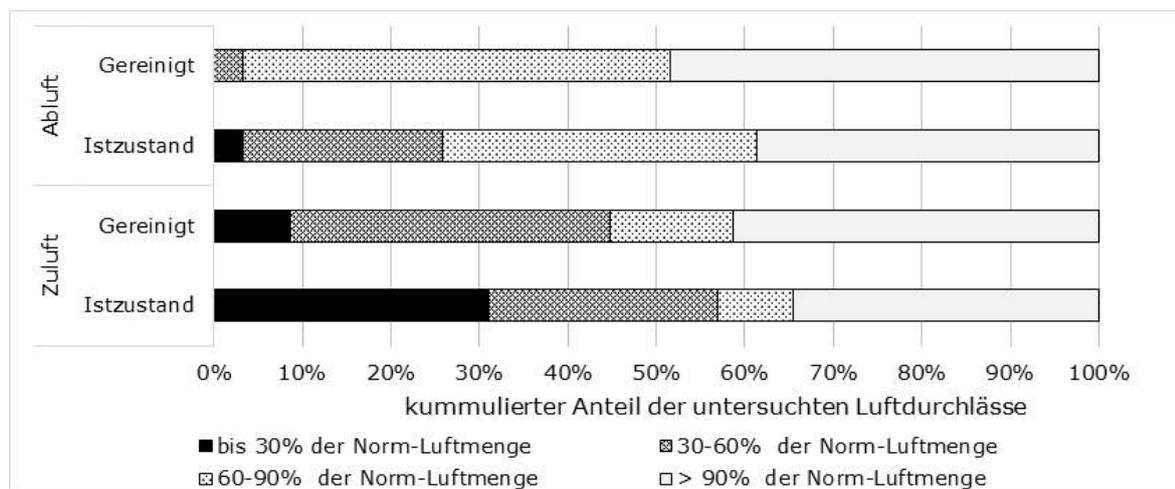


Abbildung 3: Vergleich mit Luftmengen gem. SIA 2023 vor/nach der Reinigung bei Abluftanlagen mit ALD

Die Auswertung der Objekte mit Einzel-Raum-Lüftungsgeräten (Abb. 4) zeigt insbesondere bei der Zuluft einen grossen Einfluss von Reinigung und Filterwechsel. Dass im gereinigten Zustand auf der Abluftseite eine tiefere Einhaltung der Norm-Luftmengen vorhanden ist als auf der Zuluftseite, dürfte mit den zusätzlichen Abluftanlagen (Bad/Dusche/WC) zusammenhängen.

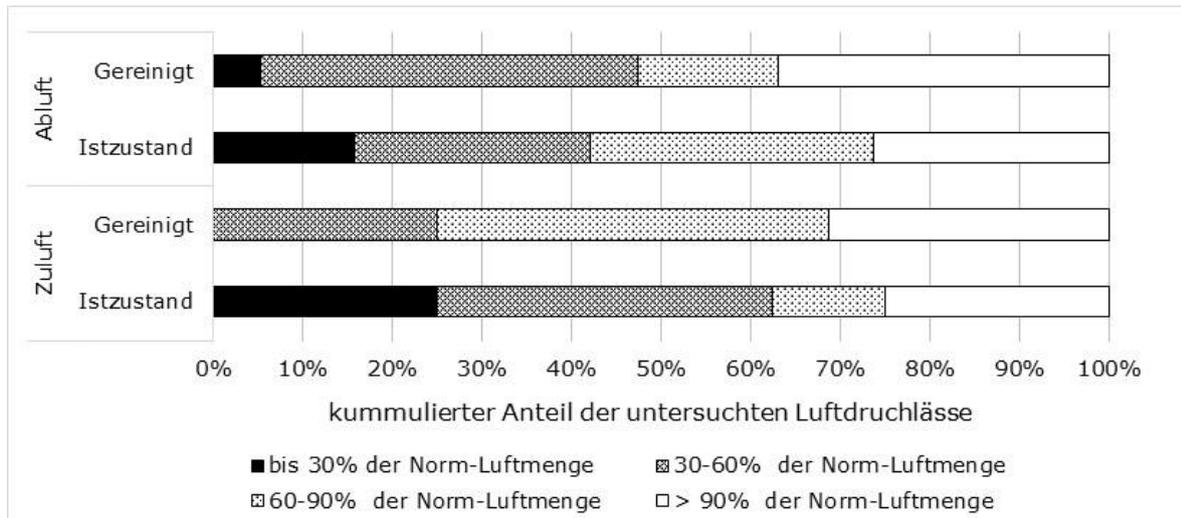


Abbildung 4: Vergleich mit Luftmengen gem. SIA 2023 vor/nach der Reinigung bei Einzel-Raum-Lüftungsgeräten

4.4. Disbalance der Einzel-Raum-Lüftungsgeräte

Bei den Einzel-Raum-Lüftungsgeräten wurde die Disbalance vor und nach der Reinigung ausgewertet. In Abb. 5 bedeutet ein positiver Wert ein Zuluftüberschuss und ein negativer Wert ein Abluftüberschuss. Durch die Reinigung wurde der Betrag der Disbalance in 9 (von 16) Fällen zum Teil deutlich reduziert, in 5 Fälle aber auch erhöht. Nur in 2 Fällen war vor und nach der Reinigung eine vernachlässigbar kleine Disbalance vorhanden. Bei einigen Geräten (Nr. 123, 613 und 622) war ein Zuluftüberschuss von 50 % aus akustischen Gründen bewusst geplant. In einigen Wohnungen werden Einzel-Raum-Lüftungsgeräte durch die zusätzlichen Abluftventilatoren stark beeinflusst. Beim Gerät 612 wurde deshalb nach der Reinigung gar auf der Abluftseite Luft angesaugt.

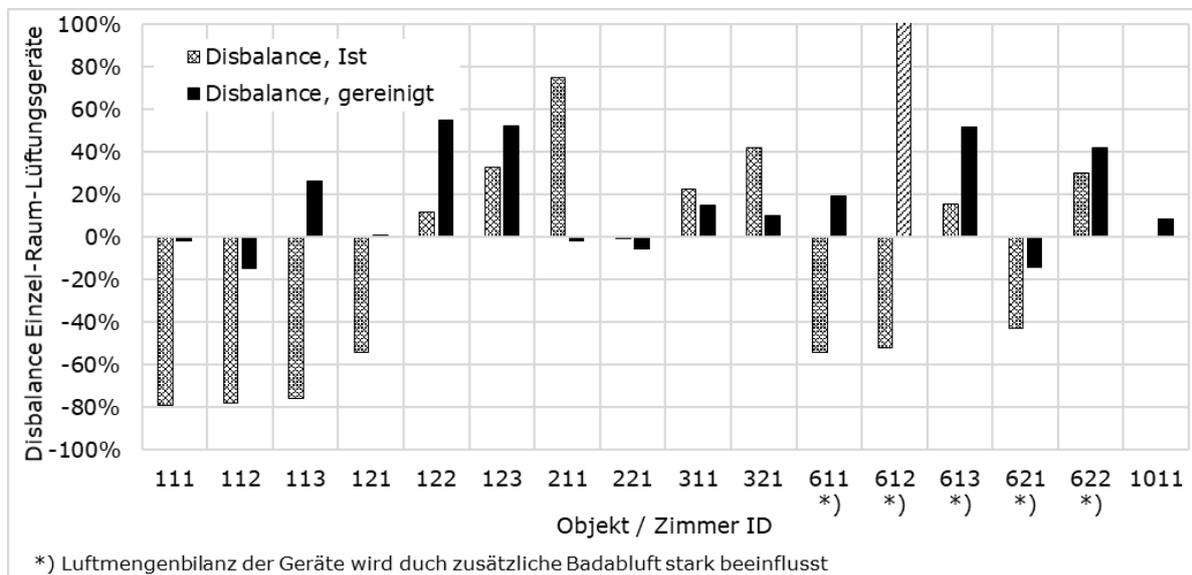


Abbildung 5: Disbalance der Einzelraumgeräte vor/nach der Reinigung (positive Werte = Zuluftüberschuss)

4.5. Luftmengenbilanz der gesamten Wohnung

In denjenigen Objekten, bei welchen alle Lufterlässe und Auslässe gemessen werden konnten, wurde eine Luftmengenbilanz über die gesamte Wohnung erstellt (Abb. 6). Auch hier bedeutet ein positiver Wert ein Zuluftüberschuss.

Die Resultate zeigen bei der Mehrheit der Objekte einen deutlichen Abluftüberschuss. Dies bedeutet, dass in vielen Fällen ein wesentlicher Teil der Aussenluft durch Infiltration nachströmt. In der Disbalance ist neben der Infiltration auch die Messunsicherheit enthalten. Durch die Reinigung wurde die Disbalance in den meisten Fällen reduziert.

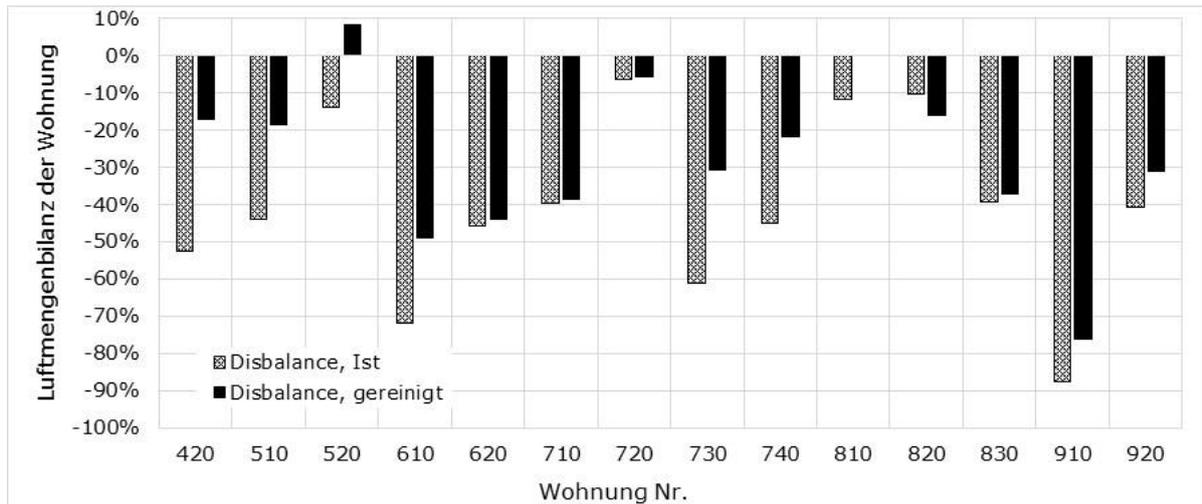


Abbildung 6: Luftmengenbilanz vor/nach der Reinigung, in Wohnungen in denen alle Luftdurchlässe gemessen werden konnten (Negative Werte bedeuten einen Abluftüberschuss)

5. State of Art von Abluftanlagen

5.1. Dimensionierung

Gemäss SIA 2023, wie auch prSIA 382/5 [4], muss in einem Zimmer ein Luftvolumenstrom von mind. 30 m³/h durch den ALD nachströmen. Dabei darf im sauberen Zustand ein Unterdruck von 4 Pa resultieren. Auf dem Markt finden sich kaum ALD, bei denen sich diese Anforderungen mit einem ALD pro Raum erfüllen lassen. Bei den gängigen Produkten strömt bei einem Unterdruck von 4 Pa gemäss Lieferantenangaben typischerweise ein Luftvolumenstrom von 10 bis 20 m³/h nach. Das bedeutet, dass pro Raum zwei ALD eingesetzt werden müssen. Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Messungen bestätigen diese Aussage. Auch bei den Messungen in 8 Wohnungen im Projekt ABLEG [5] waren die ALD nur in einzelnen Fällen auf die Luftvolumenströme der SIA 2023 ausgelegt. Generell war die Zufriedenheit der Nutzer mit der Raumluftqualität trotzdem gut. Allerdings wiesen einige Wohnungen eine tiefe Personenbelegung auf.

In der Schweizer Wohnungslüftungsnorm wird standardmässig davon ausgegangen, dass 25 % der Abluft durch Infiltration in die Wohnung strömt. Der Abluftvolumenstrom muss daher um den Faktor 1,33 grösser sein als die Summe der Luftvolumenströme der ALD. Dieser Faktor hat sich als Durchschnitt der Messungen in diesem Projekt, wie auch bei ABLEG bestätigt. Allerdings können im Einzelfall grössere, nicht planbare Abweichungen entstehen (vgl. Abb. 6).

5.2. Thermische Behaglichkeit

Im Projekt ENABL [6] wurde die thermische Behaglichkeit bei verschiedenen ALD experimentell und mittels Simulationen untersucht. Die Aussage ist, dass bei einer fachgerechten Positionierung gemäss Lieferantenangaben bei den untersuchten Produkten kein unzulässiges Zugluftisiko auftritt.

Im Projekt ABLEG wurde in der Bewohnerbefragung nach der subjektiven Beurteilung der thermischen Behaglichkeit gefragt. Zitat aus [5]: «9 der 25 befragten Personen nahmen nie und etwa die Hälfte nur manchmal Zugluft in den Räumen wahr, wobei nur 1 Person aus 25 über permanente Zugluft klagt. Einige Personen haben angegeben, dass sie nur bei starkem Wind Zugluft wahrnehmen.» (Ende Zitat)

In [7] wird auf eine Befragung in der Überbauung Hunziker-Areal, Zürich hingewiesen. 40 % der Personen, die dort in Wohnungen mit Abluftanlagen mit ALD leben, nehmen immer oder regelmässig einen Luftzug wahr.

Die verfügbaren Quellen geben kein einheitliches Bild über die thermische Behaglichkeit bei Abluftanlagen mit ALD. Der Anteil an negativen Rückmeldung zu Zugserscheinungen ist aber höher als bei Lüftungsanlagen mit WRG.

6. State of Art von Einzel-Raum-Lüftungsgeräten

6.1. Energieeffizienz

Ein grosser Anteil der auf dem Markt verfügbaren Einzel-Raum-Lüftungsgeräte zeichnet sich durch eine tiefe spezifische Ventilatorleistung (SPI) aus. Ein Grund ist, dass wegen des entfallenden Kanalnetzes der Förderdruck der Ventilatoren gering ist. Teilweise lassen sich die kleinen SPI aber auch durch geringe Filterstufen erklären.

Die thermische Effizienz wird üblicherweise durch das zuluftseitige Temperaturverhältnis gemäss der folgenden Gleichung aus prEN 13141-8:2018 [8] quantifiziert.

$$\eta_{\theta,su} = \frac{\theta_{22} - \theta_{21}}{\theta_{11} - \theta_{21}}$$

dabei ist

- $\eta_{\theta,su}$ das Temperaturverhältnis an der Zuluftseite;
- θ_{11} die Ablufttemperatur (Eintritt in das Gerät) in °C;
- θ_{21} die Aussenlufttemperatur (Eintritt in das Gerät) in °C;
- θ_{22} die Zulufttemperatur (Austritt aus dem Gerät) in °C.

Wenn der Zu- und Abluftstrom gleich gross sind und keine Leckagen oder störende Wärmeflüsse vorhanden sind, entspricht dies dem Grad der zurückgewonnenen Wärmeenergie. In der Praxis wird der Nutzen der WRG aber durch folgende Einflüsse geschmälert:

- Wärmefluss über das Gerätegehäuse und durch Leckagen
- Disbalance infolge nicht idealer Einregulierung im sauberen Zustand
- Disbalance infolge Verschmutzung
- Disbalance durch Druckverhältnisse am Gebäude (Wind und Stackeffekt)
- Disbalance bei Kombination mit Abluftanlagen
- Vereisungsschutz der WRG

Bei den im Projekt untersuchten Geräten dürfte die Differenz zwischen dem Temperaturverhältnis und dem effektiven Nutzen der WRG (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) im schweizerischen Mittelland (Klimastation Zürich) im Bereich von 10 bis 30 Prozentpunkten und im Alpenen Bereich (Klimastation Davos) im Bereich von 20 bis 50 Prozentpunkten liegen. Wenn also z. B. bei einem Gerät das zuluftseitige Temperaturverhältnis bei Prüfstandbedingungen bei 70 % liegt, reduzieren sich die jährlichen Lüftungswärmeverluste im realen Betrieb in Zürich um 40 bis 60 % und in Davos um 20 bis 50 %.

Auf die erwähnten Einflussgrössen wird im Folgenden eingegangen.

6.2. Wärmefluss über das Gerätegehäuse und Leckagen

Bei Einzel-Raum-Lüftungsgeräten, wie sie in diesem Projekt untersucht wurden, liegt das zuluftseitige Temperaturverhältnis im Bereich von 65 bis 80 %. Die WRG überträgt dabei ca. 50 bis 65 % der sensiblen Wärme von der Abluft an die Zuluft. Zusätzlich kommen ca. 10 bis 15 % der Zulufterwärmung durch Ventilatorabwärme, Wärmefluss durch das Gerätegehäuse sowie Leckagen zustande. Bei Energienachweisen soll daher berücksichtigt werden, dass das zuluftseitige Temperaturverhältnis selbst bei Idealbedingungen nicht der eingesparten Wärmeenergie entspricht.

6.3. Vereisungsschutz der WRG

Bei Minustemperaturen kann allfälliges Kondensat in der Abluft gefrieren. Gemäss Lieferantenangaben, die im Rahmen des Projekts eingeholt wurden, muss davon ausgegangen werden, dass Einzel-Raum-Lüftungsgeräte typischerweise bis zu einer Aussentemperatur von -5 °C voll einsatzfähig sind. Bei tieferen Aussentemperaturen wird der Zuluftvolumenstrom reduziert oder das Gerät wird ganz ausgeschaltet.

Diese Praxis widerspricht den Anforderungen der Schweizer Normen, nach denen eine Lüftungsanlage innerhalb des Auslegungsbereichs die Behaglichkeitsanforderungen und alle Funktionen einhalten muss. Die Auslegetemperatur liegt bei Klimastationen im schweizerischen Mittelland bei -10 bis -15 °C und sinkt in Alpenen Stationen bis -26 °C. Mit den üblichen Vereisungsschutzstrategien leisten Einzel-Raum-Lüftungsgeräte keinen Beitrag zur Reduktion des Heizleistungsbedarfs, da die WRG bei Auslegetemperaturen

nicht aktiv ist. Zudem kann der Jahresnutzen der WRG durch die Vereisungsschutzstrategie in Zürich um bis zu ca. 10 % und in Davos um bis zu 35 % reduziert werden. Bei energetisch guten Lösungen, wie z. B. Enthalpietauschern, kann die Auswirkung auf den Jahresnutzen vernachlässigbar gering sein. Rechenmodelle zur Berücksichtigung der Vereisungsschutzstrategie finden sich in prEN 13142:2018 [9].

6.4. Empfindlichkeit des Luftstroms

Die Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss prEN13141-8:2018 besagt, um wie viel Prozent sich der Luftvolumenstrom verändert, wenn die statische Druckdifferenz zwischen innen und aussen +20 Pa oder -20 Pa beträgt. In der EU-Verordnung zur Energieetikette von Wohnraumlüftungsgeräten DV EU 1254/2014 [10] wird dieser Wert als Druckschwankungsempfindlichkeit bezeichnet. Bei Geräten, die mit einer Energieetikette versehen sind, ist die Druckschwankungsempfindlichkeit in der Produktedeklaration aufgeführt. In der prEN 13142:2018 ist die Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss Tabelle 3 klassifiziert.

Tabelle 3: Klassierung der Empfindlichkeit des Luftstroms gemäss prEN 13142:2018

Klasse	Maximale Abweichung des Luftvolumenstroms im Verhältnis zum maximalen Luftvolumenstrom in %, bei einer Aussendruckdifferenz von	
	+ 20 Pa	- 20 Pa
S1	≤ 10	≤ 10
S2	≤ 20	≤ 20
S3	≤ 30	≤ 30
nicht klassifiziert	> 30	> 30

Mit zunehmender Empfindlichkeit des Luftstroms nimmt in der Praxis die Disbalance zu. Bei Wind oder durch den Stackeffekt sind diese Einflüsse von den lokalen Bedingungen abhängig. Wie die Untersuchungen in diesem Projekt zeigen, führen aber auch Verschmutzungen zu erheblichen Disbalancen. In der Regel ist eine hohe Empfindlichkeit des Luftstroms energetisch ein Nachteil.

Da viele Einzel-Raum-Lüftungsgeräte nicht mit einer Energieetikette ausgerüstet werden müssen, finden sich nur wenige Geräte, bei denen die Empfindlichkeit des Luftstroms resp. die Druckschwankungsempfindlichkeit deklariert ist. Es ist aber anzunehmen, dass ein erheblicher Teil der Geräte in die Klassen S3 und «nicht klassifiziert» fallen würde.

6.5. Betrieb mit Disbalance

Einzel-Raum-Lüftungsgeräte werden oft mit Abluft-Ventilatoren in Bad, Dusche und WC kombiniert. Dabei arbeiten die Einzel-Raum-Lüftungsgeräte systembedingt mit Disbalance, d.h. der Zuluftstrom ist höher als der Abluftstrom. Durch den Unterdruck strömt zusätzlich ein Infiltrationsluftstrom in die Wohnung.

Definitionen:

- Der Zuluftstrom bei ausgeschalteter Abluftanlage wird als Referenz-Luftstrom q_{ref} bezeichnet.
- Das Referenz-Temperaturverhältnis beschreibt den Nutzen der WRG bezogen auf den Referenz-Luftstrom.

Abbildung 7 zeigt das Referenz-Temperaturverhältnis in Funktion des Verhältnisses des Luftstroms der Abluftanlage zum Referenz-Luftstrom. Als Parameter ist die Luftdurchlässigkeiten der Gebäudehülle aufgeführt, die folgenden Fällen entspricht:

- $q_{a50} = 0.0 \text{ (m}^3/\text{h)}/\text{m}^2$: Absolute dichte Gebäudehülle
- $q_{a50} = 0.6 \text{ (m}^3/\text{h)}/\text{m}^2$: Zielwert für Neubauten gemäss SIA 180 [11]
- $q_{a50} = 1.6 \text{ (m}^3/\text{h)}/\text{m}^2$: Grenzwert für Neubauten mit mech. Lüftung gem. SIA 180
- $q_{a50} = 100 \text{ (m}^3/\text{h)}/\text{m}^2$: Leicht geöffnetes Fenster für die Nachströmung der Abluft

Der Abbildung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Die Hüllfläche für die Infiltration ist doppelt so gross wie die Energiebezugsfläche.
- Der Luftvolumenstrom der Einzel-Raum-Lüftungsgeräte beträgt $0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ pro m^2 Energiebezugsfläche (Standardwert SIA 380/1 [12]). Dies ist auch der Referenz-Luftstrom.
- Im balancierten Betrieb beträgt das Temperaturverhältnis der Einzel-Raum-Lüftungsgeräte 70 %.
- Die Druckschwankungsempfindlichkeit der Einzel-Raum-Lüftungsgeräte weist Klasse S3 auf.
- Die Disbalance steigt proportional mit dem Unterdruck in der Wohnung an.
- Die Abhängigkeit des Temperaturverhältnisses in Funktion des Luftstrom-Verhältnisses verhält sich wie bei einem Gegenstrom-Wärmeübertrager.

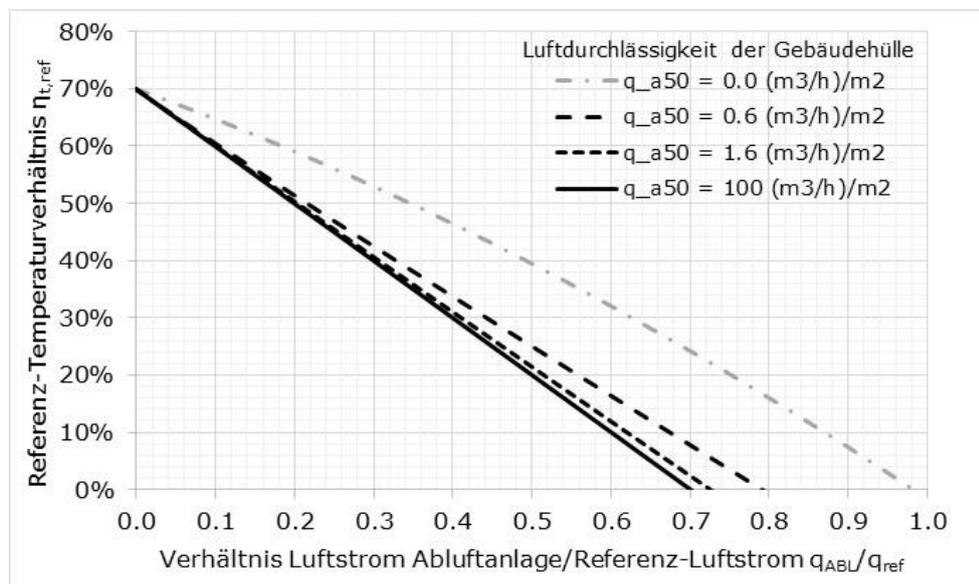


Abbildung 7: Referenz-Temperaturverhältnis bei der Kombination eines Gerätes mit WRG mit einer Abluftanlage (ohne WRG), in Funktion des Luftstroms der Abluftanlage

Bei einem Verhältnis des Luftstroms der Abluftanlage zum Referenz-Luftstrom von $q_{ABL}/q_{ref} = 0.5$ und einer Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle, die dem Grenzwert der SIA 180 entspricht, strömen gut 90 % der Ersatzluft (der Abluftanlage) durch Infiltration nach und die restlichen 10 % durch die Disbalance der Einzel-Raum-Lüftungsgeräte. Der Unterdruck in der Wohnung liegt bei ca. 1 Pa. Wenn die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle dem Zielwert entspricht, strömen knapp 80 % der Ersatzluft durch Infiltration nach und der Unterdruck erreicht rund 4 Pa. Bei Neubauwohnungen mit 4 und mehr Zimmern entspricht das einem Bad-Abluftventilator mit 40 bis 50 m^3/h . Bei Kleinwohnungen mit weniger als 3 Zimmern könnten sich relativ hohe Unterdrücke einstellen. Dort sollten für die Nachströmung der Abluft ALD vorgesehen werden.

Beispiel:

In einer Wohnung werden drei Einzel-Raum-Lüftungsgeräte mit einem Luftvolumenstrom von jeweils $30 \text{ m}^3/\text{h}$ betrieben. Das Temperaturverhältnis liegt bei 70 %. Im Bad ist ein Abluftventilator mit einem Luftvolumenstrom von $45 \text{ m}^3/\text{h}$ vorhanden. Die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle entspricht dem Zielwert der SIA 180.

Der Referenz-Luftstrom beträgt $90 \text{ m}^3/\text{h}$. Das Verhältnis des Luftstroms der Abluftanlage zum Referenz-Luftstrom liegt bei 0.50. Gemäss Abb. 7 sinkt das Referenz-Temperaturverhältnis bei Betrieb der Badabluft auf 25 %. Wenn die Einzel-Raum-Lüftungsgeräte dauernd in Betrieb sind und die Abluftanlage täglich 2 h eingeschaltet ist, sinkt der Nutzen der WRG im Tagesmittel um ca. 4 Prozentpunkte. In neuen Wohnungen sind oft zwei Abluftanlagen für Bad, Dusche und WC vorhanden. Damit wird der Nutzen der WRG bei bedarfsgesteuerten Abluftanlagen um rund 8 Prozentpunkte reduziert. Bei Dauerbetrieb der Abluftanlagen wird der Nutzen der WRG in der Grössenordnung von 50 Prozentpunkte reduziert.

6.6. Schall

Die akustische Beurteilung von Einzel-Raum-Lüftungsgeräten in realen Wohnungen war nicht Gegenstand der experimentellen Arbeiten. Es ist aber zu erwähnen, dass die Lieferantangaben zum Schall teilweise unklar und mangelhaft sind. Dadurch werden oft Einzel-Raum-Lüftungsgeräte installiert, die nicht den Schweizer Normen entsprechen. Gemäss SIA 2023 darf der Schalldruckpegel, den eine Lüftungstechnische Einrichtung in einem Wohn- oder Schlafzimmer verursacht, max. 25 dB(A) betragen. Bei einer üblichen Raumdämpfung von 1 bis 2 dB darf der Schalleistungspegel nicht über 26 bis 27 dB(A) liegen. Eine Lüftungsanlage kann nur dann als funktionsfähig bezeichnet werden, wenn die akustischen Anforderungen eingehalten werden. Daher soll der energetische Nutzen auch nur dann angerechnet werden, wenn diese Anforderung eingehalten ist. Eine akustisch korrekte Angabe für ein Gerät erfolgt immer als Schalleistungspegel.

Beispiel:

Im Datenblatt eines realen Einzel-Raum-Lüftungsgerätes finden sich folgende Angaben:

Zu-/Abluft \dot{V} m ³ /h	30
Geräusch dB(A), Abstrahlung L_{pA} in 3 m	22

Die Angabe ist so zu verstehen, dass der Schalldruckpegel im Freifeld gemessen in 3 m Abstand 22 dB(A) beträgt. Umgerechnet auf den Schalleistungspegel sind das rund 40 dB(A). In einem typischen Zimmer stellt sich ein Schalldruckpegel von 38 bis 39 dB(A) ein. Für den Einsatz in Wohn- und Schlafzimmern ist das Gerät akustisch ungeeignet.

7. Schlussfolgerungen

7.1. Abluftanlagen

Verschmutzungen haben den Luftvolumenstrom um bis zu ca. 60 % reduziert. Auffallend ist, dass die von SIA 2023 geforderten minimalen Luftvolumenströme auf der Zuluftseite weniger gut erreicht werden als bei den Einzel-Raum-Lüftungsgeräten. Ein Grund dürfte bei dem grossen Einfluss der Gebäudedichtheit (Infiltration) liegen. Dabei kann neben Aussenluft auch belastete Luft über Installationszonen oder Luft aus anderen Wohnungen nachströmen. Ein zweiter Grund ist, dass die ALD häufig zu knapp dimensioniert sind. Bei den meisten marktgängigen Produkten müssten pro Zimmer zwei ALD eingesetzt werden, um den Schweizer Normen zu genügen.

7.2. Einzel-Raum-Lüftungsgeräte

Bei den untersuchten Einzel-Raum-Lüftungsgeräten hatten Verschmutzungen die Luftvolumenströme um bis zu 80 % reduziert. Die Zuluft wurde in den meisten Fällen stärker beeinflusst als die Abluft. Um den Anfangswert wieder zu erreichen, genügt es nicht nur die Filter zu wechseln, sondern die gesamte Anlage, inkl. u.U. schlecht zugänglicher Elemente wie Aussenluftgitter und Insektenschutzgitter, muss gereinigt werden. Gegenüber dem Temperaturverhältnis, das auf dem Prüfstand ermittelt wird, können die Disbalance, der Vereisungsschutz und geräteinterne Einflüsse den Nutzen der WRG markant reduzieren. Bei der Planung und in Energienachweisen soll diese berücksichtigt werden. Eine entscheidende Leistungskenngrösse ist dabei die Empfindlichkeit des Luftstroms. Je höher dieser Wert ist, umso höher wird in der Praxis die Disbalance ausfallen (u.a. wegen Verschmutzung) und desto mehr wird der Nutzen der WRG durch unerwünschte Einflüsse und durch die Kombination mit Abluftanlagen geschmälert. Es wird empfohlen Einzel-Raum-Lüftungsgeräte einzusetzen, bei denen die Empfindlichkeit des Luftstroms die Klasse S2 oder S1 erreicht.

7.3. Allgemein

Sowohl bei Abluftanlagen mit ALD wie auch bei Einzel-Raum-Lüftungsgeräten lag der Zuluftvolumenstrom im angetroffenen Zustand bei rund 60 % der Räume mindestens 30 % unter dem Minimalwert der SIA 2023. Bei etwa einem Viertel der Räume wurde gar ein Zuluftvolumenstrom gemessen, der bei höchstens 30 % des Normwertes lag. Dabei ist zu

beachten, dass der angetroffene hygienische Zustand im Allgemeinen als unkritisch bezeichnet werden kann. Trotz einzelner Wartungsmängel war das Sample der untersuchten Anlagen keinesfalls vergammelt, sondern in einem Zustand der als typisch bezeichnet werden kann. Trotzdem führen Verschmutzungen zu massiv reduzierten Luftvolumenströmen. Das heisst, dass für diese Art von Anlagen eine regelmässige, professionelle Wartung unabdingbar ist. Insbesondere in Mietwohnungen können diese Arbeiten nicht an die Bewohner delegiert werden. Auch bei Wohneigentum lässt sich nur ein Teil der Arbeiten an die Eigentümer übertragen. So ist es z. B. nicht realistisch, dass ein Grossteil der Eigentümer ein Insektenschutzgitter für die Reinigung wiederholt fachgerecht aus- und einbaut.

Für eine einwandfreie Funktion der Lüftungsgeräte und Elemente sind je nach Aussenluftqualität jährlich ein bis drei Instandhaltungsgänge erforderlich. Es ist unklar, wie stark Bewohner sich durch das häufige Betreten von Schlafzimmern durch Dritte gestört fühlen. Diese Räume dürften von vielen Leuten als Intimsphäre betrachtet werden. Zudem sind auch die Kosten für diese Arbeiten zu berücksichtigen.

8. Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) Ausgabe 2014. Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (EnDK)
- [2] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michael: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw (Schweiz), 2018
- [3] Merkblatt SIA 2023:2008 Lüftung im Wohnbau. SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich
- [4] Normentwurf prSIA 382/5:2018 Lüftung in Wohnbauten. SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich
- [5] Huber, Heinrich; Stünzi, Christian; Sibold, Christoph, Kunz Dominique: ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung, Im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Bern, 2018
- [6] Dorer, Viktor; Pfeiffer, Andreas: ENABL - Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung. EMPA, Dübendorf, 2002
- [7] Aussage Franz Sprecher, AHB Stadt Zürich im Interview «Lüftungskonzepte als Architekturaufgabe», TEC21 34/2018, S. 32-36
- [8] prEN 13141-8:2018 Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen - Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten ohne Luftführung
- [9] prEN 13142:2018 Lüftung von Gebäuden – Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen – Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrößen
- [10] Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1254/2014 der Kommission vom 11. Juli 2014 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Wohnraumlüftungsgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch
- [11] Norm SIA 180:2014 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden. SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich
- [12] Norm SIA 380/1:2016 Heizwärmebedarf. SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich

Modulare Gebäudetechnik – Erhöhte Vorfertigung in der Gebäudetechnik

Benno Zurfluh
Dipl. HLK Ing. FH
ZURFLUH LOTTENBACH GMBH
Luzern, Schweiz



Modulare Gebäudetechnik – Erhöhte Vorfertigung in der Gebäudetechnik

1. Einführung

Im Schiffsbau und im Flugzeugbau ist die modulare Vorfertigung von einzelnen Bauteilen seit Jahrzehnten Standard. Die Bauteile werden z.B. im Schiffsbau in verschiedenen Fertigungsstätten vorbereitet, zur zentralen Montagestätte transportiert und dann zusammengebaut. Dabei müssen auch hunderte von Leitungen für Heizung, Kälte, Lüftung, Wasser und Elektro präzise geplant, koordiniert und zusammengefügt werden. Warum soll, was im Schiffs- und Flugzeugbau seit Jahren Standard ist, nicht auch in der Gebäudetechnik funktionieren?



Abbildung 1: Vorfertigung hat beim Schiffsbau Tradition (Bild: shiptec ag, Luzern)

2. Gebäudetechnik

In der Gebäudetechnik hat die Vorfertigung die längste Tradition in der Sanitärtechnik. Die Vorfertigung von Ablaufleitungen für Einlage in den Decken oder von Vorwandinstallationen sind heute im Wohnungsbau weitgehend Standard.



Abbildung 2: Vorgefertigte Vorwandinstallationen vor dem Abtransport (Bild: TECE Schweiz AG)

Noch einen Schritt weiter geht die Sanitärtechnik bei der Vorfertigung von ganzen Sanitärzellen (Fertigbäder): Im Wohnungs-, Heim- und Hotelbau kann sich die Vorfertigung schon ab relativ kleinen Stückzahlen von baugleichen, standardisierten Nasszellen als wirtschaftlich erweisen. Eine Vorfertigung von Sanitärzellen ist auch mit anspruchsvollen Grundrissen und hochwertiger Ausstattung möglich.



Abbildung 3: Anlieferung der vorgefertigten Sanitärzelle (Bild: ZURFLUH LOTTENBACH GMBH, Luzern)

Bei den Gewerken Heizung, Lüftung und Elektro wurden in den vergangenen Jahren diverse Anstrengungen unternommen, die Vorfertigung von Bauteilen oder ganzen Baugruppen zu realisieren und im Planungs- und Bauprozess zu integrieren. Mit der Möglichkeit zur Realisierung grosser und hoher Bauten im Holz-Systembau eigentlich eine logische Konsequenz, soll doch die Gebäudetechnik ihren Beitrag zur Optimierung der Bauprozesse, zur Verbesserung der Bauqualität und natürlich auch zur Reduktion der Kosten leisten.

3. Projekt Modulare Gebäudetechnik, Amt für Hochbauten Stadt Zürich

Das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich (AHB) ist eine grosse Bauherrin, welche jährlich viel Geld in die Gebäudetechnik investiert. Jedes Bauprojekt wird neu entwickelt und geplant.

Mit dem Projekt Modulare Gebäudetechnik soll geklärt werden, wie gross das Potential für Vorfabrikation und Standardisierung in der Gebäudetechnik ist und dieses an einem konkreten Bauvorhaben ausprobieren.

Als Grundlage für die Entwicklung eines Gebäudetechnik-Moduls wurde ein Modul-Pflichtenheft erstellt, in dem Anforderungen und Abgrenzungen festgelegt sind. Der Bearbeitungsumfang konzentriert sich dabei auf die Steigzonen mit den dazugehörigen Leitungen, Verteilern und Geräten (HLKSE), die in einem mehrgeschossigen Wohngebäude zu installieren sind.

Als Testobjekt für den Prozess und das Gebäudetechnik-Modul ist die Wohnsiedlung Herdern in Zürich-Aussersihl vorgesehen. Das Minergie-ECO Projekt verfügt über 46 Wohneinheiten.

Schlussbericht download als pdf: www.stadt-zuerich.ch/egt

3.1. Modulsystem / Art der Montage

Im Vordergrund standen zwei verschiedene Systeme, die in die Überlegungen einbezogen wurden:

«Aufstecksystem direkt»:

Module werden aufeinandergestellt (analog Liftschachtelementen). Bei dieser Variante ist darauf zu achten, dass die Statik des Moduls auf die Decken übertragen werden kann.

«Decken- und Wohnungskomponenten»:

Das Modul besteht aus zwei Komponenten; einem Deckenteil, das die Geschosse abtrennt und einem Wohnungsteil, das die jeweiligen Geschossdecken verbindet.

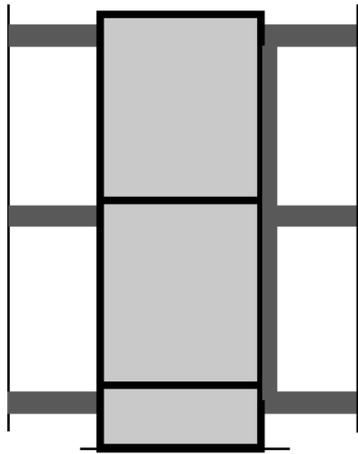


Abbildung 4: Aufstecksystem direkt

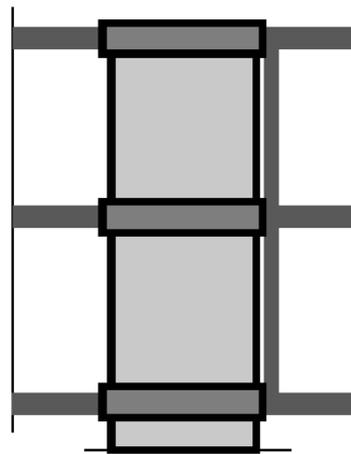


Abbildung 5: Decken- und Wohnungskomponenten

Für die Weiterentwicklung bis hin zum vorfabrizierten Gebäudetechnik-Modul konnte mit einem Industriepartner zusammengearbeitet werden. Unter Einbezug der beteiligten Planer und Auftraggeber der Wohnsiedlung Herdernstrasse, Zürich Aussersihl wurde die Realisierung nun in Angriff genommen. Der Bezug der Siedlung ist für 2021 geplant.

3.2. Das Gebäudetechnikmodul DGTM-V32.

Das Gebäudetechnikmodul aus Stahlbeton und Stahl wird für den mehrgeschossigen Wohnungsbau hergestellt. Das Modul bildet einen geschosshohen Schachtabschnitt (ähnlich Liftschacht), in dem alle wesentlichen Steigstränge und die Gebäudetechnik (HLKSE) vormontiert sind. Die Ausstattung mit Gebäudetechnik kann den unterschiedlichen Bedürfnissen angepasst werden.

Ab Werk wird das Gebäudetechnikmodul mit einem robusten Schutzmantel ausgeliefert. Dieser wird erst demontiert, wenn die Installationen mit der Verbindung der Gebäudetechnik (Fussbodenheizung, Lüftung usw.) beginnen.



Abbildung 6: Gebäudetechnikmodul DGTM-V3 (Dresohn AG, CH-8932 Mettmenstetten)

4. Vorfertigung der Steigzonen für ein Hotelbau in Kloten

Im vergangenen Jahr wurde für ein Hotelbau ein anderer Ansatz für die Vorfertigung in der Gebäudetechnik gewählt. Die Steigzonen Heizung und Sanitär wurden durchgehend in den Werkhallen vormontiert und danach als Ganzes in die Steigzonen eingeführt. Diesem Verfahren sind sicher Grenzen bezüglich Statik und Gebäudehöhe gesetzt. Die Planung des ganzen Gebäudes erfolgte nach der BIM-Methode.

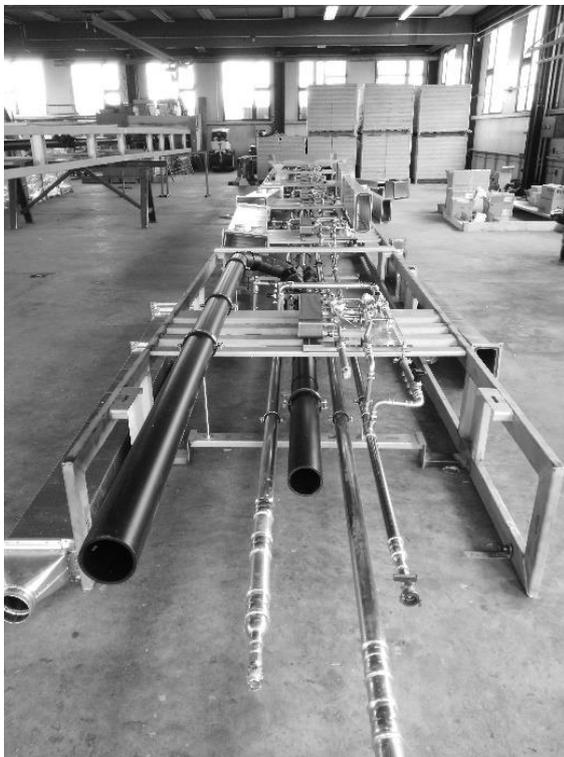


Abbildung 7: Vorfertigung der Steigzone in der Werkstatt (METHABAU, CH-8580 Amriswil)



Abbildung 8: Montage der vorgefertigten Steigzone (METHABAU, CH-8580 Amriswil)

5. Schlussbemerkung

Im Holz-Systembau konnten in den letzten Jahren mit der Vorfertigung von Bauteilen viel Erfahrungen gesammelt werden. Die Bauprozesse sind aufeinander abgestimmt, Planer und Hersteller arbeiten eng zusammen.

Anders in der Gebäudetechnik: hier fehlen die Erfahrungen weitgehend, da ausser im Gewerk Sanitär/Bäder die Vorfertigung nur sehr vereinzelt angewendet wird. Das Beispiel Wohnsiedlung Herdernstrasse Zürich zeigt, dass sich grosse Bauträger nur sehr zögerlich an dieses Thema heranwagen und nun beginnen, erste Erfahrungen sammeln. Auch bei den potenziellen Herstellern und Lieferanten von vorgefertigten Bauteilen oder Baugruppen wird dieses Thema sehr stiefmütterlich behandelt. Ein eigentlicher Markt für Gebäudetechnikmodule besteht noch nicht.

Wie die beiden Beispiele zeigen, liegt in der Vorfertigung von Steigzonen für die Gebäudetechnik und von Nasszellen (Fertigbäder) das wohl grösste Potential für modulare Bauteile/Baugruppen in der Gebäudetechnik. Ob dann immer alle Gewerke der Gebäudetechnik zusammen modular gefertigt werden wird sich zeigen.

Dabei ist die Anpassung der Planungsprozesse eine der wohl wichtigsten Voraussetzung für die Umsetzung der modularen Gebäudetechnik. Eine Vorfertigung und das Zusammenfügen von ganzen Bauteilen oder Baugruppen kann nur funktionieren, wenn die Idee der Vorfertigung bereits im Grundrissentwurf des Architekten berücksichtigt wird. Es müssen standardisierte Grundrisse mit zentralen, übereinander liegenden, durchgehenden und gleichartigen Steigzonen mit den notwendigen Grundrissflächen geplant werden. Dazu müssen Architektur und Gebäudetechnik von Beginn weg eng zusammenarbeiten. Der Aufwand für die Planung und Koordination ist in der Projekt- und Ausführungsplanung sicher grösser als bei herkömmlichen Projekten, spätere Anpassungen bei den Grundrissen sind zumindest im Bereich der Steigzonen nicht mehr möglich.

Eine weitere Herausforderung ist die Koordination der Gebäudetechnikinstallationen nach dem Versetzen der Steigzonen. Die Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär- und Elektroinstallateure wollen alle zur gleichen Zeit am gleichen Ort die restlichen Installationen an das Gebäudetechnikmodul anschliessen. Um hier Konflikte zu vermeiden, bedarf es einer präzisen Terminplanung unter Einbezug dieser Installateure.

Durch die Vorfertigung von ganzen Baugruppen reduziert sich das Auftragsvolumen für das Installationsgewerbe. Die Schnittstellen und Verantwortlichkeiten müssen neu ausgehandelt und definiert werden. Erschwerend kommt hinzu, dass viele Installationsbetriebe ihre Werkstätten verkleinert oder ganz aufgelöst haben. Mit der Lieferung der Apparate und Armaturen direkt auf die Baustelle, wurden die Werkstätten nicht mehr gebraucht. Wohl ein weiterer Grund, weshalb die Branche eher zurückhaltend auf die Bestrebungen zum vermehrten Einsatz modularer Gebäudetechnik reagiert.

Einfache Lüftungssysteme für den Wohnungsbau – Untersuchungen in der roteg Forschungswohnung

Harald Krause
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Einfache Lüftungssysteme für den Wohnungsbau – Untersuchungen in der roteg Forschungswohnung

Thomas Strobl, Markus Wirnsberger, Harald Krause, Technische Hochschule Rosenheim

1. Einleitung

Effiziente Lüftungssysteme zur Sicherstellung guter Luftqualität sind für energieeffiziente Gebäude essentiell. Ein Hemmnis für den Einsatz stellen insbesondere in der Sanierung die nach wie vor hohen Kosten dar. In mehreren Projekten [Schiantarelli 2015] [Sibille et al. 2013] wurde bisher versucht, vereinfachte Systeme zu entwickeln [Sibille, Pfluger 2016] [Huber 2013]. In diesem Forschungsprojekt wurde die Idee einer technisch einfachen und möglichst kanalfreien Belüftungsmöglichkeit mithilfe von aktiven Überströmern untersucht. Dabei wird die Zuluft nur zentral in der Mischzone der Wohnung (Flur, offenes Wohnzimmer) eingebracht. Die Abluft wird konventionell erfasst. Dadurch kann auf ein Zuluftkanalnetz verzichtet werden. Der aktive Überströmer ist dabei in die Zwischenwand bzw. im Türsturz des Anforderungsraumes (z.B. Schlafzimmer) eingebaut. Er besteht aus einem Axiallüfter mit einem Durchmesser von 120 mm, der (bei geschlossener Tür) die Luft aus der Mischzone in das angrenzende Schlafzimmer fördert.

Forschungswohnung im roteg

In einer neuen Forschungswohnung im Rosenheimer Technologiezentrum Energie und Gebäude (roteg) an der TH Rosenheim (Abb. 1) besteht die Möglichkeit, solche Systeme im Detail im praxisnahen Einsatz zu untersuchen. Mit einer Bruttogrundfläche von 70 m² (7 x 10 m) und einer Raumhöhe von 2,8 m weist sie ein Volumen von 196 m³ auf. Die Wohnung ist u.a. mit Messtechnik für Luftqualität, Lüftungseffektivität und thermische Behaglichkeit ausgestattet.

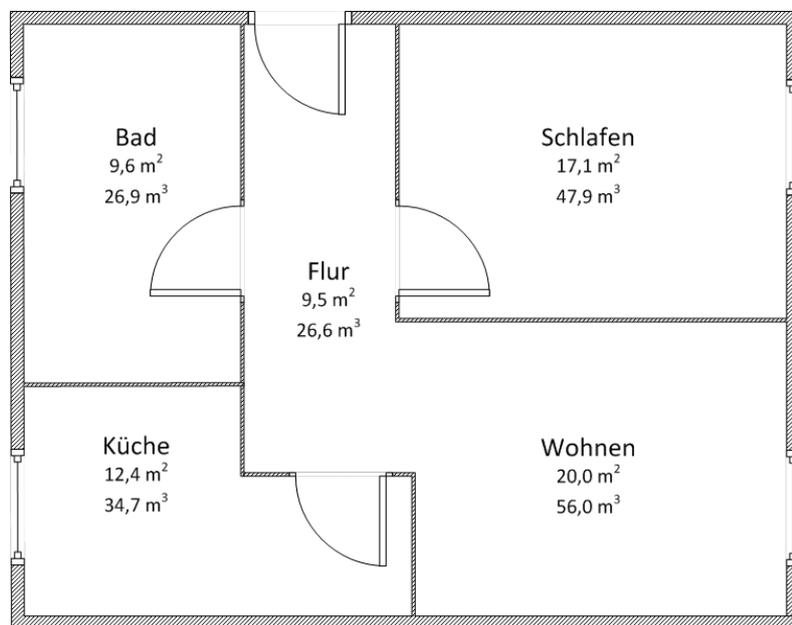


Abbildung 1: Grundriss der Forschungswohnung im roteg (Rosenheimer Technologiezentrum Energie & Gebäude)

2. Konzepte mit aktiven Überströmern

2.1. Zentrale Zuluft einbringung

Das hier untersuchte Belüftungskonzept mittels aktiven Überströmer und zentraler Zuluft einbringung unterscheidet sich maßgeblich von den bisherigen normativen Vorgaben nach DIN 1946-6 zur Belüftung von Wohnungen [DIN EN 1946-6]. Die Leistungsfähigkeit wurde in Abhängigkeit der folgenden Parameter untersucht:

- Überströmer Fördervolumenstrom und Einblasrichtung
- Zuluftvolumenstrom und Position
- CO₂-Vorbelastung der Wohnung

Der zentrale Bewertungsparameter ist hierbei die Lüftungswirksamkeit ε_{AZ} . Sie beschreibt, wie gut die Raumluft in der Aufenthaltszone (AZ) durchmischt ist [Raatschen 1988] und damit wie gut die Schadstoffe abtransportiert werden.

Die Lüftungswirksamkeit ε_{AZ} , auch als „Contaminat Removal Effectiveness“ (CRE) [Cognati et. al. 2011] oder als Effektivität der Schadstoffabfuhr bezeichnet, berechnet sich aus der Schadstoffkonzentration in der Abluft, der Schadstoffkonzentration im Untersuchungsraum C_{ABL} und der Konzentration des Zuluftvolumenstroms C_{ZU} [Mundt 2004]:

$$\varepsilon_{AZ} = \frac{C_{ABL} - C_{ZU}}{C_{AZ} - C_{ZU}}$$

Je größer die Lüftungswirksamkeit ε_{AZ} ist desto wirkungsvoller werden die Schadstoffe abgeführt. Ein ε_{AZ} von 1 bedeutet dabei eine vollständige Durchmischung des Untersuchungsraumes. Sobald der Wert kleiner 1 ist und gegen 0 geht, bedeutet dies, dass Kurzschlussströmungen im Raum vorhanden sind und sich der Schadstoff in einem schlecht durchströmten Untersuchungsraum befindet. Bei einem Wert größer 1 nähern sich die Strömung einer Verdrängungsströmung an, die die effektivste Form des Luftaustausches darstellt [Fitzner 2008].

2.2. Messaufbau

Die Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau der Forschungswohnung und die Positionen der Messstellen. Im Schnitt durch Bad, Flur und Schlafzimmer (Richtung Eingangstür) ist die vertikale Verteilung der Messstellen zu erkennen. Des Weiteren sind hier ebenso die Position der Zuluft und der Abluft ersichtlich. Der aktive (ventilatorgetriebene) Überströmer ist im Türsturz der Trennwand zwischen Schlafzimmer und Flur verbaut. Erkennbar sind auch die verschlossenen Zuluftleitungen in der Schlafzimmerdecke, sowie die passive Überströmung durch den (unteren) Türspalt der Schlafzimmers- und Küchentür.

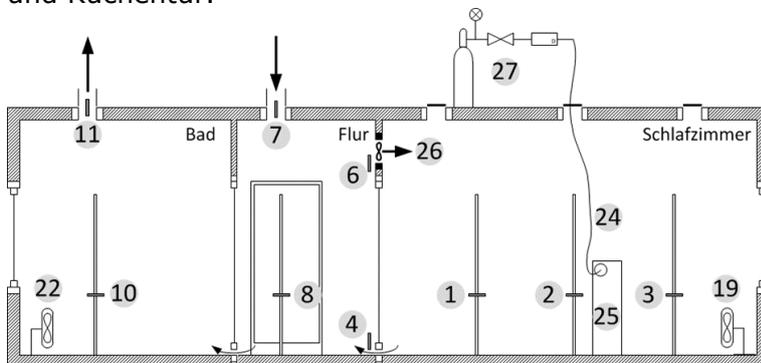


Abbildung 2: Schnitt durch das Badezimmer, den Flur und das Schlafzimmer. Dargestellt sind die Positionen der Messfühler (1, 2, 3, 6, 8, 10) und des aktiven Überströmers (26), Zu- und Abluftdurchlässe (7, 11) sowie der passive Überströmer (4) unter der Tür. Die CO₂ Gasflasche und der Durchflussregler (27) sind über der Decke der Forschungswohnung platziert.

2.3. Messvarianten

Um das System der kanalfreien Belüftung durch zentraler Zuluft einbringung und dem Einsatz von aktiven Überströmern zu untersuchen, wurden eine Vielzahl an Messreihen zu je 8 Stunden durchgeführt.

Variante und Variantenkürzel in Klammern
Referenz (Zu-/Abluftanlage nach DIN 1946-6, d.h. auch Zuluft im Schlafzimmer)
Aktiver Überströmer mit 35 m ³ /h, Zuluft im Flur 100 m ³ /h - (aÜ35_F100)
Aktiver Überströmer mit 50 m ³ /h, Zuluft im Flur 100 m ³ /h - (aÜ50_F100)
Aktiver Überströmer mit 65 m ³ /h, Zuluft im Flur 100 m ³ /h - (aÜ65_F100)
Aktiver Überströmer mit 50 m ³ /h, Einblasrichtung SZ Richtung Flur - (aÜ50_F100 SZrFL)
Aktiver Überströmer mit 50 m ³ /h, Zuluft im Flur 80 m ³ /h - (aÜ50_F80)
Aktiver Überströmer mit 50 m ³ /h, Zuluft im Flur 120 m ³ /h - (aÜ50_F120)
Aktiver Überströmer mit 50 m ³ /h, Zuluft im Wohnzimmer 80 m ³ /h - (aÜ50_WZ100)
Aktiver Überströmer mit 50 m ³ /h, Zuluft im Flur 100 m ³ /h, Vorbelastung 800 ppm - (aÜ50_F100_GW800)
Kein Aktiver Überströmer, Zuluft im Flur 100 m ³ /h, Schlafzimmertür zu - (F100_Tzu)
Kein Aktiver Überströmer, Zuluft im Flur 100 m ³ /h, Schlafzimmertür auf - (F100_Tauf)

Tabelle 5: Übersicht der ausgewerteten Varianten.

Das Schlafzimmer (SZ) stellt dabei den zentralen Untersuchungsraum dar. Insgesamt konnten daraus 11 unterschiedliche Varianten (Tabelle 5) ermittelt werden. Im Schlafzimmer wurde die CO₂ Abgabe zweier schlafender Personen mit 12 l/h simuliert.

2.4. Messergebnisse

Wie in Abbildung 3 dargestellt, kann nachgewiesen werden, dass alle untersuchten Varianten mit aktiven Überströmer mit einer Lüftungswirksamkeit von $\epsilon_{AZ} > 1,0$ im Bereich der optimalen Durchmischung liegen. Dies zeugt von einer ausreichenden Raumdurchströmung und einem effizienten Schadstoffabtransport. Im Vergleich zur Referenzvariante nach Norm werden durchwegs bessere Durchmischungsverhältnisse erzielt.

Neben der Beurteilung der Durchmischung und der Lüftungswirksamkeit ist die erreichte absolute Endkonzentration des Kohlendioxids im Schlafzimmer ein ebenso zentraler Bewertungsparameter.

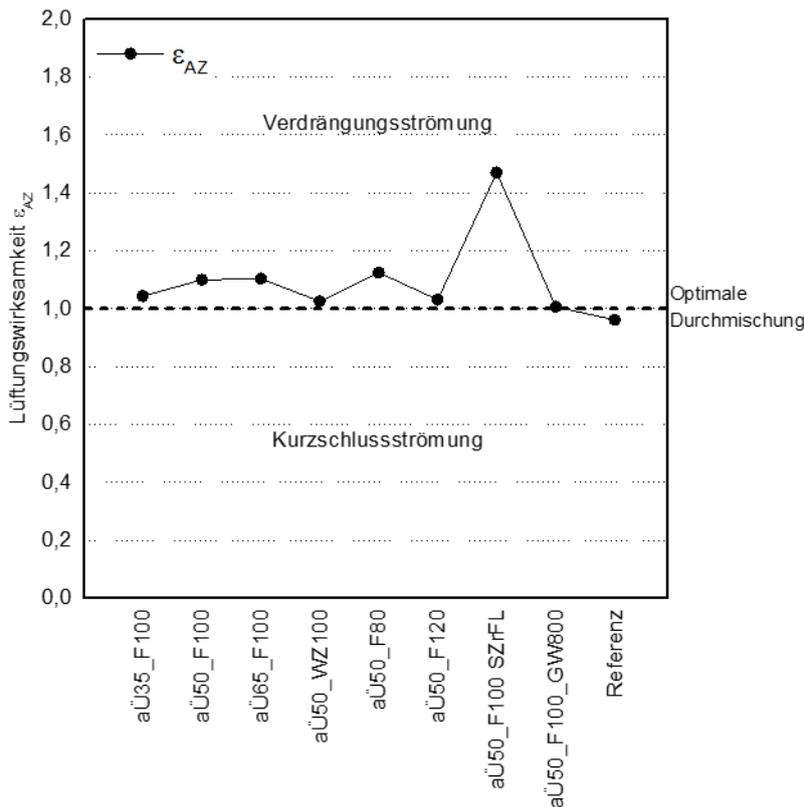


Abbildung 3: Lüftungseffektivität im Schlafzimmer. Ein Wert deutlich größer 1 bedeutet Verdrängungsströmung, darunter Kurzschlussströmung. Im Bereich um 1 herrscht Mischströmung vor.

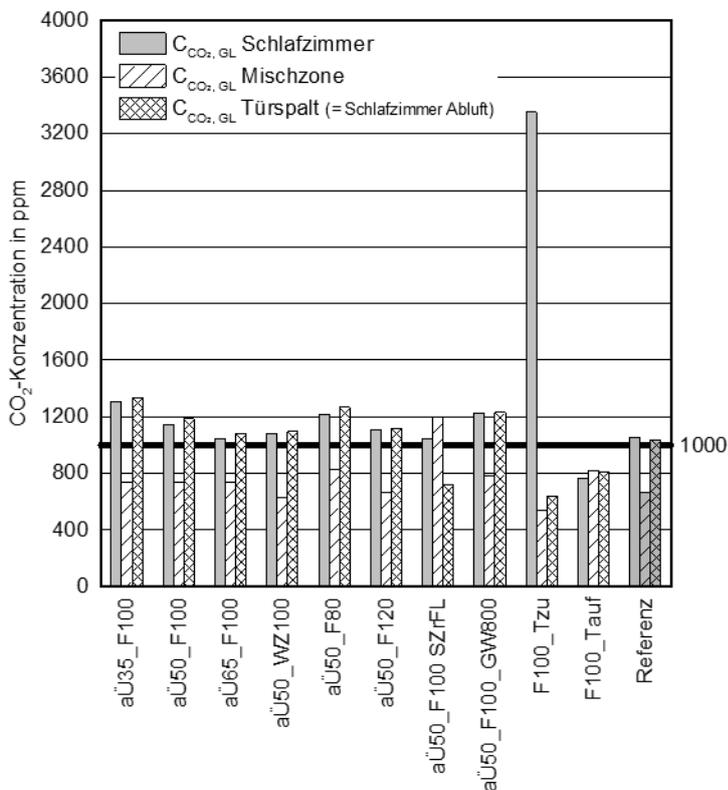


Abbildung 4: Ergebnis der Gleichgewichtskonzentrationen im Schlafzimmer, in der Mischzone und am Türspalt. Die 1000 ppm Markierung zeigt den hygienischen Grenzwert nach Pettenkofer.

Hierzu zeigt Abbildung 4, dass bei der Mehrzahl der geprüften Varianten der CO_2 -Gehalt im Schlafzimmer eine Gleichgewichtskonzentration $C_{CO_2, GL}$ zwischen 1000 und 1200 ppm erreicht. Auch bei minimalem Volumenstrom des aktiven Überströmers von $35 \text{ m}^3/\text{h}$

werden max. 1309 ppm erreicht. Somit liegen alle Varianten innerhalb der für den Wohnbau ausreichenden Luftqualitätsklasse IDA 3. Die geringfügige Überschreitung des hygienischen Grenzwerts von 1000 ppm stellt keine wesentlichen Einbußen hinsichtlich der Luftqualität dar.

Da beim Belüftungskonzept mit aktiven Überströmer keine direkte Zuluft in den Betrachtungsraum gefördert wird, sondern die Luft aus der Mischzone (z.B. Flur), konnte über die Massenbilanzgleichung der effektive Luftwechsel n_{eff} und damit der effektiv wirksame Volumenstrom $q_{v,wirk}$ berechnet werden. Er beschreibt den äquivalenten Außenluftvolumenstrom der gefördert werden müsste, um zum selben Konzentrationsgehalt im Untersuchungsraum zu gelangen. Für die Praxis und die alltäglichen Planungsaufgaben können damit wichtige Anhaltspunkte für die Dimensionierung des Auslegungsvolumenstroms bereitgestellt werden. Die effektive Luftwechselrate n_{eff} aus der Massenbilanzgleichung resultiert für alle Varianten kleiner als die aus dem gemessenen Luftvolumenstrom berechnete Luftwechselrate n .

Er ist im Mittel um ca. 30 % kleiner als der geförderte Volumenstrom. Für die Dimensionierung des Volumenstroms des aktiven Überströmers bedeutet dies, dass der zu fördernde Volumenstrom für den Untersuchungsraum im Mittel um den Faktor 1,3 gegenüber den konventionellen Volumenströmen (nach DIN 1946-6) zu erhöhen ist. Bei veränderter Einblasrichtung (Überströmer fördert Luft aus dem Schlafzimmer in den Flur) funktioniert das System besonders gut. Dort braucht der Volumenstrom nur um den Faktor 1,2 erhöht zu werden, um Wirkvolumenströme zu erzeugen, die sogar geringfügig höher sind als die notwendigen konventionellen Zuluftvolumenströme. Auch die Lüftungswirksamkeit ϵ_{AZ} erhöht sich signifikant und tendiert Richtung Verdrängungsströmung. Ebenso ist die Umsatzzeit um knapp die Hälfte gegenüber der Referenz kleiner geworden. Dies bedeutet, dass die Schadstoffe im Raum eine kürzere Verweilzeit haben bis sie abtransportiert werden.

Im Hinblick auf den Zuluftvolumenstrom, kann dieser im Bereich bis zu 20% des Auslegungsvolumenstroms verringert werden. Dabei erhöht sich aufgrund des höheren Schadstoffgehalts in den Mischzonen auch der maximal erreichte Schadstoffgehalt im Schlafzimmer, jedoch kann dabei immer noch die Luftqualitätsklasse IDA 3 eingehalten werden.

3. Schlussfolgerung

Die Messergebnisse zeigen, dass sich zentral und an einem Punkt (z.B. Flur), eingebrachte Zuluft sehr gut in mehreren Räumen verteilt, wenn die Zimmertüren offen sind. Für diese Raumkonfiguration sind sehr einfache Belüftungskonzepte völlig ausreichend. In Kombination mit aktiven Überströmern funktioniert dieses Konzept auch zuverlässig bei geschlossenen Zimmertüren, wie es beispielsweise nachts der Fall ist. Dadurch kann auf das Zuluftkanalnetz nahezu vollständig verzichtet werden. Die Luft kann über ein dezentrales Gerät, das beispielsweise in der Außenwand, im Bad oder im Flur integriert ist, direkt in den Raumverbund eingebracht werden. Die Abluft wird über kurze Leitungen zum Gerät geführt. Durch die mögliche Verringerung des Zuluftvolumenstroms und den damit kleineren Geräten, können neben den finanziellen Aufwendungen für das Zuluftkanalnetz, auch die Anlagen- und Betriebskosten gesenkt werden. Auch die Einregulierung der Anlage vereinfacht sich, da keine Zuluftvolumenströme verteilt werden müssen. Diese anlagentechnische Verschlinkung schafft ebenso Vorteile während der Planung und der Ausführung auf der Baustelle. Die Abstimmung der Rohrleitungsführungen mit anderen Gewerken kann vollständig entfallen bzw. verringert sich merklich. Dadurch fehlende Durchbrüche und die Möglichkeit einer geringeren Geschosshöhe (aufgrund nicht benötigter Deckenabhängungen) bringen auch direkte statische Vorteile.

Quellenverzeichnis

- [Sibille, Pfluger 2016] E. Sibille, R. Pfluger *Anwendung aktiver Überströmer für die Verteilung der Zuluft in Wohnungen*, in Passivhaus Institut, Innsbruck, 2015 [DIN EN 1946-6] Smith, A.; Wesson, B.: *Passive House buildings in the Wild West*. J Am Passive House Soc. 2016, 136, 123-234. (11)
- [Raatschen 1988] W. Raatschen, *Was ist Lüftungseffektivität*, Teil 1-3, Sonderdruck in Klima-Kälte-Heizung-Energie, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1988.
- [Mundt 2004] E. Mundt et. al., *Ventilation Effectiveness*, Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations, Finland, 2004.
- [Cognati 2011] S. Paolo Corgnati et. al., *Indoor Climate Quality Assessment - Guidebook REHVA*, Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations, Finland, 2011
- [Schiantarelli 2015] M. Schiantarelli, H. Huber, *Schlussbericht - Aktive Überströmer bei Komfortlüftungen*, Fachhochschule Nordwestschweiz, Zürich, 2015
- [Huber 2013] H. Huber, *Fachbeitrag - Neue Entwicklung in der Komfortlüftung in Neubau und Sanierung*, BauHolzEnergie Messe, Bern, 2013
- [Sibille et al. 2013] E. Sibille, G. Rojas-Kopeinig, M. Rothbacher, R. Pfluger, H.K. Malzer, *Komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte für einergieeffiziente Wohnbauten "Doppelnutzen"*, Innsbruck: Nachhaltig Wirtschaften - Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013
- [Fitzner 2008] K. Fitzner – *Raumklimatechnik Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik*, Springer, Berlin, 2008

BRAND

**Gebäudehülle – in der Gesamtbetrachtung
von Konstruktion und Dämmstoff**

Brandsichere Holzfaser-WDVS für die Gebäudeklassen 4 und 5

Björn Kampmeier
Hochschule Magdeburg-Stendal
Magdeburg, Deutschland



Brandsichere Holzfaser-WDVS für die Gebäudeklassen 4 und 5

1. Einleitung

Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) werden zur Dämmung von Gebäudeaußenwänden sowohl bei Neubauten als auch zur energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden eingesetzt. Derzeit werden häufig Dämmstoffe auf Polystyrolbasis oder Mineralwolle verwendet. Aus ökologischen Gründen ist jedoch der vermehrte Einsatz von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holzfaserdämmplatten anzustreben. Dem stehen jedoch bei Gebäuden mit mehr als drei Vollgeschossen bauaufsichtliche Anforderungen entgegen. So müssen Oberflächen und Dämmstoffe von Fassaden bei Gebäuden der Gebäudeklassen 4 und 5 mindestens schwerentflammbar sein. Gängige brennbare Dämmstoffen in diesem Anwendungsbereich sind polymere Hartschäume, die zwar formal eine Zulassung als schwerentflammbarer Baustoff aufweisen, aber dennoch aufgrund vergangener z. T. sehr heftiger Brandereignisse in die Diskussion geraten sind. Hinzu kommt, dass die Dämmstoffe aus ökologischer Sicht als bedenklich anzusehen sind, da Biozide von den Oberflächen ausgewaschen werden und im Falle einer Entsorgung die Dämmstoffe als Sondermüll einzustufen sind. Eine ökologisch sinnvolle Alternative sind WDVS auf Basis von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holzfaserdämmstoffe, die bereits in den Gebäudeklassen 1 bis 3 erfolgreich eingesetzt werden. Bei höheren Gebäuden dürfen sie jedoch nicht eingesetzt werden, da sie aufgrund ihrer Schwelneigung nicht die Baustoffklasse schwerentflammbar erreichen (Abbildung 1).

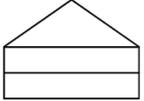
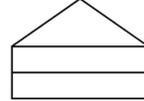
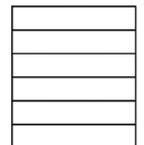
Gebäudeklassen	1	2	3	4	5
	freistehend OKF $\leq 7\text{m}$ $\leq 2\text{ NE}$ $\leq 400\text{m}^2$	OKF $\leq 7\text{m}$ $\leq 2\text{ NE}$ $\leq 400\text{m}^2$	OKF $\leq 7\text{m}$	OKF $\leq 13\text{m}$ je NE $\leq 400\text{m}^2$	sonstige Gebäude ($\leq 22\text{m}$)
					
Außenwandbekleidung	normalentflammbar			schwerentflammbar	

Abbildung 1: Bauaufsichtliche Anforderungen an die Oberflächen von Außenwänden

Ziel des durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) geförderten Forschungsvorhabens [1, 2, 3, 4, 5, 6] war es, WDVS auf Basis von Holzfaserdämmstoffen zu entwickeln, mit denen die Schutzziele des Brandschutzes eingehalten werden können.

2. Lösungsstrategien für WDVS der GK 4 und 5

Die Muster-Bauordnung definiert in § 14 als Schutzziele des Brandschutzes, dass

- die Brandentstehung behindert werden muss,
- die Brandausbreitung begrenzt sein muss,
- wirksame Löscharbeiten möglich sein müssen
- und die Rettung von Menschen und Tieren möglich sein muss.

Diese Schutzziele sind selbstverständlich auch an der Fassade einzuhalten und gelten bei Ausführung einer Fassade mit schwerentflammaren Dämmstoffen für Gebäude der GK 4 und 5 als erfüllt.

Die Brandentstehung und Brandausbreitung kann an der Fassade durch die Wahl des Baustoffs beeinflusst werden. Die Baustoffklassifizierung erfolgt nach dem europäischen System durch Prüfungen im Kleinbrennertest und im SBI-Test in Abhängigkeit der Entzündbarkeit und Brandausbreitungsgeschwindigkeit. Hier können Holzfaserdämmstoffe durchaus die europäische Baustoffklassifizierung C erreichen, was grundsätzlich zur Einstufung als schwerentflammbarer Baustoff genügt. Problematisch ist an dieser Stelle, dass gemäß MVV TB in Deutschland auch ein Nachweis bezüglich der Schwelneigung der Dämmstoffe erforderlich ist (Abbildung 2). Dies bedeutet, dass die Dämmstoffe nach Wegfall des Feuers nicht selbstständig weiterschwelnen dürfen und selbstständig verlöschen müssen. Dies betrifft die Schutzziele Brandausbreitung und wirksame Löscharbeiten. Zwar haben Untersuchungen gezeigt, dass die Schwelgeschwindigkeit in Holzfaser-WDVS bei ca. 1 mm/min. sehr langsam verläuft, jedoch kann ein Schwelbrand durch die Feuerwehr nur zuverlässig gelöscht werden, wenn diese die Konstruktion öffnen kann. Dies bedeutet zum einen, dass durch das Schwelen der Personenschutz nicht gefährdet ist, sofern sichergestellt ist, dass die Brandgase nicht ins Innere des Gebäudes gelangen können. Auf der anderen Seite bedeutet dieses Verhalten, dass Fassadenbereiche, die für die Feuerwehr nicht direkt erreichbar sind, nicht wirksam gelöscht werden können. Daher sind unkontrolliert verlaufende Schwelbrände auszuschließen. Hierzu kommen drei Strategien in Frage, die innerhalb des Forschungsvorhabens verfolgt wurden und in diesem Beitrag näher erläutert werden:

- 1) Entwicklung eines nicht schwelenden Dämmstoffes
- 2) Verhinderung eines Schwelbrandes durch die Putzschicht (thermische Schutzschicht)
- 3) Kontrolle eines Schwelbrandes durch Schwelbarrieren

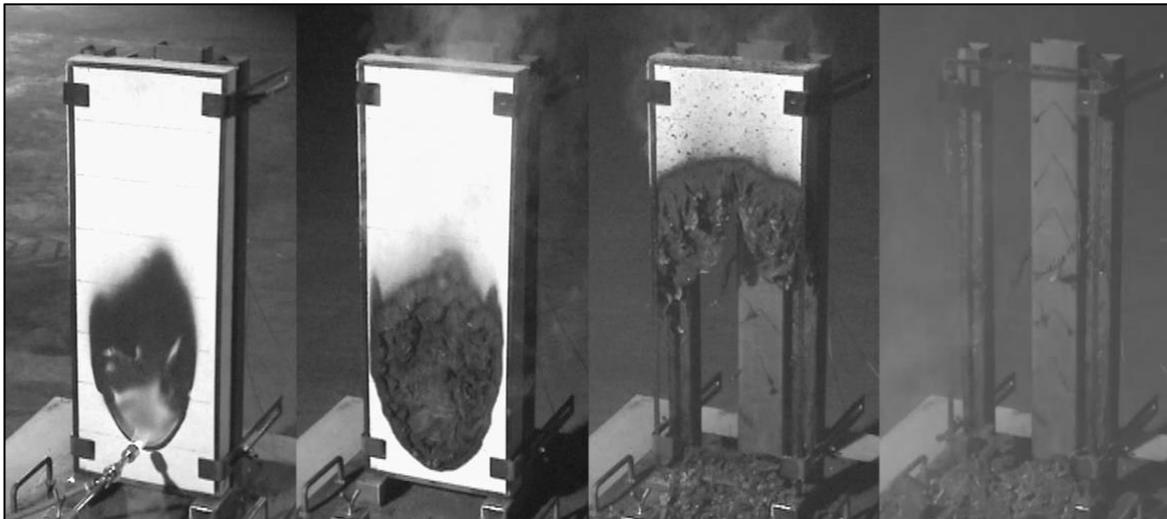


Abbildung 2: Verlauf einer Schwelprüfung nach DIN EN 16733 mit Holzfaserdämmplatten (v.l.n.r.) während der Beflammung, unmittelbar danach, sowie zwei und sechs Stunden nach der Beflammung

2.1. Variante 1: Dämmstoff ohne Schwelneigung

Ein Lösungsweg, um das gesetzte Ziel zu erreichen, wäre somit die Entwicklung nicht-schwelender Holzfaserdämmplatten: Durch eine brandschutztechnisch optimierte Rezeptur zum Beispiel mit Hilfe von Flammschutzmitteln könnten diese als schwerentflammbarer Baustoff klassifiziert werden und dürften bauordnungskonform in den GK 4 und 5 eingesetzt werden. Während des Projektes wurde dieser Ansatz zwar anfänglich verfolgt, konnte jedoch für gängige Wärmeleitfähigkeiten nicht erfolgreich abgeschlossen werden. Dabei zeigte sich, dass klassische Flammschutzmittel keinen Mehrwert bringen und zudem ökologisch als bedenklich anzusehen sind. Flammschutzmittel auf natürlicher Basis konnten noch nicht erfolgreich getestet werden. Für ein kürzlich vorgestelltes Produkt auf Basis einer Eigenentwicklung eines Industrieunternehmens konnte dieses Ziel für Materialdichten $\geq 190 \text{ kg/m}^3$ erreicht werden [7].

In Anlehnung an die reale Einbausituation des Dämmstoffes im WDVS wurden ebenfalls Untersuchungen unter einer Putzschicht durchgeführt. Diese aus Holzfaserdämmplatten

hergestellten und mit einem Putzsystem verschlossenen Probekörper wurden im Schwelprüfstand, abweichend von DIN EN 16733, solange beflammt bis ein Schwelprozess im Dämmstoff ausgelöst wurde. Entgegen der weitestgehend gleichmäßigen und kompletten Zersetzung der unverputzten Holzfaserdämmplatten im Schwelprüfstand, zeigten die verputzten Probekörper eine oder mehrere Schwelfronten auf, welche den verputzten Dämmstoff nur teilweise zersetzten. Vorder- und Rückseite sowie die Seitenränder wiesen nach Versuchsende stets ungefähr 3 mm unbeschädigte Holzfaserdämmung auf, mit Ausnahme des Initialbereichs. In diesem war der Dämmstoff bis an den Putz zersetzt. Im Vergleich zur identischen, unverputzten Holzfaserdämmplatte wiesen die verputzten Probekörper geringere Schwelgeschwindigkeiten (unverputzt ca. 1,7 mm/min, verputzt ca. 0,2 mm/min bis 0,4 mm/min) und niedrigere Maximaltemperaturen (unverputzt 625 °C bis 650 °C, verputzt 160 °C bis 430 °C) auf. Es wird angenommen, dass das Putzsystem für einen gewissen Luftabschluss sorgt und die Schwelprozesse durch den gesteigerten Sauerstoffmangel beeinflusst werden.

In den Bereichen der schwelenden Holzfaserdämmung (außerhalb des Initialbereichs) reduzierte sich die Temperatur auf der Putzaußenseite erwartungsgemäß mit zunehmender Dicke des Putzsystems. So wurden für ein 6 mm starkes Putzsystem bis zu 135 °C und für ein 40 mm starkes Putzsystem maximal 44 °C auf der Putzoberfläche festgestellt.

Die in Abbildung 3 dargestellten Zersetzungsmuster in Dämmstoffmitte, nach dem selbstständigen Erlöschen der Probekörper, sowie die Temperatureaufzeichnungen im Holzfaserdämmstoff, belegen einen richtungsändernden Fortschritt der Schwelfronten. Bei der Mehrzahl der Probekörper wurden tendenziell vertikal aufsteigende Schwelvorgänge aufgezeichnet. Bis zu ihrem selbstständigen Erlöschen verliefen die Schwelvorgänge im verputzten Holzfaserdämmstoff, bei 12 der 14 bisher untersuchten Probekörper, insgesamt zwischen 46 und 105 Stunden. [3]

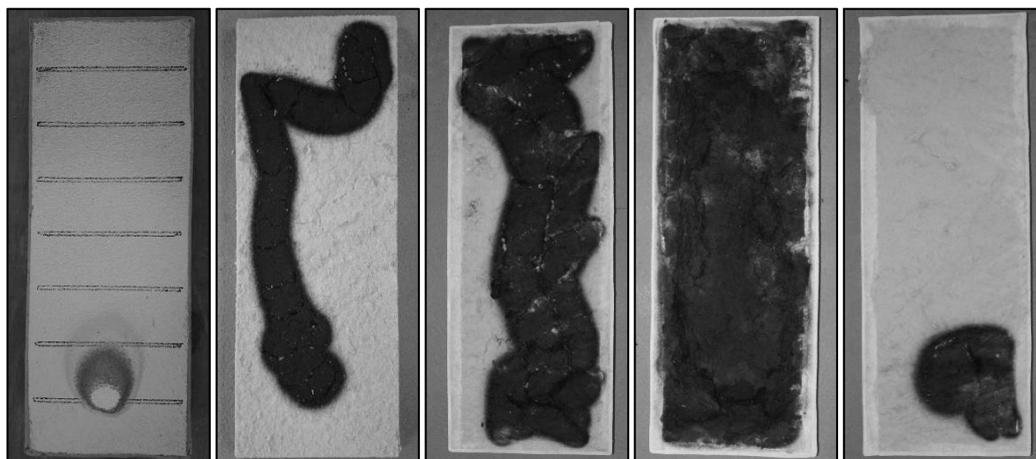


Abbildung 3: verputzter Probekörper nach der Beflammung (links), sowie typische Schwelverläufe nach Versuchsende in Holzfaserdämmstoffmitte

2.2. Variante 2: WDVS mit Dickschichtputzsystem

Der zweite Lösungsweg, der aus Sicht der Forschungspartner ausgewogen zwischen Brandsicherheit und Wirtschaftlichkeit vermittelt, sieht vor, dass die Glimmneigung des Dämmstoffes akzeptiert wird, allerdings ein Dickschichtputzsystem als thermische Schutzschicht im Brandfall die Auslösung von Schwelprozessen im Holzfaserdämmstoff verhindert. Für die Auslegung dieser Putzsysteme wurde für die verwendeten Holzfaserdämmplatten zunächst die Initialtemperatur des Schwelvorgangs unter einer Abdeckung (vergleichbar dem Putz eines WDVS) im Labormaßstab mittels Cone-Kalorimeter bestimmt [2, 5]. Die Initialtemperatur ist die niedrigste Temperatur zwischen Probekörperabdeckung und Dämmstoffoberfläche, bei der ein kontinuierlicher Schwelprozess ausgelöst wurde. Die Untersuchungen zeigten, dass erst bei einer Initialtemperatur von 350 °C ein kontinuierlicher Schwelprozess ausgelöst wurde (Abbildung 4).

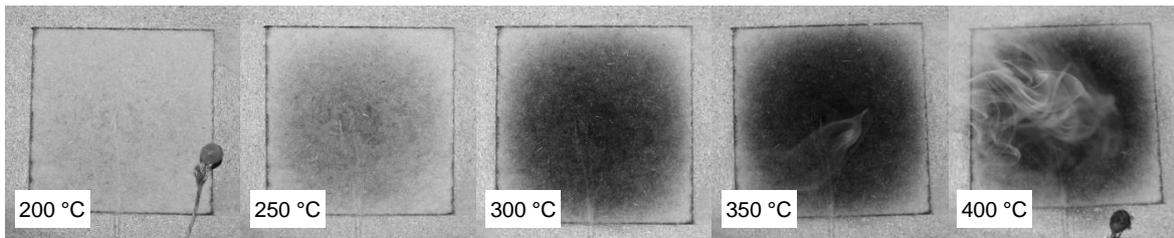


Abbildung 4: Oberfläche des Holzfaserdämmstoffes unter der Abdeckung nach dem Erreichen einer dargestellten Temperaturstufe

Die Auswertung bereits durchgeführter Brandversuche der Forschungspartner führte zu der Entscheidung, dass ein Sturz- und Laibungsschutz aus nichtbrennbaren und nicht-schmelzenden Dämmstoffen zusätzlich zum Dicksicht-Putzsystem im direkt beflammt Fensterbereich erforderlich ist, da eine Auslegung des Putzsystems auf die thermischen Einwirkungen in diesem Bereich unwirtschaftlich erschien. Außerdem zeigten die Versuche, dass sich der Putz im Sturzbereich während der Beflammung öffnen kann. Dieser Mechanismus wurde jedoch bei keinem Brandversuch im Rahmen des Forschungsvorhabens beobachtet. Außerhalb des Sturz- und Laibungsschutzes soll das Putzsystem die Holzfaserdämmung vor einem Temperaturanstieg über die Initialtemperatur von 350 °C hinaus schützen.

Die speziell für das Forschungsvorhaben entwickelten Putzvarianten wurden entsprechend dieses Leistungskriteriums untersucht und optimiert [2, 5]. Im Labormaßstab wurden verschiedene Putzdicken untersucht und für die Großbrandversuche eine Mindestputzdicke von 25 mm (Dickschichtputz) ausgewählt, die auch im abschließenden Belegversuch verwendet wurde. Die am Fassadenprüfstand durchgeführten Beleg-Versuche erfolgten in Anlehnung an DIN 4102-20. Hierbei handelt es sich um einen realmaßstäblichen Systemaufbau von ca. 6m Höhe mit einer Brandeinwirkung von 350 kW über 20 min mit einem Gasbrenner. Bei den Großbrandversuchen wurde eine 100 mm starke Holzfaserdämmplatte mit Flammschutzmittel eingesetzt, die die Euroklasse C-d0-s1 erfüllt. Für den Sturz- bzw. Laibungsschutz wurde Steinwolle verwendet.

Während der Beflammung und der anschließenden Beobachtungszeit von insgesamt 65 min bis zur Abkühlungsphase wurde die Initialtemperatur von 350 °C nicht erreicht. Dies zeigt auch das Öffnen des Systems nach der Beflammung (Abbildung 5).



Abbildung 5: Holzfaser-WDVS während der Beflammung im Fassadenprüfstand (links); nach Versuchsende geöffnetes System mit ungeschädigtem Holzfaserdämmstoff im Bereich über der Brandraumöffnung (rechts)

Das Dickschicht-Putzsystem sollte zusätzlich dem sogenannten Sockelbrandversuch unterzogen werden, der insbesondere für Systeme auf Basis von Polystyrol entwickelt wurde im Rahmen von allgemein bauaufsichtlichen Zulassungen durchgeführt wird. Hierbei erfolgt die Brandeinwirkung über eine 200 kg Holzkrippe, welche einen Müllcontainerbrand mit einer Brandleistung von ca. 2,5 MW repräsentieren soll. Geplant und realisiert wurde der Ausschnitt des Holzfaser-WDVS für den Sockelbrandversuch mit einem 60 cm hohen XPS-Sockelbereich mit 80 mm Dämmstoffdicke. Damit ergab sich zum eigentlichen WDVS ein deutlicher Versprung, der brandschutztechnisch einen kritischen Bereich darstellt und untersucht werden sollte. In diesem Übergangsbereich wurde ein Brandriegel aus Steinwolle eingesetzt, da ein Schmelzen des klassisch, dünn-schichtig verputzten XPS erwartet wurde.

Die Temperaturaufzeichnung während der Beflammung und die anschließenden Beobachtungs- bzw. Abkühlzeiten ließen vermuten, dass keine selbsterhaltenden Schwelprozesse im Holzfaser-WDVS ausgelöst wurden. Dies wurde durch Öffnen des Systems nach der Abkühlzeit bestätigt. In Abbildung 6 ist nach dem Rückbau zu erkennen, dass es zu leichten Verfärbungen auf der Dämmstoffoberfläche im unteren Bereich des Holzfaser-WDVS gekommen ist. Die Putzschichtdicke in diesem Bereich wurde beim Rückbau gemessen und lag bei ca. 30 mm. Das System scheint damit an seiner Auslegungsgrenze.



Abbildung 6: Holzfaser-WDVS während der Beflammung im Sockelbrandversuch (links); Nach Versuchsende geöffnetes System im Sockelbrandversuch, mit leichten Verfärbungen im Bereich der Holzkrippe (rechts)

2.3. Variante 3: WDVS mit Schwelbarrieren

Bei diesem System könnte im Brandfall zwar ein Schwelbrand in der Holzfaserdämmung ausgelöst werden, wäre jedoch durch die Anordnung von horizontalen und vertikalen Schwelbarrieren räumlich begrenzt, um einen Schwelprozess auch in Fassadenbereichen zuverlässig stoppen zu können, die für die Feuerwehr nicht unmittelbar erreichbar sind. Die Wirtschaftlichkeit dieses Systems hängt daher in erster Linie vom erforderlichen Abstand der Schwelbarrieren ab und ist Gegenstand der laufenden Risikoanalyse. Hierbei spielen die Schwelgeschwindigkeit, CO-Freisetzung und Rauchdichtigkeit der Außenwandbauteile eine entscheidende Rolle.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf Forschungsvorhaben, welche durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie sowie durch die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft gefördert wurden. Forschungspartner waren die TU Braunschweig, die Hochschule Magdeburg-Stendal, das Fraunhofer

Institut für Holzforschung (WKI) und das Institut für Brand- und Katastrophenschutz in Heyrothsberge. Industriepartner waren die Wolfgang Endress Kalk- und Schotterwerk GmbH & Co. KG, die Holzbau Weizenegger GmbH und die HOMANIT Building Materials GmbH & Co. KG.

Basierend auf den in [1, 2, 3, 4, 5] veröffentlichten Grundlagenuntersuchungen wurden Großbrandversuche durchgeführt. Es konnte nachgewiesen werden, dass WDVS auf Basis von Holzfaserdämmplatten mit entsprechenden Brandschutzmaßnahmen das Schutzziel Begrenzung der Brandausbreitung erreichen. Durch den Dickschichtputz wird sichergestellt, dass sich der brennbare Dämmstoff nicht am Brandgeschehen beteiligt und somit auch kein Schwelbrand ausgelöst wird. Auch beim sogenannten Sockelbrand, der mit 2,5 MW eine deutlich stärkere Brandeinwirkung darstellt und für die meisten Brandszenarien abdeckend ist [8, 9], wurde das Auslösen selbsterhaltender Schwelprozesse verhindert. Das Brandverhalten der Fassade entspricht bei den durchgeführten Brandversuchen damit sogar eher dem einer nichtbrennbaren Fassade. Selbst für den unwahrscheinlichen Fall, dass der thermische Schutz der Putzschicht aufgrund einer ungewöhnlich hohen Brandbelastung oder Ausführungsfehlern nicht funktioniert, ist das daraus resultierende Brandverhalten weiterhin beherrschbar. Der sich dann im System entwickelnde Schwelbrand breitet sich nur sehr langsam aus, sodass der Feuerwehr ausreichend Zeit für die erforderlichen zusätzlichen Löschmaßnahmen bleibt. Es handelt sich daher im Vergleich zu den konkurrierenden Systemen auf Polystyrolbasis um ein äußerst robustes System. Eine derart rasche Brandausbreitung wie bei den Systemen auf Polystyrolbasis (siehe Schadensfälle der letzten Jahre [10]) ist bei den untersuchten Systemen nicht zu befürchten.

Die derzeitige Regelung der Landesbauordnungen, dass keine schwelenden (und damit normalentflammbaren) Dämmstoffe bei mehrgeschossigen Gebäuden verbaut werden dürfen, auch wenn das Gesamtsystem die Anforderungen an eine schwerentflammbare Außenwandbekleidung erfüllt, sind auf Grundlage der Forschungsergebnisse nicht mehr nachvollziehbar. Die Forschungsergebnisse werden deshalb an die Projektgruppe Brandschutz der Bauministerkonferenz herangetragen, um zu prüfen, ob sie zukünftig Einzug in die bauaufsichtlichen Regelungen erhalten können.

Die bisherigen Forschungsergebnisse liefern aber auch jetzt schon wertvolle Erkenntnisse, die beispielsweise für Zustimmungen im Einzelfall zur Realisierung mehrgeschossiger Holzfaser-WDVS genutzt werden können. Referenzobjekte bzw. -fassaden würden den Prozess zur zukünftigen baurechtlichen Regelung unterstützen und könnten zur Verbreitung der Systeme beitragen. Bei Interesse bieten die Autoren gerne ihre Unterstützung bei der Realisierung von Referenzfassaden an.

4. Literatur

- [1] Kampmeier, B.: Fassaden mit brennbaren Dämmstoffen – eine nachhaltige Lösung? In: Tagungsband der 66. Jahresfachtagung der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes am 27.- 29. Mai 2019
- [2] Küppers, J.; Steeger, F.: Verwendung brennbarer Dämmstoffe bei mehrgeschossigen Gebäuden. In: Zehfuß, J. (Hg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage 21.- 22.09.2016, Tagungsband, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, 2016, ISBN 978-3-89288-213-8.
- [3] Steeger, F.; Küppers, J.; Brunkhorst, S.: Untersuchungen zum Schwel- und Glimmverhalten von Holzfaserdämmstoffen zur Verwendung im Wärmedämmverbundsystem. In: Krause, U.(Hg.): 5. Magdeburger Brand- und Explosionsschutz-tage 23.-24.03.2017, Tagungsband, Institut für Apparate- und Umwelttechnik, Magdeburg, 2017.
- [4] Steeger, F.; Küppers, J.; Brunkhorst, S.: Schwel- und Brandverhalten von Wärmedämmverbundsystemen aus Holzfaserdämmplatten. In: Bautechnik 94, Heft 6, S. 361-367, 2017. (<https://doi.org/10.1002/bate.201700027>)
- [5] Küppers, J.; Zehfuß, J.; Steeger, F.; Kampmeier, B.: Fire safety of ETICS with wood fibreboards for multi-storey buildings. In: 2nd International Seminar on Fire Safety of Facades, 11.-13. May 2016, Lund, Schweden. (<http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20164605007>)
- [6] Kampmeier, B.; Zehfuß, J.; Küppers, J.; Steeger, F.: Brandschutzmaßnahmen bei Holzfaser-WDVS, In: Bauen mit Holz, Bruderverlag GmbH & Co. KG; Heft 1/2019 und 2/2019
- [7] Technisches Merkblatt: Gutex Pyroresist ® wall; 12/2018
- [8] Kotthoff, I.: Grundlagen für die Zulassung und Normung des Brandverhaltens von Fassadenbekleidungen, In: Hosser, D. (Hg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage 19.-20.09.2012, Tagungsband, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, 2012, Heft 218
- [9] Bachmeier, P.: WDVS mit Polystrol-Dämmstoffen - welche Maßnahmen sind notwendig? In: FeuerTrutz Magazin 1.2015.
- [10] Feuerwehr Frankfurt am Main: Zusammenstellung von Brandereignissen in Verbindung mit WDVS im Auftrag der AGBF-Hessen, AGBF-Bund und des Deutscher Feuerwehrverband e.V. (www.feuerwehr-frankfurt.de/index.php/mediathek/category/31-wdvs?download=145:brandereignisse-in-verbinding-mir-waermedaemmverbundsystemen).

Fassadensystem mit vorgefertigten Holzrahmenbauelementen für den Hochhausbereich

Clemens Le Levé
Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften
AB Holzbau
Universität Innsbruck
Innsbruck, Österreich



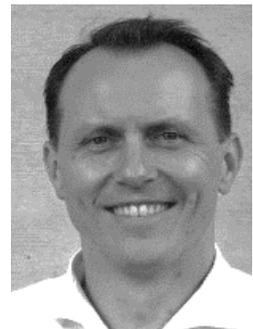
Anton Kraler
Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften
AB Holzbau
Universität Innsbruck
Innsbruck, Österreich



Michael Flach
Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften
AB Holzbau
Universität Innsbruck
Innsbruck, Österreich



Thomas Badergruber
Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften
AB Holzbau
Universität Innsbruck
Innsbruck, Österreich



Fassadensystem mit vorgefertigten Holzrahmenbauelementen für den Hochhausbereich

1. Einleitung

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit vorgefertigten Fassadensystemen aus Holzrahmenelementen als Dämmelement für die Sanierung und den Neubau im Hochhausbereich, einem sensiblen Bereich des Brandschutzes.

Im Hochhausbereich spielt der Brandschutz bei Fassadensystemen eine zentrale Rolle. Brände, wie jene beim Grenfell Tower in London im Sommer 2017, wo sich das Feuer innerhalb kürzester Zeit über die Fassade ausbreiten konnte, untermauern die Tragweite von Brandkatastrophen und demonstrieren den dringenden Handlungsbedarf.

Der Einsatz von brennbaren Bauprodukten in der Fassadenkonstruktion von Hochhäusern ist in den meisten Ländern untersagt. In Österreich schreibt die OIB Richtlinie 2.3 für alle Bauteile in und an der Fassade das Brandverhalten A2 vor. Nun stellt sich die Frage, ob vorgefertigte Fassadensysteme in Holzbauweise für den genannten Einsatzbereich so ausgeführt werden können, damit sie trotz des brennbaren Baustoffes Holz als Unterkonstruktion den hohen brandschutztechnischen Anforderungen für den Hochhausbereich entsprechen.

Vorgefertigte Fassadensysteme, welche an einen Neubau oder an den Bestand gehängt werden, haben in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Sie werden großformatig inklusive Dämmung, Fenster, Außenhaut, Haustechnik u.v.m. vorgefertigt und können somit innerhalb kürzester Zeit auf der Baustelle nach dem Baukastensystem an die tragende Bestandsaußenwand montiert werden.

Anhand der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem Projekt «Ökologisches Fassadensystem zur Sanierung in der Gebäudeklasse 5», welche wir beim 8. HolzBauSpezial Bauphysik HBS 2017 vorstellten, wurde am Arbeitsbereich Holzbau der Universität Innsbruck die Frage gestellt, inwieweit vorgefertigte Holzrahmenbauelemente auch für die thermische Sanierung im Hochhausbereich geeignet sind.

Eine der Kernfragen dabei ist, inwieweit trägt die Unterkonstruktion aus Holz, welche durch Gipsfaserplatten geschützt ist, zum Brand bei. In Abstimmung mit der Bau- und Feuerpolizei des Stadtmagistrats Innsbruck wird ein Schutzziel definiert, dass alle brennbaren Teile so zu schützen sind, dass diese über 90 Minuten keinen bzw. einen vernachlässigbar kleinen Beitrag zum Brand leisten. Anhand dieser Anforderung werden unterschiedliche Lösungsvarianten auf ihre Tauglichkeit untersucht und miteinander verglichen. Vom optimierten vorgefertigten Fassadenelement wird ein nach Normgröße vorgeschriebener Probekörper erstellt und entsprechend einer Feuerwiderstandsprüfung von nichttragenden Wänden nach der Außenbrandkurve thermisch beansprucht. Die Temperaturentwicklungen in der Holzunterkonstruktion und auf der feuerabgewandten Seite werden mittels Thermoelementen aufgezeichnet und ausgewertet. Aufbauend auf den Brandversuch besteht zudem die Möglichkeit, den Feuerwiderstand des vorgefertigten Fassadensystems in Holzbauweise als nichttragende Außenwandkonstruktion für einen Zeitraum von 90 Minuten zu klassifizieren.

2. Allgemeines

2.1. Brandschutzanforderungen an Fassaden und Außenwänden

Generell gilt festzuhalten, welches Bauteil welche Funktion übernimmt, wie die raumabschließende Wirkung erreicht wird, wie die Brandweiterleitung sowie die Ausbreitung des Rauches und der Beitrag zum Brand begrenzt wird. Dabei müssen die klar definierten

Schutzziele in allen Punkten erfüllt werden. Es sind die generellen Aufbauten als auch die kritischen Punkte, wie Befestigungsanschlüsse bei Fenstern und Türen zu beachten. Bzgl. der Brandschutzanforderungen werden prinzipiell drei Brandszenarien unterschieden, siehe Abbildung 1.

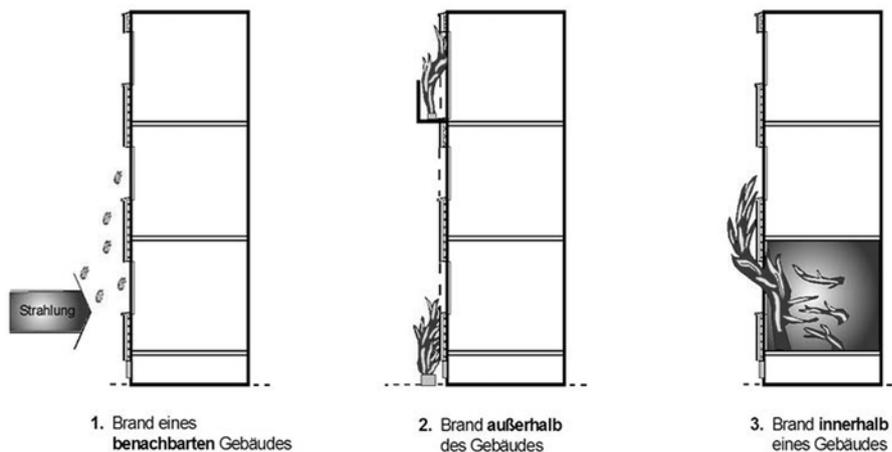


Abbildung 1: Typische Brandszenarien an der Gebäudeaußenwand [1]

- Funkenflug und Strahlung aufgrund eines Brandes im Nachbargebäude – Abb. 1-Links
- Brand außerhalb des Gebäudes (z.B. brennender Mistkübel) – Abb. 1 – Mitte
- Brand innerhalb des Gebäudes und Flammenaustritt aus Gebäudeöffnungen – Abb.1-rechts

2.2. Anforderung an das Brandverhalten in Österreich

Bereits ab der GK 4 (Fluchtniveau 11 m) und natürlich auch bei GK 5 (Fluchtniveau 22 m) gilt bei Fassaden, dass eine Brandweiterleitung über die Fassade wirksam eingeschränkt werden muss. In der OIB Richtlinie 2 und 2.3 werden dazu die Schutzziele für die gängigsten Fassadentypen aufgelistet. In der genannten Richtlinie sind zudem die allgemeinen Anforderungen an das Brandverhalten und deren Komponenten geregelt und zusammengefasst – siehe Tabelle 1. Für Hochhäuser gilt, dass alle nichttragenden Außenwandbauteile mindestens das Brandverhalten A2-d1 aufweisen müssen, d.h. grundsätzlich dürfen keine brennbaren Materialien verwendet werden.

Tabelle 1: Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten nach OIB Richtlinie 2 und 2.3 [2,3,4]

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5		Hochhaus
					≤ 6 OG	> 6 OG	Fluchtniveau >22m
Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten von Fassaden							
Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme	E	D	D	C-d1	C-d1	C-d1	A2-d1
Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete							
Gesamtsystem <i>oder</i>	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1	A2-d1
Einzelkomponenten							
- Außenschicht	E	D	D	A2-d1 ⁽²⁾	A2-d1 ⁽²⁾	A2-d1 ⁽³⁾	A2-d1
- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	E / E	D / D	D / A2	D / A2	D / A2	C / A2	A2 / A2
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	E	D	D	B ⁽²⁾	B ⁽²⁾	B ⁽³⁾	A2
sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽⁴⁾	B-d1 ⁽⁴⁾	B-d1	A2-d1
nichttragende Außenwandbauteile	-	-	-	-	-	-	A2-d1
Gebäudetrennfugenmaterial	E	E	E	A2	A2	A2	A2
Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl.	-	-	-	B ⁽⁴⁾	B ⁽⁴⁾	B	A2

(1) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig, wenn das Gesamtsystem die Klasse D-d0 erfüllt;

(2) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 oder aus Holz und Holzwerkstoffen in D zulässig;

(3) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 zulässig;

(4) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;

Die Unterschiede für den Hochhausbereich zum bereits klassifizierten Fassadensystem von der Universität Innsbruck, AB Holzbau, für die Gebäudeklassen 4 und 5 sind:

- Der Schmelzpunkt der Dämmung muss $\geq 1000^\circ \text{C}$ sein – z.B. Mineralwolle
- Das Fassadensystem wird nicht verputzt sondern mit einer für den Hochhausbereich zugelassenen hinterlüfteten Fassade ausgeführt.
- Die Holzrahmenkonstruktion muss durch nichtbrennbare Platten so geschützt sein, dass sie keinen Beitrag zum Brand liefert.

Die Brandschutzziele an Fassaden von Hochhäusern ähneln ansonsten den Zielen für Fassaden der Gebäudeklassen 4 und 5. Diese sind wie folgt definiert.

- Maximale zulässige Brandausbreitung des Feuers über die Fassade bis zum zweiten Stockwerk über der Brandquelle.
- Es muss verhindert werden, dass Fassadenteile herabfallen.
- Es darf keine Gefahr für flüchtende Menschen und Rettungsmannschaften bestehen.

Darüber hat die Gebäudeaußenwand auch einen Beitrag zum Feuerwiderstand zu leisten. Dieser ist in Österreich wie folgt geregelt, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Anforderungen an den Feuerwiderstand von Geschossdecken und Außenwänden

Anforderungen an den Feuerwiderstand von Geschossdecken und Außenwänden bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 mit mehr als 6 Geschossen und Hochhäusern		
Bauteil	Beanspruchung	Anforderung
Geschoßdecke	von oben bzw. unten	REI 90 und A2
Außenwand	von innen	(R) EI 90 _(i→o) und A2
	von außen	(R) EI 90-ef _(i←o) und A2

Anmerkung: In Gebäudeklasse 5 wird für Wände im und Decken über dem obersten Geschoss (R) EI 60 gefordert ef «external fire» steht für Außenbrandkurve; «i→o» bzw. «i←o» zeigt die Brandbeanspruchungsrichtung an.

3. Fassadensystem mit vorgefertigten Holzrahmenbauelementen für den Hochhausbereich

Die Hauptaufgabe in diesem Projekt liegt darin, eine brandschutzsichere Anwendung von vorgefertigten Holzrahmenbauelementen für den Hochhausbereich mit einem Fluchtniveau von $\geq 22 \text{ m}$ zu entwickeln. Der Nachweis über die Brandbeständigkeit, zufolge Brandbeanspruchung von Außen, wird durch einen Brandversuch erbracht.

Das vorgefertigte Holzrahmenfassadensystem wird als nicht tragendes Dämmelement an die tragende Außenwand für die Sanierung bzw. auch für den Neubau eingesetzt. D.h. großflächige Elemente werden mit einem ebenfalls von der Universität entwickelten Fassadenverbinder wie Bilderrahmen an die Wand gehängt [15].

Als Abweichung des Fassadensystems, bezogen auf die Anforderungen in Österreich, ist vor allem die linear angeordnete Holzunterkonstruktion in D-s2, d0 als brennbares Material zu nennen. Da für solche Abweichungen keine normative Regelung besteht wird in Abstimmung mit den örtlichen Behörden (Stadtmagistrat Innsbruck, Abteilung Bau- und Feuerpolizei) vereinbart, dass alle brennbaren Bauteile (Unterkonstruktion aus Holz) so geschützt werden müssen, dass sie keinen bzw. einen vernachlässigbaren Beitrag zum Brand liefern während der geforderten Feuerwiderstandszeit von 90 Minuten. Um dieses Kriterium nachzuweisen, wird an der akkreditierten Prüfstelle dem IBS-Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung in Linz folgendes Prüfzenario durchgeführt.

Der Prüfkörper (3 m hoch, 4 m breit) wird nach ÖNORM EN 1363-1, -2 [5, 6] und ÖNORM EN 1364-1[7] entsprechend der Feuerwiderstandsprüfung von nichttragenden Wänden und in Anlehnung an das Kapselkriterium nach ÖNORM EN 13501-2 [8] und ÖNORM EN 14135 [9] geprüft. Da das vorgefertigte Element an eine tragende mineralische Außenwand montiert wird, wird mit dem Brandversuch eine außenseitige Brandbeanspruchung

simuliert. D.h. abweichend zu herkömmlichen Feuerwiderstandsprüfungen wird als Brandeinwirkung die Außenbrandkurve anstatt der Einheitstemperaturzeitkurve herangezogen. Der Verlauf der Außenbrandkurve wird in Abbildung 2 dargestellt und mathematisch beschrieben. Sie entspricht anfänglich näherungsweise der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK), bleibt jedoch ab einer Temperatur von 680°C konstant.

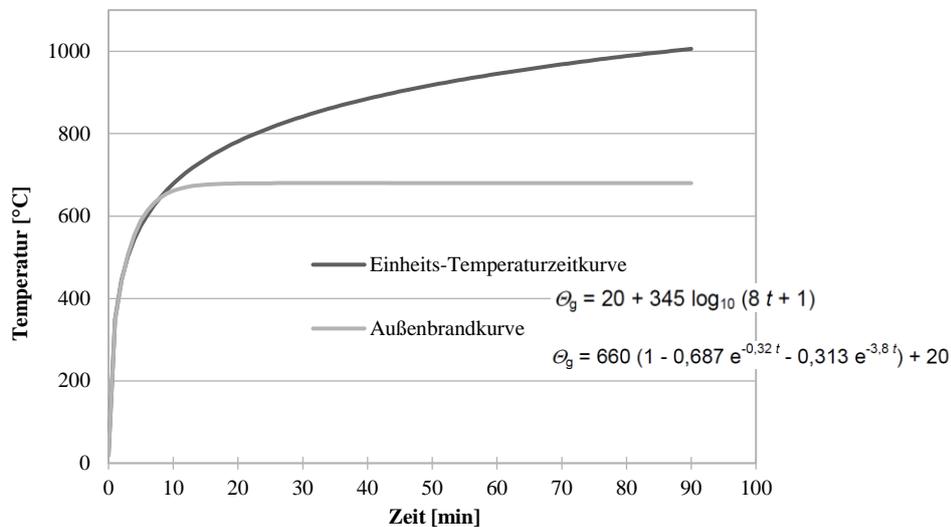


Abbildung 2: Außenbrandkurve verglichen mit der Einheits-Temperaturzeitkurve [6,10,11]

3.1. Numerische Simulation und Aufbau des Versuchskörpers

Aufgrund fehlender Kenntnisse über die «Kapselwirkung» von Gipsfaserplatten unter Beanspruchung mit der Außenbrandkurve wurden in Zusammenarbeit DI Josef Kögel (ehemaliger Mitarbeiter am AB Holzbau) mit dem Finite Elemente Programm «ANSYS» numerische Simulationen durchgeführt, damit eine möglichst exakte Planung der Aufbau-schichten möglich ist, um während 90 Minuten die Holzunterkonstruktion von einer Mitwirkung am Brand zu schützen. Der Aufbau des Prüfkörpers besteht aus zwei Varianten, wie in Abbildung 3 dargestellt.

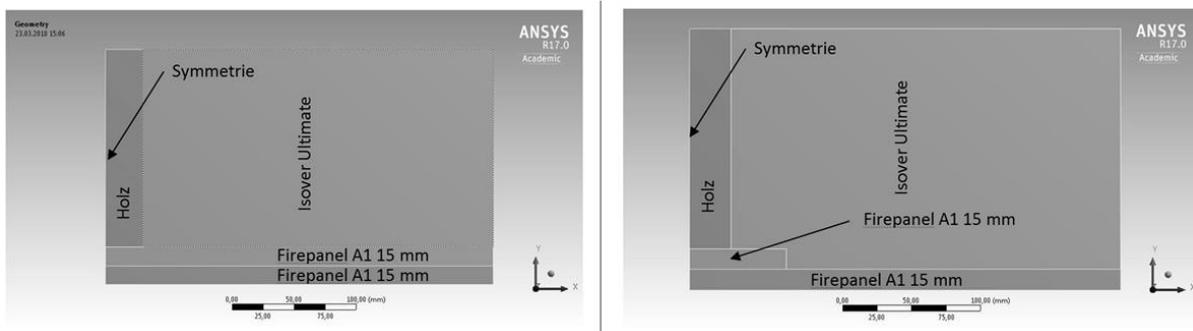


Abbildung 3: Darstellung der Aufbauten als Modell zur Simulation und zur Herstellung des Versuchskörpers

In Abbildung 3 sind die zwei Modelle dargestellt, welche simuliert wurden und im Brandversuch zur Anwendung kamen. Links ist Variante WA1 mit durchgängig doppelter Beplankung aus Gipsfaserplatten dargestellt und rechts die Variante WA2 mit einfacher Beplankung und zusätzlicher Hinterlegung des Ständers mit beidseitig 40 mm Überstand. Eine Hälfte des Versuchskörpers wird mit WA1 und die zweite Hälfte mit WA2 ausgeführt. Durch die Wahl der zwei unterschiedlichen Wandaufbauten in einem Prüfkörper können mit einem Brandversuch zwei Ergebnisse erzielt werden. Allerdings mit dem Risiko, dass wenn der schwächere Wandbauteil (WA2) vor den 90 Minuten Feuerwiderstandsdauer versagt, die gesamte Prüfung wiederholt werden muss. Zu erwähnen ist auch, dass die Feuerwiderstandsprüfung ohne hinterlüftete Fassade durchgeführt wird, dies gewährleistet und ermöglicht im Nachhinein eine flexible und freie Fassadengestaltung. Eine Zulassung für die hinterlüftete Außenhülle ist für den Hochhausbereich ohnehin erforderlich. Der

Prüfkörper wird bei der Firma Schafferer Holzbau GmbH hergestellt. In der folgenden Bilderserie sind ein paar wesentliche Details zur Vorfertigung dargestellt.



Abbildung 4: Vorfertigung der Holzrahmenkonstruktion mit Thermoelementen

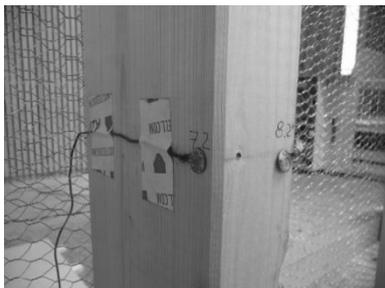


Abbildung 5: Detailaufnahme – Lage der Thermoelemente an der Stirn- und Längsseite



Abbildung 6: Gefachdämmung

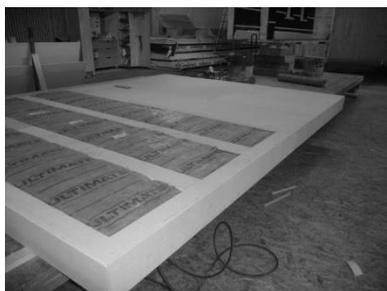


Abbildung 7: Anbringung 1. Lage Gipsfaserplatten



Abbildung 8: fertiges Element, 2. Lage Gipsfaserplatten

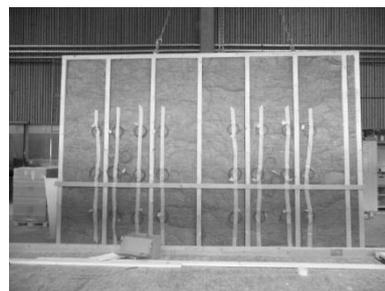


Abbildung 9: Ansicht brandabgewandte Seite

3.2. Versuchsablauf

Der Feuerwiderstandstest wird beim IBS Linz durchgeführt. Wie in den Abbildungen 10 + 11, wird das vorgefertigte Fassadenelement vor Ort in den Versuchsrahmen eingebaut.



Abbildung 10: Ansicht Prüfofen ohne Probekörper



Abbildung 11: Ansicht Prüfofen mit Probekörper

Während der Brandprüfung wurden Umgebungstemperatur, Ofentemperatur, Ofendruck, Verformungen und die Temperatur der 36 Thermoelemente gemäß ÖNORM EN 1363-1 und ÖNORM EN 1364-1 vor und während der Prüfung aufgezeichnet. Der Druck in der Brandkammer wurde so geregelt, dass an der Probekörperoberkante 20 Pascal nicht überschritten werden.

Der Temperaturverlauf in der Brandkammer entspricht der Außenbrandkurve gemäß ÖNORM EN 1363-2 [6], siehe Abbildung 2.

Zusätzlich werden auch der Rauchaustritt aus den Fugen, Risse an den Gipsfaserplatten (so lange als möglich) und die Verfärbung der Dämmung beobachtet und dokumentiert.

Die folgende Bilderreihe zeigt die sichtbaren Veränderungen des Probekörpers beim Brandversuch während den 90 Minuten.

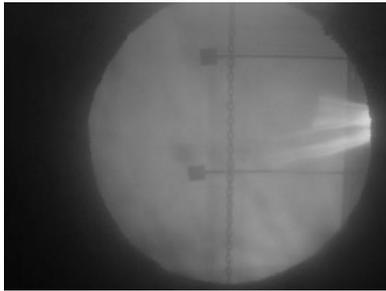


Abbildung 12: Beginn Brandversuch – Blick durch das Beobachtungsfenster



Abbildung 13: Nach 11 Minuten Rauchaustritt zwischen Probekörper und Prüfrahmen



Abbildung 14: nach 40 Minuten – Risse in den Gipsfaserplatten bei WA2 (einfache Beplankung)



Abbildung 15: nach 47 Minuten beginnende Braunverfärbung bei Probekörperhälfte WA2

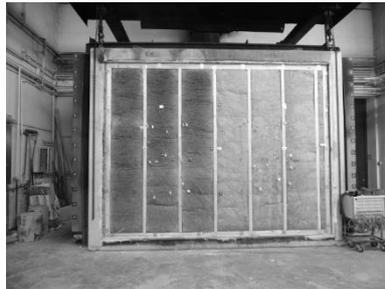


Abbildung 16: nach 70 Minuten ausgeprägte Braunverfärbung der Mineralwolle bei der Probekörperhälfte WA2



Abbildung 17: Ansicht Probekörper bei Prüfende (90 Minuten), links- WA2-einfache Beplankung, rechts- WA1-doppelte Beplankung

3.3. Visuelle Auswertung nach Prüfende

Wie bei den Abbildungen 15 bis 17 ersichtlich weist der Probekörper auf der feuerabgewandten Seite - links (WA2) mit der einfachen Beplankung eine starke Braunverfärbung auf. Auf der rechten Seite (WA1) ist keine Veränderung fest zu stellen.

Nach Öffnung der Brandkammer ist an der feuerzugewandten Seite, am Prüfkörper folgendes zu erkennen:

Auf der einfach beplankten Seite (WA2) des Probekörpers waren an den Gipsfaserplatten tiefe Risse und Sprünge und Gluterscheinungen im Inneren des Probekörpers erkennbar. Nach dem Entfernen dieser Platten wurden auch an den Holzständern über die gesamte Länge starke Verkohlungen und starke Pyrolyseerscheinungen sichtbar.

Auf der doppeltbeplankten Seite (WA1) sind unmittelbar nach dem Brandversuch nur wenige Risse, vor allem auf halber Plattenhöhe, sichtbar. Nach dem Entfernen der Gipsfaserplatten und der Wärmedämmung sind nur im Bereich dieser Risse und der Plattenstöße Verkohlungen und Pyrolyseerscheinungen sichtbar. Durch das Öffnen der Gipsfaserplatten nach Prüfende kann in diesen Bereichen zufolge erhöhter Luftzufuhr eine fortschreitende Verkohlung der Holzständer beobachtet werden. Wie in Abbildung 23 ersichtlich ist noch 34 Minuten nach Prüfende ein nachglühen und somit ein fortschreiten der Verkohlung nach Prüfende vorhanden. Trotzdem, dass die Verkohlung nach Prüfende noch über 30 Minuten fortschreitet beträgt der kleinste gemessene Querschnitt, bezogen auf den Ursprungsquerschnitt noch immer ca. 95 %.

Im Anschluss eine kleine Bilderreihe über den Zustand des Prüfkörpers auf der feuerzugewandten Seite.



Abbildung 18: Unmittelbar nach Prüfeinde – wenige Risse in Gipsfaserplatte – WA1



Abbildung 19: Unmittelbar nach Prüfeinde – große und viele Risse in Gipsfaserplatte – WA2



Abbildung 20: Öffnung der Beplankung – 6 Minuten nach Prüfeinde – WA1



Abbildung 21: Öffnung der Beplankung – 6 Minuten nach Prüfeinde – WA1



Abbildung 22: WA1 – Ansicht Steher hinter doppelter Beplankung – 26 Minuten nach Prüfeinde



Abbildung 23: WA1 – fortschreitende Verkohlung bei einzelnen Stehern im Bereich Plattenstoß – 34 Minuten nach Prüfeinde

3.4. Auswertung der Temperaturaufzeichnung

Die Auswertung der Temperaturen hinter der Beplankung erfolgt in Anlehnung an die ÖNORM EN 14135 [9] und ÖNORM EN 13501-2 [8]. Hiermit kann die Fähigkeit einer Brandschutzbekleidung beurteilt werden, welche dahinterliegenden Bauprodukte gegen Schäden während einer definierten Brandbeanspruchung schützt. Dabei darf während der gesamten Prüfzeit die mittlere Temperaturdifferenz um nicht mehr als 250 K im Vergleich zu Anfangstemperatur ansteigen. Die maximale Temperatur darf die Anfangstemperatur um nicht mehr als 270 K überschreiten. Zusätzlich wurden die Leistungskriterien für den Feuerwiderstand einer nichttragenden Außenwand, also sowohl der Raumabschluss E als auch die Wärmedämmung I für eine definierte Zeitdauer überwacht. Hierfür wurde während des gesamten Brandversuches die Temperaturentwicklung auf der brandabgewandten Seite der Außenwandkonstruktion aufgezeichnet und beurteilt. Als Grenze für die Temperaturerhöhung gilt gemäß ÖNORM EN 13501-2 [8] eine mittlere Temperaturerhöhung von 140 K und eine maximale Temperaturerhöhung an beliebiger Stelle von 180 K.

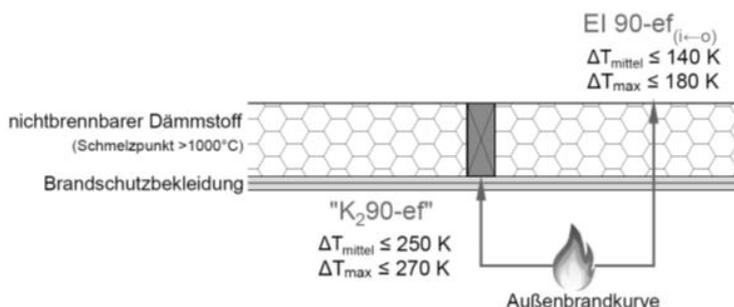


Abbildung 22: Leistungskriterium für den Feuerwiderstand und für die Brandschutzbekleidung [12]

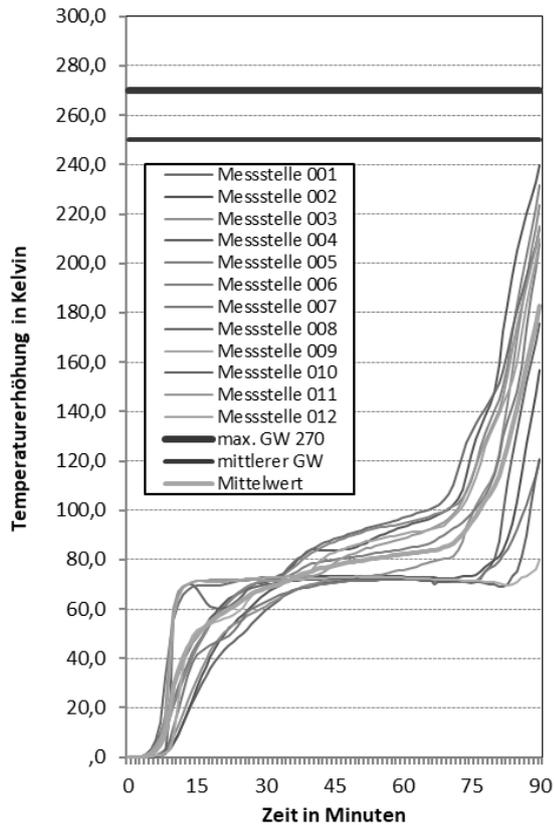


Abbildung 23: Temperaturentwicklung in der Holzunterkonstruktion – WA1 – doppelte Beplankung

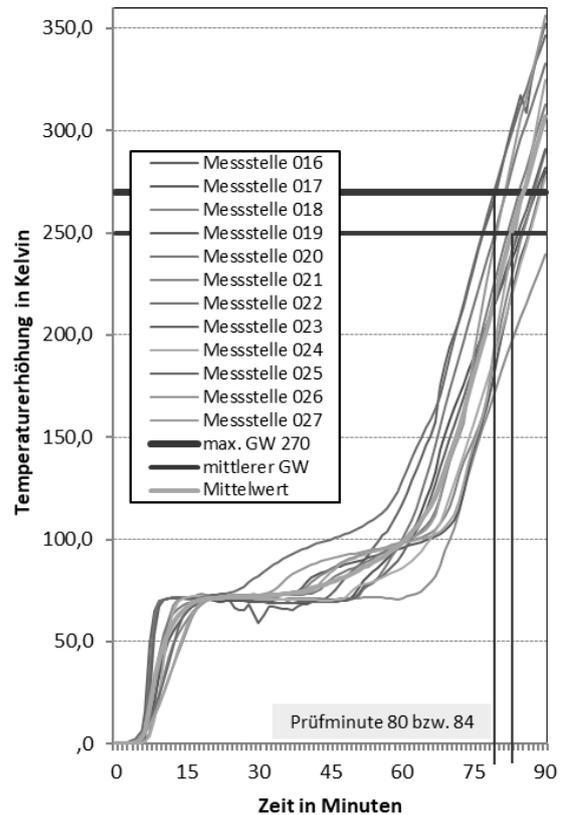


Abbildung 24: Temperaturentwicklung in der Holzunterkonstruktion –WA2 –einfache Beplankung

In Abbildung 23 ist die gemessene Temperaturerhöhung in der Holzunterkonstruktion für den Wandaufbau 1 (WA1), mit doppelter Beplankung, dargestellt. Über die gesamte Prüfdauer von 90 Minuten wurden die geforderten Grenztemperaturen nicht überschritten.

In Abbildung 24 ist die gemessene Temperaturerhöhung in der Holzunterkonstruktion für den Wandaufbau 2 (WA2), mit einfacher Beplankung und zusätzlicher Hinterlegung der Holzständer, dargestellt. Die mittlere Temperaturerhöhung (orange) überschreitet in Prüfminute 84 die Grenztemperaturdifferenz von 250 K. Die maximale Temperaturerhöhung überschreitet in Prüfminute 80 die Grenztemperatur von 270 K.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In den bestehenden österreichischen Vorschriften ist die Verwendung von Holz bei Außenwänden im Hochhausbereich nicht zulässig. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollten aber als argumentative Grundlage in einem objektspezifischen, stimmigen Brandschutzkonzept dienen.

Die Untersuchungen zeigen, wie und mit welchen Mitteln eine brennbare Unterkonstruktion in vorgefertigten Fassadensystemen bzw. vorgefertigten nicht tragenden Außenwänden im Hochhausbereich eingesetzt werden kann. Die Brandschutzbewertung der Konstruktion erfolgte über numerische Simulationen und einem Brandtest. Dabei wurde die Temperaturentwicklung auf der nicht Feuerabgewandten Seite und zwischen der Holzunterkonstruktion und den Gipsfaserplatten berücksichtigt.

Die Temperaturen auf der feuerabgewandten Seite wurden ebenfalls gemessen und bewertet. Die Grenztemperaturen von 140 K bzw. 180 K wurden dabei nicht überschritten. Die Wand WA1 ist bereits als EI90-ef_(0→i) klassifiziert.

Für die Bewertung der Brandschutzbeständigkeit gemäß ÖNORM EN 13501-2 [8] der Gipsfaserplatten wurden die Grenztemperaturen gewählt. Der Temperaturanstieg in der Wandkonstruktion WA1 blieb während der gesamten Prüfzeit von 90 Minuten unterhalb der Grenzwerte.

In der Wandkonstruktion WA2 (einfache Beplankung) wurde die maximale Temperaturerhöhung von 270 K nach 80 Minuten erreicht, die mittlere Temperaturerhöhung von 250 K trat in Minute 84 auf.

Nach derzeit geltenden gesetzlichen Bestimmungen sind brennbare Materialien (Holzunterkonstruktionen) im Fassadensystem für den Hochhausbereich verboten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können aber als argumentative Grundlage in einem objektspezifischen, inhaltlich schlüssigen Brandschutzkonzept herangezogen werden, um die Anwendung von vorgefertigten Fassadensystemen in Holzrahmenbauweise im Hochhausbereich zu ermöglichen.

5. Literatur

- [1] Scheer, C.; Peter, M.: Holz Brandschutz Handbuch. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (Hrsg.); 3. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin, 2009.
- [2] Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB Richtlinie 2: Brandschutz. Wien, 2015.
- [3] Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB Richtlinie 2, Leitfaden: Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte. Wien, 2015.
- [4] Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB Richtlinie 2.3: Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m. Wien, 2015.
- [5] ÖNORM EN 1363-1:2012. Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Wien, 2012.
- [6] ÖNORM EN 1363-2:2000. Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 2: Alternative und ergänzende Verfahren. Wien, 2000.
- [7] ÖNORM EN 1364-1:2015. Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile - Teil 1: Wände. Wien, 2015
- [8] C ÖNORM EN 13501-2:2016. Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen. Wien, 2016.
- [9] ÖNORM EN 14135:2004. Brandschutzbekleidungen - Bestimmung der Brandschutzwirkung. Wien, 2004.
- [10] ÖNORM EN 1991-1-2:2013. Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke (konsolidierte Fassung). Wien, 2013.
- [11] ÖNORM B 1991-1-2:2003. Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-2. Wien, 2003.
- [12] Le Levé, C.; Badergruber, T.; Kraler, A.: Ökologisches Sanieren mit verputzten, vorgefertigten Fassadenelementen in der Gebäudeklasse 5 mit mehr als 6 Vollgeschossen. Endbericht. Innsbruck, 2016.
- [13] Le Levé, C.; Badergruber, T.; Kraler, A.; Flach, M.: Ökologisches Fassadensystem zur Sanierung in der Gebäudeklasse 5. In: Forum Holz | Bau | Physik - 8. Holz-BauSpezial. Eigenverlag. Bad Wörishofen. 2017.
- [14] Le Levé, C.; Badergruber, T.; Flach M.: Ökologisch sanieren mit einem neuen Fassadensystem am Beispiel des Mayrhofs in Trins. In: Passivhaustagung 2018. München, 2018.
- [15] Le Levé, C.; Badergruber, T.; Kraler, A.; Flach, M.: Neue Wege in der thermischen Fassadensanierung und ein Systemverbinder zur schnellen und einfachen Montage. In: Der Bauingenieur, Heft 7/8-2018. Springer VDI Verlag, Düsseldorf, 2018 (to be published)
- [16] Teibinger, M.: Untersuchungsergebnisse beim Brandverhalten von Fassaden. In: OIB aktuell, Heft 3. Wien, 2014.

Brandschutztechnisch sichere hinterlüftete Holzfassaden – Status quo

Dr.-Ing. Michael Merk
Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
München, Deutschland



Thomas Engel M.Sc.
Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
München, Deutschland



Brandschutztechnisch sichere hinterlüftete Holzfassaden – Status quo

1. Einleitung

Bei Gebäuden normaler Art und Nutzung der Gebäudeklasse 4 und 5 müssen nichttragende Außenwände und nichttragende Teile tragender Außenwände aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, oder, sofern sie aus brennbaren Baustoffen bestehen, als raumabschließende Bauteile feuerhemmend sein. An Öffnungen (wie Fenster und Türen) werden bauordnungsrechtlich keine Anforderungen gestellt. Daraus lässt sich schließen, dass eine Brandweiterleitung durch eine aus einer Öffnung schlagenden Flamme auf die Fassade bauordnungsrechtlich toleriert wird.

Das baurechtliche Schutzziel an Fassaden muss folglich eine Brandausbreitung in mehrere Geschosse oberhalb und unterhalb der Brandausbruchstelle verhindern. Wirksame Löscharbeiten müssen darüber hinaus möglich sein und die Brandstellen für die Feuerwehr löschar sein (z.B. Brand in Hinterlüftungsspalt). Als bauordnungsrechtlicher Sicht werden dementsprechend Anforderungen zu Begrenzung der Brandausbreitung auf bzw. an der Fassade in § 28 MBO für mehrgeschossige Gebäude wie folgt definiert:

- *Absatz 1: Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen und Schürzen sind so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist.»*
- *Absatz 3: Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein [...]*

Weitere konkrete Schutzziele sind bis dato weder in der Bauordnung noch in den Technischen Bestimmungen (Bauregelliste bzw. Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen) auffindbar.

2. Schutzzieldiskussion: Höhe der Brandausbreitung

Zum aktuellen Zeitpunkt werden zunehmend für brennbare Außenwandbekleidungen aus Holz in Brandschutznachweisen bauordnungsrechtliche Abweichungen mit Verweis auf in Österreich oder in der Schweiz zugelassenen Konstruktionen, die in den dortigen landesspezifisch gültigen Regelungen aufgeführt, definiert. Diesen Lösungen liegen jedoch unterschiedliche Schutzziele zu Grunde, die eine Anwendung in Deutschland nicht ohne weiteres zulassen.

Bei der Betrachtung der bestehenden Anforderungen an Außenwandbekleidungen hat sich gezeigt, dass die in § 14 MBO (Brandschutz) geforderte Begrenzung der Brandausbreitung für Fassaden und Außenwandbekleidungen nicht eindeutig festgeschrieben ist. In der Literatur und Expertenkreisen bestehen hierzu unterschiedliche Aussagen. Einerseits wird die maximale Brandausbreitung auf drei Geschosse, andererseits auf zwei Geschosse (jeweils inklusive des Brandgeschosses) bis zum Eintreffen der Feuerwehr begrenzt. Für Deutschland existiert aktuell keine klare Definition des zu Grunde zu legenden Schutzziels.

Aus Sicht der Autoren ist das in Österreich in der OIB Richtlinie 2 (2015 Abschnitt 3.5.6) festgeschriebene allgemeine und konkrete Schutzziel für Fassadenbrände für Deutschland heranzuziehen. Hierin wird konkretisiert:

«Bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5¹ sind vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete Fassaden so auszuführen, dass

- *eine Brandweiterleitung über die Fassade auf das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß, und*
- *das Herabfallen großer Fassadenteile wirksam eingeschränkt wird.»²*

¹ Gebäudeklassen der OIB-Richtlinie sind mit denen der MBO im Wesentlichen vergleichbar

² OIB-Richtlinie 2: OIB-330.2-011/15

Konkret bedeutet dies, dass die maximale Brandausbreitung auf 2 Geschosse einzugrenzen ist (vgl. Abbildung 1).

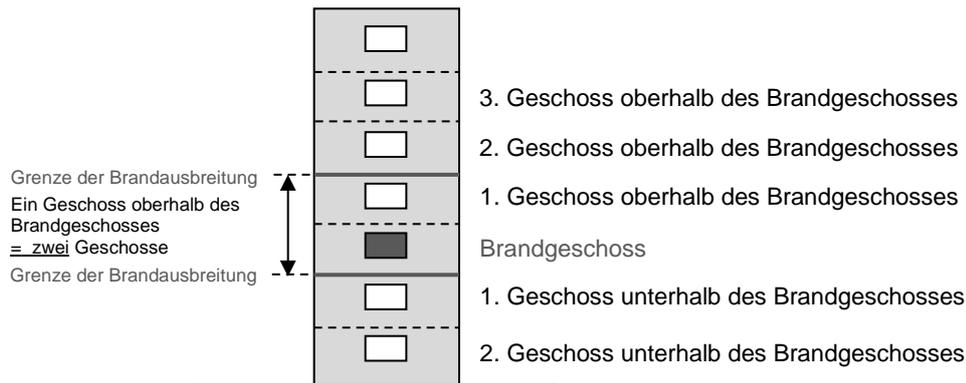


Abbildung 1: Darstellung des Schutzzieles für Fassaden nach (OIB) – «zwei Geschosse»³

Basierend auf Forschungsergebnissen der LIGNUM Gruppe wurde für die Schweiz folgendes Schutzziel formuliert:

«Bei einem Brand der Gebäudeaußenwand darf es vor dem Löschangriff der Feuerwehr nicht zu einer Brandausbreitung über mehr als zwei Geschosse oberhalb des Brandgeschosses kommen.» (Wiederkehr, Bart et al. 2003)

Hieraus ergibt sich eine Begrenzung der Brandausbreitung auf maximal 3 Geschosse (vgl. Abbildung 2).

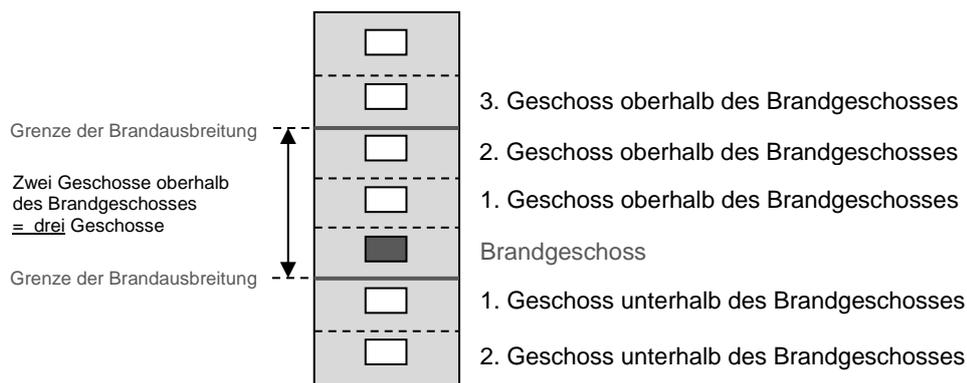


Abbildung 2: Darstellung «generelles Schutzziel für Fassaden» (Schweiz) – «drei Geschosse»

Im Zuge des Forschungsvorhabens TIMpuls⁴ soll in Absprache mit der Bauaufsicht sowie anderen Forschungsstellen ein konkretes künftig zitierbares Schutzziel für brennbare Fassaden aus Holz definiert werden.

3. Aktuelle Erkenntnisse auf Basis zuletzt durchgeführter Forschungsarbeiten für hinterlüftete Fassadenkonstruktionen in Holz

Untersucht man die in den Jahren 2003 und 2004 im Auftrag einer Schweizer Forschungsgruppe, unter dem Dach der LIGNUM, durch die MFPA Leipzig durchgeführten Brandversuche an Holzfassaden mit Blick auf das in Kapitel 2 von der Schweiz abweichende Schutzziel «maximale Brandausbreitung auf 2 Geschosse», lassen sich für den Einsatz in Deutschland ausreichend sichere Systeme ableiten.

³ entnommen aus «Prinzipien zur Anwendbarkeit von brennbaren Außenwandbekleidungen in Deutschland», Masterarbeit Lisa Ansel, Technische Universität München, März 2018

⁴ Forschungsvorhaben TIMpuls – «Brandschutztechnische Grundlagenuntersuchung zur Fortschreibung bauaufsichtlicher Regelungen in Hinblick auf eine erweiterte Anwendung des Holzbaus», Technische Universität München, Technische Universität Braunschweig, Hochschule Magdeburg-Stendal, Institut für Brand- und Katastrophenschutz

Im Zuge einer am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München im Jahr 2018 durchgeführten Abschlussarbeit wurden die vorhandenen Fassadenbrandversuche entsprechend ihrer Brandschutzmaßnahmen, in verschiedene Versuchsgruppen eingeteilt und in Hinblick auf das zuvor beschriebene veränderte Schutzziel bewertet. Anhand vorliegender Unterlagen, wie Foto- und Videoaufnahmen, Schadensaufnahmen, sowie Temperaturmessungen über die Höhe und Breite in verschiedenen Ebenen der Konstruktion wurden die Beobachtungen der einzelnen Brandverläufe analysiert.

Die Auswertung zeigte sowohl Konstruktionen, die die angepassten gestellten Anforderungen vollständig erfüllen, als auch Konstruktionen, die bereits innerhalb der 20 Minuten eine Brandausbreitung in das dritte Geschoss über dem Brandgeschoss zuließen, oder bei denen es zum brennenden Abfallen von Bekleidungsteilen gekommen ist.

Einen Auszug der Untersuchung stellt Tabelle 1 dar, diese stellt alle bestandenen Varianten bzgl. der Brandausbreitung dar.

Tabelle 1: Auszug Bewertung der LIGNUM-Versuche unter Berücksichtigung des angepassten Schutzziels

Versuchsnr. (LIGNUM)	05	09	15	18	20	21	31
Horizontale Maßnahme	Holz	Holz	Holz	Stahl	Holz	Holz und Stahl	Stahl
Vertikale Maßnahme	–	–	Ein Gefach der Unterkonstruktion ist vollständig mit Steinwolle ausgelegt	–	–		
Konstruktion	Horizontal Nut-Feder-Schalung	Dreischichtplatten	Vertikal Boden-Deckel-Schalung	Horizontale Nut-Feder-Schalung	Vertikal Nut-Feder-Schalung	Vertikal Nut-Feder-Schalung	Horizontal Nut-Feder-Schalung
Tiefe Hinterlüftungsspalt	30 mm Unten offen	30 mm Oben und unten offen	90 mm Oben und unten offen	30 mm Oben und unten offen	60 mm* Unten offen	60 mm* Oben und unten offen	30 mm Oben und unten offen
Anzahl und Anordnung der Riegel	3 Riegel Geschossweise	3 Riegel Geschossweise	3 Riegel Geschossweise	3 Riegel Geschossweise	2 Riegel auf 4,40 und 8,40 m Höhe	2 Riegel auf 4,40 und 8,40 m Höhe	3 Riegel Geschossweise
Auskrägung/ Maßnahme	Latte in Hinterlüftung 30 mm x 60 mm	20 mm Dicke: 27 mm	100 mm Dicke: 27 mm	15 mm Dicke: 1,5 mm	10 mm auskragend Dicke: 27 mm	100 mm Dicke Holz: 27 mm Dicke Stahl: 1,5 mm	15 mm Dicke: 1,5 mm
Brennendes/ nicht brennendes Abfallen	–	Abfallen brennender Fassadenteile	Abfallen brennender Fassadenteile	Abfallen brennender Fassadenteile	Abfallen brennender Fassadenteile	Abfallen nicht brennender Fassadenteile	Abfallen brennender Fassadenteile
Brandausbreitung	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Ausbreitung über ersten Riegel in der 23. Prüfminute	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Ausbreitung über zweiten Riegel in der 23. Prüfminute
Löschen ab	21. Prüfmin.	26. Prüfmin.	21. Prüfmin.	21. Prüfmin.	21. und 23. Pm	21. Prüfmin.	31. Prüfmin.
Sonstiges/ Besonderheiten während des Brandgeschehens	Brennendes Abtropfen der HDPE-Folie ²⁾	Rauchaustritt aus Hinterlüftungsspalt Brennendes Abtropfen der HDPE-Folie ²⁾	Rauch- und Flammeneustritt aus Hinterlüftungsspalt Brennendes Abtropfen der HDPE-Folie ²⁾	Einsatz einer Beschichtung (Wasser-Dick-schicht-Lasur)	Rauch- und Flammeneustritt aus der Hinterlüftung	–	Rauchaustritt aus der Hinterlüftung
Fett gedruckt: Versuch hat die Anforderungen aus Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. erfüllt							
Anforderungen eingehalten							
Anforderungen nicht eingehalten							
¹⁾ Eine Überschreitung der in Anlage 2.6/4 zur DIN 18516 empfohlenen Maximaltiefe von 50 mm von 10 mm wird als ausreichend repräsentativ angenommen. Wenn die Brandausbreitung im vorhandenen Hinterlüftungsspalt mit einer Tiefe von 60 mm und außerhalb dessen das Schutzziel für							
²⁾ Das brennende Abtropfen der HDPE-Folie wird hingenommen. Hinzukommend handelt es sich hierbei um eine nahezu vernachlässigbare Menge, welche zur tragenden Außenwand gehört.							
³⁾ Auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Foto- und Video-Aufnahmen während der Versuchsdurchführungen sowie den Protokollen der Versuchsdurchführungen							

4. Fazit

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der aktuellen Schutzzieldiskussion entsprechend brandschutztechnisch sichere Holzfassaden für mehrgeschossige Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 ausführbar sind. Hierfür sind bei nicht hinterlüfteten, hinterlüfteten und belüfteten Außenwandbekleidungen aus Holz besondere Vorkehrungen gegen Brandausbreitung zu treffen. Nachfolgend können diese wie folgt zusammengefasst werden:

- Sämtliche im Fassadensystem verwendeten Baustoffe aus Holz oder Holzwerkstoffen müssen entsprechend ihrem Brandverhalten mindestens als D-s2, d0 entsprechend DIN EN 13501-1 oder normalentflammbar (B2) nach DIN 4102-1 klassifiziert sein.
- Fassadenbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen können als eines der vier nachfolgenden Bekleidungstypen, horizontal oder vertikal angeordnet, ausgeführt werden:
 - flächiger Holzwerkstoff
 - formschlüssige Schalung
 - kraftschlüssige Schalung oder
 - offene Schalung

Die Art der Oberfläche (geschliffen, gehobelt, sägerau oder gebürstet) ist dabei für jeden Bekleidungstyp frei wählbar.

- Dämmstoffe in der Außendämmebene müssen mindestens in der Klasse A2-s1, d0 entsprechend DIN EN 13501-1 oder der Baustoffklasse A2 entsprechend DIN 4102-1 klassifiziert sein. Sie sind mit Übermaß in die Unterkonstruktion einzubauen und an ihren Fugen dicht zu stoßen.
- Sofern der Abschluss von Außenwänden/Kernwänden nicht aus mineralischen Baustoffen besteht, muss außenliegend eine geeignete nicht brennbare Bekleidung aufgebracht werden. Geeignete Bekleidungen sind:
 - 2 x 12,5 mm bzw. 1 x 18 mm Gipsplatte Typ F nach EN 520 oder Gipsfaser nach EN 15283-2 bzw.
 - 1 x 12,5 mm Gipsplatte Typ F nach EN 520 oder Gipsfaser nach EN 15283-2 mit 40 mm davorliegendem Dämmstoff Klasse A2-s1, d0 entsprechend DIN EN 13501-1 oder der Baustoffklasse A2 entsprechend DIN 4102-1.

Einlagige Abdeckungen mit folienartigen Fassadenbahnen sind zulässig.

- Eine Brandweiterleitung bei Holzfassaden kann durch auskragende, geschößweise angeordnete Brandsperren (vgl. Abbildung 3) wirksam eingeschränkt werden. Durch diese Brandsperren wird die Brandausbreitung über mehrere Geschosse wirksam eingeschränkt. Mit dem Einsatz von konstruktiven Brandsperren werden die definierten Schutzziele erreicht.

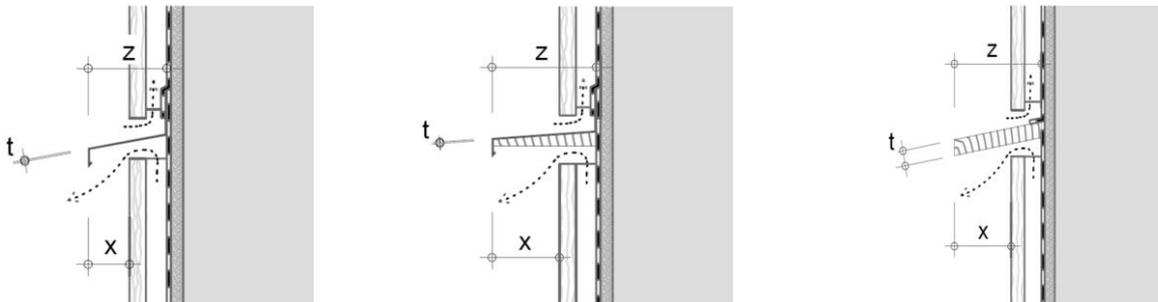


Abbildung 3: Beispiele für die Ausbildung geschossweiser Brandsperren

- Horizontale Brandsperren sind geschößweise jeweils in Höhe des Geschosswechsels über die gesamte Fassadenbreite durchgehend auszuführen. Zwischen dem vorletzten und letzten Geschöß darf die Brandsperre entfallen. Bei Fassaden mit über mehrere Geschöße durchgehenden Belichtungssäulen (vertikale Lichtbänder) sind die Brandsperren ebenfalls geschößweise in Höhe des Geschosswechsels anzuordnen und jeweils bis zur Belichtungssäule bündig abschließend heranzuführen.

- Vertikale Brandsperren sind zur Unterbrechung der Hinterlüftungsebene anzuordnen im Bereich von Brandwänden bzw. Wänden die anstelle von Brandwänden gemäß MBO §30 (3) Satz 2 Nr. 1 zulässig sind. Sie sind ebenfalls erforderlich im Bereich von Außenwandecken.
- Die geschoßweisen horizontalen Brandsperren sind gemäß nachfolgender Tabelle 2 auszuführen. Das Maß X des horizontalen Überstandes der Brandsperre über die Fassadenoberfläche ist entsprechend des eingesetzten Fassadentyps gemäß Tabelle 2 zu wählen. Es sind die gemäß Tabelle 2 angegebenen Mindesteigenschaften der Fassadenbekleidung zu berücksichtigen.

Tabelle 2: Mindestauskragung der horizontalen Brandsperre – Maß X

Bekleidungs-typ	Baustoff/ Bauteil	Schema-skizze	Ausführungsbei-spiele	Ausrich-tung	Maß X
Flächiger Holzwerkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • Rohdichte $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ • Fläche geschlossen • Plattendicke $\geq 22 \text{ mm}$ • Kantenlänge $\geq 625 \text{ mm}$ • Plattenfläche $\geq 1,0 \text{ m}^2$ 		<ul style="list-style-type: none"> • Massivholzplatten • Brettsperrholz • Furniersperrholz • Furnierschichtholz 	horizontal / vertikal	$\geq 50 \text{ mm}$

Fortsetzung Tabelle 2

Form-schlüssige Schalung	<ul style="list-style-type: none"> • Rohdichte $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ • Beplankungsdicke $\geq 22 \text{ mm}$ • Brettbreite: kernfrei $\leq 160 \text{ mm}$ • Entlastungsnuten: <ul style="list-style-type: none"> - Restdicke $\geq 14 \text{ mm}$ - Breite $\leq 5 \text{ mm}$ - Achsabstand $\geq 30 \text{ mm}$ 		<ul style="list-style-type: none"> • Deckleisten-schalung mit Profil • Nut und Feder 	horizontal / vertikal	$\geq 50 \text{ mm}$
Kraft-schlüssige Schalung	<ul style="list-style-type: none"> • Rohdichte $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ • Beplankungsdicke $\geq 22 \text{ mm}$ • Brettbreite frei • Entlastungsnuten: <ul style="list-style-type: none"> - Restdicke $\geq 14 \text{ mm}$ - Breite $\leq 5 \text{ mm}$ - Achsabstand $\geq 30 \text{ mm}$ 		<ul style="list-style-type: none"> • Schalung über-fälzt • Stülpschalung • T- Leistenschalung 	horizontal	$\geq 100 \text{ mm}$
				vertikal	$\geq 150 \text{ mm}$
Offene Schalungen	<ul style="list-style-type: none"> • Rohdichte $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ • Beplankungsdicke $\geq 22 \text{ mm}$ • Brettbreite frei • Brettquerschnittsfläche. $\geq 1000 \text{ mm}^2$ • Brettrestdicke $\geq 14 \text{ mm}$ bei Entlastungsnuten • Dicke Abdeckleisten $\geq 14 \text{ mm}$ • Brettbreite frei 		<ul style="list-style-type: none"> • Offene Schalung • Leistenschalung • Deckelschalung • Stülpschalung • Deckleisten-schalung 	horizontal	$\geq 200 \text{ mm}$
				vertikal	$\geq 250 \text{ mm}$

- Die Befestigung der horizontalen Brandsperren ist bis auf die Konstruktionshölzer der Außenwand zu führen, ggf. sind zusätzliche Füllhölzer einzubauen. Abstand und Größe der Verbindungsmittel sind hierfür so zu wählen, dass im Brandfall auftretende thermische Beanspruchungen nicht zu Verformungen führen, die einen Verlust der Funktion der Brandsperre für die Ableitung des Plume auf der Fassade als auch Abschottung der Hinterlüftungsebene zur Folge haben.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Massnahmen lassen sich brandschutztechnisch sicherer Fassadensysteme aus Holz im Rahmen bauordnungsrechtlicher Abweichungen definieren.

Elemente – Verbesserungen in der Umsetzung

LeitHolz – Leitungsabschottungen im Holzbau

Thomas Scherer
TU Kaiserslautern
Kaiserslautern, Deutschland



LeitHolz – Leitungsabschottungen im Holzbau

1. Hinführung

Der Holzbau erlebt in den letzten Jahren weltweit eine Renaissance. In Deutschland wird dieser Trend zusätzlich durch den positiven Beitrag des Holzbaus zu den von der Bundesregierung gesetzten Klimazielen befeuert. Da Holz während seines Wachstums CO₂ aufnimmt, dienen Holzbauwerke während ihrer gesamten Lebensdauer als CO₂-Speicher. Allerdings schränken bislang noch fehlende technische Beschreibungen von konstruktiven Details die breite Verwendung von Holz, insbesondere in Deutschland und dem europäischen Ländern, als Baumaterial ein. Eines dieser Details stellen Leitungsdurchführungen dar. Es ist zu erwarten, dass die Anzahl an Leitungen in Gebäuden aufgrund steigender Technisierungsgrade in Zukunft zunehmen wird.

In diesem Referat werden erste Ergebnisse des Forschungsprojekts «LeitHolz» dargestellt, welches an der TU Kaiserslautern seit Ende 2017 bearbeitet wird. Das Projekt wurde im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

2. Grundlagen

Mit der Novelle der Musterbauordnung im Jahr 2002 [1] wurde die neue Gebäudeklasse 4 und die Feuerwiderstandsanforderung «hochfeuerhemmend» eingeführt. Die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFH HolzR) [2] regelt in Verbindung mit dieser das Bauen mit Holz bis zu einer Höhe von 13 Metern. Für die Ausführung von Öffnungen in Holzwänden und Decken ist darin eine klassifizierte Öffnungsleibung beschrieben. Soll eine Leitungsabschottung in ein Holzbauteil mit Anforderungen an den Feuerwiderstand eingebaut werden, sieht die gängige Lösung, resultierend aus der M-HFH HolzR in Verbindung mit der Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR) folgendes vor: Es wird eine Öffnung mit klassifizierter Öffnungsleibung nach M-HFH HolzR hergestellt. Diese Öffnung wird mit Beton verschlossen. Die Leitungen werden durch das Betonbauteil hindurchgeführt und im Anschluss mit für den Massivbau zugelassenen Abschottungssystemen abgeschottet.

Begründen lässt sich diese Vorgehensweise darin, dass es aktuell nur sehr wenige Abschottungssysteme am Markt gibt, die in Übereinstimmung mit dem Anwendbarkeitsnachweis direkt in Holzbauteile eingebaut werden dürfen [3]. Wird eine Abschottung für den Einbau in ein Holzbauteil zugelassen, so ist der Anwendungsbereich nach der Prüfung auf Holzbauteile mit identischem Aufbau zum geprüften begrenzt. Der Einbau der Abschottungen innerhalb der klassifizierten Öffnungsleibung in Beton wird als eine nicht-wesentliche Abweichung vom Anwendbarkeitsnachweis gewertet [4]. Diese Vorgehensweise ist allerdings sehr aufwändig und kann unter anderem zu Verzögerungen im Bauablauf führen. Das Baumaterial Holz lässt sich sehr gut bearbeiten, sowohl in der Vorfertigung als auch auf der Baustelle. Der Einbau von Abschottungen direkt in Holz bedeutet daher Einsparungen bei den Faktoren Zeit und Kosten. Zudem wird bei der aktuellen Vorgehensweise in das eigentliche Baumaterial Holz, das auch oft aus ästhetischen und ökologischen Gründen gewählt wird, Beton eingebracht.

Bedenken bestehen beim Einbau von Leitungsabschottungen in Holz zurzeit vor allem bei der Feuerwiderstandsfähigkeit der Abschottungsbereiche und der Gefahr von Hohlraumbränden (vgl. [2]).

3. Forschungsprojekt «LeitHolz»

Ziel des Projekts «LeitHolz» ist zunächst die Ermittlung brandschutztechnischer Grundlagen für Leitungsdurchführungen im Holzbau. Weiterhin sollen Handlungsempfehlungen für Baubeteiligte und für Zulassungsbehörden entwickelt werden. In diesen soll beschrieben sein, wie Leitungsdurchführungen im Holzbau brandschutztechnisch ausführbar sind, bzw. wie diese geprüft und bewertet werden können.

Das Forschungsprojekt verfolgt unter anderem den Lösungsansatz «Holz-in-Holz». Es soll ein Holzmodul hergestellt werden, durch das Leitungen hindurchgeführt und abgeschottet werden können. Ein solches Holzmodul soll in möglichst viele verschiedene Holzbauteile eingesetzt werden können. Auf diese Weise würden weniger Prüfungen von Abschottungen in Holzbauteilen notwendig sein, da die Abschottung in einem definierten Holzmodul stattfindet. Die Bewertung wäre für Zulassungsbehörden einfacher und sicherer, die Prüfungsbedingungen würden leichter reproduzierbar und vergleichbarer. Im Forschungsprojekt «LeitHolz» soll zunächst die generelle Eignung der Methode untersucht werden. Dazu werden verschiedene, am Markt etablierte Abschottungssysteme beim direkten Einbau in Holzmodule untersucht. Holzbauteile, Module sowie die Öffnungsleibung werden dabei ohne jegliche Bekleidung verwendet.

3.1. Vorversuche

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden bisher 16 Kleinbrandversuche durchgeführt. Dabei wurden je zwei identische Versuchsaufbauten untersucht. Die Versuche wurden im Kleinbrandofen nach DIN 4102-8 der TU Kaiserslautern durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche Leitungsarten durch zwei unterschiedliche Holzmodulaufbauten geführt. Zum einen ein massives Holzmodul aus Fichtenleimholz (BSH(Brettschichtholz)-Modul) mit einer Stärke von 160 mm, zum anderen ein Schichtaufbau aus OSB (oriented strand board) -Platten und Steinwolldämmung (OSB-Modul, siehe Abbildung 1). Beispielhaft sind zwei der Module mit vorgefertigten runden Kernbohrungen zur Durchführung von Leitungen in Abbildung 2 zu sehen. Im Bereich der Leitungsdurchführung wurden klassifizierte Abschottungen eingebaut. Die Module wurden der Brandbeanspruchung nach Einheits-temperaturzeitkurve unterzogen. Die Versuchsbedingungen entsprachen bis auf wenige Abweichungen (Wandaufbau) den Vorgaben aus DIN EN 1663 in Verbindung mit DIN EN 1366-3.

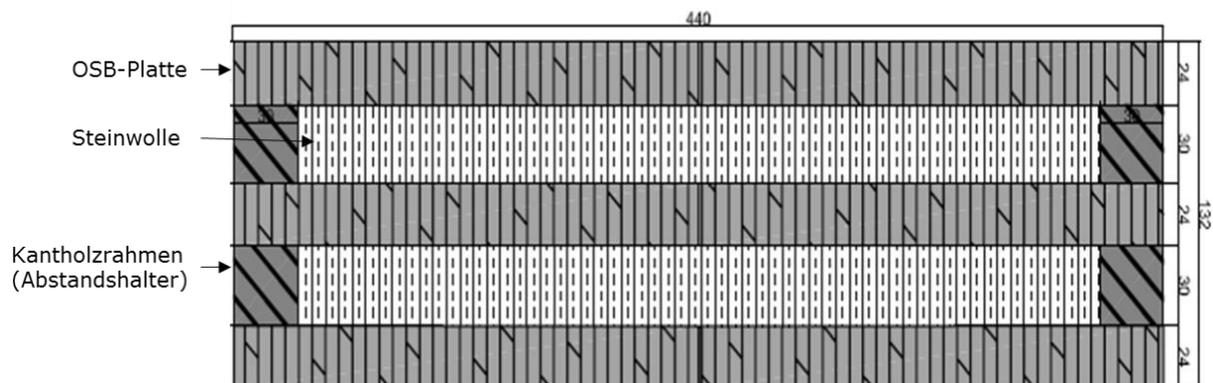


Abbildung 1: OSB-Modul



Abbildung 2: Bsp. Holzmodule, Front- und Seitenansicht

Ziel der unterschiedlichen Modulaufbauten ist es, herauszufinden, ob generell ein massiver Modulaufbau oder ein Schichtaufbau für die Durchführung von Leitungen besser geeignet ist. Die Module selbst sollen dabei auf der Fläche eine Feuerwiderstandsdauer von 120 Minuten erreichen können. Generell sollen die Module eher konservativ bemessen sein. Unter der Annahme, dass der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) bei Normaltemperatur einen Einflussparameter für die Feuerwiderstandsfähigkeit darstellt, kann der Aufbau des OSB-Moduls schlanker ausfallen als der des BSH-Moduls. Die Module weisen nicht den gleichen U-Wert auf. Der U-Wert kann nur als eine grobe Annäherung für den zu erwartenden Feuerwiderstand genutzt werden. Als weitere Bemessungsgrundlage diene die Abbrandrate des Holzes, die in diesem Fall mit 0,7 mm angesetzt wurde. Grundlage dieser Annahme stellen Herstellerangaben sowie DIN EN 1995-1-2 [5] dar.

Die in Gebäuden vorkommenden Leitungen können grob unterteilt werden in Kabel, brennbare Rohre und nichtbrennbare Rohre. Bei Letzteren ist in Bezug auf die passende Abschottungsmaßnahme zu unterscheiden, ob die Rohre mit brennbaren Baustoffen isoliert sind oder keine bzw. eine Isolierung aus nichtbrennbaren Baustoffen aufweisen. In den Kleinbrandversuchen wurden alle vorgenannten Leitungsarten in den Dimensionen, die für den Einsatz in Gebäudeklasse 4 in Deutschland relevant sind untersucht. Die Abschottung der Leitungen erfolgte jeweils mit einer klassifizierten Abschottung. Alle verwendeten Abschottungen sind gebräuchlich und von verschiedenen Herstellern in ähnlicher Form erhältlich. Die verwendeten Abschottungen waren zum Zeitpunkt der Auswahl für den Einbau in verschiedene Wandkonstruktionen zugelassen, nicht aber für den generellen Einbau in Holzwände oder -decken in Deutschland. Nach [6] können unterschiedliche Abschottungssysteme, die für andere Wandkonstruktionen zugelassen sind auch in Holzwänden angewendet werden. Wichtig ist dabei, dass für den Einbau der Abschottung jeweils vergleichbare Bedingungen zum Einbau in Beton- oder Trockenbaukonstruktionen vorherrschen. Bei der Auswahl der Dichtungsmittel wird auf jene verwiesen die für Trockenbaukonstruktionen geeignet sind. Die verwendeten Abschottungen und Dichtmittel wurden auf Grundlage von Versuchs- und Forschungsberichten (z. B. [6] und [7]), sowie Erfahrungswerten der Projektbeteiligten ausgewählt. Es ist zu beachten, dass nicht alle Versuchsaufbauten der ausgewerteten Quellen [6] und [7] mit den eigenen vergleichbar sind. So wurden häufig klassifizierte Öffnungsleitungen verwendet, was beispielsweise maßgeblichen Einfluss auf die Wirksamkeit von Dichtmitteln haben kann. Die folgende Tabelle ordnet den in den Vorversuchen verwendeten Leitungsarten die dafür verwendete Abschottungsart zu.

Tabelle 1: Abschottungen in Abhängigkeit der Leitungsart

Art der Leitung	Verwendete Abschottung				
	Brand-schutzkabel-manschette	Brand-schutzrohr-manschette	Weich-schott	Brand-schutz-bandage	Brand-schutzrohr-schale
Kabel	X		X		
Brennbares Rohr		X			
Nichtbrennbares Rohr				X	X

Die Durchführung der Leitung wurde für die Leitungsarten Kabel und brennbares Rohr mittig im Modul angeordnet und je ein Kabelbündel (bestehend aus vier Kabeln) bzw. ein Rohr durch das Modul geführt. Bei den nichtbrennbaren Rohren wurden beide Abschottungsvarianten in einem Modul angeordnet. Dies war an dieser Stelle möglich, da der Durchmesser der Leitungen deutlich kleiner war als bei den anderen Leitungsarten, sodass eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen werden konnte. Die Durchführungen wurden so angeordnet, dass die Abstände zu den Modul-Außenkanten sowie die Abstände untereinander maximiert wurden. In Abbildung 3 sind die verschiedenen Versuchsaufbauten beispielhaft im Brettschichtholzmodul, eingebaut im Ofen, dargestellt. Um die Verwertbarkeit der Ergebnisse abzusichern, wurden jeweils zwei identische Versuchsaufbauten untersucht. Generell war ein Unterschied zu offiziellen üblichen Brandtests die direktere Beflammung der Penetranten (siehe Abbildung 4).



Abbildung 3: Darstellung Versuchsaufbauten

3.2. Versuchsbeobachtungen – Ergebnisse

Die Messungen und Versuchsbeobachtungen erfolgten grundlegend nach DIN EN 1363-1 [8] und DIN EN 1366-3 [9]. Ein besonderes Augenmerk wurde zudem auf den Anschlussbereich der Abschottungen an die Holzmodule gelegt, welcher beim Einbau von Abschottungen in Holzbauteile als kritisch anzusehen ist. Die Rauchentwicklung über die Versuchszeit und sonstige Auffälligkeiten wurden dokumentiert. Es liegt keine quantitative Bewertungsgrundlage für übermäßigen Rauchaustritt vor.

Zunächst wurde festgestellt, dass bei fast allen Versuchen das Kriterium Raumabschluss über die volle Versuchsdauer aufrechterhalten blieb. Eine Ausnahme stellten dabei die Versuche mit der Brandschutzmanschette dar. Bei drei von vier Versuchen kam es dort zu einem frühen Versagen des Raumabschlusskriteriums. Bei allen anderen konnte ein vorzeitiges Versagen, in Bezug auf die angestrebte Versuchsdauer von 120 Minuten, auf das Leistungskriterium «Wärmedämmung» zurückgeführt werden.

In Tabelle 2 sind die erreichten Feuerwiderstandsklassen aufgrund der Versagenszeiten des Wärmedämmkriteriums in den einzelnen Versuchen dargestellt.

Tabelle 2: Versagenszeiten Wärmedämmkriterium

Legende

Feuerwiderstandsklasse (FWK) → Farbe
EI 30
EI 60
EI 90
EI 120

Brandschutzrohrschale

Versuch	FWK
Brandschutzrohrschale_OSB_01	
Brandschutzrohrschale_OSB_02	
Brandschutzrohrschale_BSH_01	
Brandschutzrohrschale_BSH_02	

Brandschutzkabelmanschette

Versuch	FWK
Brandschutzkabelmanschette_OSB_01	
Brandschutzkabelmanschette_OSB_02	
Brandschutzkabelmanschette_BSH_01	
Brandschutzkabelmanschette_BSH_02	

Brandschutzbandage

Versuch	FWK
Brandschutzbandage_OSB_01	
Brandschutzbandage_OSB_02	
Brandschutzbandage_BSH_01	
Brandschutzbandage_BSH_02	

Platten-Weichschott

Versuch	FWK
Platten-Weichschott_OSB_01	
Platten-Weichschott_OSB_02	
Platten-Weichschott_BSH_01	
Platten-Weichschott_BSH_02	

Brandschutzmanschette

Versuch	FWK
Brandschutzmanschette_OSB_01	-*
Brandschutzmanschette_OSB_02	-*
Brandschutzmanschette_BSH_01	-*
Brandschutzmanschette_BSH_02	

* bei diesen Versuchen konnte keine Temperaturüberschreitung ermittelt werden. Relevant war in diesem Fall das Versagen des Kriteriums "Raumabschluss".

Generell kann festgestellt werden, dass beide Modulaufbauten auf der Fläche eine Feuerwiderstandsdauer von mehr als 120 Minuten erreichen. Dennoch zeigen sich bei allen Versuchsergebnissen durchgehend Vorteile beim BSH-Modul gegenüber dem OSB-Modul. Im Allgemeinen lässt sich die Eignung von für den Massivbau und Trockenbau geeigneten Abschottungsprodukten für den Holzbau bestätigen. Dabei sind teilweise Besonderheiten bei der Anwendung zu beachten. Diese werden im Folgenden aufgezeigt.

Besonders positive Ergebnisse konnten in den Vorversuchen bei Abschottungen von nicht-brennbaren Rohren mit Brandschutzbandagen und Brandschutzrohrschalen erzielt werden. Der Einbau erfolgte entsprechend den Vorgaben aus den Anwendbarkeitsnachweisen für den Einbau in ein Betonbauteil. Die Brandschutzrohrschale wurde dabei ohne einen Ringspalt eingebaut. Eine Ausführung mit Ringspalt wurde bislang nicht betrachtet. Es konnte im BSH-Modul immer eine Feuerwiderstandsdauer von mehr als 90 Minuten erreicht werden. Einzige Auffälligkeit ist dabei die Verfärbung um den Ringspalt bei der Brandschutzrohrschale, die sich im Laufe der Versuchszeit weiter ausbildet. Ebenfalls als positiv zu werten sind die Ergebnisse, die mit der Brandschutzkabelmanschette erzielt

werden konnten. Auch diese wurde wie in Beton zugelassen eingebaut. Tabelle 2 kann entnommen werden, dass zwar in allen Versuchen nur eine Feuerwiderstandsfähigkeit von mehr als 60 Minuten erreicht werden konnte, allerdings wurde das Temperaturkriterium in den meisten Fällen nur kurz vor der 90-Minuten Grenze überschritten. Dies ist Vermutlich auf die Verwendung recht großer Kabeldurchmesser (mittlere Mantelleitungen nach DIN EN 1366-3 Tab. A1)) mit hohem Kupferanteil zurückzuführen, die in dieser Einbauweise nicht vom Anwendbarkeitsnachweis der Brandschutzkabelmanschette abgedeckt waren. Die Kabel waren in den Vorversuchen zusätzlich aufgrund der Ofengeometrie einer sehr direkten Beflammung ausgesetzt (siehe Abbildung 4). Dieser Effekt war daher zu erwarten. Die Stelle die untersucht werden sollte, nämlich der Anschluss der Manschette an Holz, kann als positiv beurteilt werden. Anders sind die Ergebnisse der Versuche der Abschottung mittels Weichschott zu werten. Zwar wurde dabei die Feuerwiderstandsdauer von mehr als 60 Minuten in fast allen Versuchen erreicht, was für die Verwendung in Gebäudeklasse 4 im Regelfall ausreichend ist, allerdings ist das Versagen mit großer Wahrscheinlichkeit auf das Hinterbrennen der inneren Dämmplatte zurückzuführen. Zudem konnte zu Versuchsbeginn und auch im späteren Verlauf starker Rauchaustritt im Bereich um die Kabel beobachtet werden. Der spätere Rauchdurchtritt könnte auf die Instabilität des Schotts durch den Abbrand des Holzes, um die innere Dämmplatte zurückzuführen sein. Aufgrund der früh erreichten hohen Temperaturen auf den Leitungen und dem starken Rauchaustritt (im Vergleich zu dem bei den anderen Abschottungen beobachteten Rauchdurchtritt) und der Vermutung, dass sich dieser Effekt bei filigraneren Holzbauteilen verstärken könnte, wird von der Verwendung des Weichschotts in dieser Einbauart (ohne klassifizierte Öffnungsleibung) in Holzbauteilen aus Sicht des aktuellen Ergebnisstands zumindest für erforderliche Feuerwiderstandsdauern von mehr als 60 Minuten abgeraten. Weichschotts können durch das Fehlen intumeszierender Bestandteile den Abbrand des Holzes im Leibungsbereich nicht kompensieren. Die Ergebnisse der Versuche mit der Brandschutzmanschette zur Abschottung von brennbaren Rohren sind unterschiedlich ausgefallen. In den ersten drei Versuchen kam es bereits innerhalb der ersten 30 bzw. 50 Minuten zu einem Versagen des Raumabschlusses. Dies ist auf die Ausführung des Ringspalts zurückzuführen. Der Ringspalt hatte ein umlaufendes Maß von ca. 2 mm. Im letzten Versuch wurde das Rohr auf einer Breite von ca. 3 cm mit der Füllmasse bestrichen und im Anschluss von der Brandseite aus durch die Öffnung geführt. So konnte die erforderliche Verfülltiefe erreicht werden. Es kam bei diesem Versuch zu keinem Versagen des Raumabschlusses. Aus diesem Grund sollte nach dem aktuellen Wissensstand für den Einbau von Kabelmanschetten in Holzbauteile ein Mindestmaß für Ringspalte sowie eine Mindestverfülltiefe festgelegt werden. Dies soll im späteren Projektverlauf validiert werden.

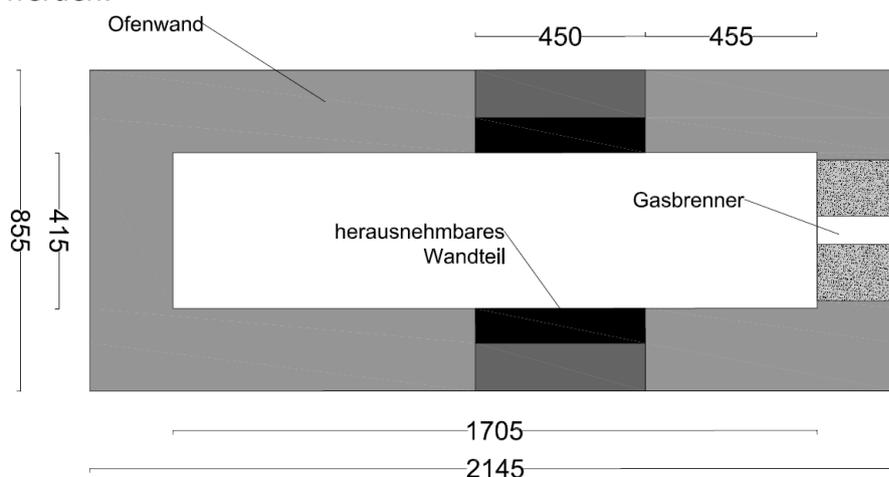


Abbildung 4: Geometrie Kleinbrandofen TUK

4. Ausblick

Im Nachgang zu den insgesamt als positiv zu wertenden Kleinbrandversuchen ist die Durchführung zweier Großbrandversuche geplant. Dabei sollen Holzmodule in eine Holzrahmenwandkonstruktion und eine Brettsperrholzwandkonstruktion eingesetzt werden. Abbildung 5 zeigt den Aufbau des Holzrahmenwandprobekörpers für einen der Großbrandversuche. In die Module sollen die gleichen Abschottungen eingebaut werden, die auch in den Kleinbrandversuchen verwendet wurden. Der Einbau wird bei einigen Abschottungen aufgrund der Erkenntnisse aus den Kleinbrandversuchen modifiziert. Ein relevantes Detail stellt beim Großbrandversuch die Anschlussfuge zwischen Modul und Wandöffnung dar. Für die Großbrandversuche wurde eine möglichst sichere Ausführung der Anschlussfuge gewählt, um ein frühes Versagen dieser zu vermeiden.

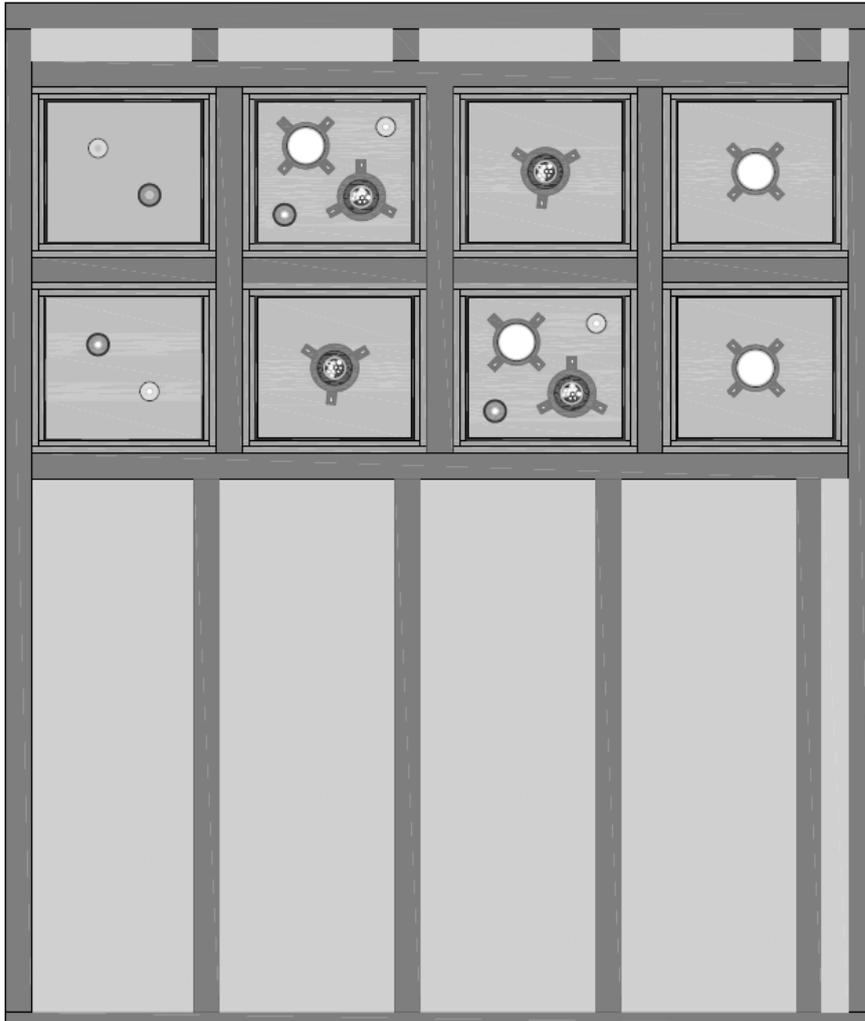


Abbildung 5: Aufbau Großbrandversuch Holzrahmenwand

5. Dank

An dieser Stelle sei unseren Forschungspartnern Hilti Entwicklungsgesellschaft sowie Birk Heilmeyer und Frenzel Architekten herzlich gedankt. Ein weiterer großer Dank geht an die Firma Stora Enso, für das Sponsoring eines Wandprobekörpers. Auch gedankt sei den Müllerblaustein Holzbauwerken für die Unterstützung bei der Herstellung eines weiteren Probekörpers. Weiterhin bedanken wir uns bei den Firmen Deutsche Rockwool und Armacell für die Bereitstellung von Materialien für unsere Versuche. Das Projekt wurde gefördert durch die Forschungsinitiative Zukunft Bau.



Literatur

- [1] Musterbauordnung (MBO), 2002, zuletzt geändert 13.05.2016.
- [2] Musterholzbaurichtlinie (M-HFHHolzR), 2004.
- [3] R. Eberl-Pacan, «Brandschutz und Holzbau: Neuerungen in den LBO,» FeuerTrutz, pp. 6-9, November 2018.
- [4] M. Lippe, J. Prof. Dr. Ing. Wesche, D. Rosenwirth und J. Dr. Reintsema, Kommentar mit Anwendungsempfehlungen und Praxisbeispielen zu der MLAR, MSysBöR, MEltBauVO, 4 Hrsg., Winnenden: Heizungs-Journal Verlags GmbH, 2011.
- [5] «DIN EN 1995-1-2 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall,» 2010.
- [6] B. Östman, E. Mikkola, R. Stein, A. Frangi, J. König, D. Dhima, T. Hakkarainen und J. Bregulla, Fire safety in timber buildings, 2010.
- [7] M. Teibinger und I. Matzinger, Brandabschottung im Holzbau - Planungsbroschüre, Wien: Holzforschung Austria, 2013.
- [8] DIN EN 1363-1 Feuerwiderstandsprüfungen Teil 1: Allgemeine Anforderungen, 2012.
- [9] DIN EN 1366-3 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen - Teil 3: Abschottungen, 2009.

Brandschutztechnische Bekleidung – statische Wirksamkeit im Brandfall

Prof. Ulrich Grimminger
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Brandschutztechnische Bekleidung – statische Wirksamkeit im Brandfall



Abbildung 1: Max-Planck-Institut für komplexe Fluidodynamik, Göttingen (konbau GmbH)

Einleitung

In Zeiten steigender Mietpreise und einer immensen Nachfrage an Wohnraum in Ballungszentren gewinnt die städtebauliche Nachverdichtung immer mehr an Bedeutung. Dabei geht es primär darum, die verfügbaren Flächen nachhaltig und schonend zu nutzen, um neue Wohnmöglichkeiten zu schaffen. Aufstockungen, Anbauten sowie Neubauten von mehrgeschossigen Wohngebäuden prägen die derzeitige Bausituation in Großstädten.

Traditionell ist der mehrgeschossige Wohnungsbau sehr durch den Massivbau geprägt, wobei der Werkstoff Holz zurzeit noch eher selten eingesetzt wird.

Doch in Zeiten des Klimawandels und der Energiewende gewinnt das ökologische Bewusstsein in der Bevölkerung immer mehr an Bedeutung. Die hohen Erwartungen an das Wohnklima und an eine nachhaltige Bauweise können durch den nachwachsenden Rohstoff Holz vorbildlich umgesetzt werden. Außerdem gewinnt der Holzbau durch seinen hohen Vorfertigungsgrad, sowie die damit verbundenen kurzen Bauzeiten gerade im urbanen Bereich immer mehr an Attraktivität.

Welches Potential im modernen Holzbau steckt, lässt sich anschaulich an realisierten Großprojekten in der DACH-Region zeigen. Die Anzahl der errichteten mehrgeschossigen Holzgebäude ist erfreulicherweise jedes Jahr gestiegen und weiterhin steigend.



Abbildung 2: Wohnanlage Taunusstein (konbau GmbH)

So werden in der Schweiz zurzeit 15% aller Mehrfamilienhäuser mit mehr als zwei Geschossen in Holzbauweise errichtet und in Österreich soll demnächst das höchste Holzhochhaus der Welt mit einer Höhe von 84 m bezugsfertig sein. Auch in Deutschland ist der Einzug des Holzbaus in den urbanen Wohnungsbau deutlich erkennbar und so rechnen, laut einer Studie zur Marktforschung des Holzbaus der Zukunft, die Experten mit einem Anstieg des Marktanteils bis 2030 auf bis zu 20%.

1. Bauteilanforderung Brandschutz

Vor allem der Brandschutz stellte den mehrgeschossigen Holzbau lange vor große Herausforderungen. Erst mit Einführung der neuen Musterbaubaurichtlinie seit 2002 ist die Errichtung von mehrgeschossigen Bauten mit vier bis fünf Geschossen in Holzbauweise möglich. Zur Ermittlung der jeweiligen Anforderung an den baulichen Brandschutz muss zunächst das Objekt einer Gebäudeklasse zugeordnet werden. Die Zuordnung erfolgt gemäß der Abbildung 3 der MBO von 2002. Dabei ist vor allem die Höhe der Fußbodenoberkante des obersten genutzten Stockwerks, gemessen vom Mittel der Geländehöhe, sowie die Anzahl und Größe der Nutzungseinheiten im Gebäude von entscheidender Bedeutung.

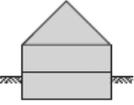
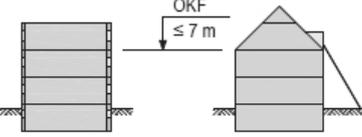
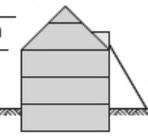
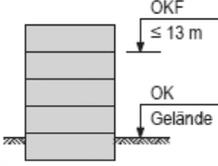
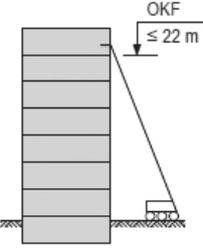
1	2	3	4	5	
freistehend land- oder forstwirtschaftlich genutzt	freistehend und OKF ≤ 7 m und ≤ 2 NE und ≤ 400 m ² gesamt *)	nicht freistehend OKF ≤ 7 m und ≤ 2 NE und ≤ 400 m ² gesamt *)	sonstige Gebäude OKF ≤ 7 m	OKF ≤ 13 m und ≤ 400 m ² *) je NE	13 m < OKF ≤ 22 m oder > 400 m ² *) je NE
					
Bauaufsichtliche Anforderungen nach MBO 2002 (tragende und aussteifende Wände, Stützen, Trennwände, Decken zwischen NE)					
keine Forderungen	feuerhemmend		hochfeuerhemmend	feuerbeständig	
Feuerwehreinsatz mit Steckleiter möglich			Drehleiter nötig		
<ul style="list-style-type: none"> ■ NE = Nutzungseinheit ■ OKF = Oberkante des Fußbodens des höchstgelegenen Geschosses mit Aufenthaltsraum, ab OK Gelände ■ *) = Brutto-Grundfläche der Nutzungseinheiten ohne Kellergeschoss 					

Abbildung 3: Gebäudeklassen nach MBO 2002 (Knauf Gips KG)

Tragende und aussteifende Bauteile in der Gebäudeklasse 4 müssen in hochfeuerhemmender Bauweise (REI 60) und gemäß dem Kapselkriterium K₂60 nach DIN EN 13501-2 ausgeführt werden. Die Kapselwirkung einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung soll die tragende Holzkonstruktion vor Entzündung, Verkohlung und anderen Schäden schützen. Dadurch wird eine Brandausbreitung in den Hohlräumen einer Holztafelbaukonstruktion verhindert. Zur richtigen konstruktiven Ausführung müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Bauteilfugen müssen brandschutztechnisch verspachtelt werden
- Eine Verkohlung durch einen Hitzeeintrag über die Verbindungsmittel muss verhindert werden
- Installationen sollten in vorgesetzten Installationsebenen geführt werden
- Beplankungslagen sind versetzt anzuordnen

Um diese Anforderung zu erfüllen, sind die betroffenen Bauteile entsprechend auszuführen. Dabei ist zu beachten, dass die ausgewählte Konstruktion über ein allgemein bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) verfügt. Entsprechende Konstruktionsaufbauten werden von Systemherstellern von brandschutztechnischen wirksamen Bekleidungen in der Regel zur Verfügung gestellt.

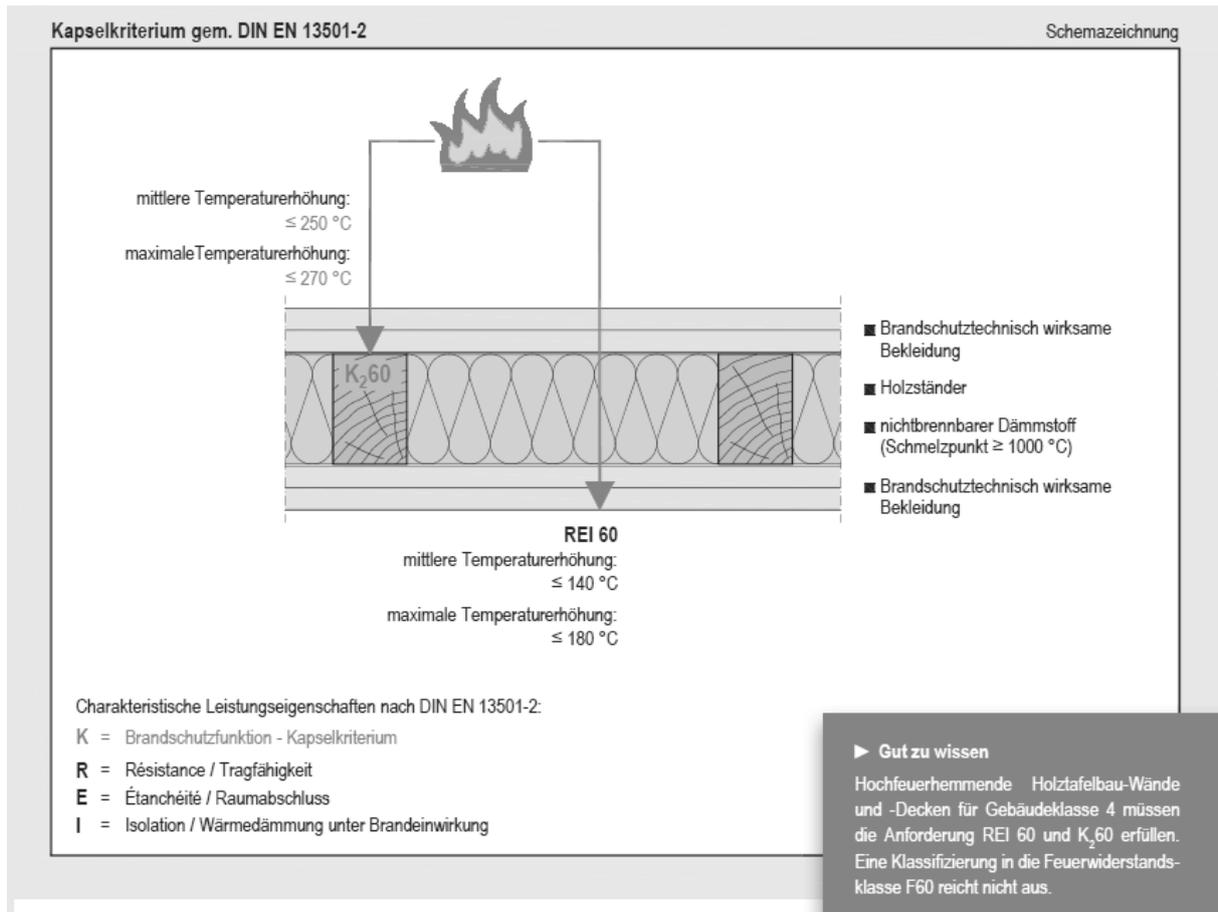


Abbildung 4: Leistungskriterien bei hochfeuerhemmenden, raumabschließenden Bauteilen in Holzbauweise (Knauf Gips KG)

Die Erfüllung der Anforderung einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung mit der Kapselklasse K₂₆₀ ist kostenintensiv und wird daher von der Praxis hinterfragt.

Die in der Praxis umgesetzten Projekte in der Gebäudeklasse 4 sind daher im Regelfall auch nicht in der Kapselklasse K₂₆₀, sondern abweichend von der M-HFHolzR in der Kapselklasse K₂₃₀ umgesetzt worden [6].

«In einem Projekt der Hochschule Rosenheim wurden systematisch feuerwiderstandsfähige Holzbaukonstruktionen erfasst. Für insgesamt 194 Holzrahmenbauwände wurden die Konstruktionsparameter strukturiert in Tabellenform zusammengestellt. Angesichts dieser Datenbank entstand die Idee, Rechenverfahren für den Raumabschluss von Holzbauwänden auf diese Daten anzuwenden, und die Ergebnisse sowohl der unterschiedlichen Verfahren zur Klassifizierung als auch der Verfahren untereinander zu vergleichen. In einer Bachelorarbeit wurden die Rechenverfahren nach Eurocode 5 Brandschutzteil Anhang E [7], welches auch in Deutschland als technische Baubestimmung eingeführt und damit anwendbar ist, nach Schleifer [10] und nach Österreichischem Nationalen Anhang zu EN 1995-1-2, auf die Daten angewendet.

...Die Frage zur Sicherheit dieser Verfahren lässt sich durch die Bachelorarbeit noch nicht abschließend beantworten. Einzig die Ergebnisse, die unterhalb der Klassifizierung liegen, können eindeutig als «sicher» eingeschätzt werden.

Eine bessere Validierung der Verfahren ist derzeit daher nicht möglich. Im Zuge einer weiteren Bachelorarbeit ist aber die Implementierung des Standsicherheitsnachweises geplant, was die Bewertungsgrundlage verbessern wird. Eine noch bessere Beurteilung wäre aber nur möglich, wenn tatsächliche Prüfergebnisse bekannt sind.» [9]

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$q_{Ed} = g_{Decke} + g_{Wand} + q_{Nutzlast} = (1,35 \cdot 5,0 \frac{kN}{m^2} + 1,35 \cdot 0,5 \frac{kN}{m^2} \cdot h + 1,5 \cdot 1,5 \frac{kN}{m^2}) \cdot 5,00 \text{ m} = 55,13 \frac{kN}{m}$$

$$F_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot l}{70} = \frac{55,13 \frac{kN}{m^2} \cdot 5,10 \text{ m}}{70} = 4,02 \text{ kN}$$

$$F_{Wd} = ((c_{pe,D} + c_{pe,E}) \cdot q_d \cdot \gamma_{Q,1} \cdot A_w) / n =$$

$$F_{Wd} = (1,3 \cdot 0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 3,0 \text{ m} \cdot 5,10 \text{ m} \cdot 1,5) / 10 = 1,93 \text{ kN}$$

n : Anzahl der Wandscheiben in der Achse der Außenwand
A_w : Windeinzugsfläche Giebel

Man erkennt, dass die Lasten aus Imperfektion (4,02kN) im Referenzhaus bereits größer sind als die Lasten aus Wind (1,93 kN). Da diese Lasten mit der Geschoßanzahl steigen, werden hochleistungsfähige Konstruktionen benötigt, um diese Beanspruchung aufnehmen zu können. Die vorhandene zweite Beplankungslage der K₂₆₀-Konstruktionen darf normativ noch nicht für die Tragfähigkeit mit angesetzt werden. Die Ergebnisse an der TH Rosenheim durchgeführten Wandscheibenversuche haben eine deutliche Erhöhung der Tragfähigkeit sowie der Steifigkeitseigenschaften durch die Anordnung einer zweiten Beplankungslage erkennen lassen. Der Ansatz dieser Traglastreserven stellt ein immenses Potential für den Einsatz von tragenden und aussteifenden Innenwänden in Holztafelbau dar. Vor allem im mehrgeschossigen Wohnungsbau der Gebäudeklasse 4, wo eine zweilagige Beplankung über das Kaspelkriterium K₂₆₀ zwingend vorschrieben ist, kann dadurch die Leistungsfähigkeit solcher Konstruktionen besser ausgenutzt werden.

Die im Zuge einer Bachelorarbeit [4] entwickelten Bemessungsvorschläge zur Ermittlung der Scheibentragfähigkeit mehrlagig beplankter Wandscheiben erwiesen sich beim Vergleich mit den Versuchsergebnissen der tatsächlichen Tragfähigkeit durchaus als sinnvoll und können als Grundlage für weitere Überlungen dienen.

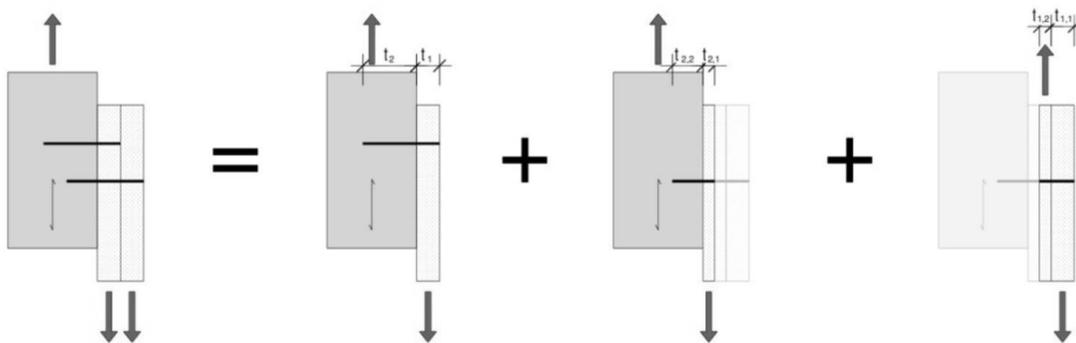


Abbildung 7: Konservativer Bemessungsansatz: Getrennter Nachweis der Scherfugen mit reduzierter Bauteildick (Knauf Gips KG)

Beim Nachweis unter Brandbeanspruchung dürfen die weiter oben ermittelten Lasten reduziert werden:

DIN EN 1991-1-2: «Brandeinwirkung auf Tragwerke» sowie

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

NDP zu «4.3.1 (2) Kombinationsregeln für Einwirkungen Allgemeine Regel»

In der Regel darf die quasi-ständige Größe $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ verwendet werden. Dies gilt nicht für Bauteile, deren Leiteinwirkung der Wind ist. In diesem Fall ist für die Einwirkung aus Wind die häufige Größe $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ zu verwenden

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \sum_{i \geq 1} \psi_{1,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$q_{Ed} = g_{Decke} + g_{Wand} + q_{Nutzlast} = (1,0 \cdot 5,0 \frac{kN}{m^2} + 1,0 \cdot 0,5 \frac{kN}{m^2} \cdot h + 0,0 \cdot 1,5 \frac{kN}{m^2}) \cdot 5,10 \text{ m} = 33,15 \frac{kN}{m}$$

$$F_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot l}{70} = \frac{33,15 \frac{kN}{m} \cdot 5,10 \text{ m}}{70} = 2,36 \text{ kN}$$

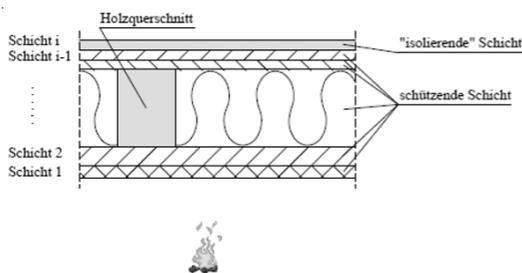
$$F_{Wd} = ((c_{pe,D} + c_{pe,E}) \cdot q_d \cdot A_w \cdot \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,i}) / n =$$

$$F_{Wd} = (1,3 \cdot 0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 3,0 \text{ m} \cdot 5,10 \text{ m} \cdot 1,5 \cdot 0,2) / 10 = 0,39 \text{ kN}$$

$$F_{Vd} = F_{Ed} + F_{Wd} = 2,76 \text{ kN pro Geschoß}$$

Man erkennt, dass die Lasten aus Imperfektion (2,36 kN) im Referenzhaus wiederum erheblich größer sind als die über den Kombinationsbeiwert abgeminderten Lasten aus Wind (0,39 kN). Diese Lasten müssen nun über den vorhandenen Restquerschnitt der Beplankung abgetragen werden können. Mit einer K230-Konstruktion ist dies im Referenzhaus nicht mehr möglich, da die innere Beplankung bereits nach ca. 33 min und damit deutlich vor dem geforderten Schutzziel von 60 Minuten versagt.

Aufbau einer mehrschichtigen Holzkonstruktion mit der Unterscheidung zwischen schützender und isolierender Schicht sowie Berechnung der Versagenszeiten nach Schleifer



	1. Lage		2. Lage		Versagenszeit	
					1.Lage	2.Lage
1	GKB	12,5	GKB	12,5	24,10	8,80
2	GKF	12,5	GKF	12,5	24,10	16,39
3	GKB	15	GKB	15	30,00	11,26
4	GKF	15	GKF	15	30,00	19,56
5	GKB	18	GKB	18	37,34	14,40
6	GKF	18	GKF	18	37,34	23,58

Vorgehen zur Ermittlung der Schutzzeiten $t_{prot,i}$ der einzelnen Schichten nach Schleifer

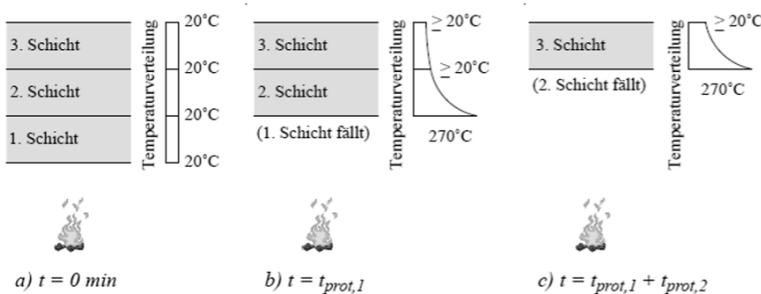


Abbildung 8: Aufbau einer mehrschichtigen Holzkonstruktion mit der Unterscheidung zwischen schützender und isolierender Schicht sowie Berechnung der Versagenszeiten nach Schleifer [5, Reinhardt] (Knauf Gips KG)

3. Fazit

Die Bauordnungen in Deutschland fordern ein hohes brandschutztechnisches Sicherheitsniveau für Gebäude in Holzbauweise. Damit einher gehen kostenintensive Konstruktionen, welche teilweise die Forderungen mangels Erfahrungen überkompensieren. Andererseits ist der mehrgeschossige Holzbau ein beachtlicher Wachstumssektor der Bauwirtschaft. Die realisierten Projekte werden immer größer und höher («The race is on», Michael Greene). Abweichungen von der Regel sind die Regel. Bei Abweichungen vom Baurecht werden zur Erfüllung bauordnungsrechtlicher Anforderungen häufig Kompensation geplant. Dabei ist eine umfassende Zusammenarbeit von Architekt, Tragwerksplaner, Fachplaner «Brand-schutz», Bauaufsichtsbehörden und ggfls. Materialprüfanstalten wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Projektbearbeitung.

4. Literatur

- [1] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holz-bauweise (M-HFHHolzR). Fassung 2004
- [2] Musterbauordnung (MBO) Fassung November 2002, Zuletzt geändert durch Beschluss der Bauminister-konferenz vom 13.05.2016
- [3] Bayerische Bauordnung (BayBO), Fassung 14. August 2007, zuletzt geändert 10. Juli 2018
- [4] Ringenberger, Matthias, Tragverhalten von mehrlagig beplankten Wandscheiben in Holzrahmenbau-weise, Bachelorarbeit FH Rosenheim, 2016
- [5] Reinhardt, Jonas, Vergleichende Betrachtung von Rechenverfahren zur Bemessung des Feuerwiderstandes von raumabschließenden Wandkonstruktionen Bachelorarbeit FH Rosenheim, 2016
- [6] Brandschutzkonzepte Einführung holzbau handbuch I REIHE 3 I TEIL 5 I FOLGE 1
- [7] DIN EN 1995-1-2, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-2:Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1995-1- 2:2004 + AC:2009
- [8] DIN 4102-4, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Fassung Mai 2016
- [9] Reinhardt, J.; Werning, H.: Kriterium EI im Holzbau rechnerisch nachweisen – Metaanalyse, feuertrutz Magazin
- [10] Schleifer V.: Zum Verhalten von raumabschließenden mehrschichtigen Holzbautteilen im Brandfall, Dissertation Nr. 18156, ETH Zürich, 2009

Feuerwiderstand nach CE-Zeichen – Wie wird mit abweichender Ausführung umgegangen?

Thomas Krause-Czeranka
Ingenieurbüro Krause-Czeranka
Unna, Deutschland



Feuerwiderstand nach CE-Zeichen – Wie wird mit abweichender Ausführung umgegangen

1. Vorbemerkungen

Um die Thematik der Abweichungen von Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung zu erläutern, ist es notwendig, zunächst die bauordnungsrechtlichen Zusammenhänge der unterschiedlichen Arten von Nachweisen für Bauprodukte und Bauarten zu betrachten. In Abschnitt 2 dieses Fachartikels werden die Regelungen, die durch Neuordnung des bauordnungsrechtlichen Systems im Zuge der Umsetzung des Urteils des Gerichtshofs der Europäischen Union (EuGH) vom 16.10.2014 (Rs. C-100/13) erläutert.

Der vorangestellte Abschnitt 2 erläutert in groben Zügen die unterschiedliche Betrachtung der Beurteilung des Feuerwiderstandes und insbesondere der Klassifizierung.

In Abschnitt 4 werden zunächst die verschiedenen Arten von bauordnungsrechtlichen Abweichungen erläutert und ein Ausblick in die unterschiedlichen Möglichkeiten des formalen Umgangs mit Abweichungen gegeben.

2. (Haupt-) Versagenskriterien und Anforderungen bei Brandprüfungen

Die Beurteilung des Brandverhaltens und des Feuerwiderstandes von Baustoffen und Bauteilen erfolgt in der Regel auf der Grundlage von Brandprüfungen. Die Bauteile und Sonderbauteile werden diesbezüglich unter den Bedingungen eines Vollbrandes geprüft. Als Brandmodell wird hierzu sowohl bei den nationalen Prüfverfahren (DIN 4102-2) als auch bei den europäischen Prüfverfahren (DIN EN 1363-1) die Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) verwendet.

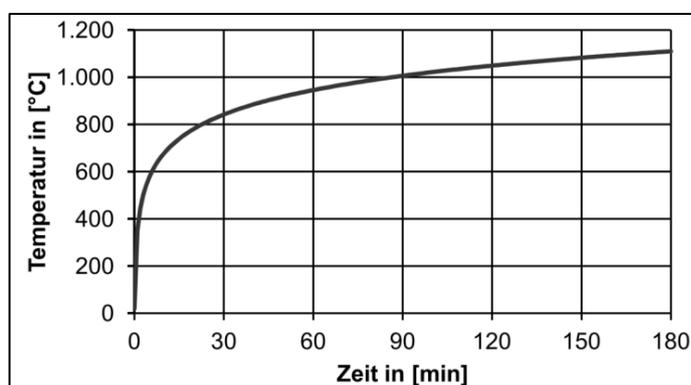


Abbildung 1: Einheits-Temperaturzeitkurve nach DIN 4102-2

Die Hauptkriterien (Hauptversagenskriterien) in der Bauteilprüfung, die zu der Gesamtbeurteilung und Klassifizierung eines Bauteils notwendigerweise betrachtet werden müssen, sind:

- Tragfähigkeit / Standsicherheit
- Raumabschluss
- Wärmedämmung

Daneben gibt es noch weitere Anforderungen, wie beispielsweise den Funktionserhalt elektrischer Kabelanlagen oder Strahlungsdurchtritt bei Verglasungen. Diese drei Hauptkriterien bilden die Basis für eine Beurteilung des Feuerwiderstandes von Bauteilen sowohl nach nationalen Klassifizierungsverfahren (DIN 4102) als auch nach europäischen Klassifizierungsverfahren (DIN EN 13501). Im Unterschied zu dem nationalen Verfahren, das die Gesamtleistung eines Bauteils beschreibt, berücksichtigt das europäische Verfahren eine Beurteilung der Einzelleistungen dieser drei Anforderungen.

2.1. Tragfähigkeit / Standsicherheit – Résistance

Bei Verlust der Tragfähigkeit bzw. der Standsicherheit sind Rettungsmaßnahmen und Löscharbeiten nicht mehr gefahrlos durchführbar.

Mögliche Konsequenzen bei Versagen:

- Herunterfallen von Gebäudeteilen
- Zusammenbrechen des Gebäudes
- Versperren der Flucht- und Rettungswegen

2.2. Raumabschluss – Étanchéité

Bei Durchgang des Feuers oder größeren Mengen Rauchs durch Öffnungen, die sich im Bauteil unter Brandeinwirkung bilden können oder bestimmungsgemäß vorhanden sind, ist der Schutz von Personen nicht mehr gewährleistet.

Mögliche Konsequenzen bei Versagen:

- Tod durch Erstickung oder Verbrennen
- Hohe Kontaminierung durch toxische Rauchgase

2.3. Wärmedämmung / Isolation / Temperaturerhöhung – Isolation

Bei einer Temperaturerhöhung auf der vom Feuer abgewandten Seite können sich dort Bekleidungen oder sonstige brennbare Materialien entzünden, die sich im Kontakt mit der Oberfläche befinden, wodurch sich Feuer und Rauch in den nächsten Brandabschnitt fortpflanzen.

Mögliche Konsequenzen bei Versagen:

- Weiterleitung des Brandereignisses
- Tod durch Erstickung oder Verbrennen
- Hohe Kontaminierung durch toxische Rauchgase

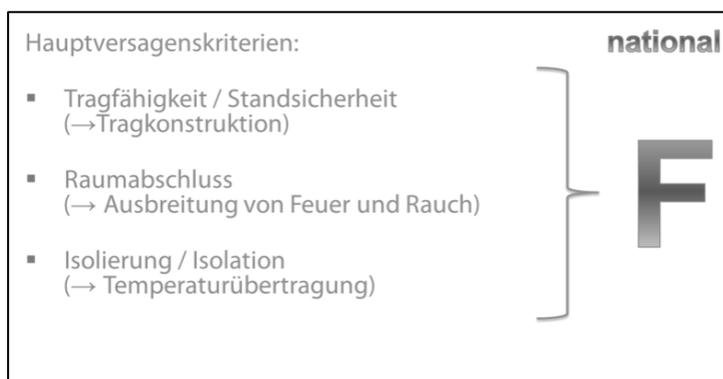


Abbildung 2: Hauptversagenskriterien bei Bauteilprüfungen, nationale Klassifizierung

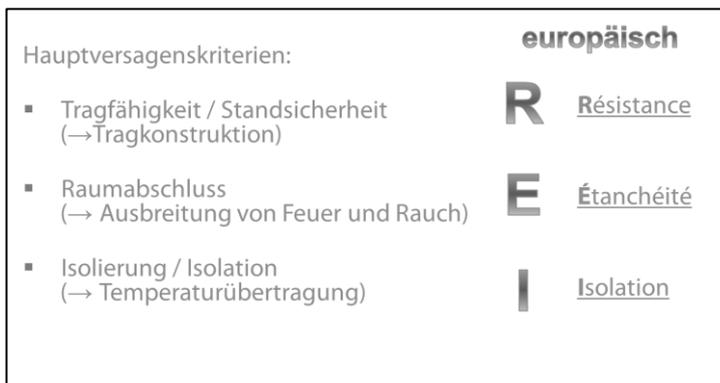


Abbildung 3: Hauptversagenskriterien bei Bauteilprüfungen, europäische Klassifizierung

3. Neue Regeln für Bauprodukte und Bauarten

Mit der neuen MBO (Fassung 2002; zuletzt geändert durch den Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016) sowie der Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen MVV TB durch das DIBt am 31.08.2017 erfährt das System bzgl. der Verwendung von Bauprodukten und Bauarten in Deutschland eine gravierende Neuordnung. Stand Januar 2019 sind diese Regelungen bereits in 12 Bundesländern umgesetzt. Es ist davon auszugehen, dass die restlichen Bundesländer diese Regelungen ebenfalls kurzfristig umsetzen werden.

Die MBO 2016 greift die Grundanforderungen an Bauwerke gemäß Anhang I der europäischen Bauprodukteverordnung (BauPVO) auf und verweist auf deren Einhaltung in § 3 MBO. Der Teil A der MVV TB gliedert sich nach diesen Grundanforderungen wie folgt:

- A 1 - Mechanische Festigkeit und Standsicherheit,
- A 2 - Brandschutz,
- A 3 - Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz,
- A 4 - Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung,
- A 5 - Schallschutz und
- A 6 - Wärmeschutz.

In diesen Abschnitten werden, die in der Musterbauordnung und in den Muster-Sonderbauverordnungen und -vorschriften enthaltenen brandschutztechnischen Anforderungen an bauliche Anlagen oder Teile baulicher Anlagen insbesondere im Hinblick auf das Brandverhalten und den Feuerwiderstand konkretisiert.

Ein wesentlicher Punkt, der sich durch das Urteil des EuGHs ergeben hat, ist die Aufhebung jeglicher produktbezogenen Anforderungen bei harmonisierten Bauprodukten. Die Verwaltungspraxis sah solche zusätzlichen Anforderungen bei einer Vielzahl von harmonisierten Bauprodukten vor – diese waren über die Bauregelliste B Teil 1 geregelt.

Im Rahmen der Umsetzung des Urteils des EuGHs wird eine Kompetenztrennung zwischen dem europäischen Bauproduktenrecht und den national geregelten Bauwerksanforderungen deutlich. Damit verbunden ist deutlichere Abgrenzung von Anforderungen an die Bauwerkssicherheit zu Anforderungen an Bauprodukte bzw. auch eine deutlichere Differenzierung von Bauprodukten zu Bauarten. Die ehemaligen produktbezogenen Anforderungen werden in dem neuen Regelsystem teilweise in bauwerksbezogene Anforderungen transformiert.

Ein Beispiel für diese Transformation von produktbezogenen Anforderungen zu bauwerksbezogenen Anforderungen ist die Anforderung an das Glimmverhalten:

- Die alten Regelungen sahen vor, über die Bauregelliste B Teil 1 zusätzliche produktbezogene Anforderungen an das Bauprodukt zu stellen.

Das Glimmverhalten, ..., ist zusätzlich im Rahmen einer abZ nachzuweisen.

Die Übereinstimmung mit dem abZ für die zusätzliche Anforderung Glimmverhalten wurde mit dem Ü-Zeichen bestätigt. Diese Produkte trugen also sowohl die CE-Kennzeichnung als auch das Ü-Zeichen.

- In der MVV TB A 2 (Brandschutz) wird die Anforderung bzgl. des Glimmverhaltens nun allgemein auf der Bauwerksebene (bauwerksbezogen) gestellt:

Bei baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen, bei denen die Anforderungen nichtbrennbar oder schwerentflammbar gestellt werden, ist sicherzustellen, dass es nicht durch unbemerktes fortschreitendes Glimmen und/oder Schwelen zu einer Brandausbreitung innerhalb eines Gebäudes kommen kann.

Anmerkung:

In dem derzeitigen Entwurf der MVV TB 2019 wurde der Absatz bzgl. der Konkretisierung der Anforderung an das Glimmverhalten überarbeitet:

«Für bauliche Anlage oder Teile von baulichen Anlagen, bei denen die Anforderungen nichtbrennbar oder schwerentflammbar gestellt werden, sind geeignete Materialien zu wählen, so dass es nicht durch unbemerktes fortschreitendes Glimmen und/oder Schwelen zu einer Brandausbreitung kommen kann. Zur Erfüllung nachfolgender Anforderungen ist die unter lfd. Nr. A 2.2.1.2 genannte Technische Regel zu beachten.»

3.1. Kompetenztrennung EU - Deutschland

Während die BauPVO den freien Warenverkehr innerhalb der EU regelt, bleibt das Sicherheitsniveau von Bauwerken im Verantwortungsbereich der einzelnen Mitgliedsstaaten der EU. Somit ist es dem Mitgliedsstaat vorbehalten, Anforderungen an die Sicherheit von baulichen Anlagen zu stellen. Das Bauproduktenrecht und die BauPVO stellen kein Baurecht dar, sondern Regelungen des Wirtschafts- und Wettbewerbsrechtes.

Das Bestimmungsrecht der einzelnen Mitgliedstaaten wird durch die Europäische Kommission in den Erwägungsgründen zur BauPVO betont:

«Diese Verordnung sollte das Recht der Mitgliedstaaten unberührt lassen, Anforderungen festzulegen, die nach ihrer Auffassung notwendig sind, um den Schutz der Gesundheit, der Umwelt und von Arbeitnehmern, die Bauprodukte verwenden, sicherzustellen.»

Die Kompetenztrennung zwischen dem europäischen Wirtschaftsrecht und den Bauwerksanforderungen der Mitgliedstaaten ist ein wesentlicher Punkt in der Neuordnung der Regelungen zu Bauprodukten und Bauarten in Deutschland.

- Das europäische Bauproduktenrecht regelt die Spielregeln (einheitliche Fachsprache) für das Inverkehrbringen – also den europäischen Binnenhandel.
- Die harmonisierten technischen Spezifikationen (hEN oder EAD) legen fest, welche Leistungen auf welcher harmonisierten Grundlage für ein Bauprodukt ermittelt werden können und vom Hersteller auf der Leistungserklärung zu deklarieren sind.
- Die bauordnungsrechtlichen Regelungen der Mitgliedstaaten legen die zu erfüllenden Leistungen bzw. Leistungsstufen für die Verwendung in ihren Bauwerken fest.

3.2. Bauprodukte, Bausätze und Bauarten

Die MBO unterscheidet im Wesentlichen zwischen Bauprodukten und Bausätzen mit CE-Kennzeichnung («europäische Bauprodukte»), nationalen Bauprodukten (Bauprodukte mit Verwendbarkeitsnachweis) und nationalen Bauarten (siehe Abb. 4). Mit dem Einfügen von § 16a MBO Bauarten beinhaltet die MBO eine Neuregelung zu den Bauarten.

Mit der Novellierung der MBO wurden die Bestimmungen zu den Bauarten aus § 3 Abs. 2 sowie dem dritten Abschnitt der MBO, der im Wesentlichen Regelungen zu den Bauprodukten enthält, in den zweiten Abschnitt verschoben. Dieser regelt allgemeine Anforderungen an die Bauausführung. Die Verschiebung wird insbesondere damit begründet, dass es sich bei einer Bauart um die Tätigkeit des Zusammenfügens von Bauprodukten handelt und somit um Regelungen zur Ausführung. Mit dieser neuen Positionierung der Bauarten erfolgt eine deutliche Abgrenzung zu den Bauprodukten und zu den Regelungen der BauPVO.

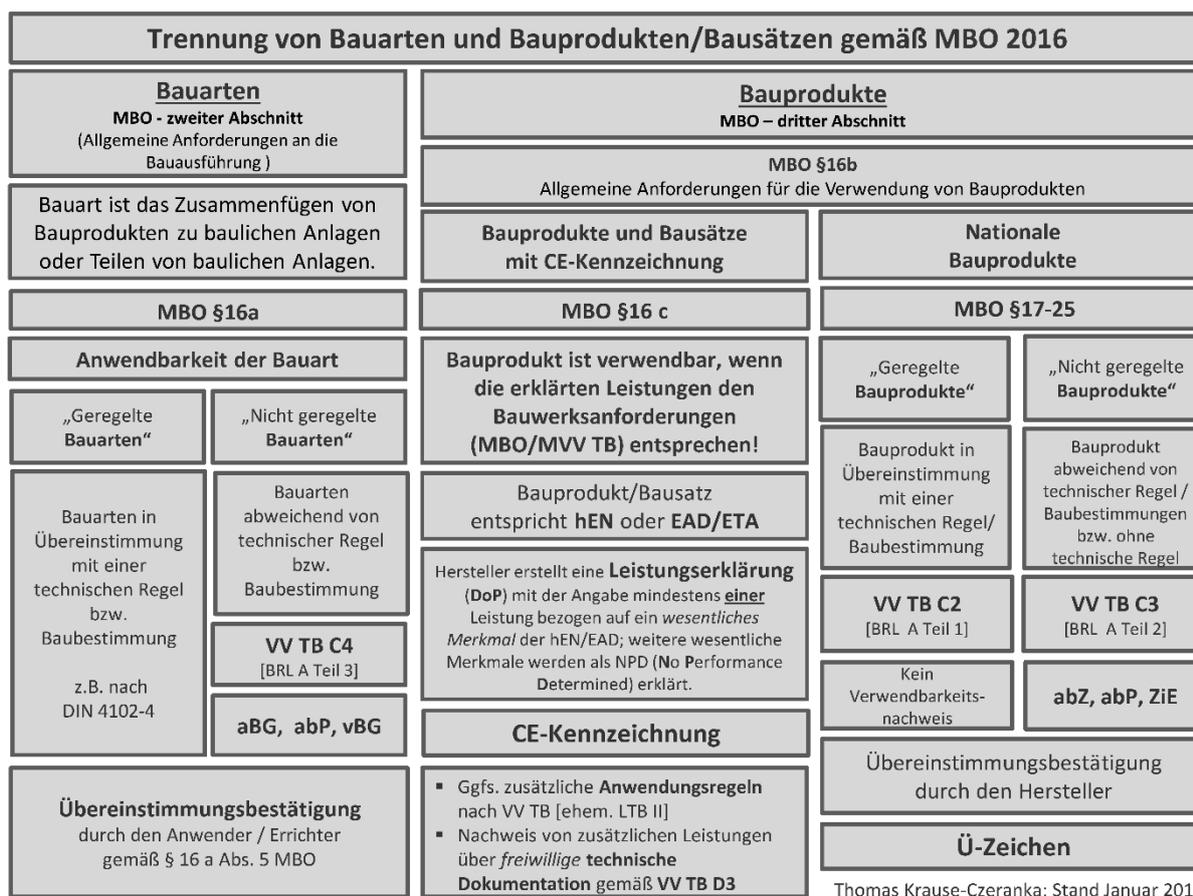


Abbildung 4: Bauprodukte, Bausätze und Bauarten gemäß MBO 2016

Die Nachweisregelungen zu den nationalen Bauprodukten sind im Wesentlichen unverändert geblieben. In §§ 17-25 MBO finden sich die bekannten Verwendbarkeitsnachweise allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ), allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) und Zustimmung im Einzelfall (ZiE). Diese Bauprodukte werden weiterhin mit dem Ü-Zeichen gekennzeichnet.

Die Verwendbarkeit von europäisch geregelten Bauprodukten ergibt sich grundsätzlich aus dem Abgleich der erklärten Leistungen des Bauproduktes mit den jeweiligen Bauwerksanforderungen. Allein die CE-Kennzeichnung eines Bauproduktes ist für die Verwendung in Deutschland nicht ausreichend. Die CE-Kennzeichnung besagt lediglich, dass das Bauprodukt «gehandelt» werden darf.

Ein Bauprodukt, das eine CE-Kennzeichnung trägt, darf verwendet werden, wenn die erklärten Leistungen den im Gesetz oder aufgrund des Gesetzes festgelegten Bauwerksanforderungen entspricht!

Die am Bau Beteiligten haben im Rahmen ihrer Tätigkeiten und Aufgaben die Pflicht für die Sicherstellung der Bauwerksanforderungen zu sorgen. Die grundlegenden Bauwerksanforderungen der MBO (bzw. LBO) werden über die neue MVV TB konkretisiert. Die MVV TB stellt an dieser Stelle auch die Verknüpfung von Bauordnung zu technischen Regeln, um diese Konkretisierung zu gewährleisten.

Es bleibt aber herauszustellen, dass die Sicherstellung der Umsetzung der Bauwerksanforderungen ebenfalls für Bauprodukte mit einem Ü-Zeichen betrifft. Auch für ein Bauprodukt, das als «geregeltes» oder «nicht geregeltes» Bauprodukt in Deutschland mit einem Ü-Zeichen in Verkehr gebracht wird, sind - vergleichbar mit dem harmonisierten Bauprodukt - bzgl. der Verwendung bauordnungsrechtliche Anforderungen zu beachten. Das europäische System ist in Abgrenzung zu unserem nationalen System sicherlich komplexer und erfordert insbesondere, dass sich die am Bau Beteiligten mit der Fachsprache der

harmonisierten technischen Spezifikationen auseinandersetzen. Es ermöglicht aber teilweise eine im Gegensatz zu dem Ü-Zeichen umfangreichere Aussage zu den Leistungen eines Bauproduktes.

3.3. Abgrenzung Bauprodukt zu Bauart

Neben der Verwendung von Bauprodukten sehen die Bauordnungen Regelungen bzgl. der Anwendung von Bauarten vor. Der neue § 16a MBO Bauarten sieht die Einführung von allgemeinen Bauartgenehmigungen und vorhabenbezogenen Bauartgenehmigungen für nicht geregelte Bauarten vor. Neben der allgemeinen Bauartgenehmigung, die die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) für Bauarten ersetzt, bleibt für Bauarten, die auf der Grundlage von anerkannten Prüfverfahren beurteilbar sind, das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis (abP) als Nachweis erhalten (MVV TB; Abschnitt C4; siehe auch Abbildung 4).

Während die nationalen Regelungen zu den Bauprodukten auf die Verwendung und eine damit verbundene Kennzeichnungspflicht (Ü-Zeichen) abzielen, behandeln die Regelungen zu den Bauarten deren Anwendung. Ein wesentlicher Unterschied dieser Differenzierung besteht in den jeweiligen Übereinstimmungsverfahren. Bei den Bauprodukten erklärt der Hersteller des Bauproduktes die Übereinstimmung, entweder mit einer technischen Baubestimmung oder mit einem Verwendbarkeitsnachweis (abZ oder abP). Das Bauprodukt wird mit dem Ü-Zeichen gekennzeichnet.

Für die Bauart ist eine Kennzeichnung mit dem Ü-Zeichen nicht möglich. Die einzelnen Bauprodukte der Bauart tragen eine Kennzeichnung (Ü-Zeichen oder CE-Kennzeichnung). Darüber hinaus sehen die Regelungen zu Bauarten vor, dass der Errichter bzw. Anwender der Bauart, die Übereinstimmung mit den Technischen Baubestimmungen oder dem Anwendbarkeitsnachweis in Form einer Übereinstimmungsbestätigung erklärt.

§ 16a MBO Bauarten sieht in Absatz 5 ausdrücklich vor, dass auch Bauarten, die auf der Grundlage einer Technischen Baubestimmung errichtet worden sind, eine Übereinstimmungsbestätigung durch den Anwender benötigen. Damit bedürfen auch «geregelte Bauarten» einer Übereinstimmungsbestätigung mit der jeweiligen Technischen Baubestimmung – beispielsweise der DIN 4102-4.

Die Übereinstimmungsbestätigung bei den Bauarten ist ein wesentlicher Punkt im Rahmen der bauordnungsrechtlichen Dokumentation.

In diesem Punkt unterscheiden sich Bauarten also wesentlich von Bauprodukten. Bauordnungsrechtlich sprechen wir daher bei Bauprodukten von deren Verwendung und bei Bauarten von deren Anwendung.

Die Regelungen zu Bauprodukten und Bauarten sind jedoch nicht immer deutlich und klar zu trennen. So beinhalten bereits viele bisherige bauaufsichtliche Nachweise sowohl Verwendungsregeln zum Bauprodukt als auch Anwendungsregeln, die auf die Bauart hinweisen (Beispiele: Beschichtungssysteme, Abschottungssysteme, Brandschutztüren). Diese Form der Doppeldokumente, die einerseits Verwendbarkeitsnachweis (für das Bauprodukt) und andererseits Anwendungsregeln (Bauartregelungen, inkl. Hinweis auf Übereinstimmungserklärung des Errichters) beinhalten, finden sich auch bei den aktuellen Regelungen zu Kabel-Rohr- und Kombiabschottungen. Das DIBt erstellt beispielsweise *allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen* für solche Systeme. In der jeweiligen abZ ist der Hinweis enthalten, dass diese auch als *allgemeine Bauartgenehmigung* für die Anwendung gilt.

3.4. Bauarten und Bausätze

Bei der Bauart handelt es sich um ein rein nationales Konstrukt. Das europäische Bauproduktenrecht sieht keine Regelungen bzgl. Bauarten und deren Anwendung vor, sondern regelt ausschließlich Bedingungen für das Inverkehrbringen von Bauprodukten.

Als Äquivalent zu den Bauarten könnte man in Europa ggfs. den Bausatz verstehen. Der Bausatz ist jedoch per Definition der BauPVO ebenfalls ein Bauprodukt, das aus mind. zwei Komponenten eines Herstellers besteht. In diesem Punkt unterscheiden sich Bauart und

Bausatz erheblich voneinander, denn die Bauart kann aus Bauprodukten verschiedener Hersteller bestehen.

Das Zusammenfügen von Komponenten eines Bausatzes gilt jedoch nicht als Bauart!

Die Besonderheit der Bauarten ist, dass das wesentliche Leistungsmerkmal, das diese Bauart erfüllen soll (z.B. Feuerwiderstand), von dem korrekten Zusammenfügen der einzelnen Komponenten abhängig ist – also von der fachgerechten Errichtung unter Berücksichtigung von bauordnungsrechtlichen Anforderungen.

Tatsächlich existieren aber europäisch geregelte Bausätze, die in ihrer Wesensart einer nationalen Bauart und ihrer Besonderheiten gleichkommen.

In der dem der MVV TB beiliegenden Anhang 4 «Technische Regel – Bauaufsichtliche Anforderungen, Zuordnung von Klassen, Verwendung von Bauprodukten, Anwendung von Bauarten» werden für bestimmte Bausätze mit einer European Technical Approval (ETA) nach ETAG/EAD zusätzlich Anwendungsregeln gestellt, die eine zusätzliche Bauartgenehmigung erforderlich machen (z.B. Abschottungssysteme, wie Kabel-, Rohr und Kombiabschottungen).

Anwendungsregeln können im Allgemeinen auch in Form einer aaRdT vorliegen oder über eine ETB erfolgen. Im Einzelfall machen fehlende Anwendungsregeln eine allgemeine Bauartgenehmigung erforderlich.

Es ergibt sich jedoch grundsätzlich die Frage der Anwendungsregeln für harmonisierte Bauprodukte (auf Grundlage einer hEN oder einer EAD/ETA), die eine CE-Kennzeichnung nach der BPVO führen. Zum einen beinhalten die Montage- und Betriebsanleitungen des Herstellers Anwendungsregeln zu seinem Bauprodukt. Diese beschreiben u.a. den Einbau eines Bauproduktes in das dafür vorgesehene Bauteil und sind ebenfalls ein wichtiger Bestandteil der bauordnungsrechtlichen Dokumentationsunterlagen.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass ein harmonisiertes Bauprodukt von Anwendungsregeln aus einer ETB erfasst ist. Problematisch wird es dann, wenn die Angaben eines Herstellers aus den Montage- und Betriebsanleitungen zu seinem harmonisierten Bauprodukt zu ggfs. widersprüchlichen Festlegungen in einer ETB stehen. Beispielhaft kann man hier Angaben zu der Instandhaltung und Wartung von Brandschutzklappen nennen. Anforderungen und Angaben dazu werden auch in der Lüftungsanlagenrichtlinie (ETB) geregelt. Es bleibt im Einzelfall zu klären, wie die Anwendungsregeln in solchen Fällen ausgelegt werden müssen.

4. Abweichungen

4.1. Abweichungen und Mängel in der Ausführung

Die bauaufsichtlichen Nachweise verschiedenster Brandschutzsysteme beschreiben meist aufwendig sowohl den Anwendungsbereich als auch die Art der Ausführung. Diese Randbedingungen und Beschreibungen spiegeln in erster Linie die Verhältnisse wieder, die aus den jeweiligen Brandprüfungen, welche Grundlage des dementsprechenden bauaufsichtlichen Nachweises sind, resultieren. Hierbei handelt es sich um Laborbedingungen, die ein möglichst breites Spektrum an Einbausituationen widerspiegeln und abdecken sollen.

In der Praxis können nicht immer alle Randbedingungen der dementsprechenden bauaufsichtlichen Nachweise eingehalten werden.

Die Praxis auf den Baustellen zeigt, dass immer wieder vergleichbare Mängel in der Ausführung von Brandschutzsystemen auftreten. Und diese Mängel sind sowohl in Bestandsgebäuden als auch bei Neubauten zu finden. Bezüglich der fachgerechten Planung und Ausführung von Bauprodukten bzw. Bauarten des baulichen Brandschutzes ist es unerlässlich, sich mit den jeweiligen Verwendbarkeitsnachweisen und den darin geregelten Anwendungsbereichen zu beschäftigen.

4.2. Bauordnungsrechtliche Arten von Abweichungen

Versucht man sich an einer Definition des Begriffes «Abweichung» gelangt man schnell in den Bereich des Qualitätsmanagements. Dort wird die Abweichung als eine Überschreitung von festgelegten Toleranzgrenzen oder Nichtbefolgung von festgelegten Verfahrensschritten beschrieben. Synonyme für den Begriff «Abweichung» finden sich einige, wie z.B. Unterschied, Differenz, Schwankung, Divergenz und Abgrenzung, aber auch Meinungsverschiedenheit. Letzterer passt häufig, wenn über das Thema Abweichungen diskutiert wird.

Unterscheiden muss man zunächst die verschiedenen Arten von Abweichungen, mit denen wir bauordnungsrechtlich konfrontiert werden. Die Erfahrung zeigt, dass in der Praxis häufig Schwierigkeiten bestehen, eine Abweichung im bauaufsichtlichen Sinne korrekt einzuordnen. Die korrekte Einordnung der Art der Abweichung ist aber ausschlaggebend für die weitere Nachweisführung im bauaufsichtlichen Verfahren.

Bauordnungsrechtlich werden folgende Abweichungen unterschieden [siehe Abb. 5]:

– **Abweichungen von eingeführten technischen Baubestimmungen:**

§85a MBO (2016) Technische Baubestimmungen:

«(1) Die Anforderungen nach § 3 können durch Technische Baubestimmungen konkretisiert werden. Die Technischen Baubestimmungen sind zu beachten. Von den in den Technischen Baubestimmungen enthaltenen Planungs-, Bemessungs- und Ausführungsregelungen kann abgewichen werden, wenn mit einer anderen Lösung in gleichem Maße die Anforderungen erfüllt werden und in der Technischen Baubestimmung eine Abweichung nicht ausgeschlossen ist. [...]»

– **Abweichungen von Anforderungen der Bauordnung (materielle Abweichung):**

§67 MBO (2016) Abweichungen:

«(1) Die Bauaufsichtsbehörde kann Abweichungen von Anforderungen dieses Gesetzes und aufgrund dieses Gesetzes erlassener Vorschriften zulassen, wenn sie unter Berücksichtigung des Zwecks der jeweiligen Anforderung und unter Würdigung der öffentlich-rechtlich geschützten nachbarlichen Belange mit den öffentlichen Belangen, insbesondere den Anforderungen des § 3 Satz 1 vereinbar ist. § 85a Abs. 1 Satz 3 bleibt unberührt. [...]»

– **Abweichungen von Verwendbarkeitsnachweisen von Bauprodukten:**

§21 MBO (2016) Übereinstimmungsbestätigung:

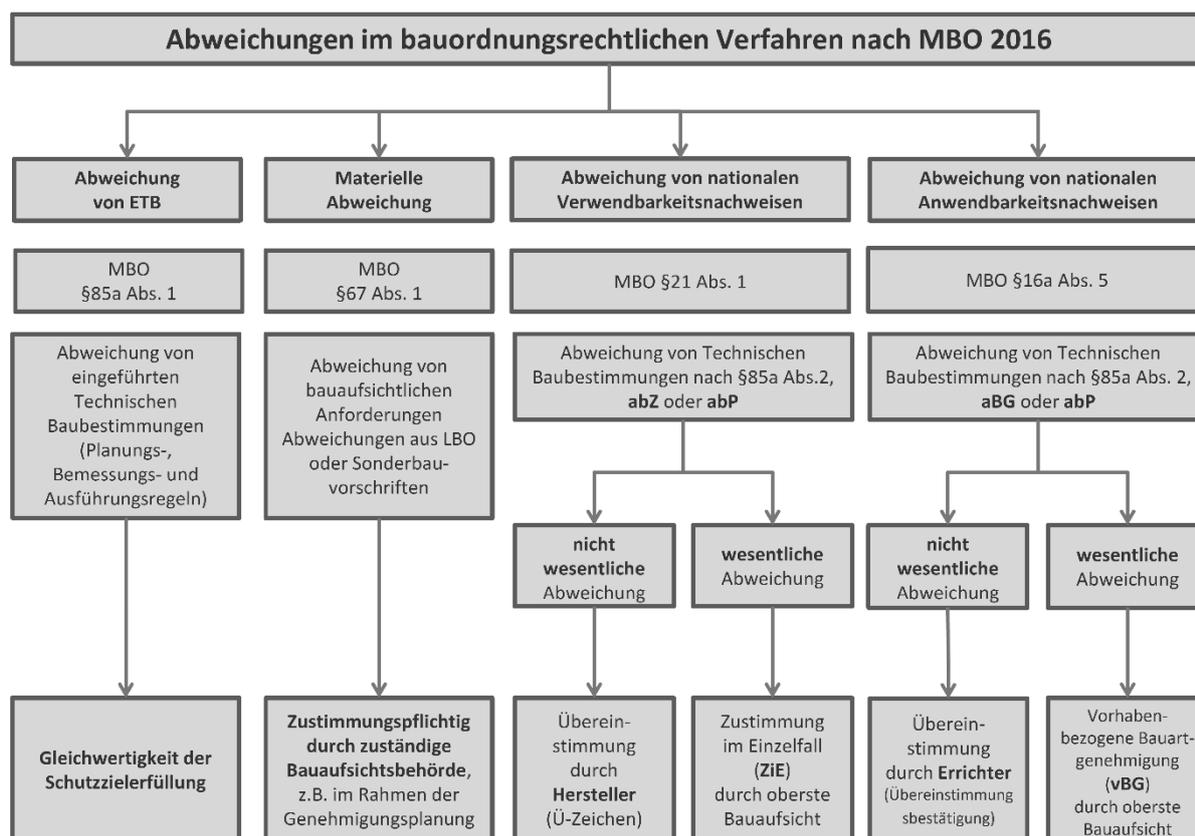
«(1) Bauprodukte bedürfen einer Bestätigung ihrer Übereinstimmung mit den Technischen Baubestimmungen nach § 85a Abs. 2, den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, den allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen oder den Zustimmungen im Einzelfall; als Übereinstimmung gilt auch eine Abweichung, die nicht wesentlich ist.

(2) Die Bestätigung der Übereinstimmung erfolgt durch Übereinstimmungserklärung des Herstellers (§ 22).»

– **Abweichungen von Anwendbarkeitsnachweisen von Bauarten:**

§16a (5) MBO (2016) Bauarten:

«Bauarten bedürfen einer Bestätigung ihrer Übereinstimmung mit den Technischen Baubestimmungen nach § 85a Abs. 2, den allgemeinen Bauartgenehmigungen, den allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen für Bauarten oder den vorhabenbezogenen Bauartgenehmigungen; als Übereinstimmung gilt auch eine Abweichung, die nicht wesentlich ist. § 21 Abs. 2 gilt für den Anwender der Bauart entsprechend. [...]»



Thomas Krause-Czeranka; Stand Januar 2018; Bauprodukte Aktuell Ausgabe 1/2018

Abbildung 5: Übersicht der bauordnungsrechtlichen Arten von Abweichungen

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die MVV TB die Abweichung nach §85a Abs. 1 MBO für bestimmte technische Baubestimmungen einschränkt. Für diese bestimmten technischen Baubestimmungen ist eine Abweichung nur auf Grundlage §67 MBO möglich. Diese Abweichungen sind gesondert schriftlich zu beantragen und zu begründen. In der Regel geschieht dies im Rahmen der Erarbeitung eines Brandschutzkonzeptes. Als Beispiel sei hier die neue technische Regel «Bauaufsichtliche Anforderungen, Zuordnung der Klassen, Verwendung von Bauprodukten, Anwendung von Bauarten» genannt. Diese findet man in dem neuen Entwurf aufgeführt als Anhang 4. Diese Regelung umfasst ca. 50 Seiten und beschreibt die Konkretisierung der materiellen bauordnungsrechtlichen Anforderungen an Bauteile. Den bauaufsichtlichen Anforderungen werden hier die entsprechenden Baustoffklassifizierungen und Feuerwiderstandsdauern zugeordnet. Die Angaben erfolgen dann sowohl mit nationalen Klassifizierungen nach DIN 4102 als auch mit den dementsprechenden europäischen Klassifizierungen nach DIN 13501. Auf dem Deckblatt dieser technischen Baubestimmung ist der Hinweis aufgenommen, dass eine Abweichung nur nach §67 MBO in Betracht kommt. Somit bleibt gewährleistet, dass die grundlegenden materiellen bauordnungsrechtlichen Anforderungen genehmigungspflichtig bleiben. Die Abweichung einer Technischen Baubestimmung nach § 85 a Abs. 1 ist damit ausgeschlossen.

Allerdings greift die MVV TB 2017 bzgl. dieser Abweichungsregelung auch Richtlinien auf, die zuvor als Technische Baubestimmungen galten und im Falle einer Abweichung nicht unter § 67 MBO fielen.

Beispiele hierfür sind:

- Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen
- Richtlinie zur Lagerung von Sekundärstoffen aus Kunststoff
- Industriebaurichtlinie

Gemäß den Regelungen der MVV TB würden zukünftig Abweichungen auch von diesen Technischen Baubestimmungen als bauordnungsrechtliche Abweichungen unter § 67 MBO eingeordnet werden und bedürfen einer Zustimmung durch die zuständige Bauaufsichtsbehörde.

4.3. Abweichungen bei Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung

Die deutlichere Abgrenzung von Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung, Bauprodukten mit (nationalen) Verwendbarkeitsnachweisen und Bauarten führt auch zu einer deutlicheren Unterscheidung bzgl. der Abweichungen bei der *Verwendung* oder *Anwendung*. Bei Abweichungen von Verwendbarkeits- bzw. Anwendbarkeitsnachweisen von nationalen Bauprodukten bzw. Bauarten wird grundsätzlich zwischen *wesentlichen* und *nicht wesentlichen* Abweichungen unterschieden. Die wesentliche Abweichung führt bei nationalen Bauprodukten zu einer *Zustimmung im Einzelfall*, die wesentliche Abweichung bei Bauarten führt zu einer *vorhabensbezogenen Bauartgenehmigung*. Sowohl ZIE als auch vBG werden in der Regel durch die obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder erteilt.

Die Bauordnung, bzw. §16c MBO, sieht jedoch keine vergleichbare Regelung bzgl. dieser Abweichungen bei der Verwendung von CE-gekennzeichneten Bauprodukten vor. Die formalen Regelungen zu wesentlichen und nicht wesentlichen Abweichungen gelten ausschließlich für nationale Bauprodukte und Bauarten. Für die Verwendung von Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung gilt grundsätzlich folgendes:

Ein Bauprodukt, das eine CE-Kennzeichnung trägt, darf verwendet werden, wenn die erklärten Leistungen den im Gesetz oder aufgrund des Gesetzes festgelegten Bauwerksanforderungen entspricht!

Es ist somit die Aufgabe der am Bau Beteiligten, den Abgleich von Bauwerksanforderungen zu erklärten Leistungen sicherzustellen. Was ist jedoch, wenn die erklärten Leistungen nicht in allen Einzelheiten den Bauwerksanforderungen vollumfänglich entsprechen?

In der Begründung zur Novellierung der MBO wird dieser Punkt explizit aufgeführt.

- *Erreichen die erklärten Leistungen nicht alle das Anforderungsniveau,*
- *weichen die Randbedingungen, nach denen das Bauprodukt verwendet wird, von den in der harmonisierten technischen Spezifikation (hEN oder EAD) vorgesehenen Randbedingungen ab, oder*
- *sind zu bestimmten Merkmalen, die sich im konkreten Verwendungszusammenhang auf die Erfüllung der Bauwerksanforderungen Auswirkungen haben, keine Leistungen erklärt,*
so müssen die am Bau Beteiligten entscheiden, ob die Defizite (Abweichungen) so gering sind, dass von der Erfüllung der Bauwerksanforderungen trotzdem ausgegangen werden kann.

Eine solche Regelung entspricht im Wesentlichen dem Tatbestand einer nicht wesentlichen Abweichung bzgl. der Verwendung von nationalen Bauprodukten! Im Unterschied zu diesen ist der Hersteller des Bauproduktes nicht ausdrücklich aufgeführt. Jedoch trägt der Hersteller eines Bauproduktes mit CE-Kennzeichnung insbesondere für die erklärten Leistungen des Bauproduktes die Verantwortung. Aus diesem Grund ist es dringend empfohlen, auch Rücksprache mit dem Hersteller zu halten, ob der jeweilige Anwendungsfall der Leistung des Produktes entspricht.

Darüber hinaus hat der Hersteller eines Bauproduktes, welches in den Anwendungsbereich einer hEN fällt, die Möglichkeit, ein EAD (European Assessment Document) zu beantragen, wenn die hEN dem Hersteller nicht ermöglicht, Leistungen zu erklären, die zur Erfüllung der Bauwerksanforderungen gefordert sind.

4.4. Differenzierung zu Abweichungen von Anwendungsregeln

Durch den Anhang 4 der MVV TB 2017 werden für einzelne Bauprodukte, die eine CE-Kennzeichnung tragen, auch Anwendungsregeln gestellt. Es bestehen auch bei den Anwendungsregeln unterschiedliche Möglichkeiten:

- Anwendungsregeln in Form einer Anwendungsnorm (z.B. DIN 18093 für Brandschutztüren)
- Konkrete Anwendungsregeln in Form von Verwendungs-, Anwendungs- oder Ausführungsbestimmungen zu einem Bauprodukt über den Anhang 4
- Anwendungsregeln in Form einer *allgemeinen Bauartgenehmigung*, soweit keine abschließenden Anwendungsregeln / Technische Regeln dazu existieren.

Da es sich bei den Anwendungsregeln um nationale Regeln handelt, die nicht von der harmonisierten technischen Spezifikation erfasst sind, ist eine Abweichung aus formaler Sicht bauordnungsrechtlich möglich und geregelt.

Im Falle von Anwendungsregeln in Form von Anwendungsnormen ist zu unterscheiden, ob es sich um eine allgemein anerkannte Regel der Technik (z.B. DIN 18093) handelt oder um eine Technische Baubestimmung (z.B. LAR oder LÜAR) handelt. In diesem Fall wäre eine Abweichung ohne formale Zustimmung der Bauaufsichtsbehörde möglich.

Bei einer Abweichung von einer Anwendungsregel des Anhangs 4 der MVV TB verschiebt sich der Abweichungsbestand zu §67 MBO, da der Anhang 4 als Technische Baubestimmung zwar gilt, eine Abweichung nach §85a MBO aber ausgeschlossen ist (siehe auch Ausführungen zu Abschnitt 4.2). Die Abweichung wäre somit zustimmungspflichtig durch die zuständige Bauaufsichtsbehörde.

Im Falle einer Anwendungsregel in Form einer *allgemeinen Bauartgenehmigung* (z.B. Kabelabschottungen mit ETA auf Grundlage einer EAD) ergibt sich der formale Umgang mit einer Abweichung aus §16a MBO. Bei einer Abweichung müsste also zwischen *nicht wesentlich* (=Übereinstimmung) und *wesentlich* (ggfs. die Möglichkeit einer *vorhabensbezogenen Bauartgenehmigung* durch die oberste Bauaufsicht) unterschieden werden.

Auch bei den Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung vollzieht sich so die Trennung von Verwendungsregeln zu Anwendungsregeln.

4.5. Zustimmung im Einzelfall bei CE-Kennzeichnung

Durch die Novellierung der MBO und der damit verbundenen deutlicheren Trennung von

- Bauprodukten mit Verwendbarkeitsnachweis,
- Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung und
- Bauarten

sind die Bauprodukte mit einer CE-Kennzeichnung von den formalen Möglichkeiten, die für Bauprodukte mit Verwendbarkeitsnachweis (abZ, abP, ZiE) ausgeschlossen. Soweit ein Bauprodukt von einer harmonisierten technischen Spezifikation betroffen ist, entfällt formal auch die Möglichkeit einer *Zustimmung im Einzelfall* bei einer *wesentlichen Abweichung*.

In diesem Fall bleibt jedoch wieder zu differenzieren, worin die Abweichung besteht und ob es sich ggfs. um eine Abweichung von einer (nationalen) Anwendungsregel handelt (siehe Ausführungen unter Punkt 4.4).

Soweit jedoch ein Bauprodukt mit einer CE-Kennzeichnung zweckentfremdet wird und somit nicht nach dem in der harmonisierten technischen Spezifikation vorgesehenen Verwendungszweck eingesetzt wird, ist aus Sicht des Autors auch eine Zustimmung im Einzelfall möglich. Ein solches Bauprodukt darf für diese Art der Verwendung jedoch nicht die CE-Kennzeichnung tragen.

4.6. Verschiebung von Abweichungen

Als letzter Punkt zu der Thematik Abweichungen soll noch die Möglichkeit der Verschiebung von Abweichungen erwähnt werden. In einzelnen Fällen besteht die Möglichkeit eine Abweichung bzgl. der Verwendung eines Bauproduktes zu einer Abweichung von materiellen Anforderungen zu verschieben. Insbesondere in Bestandsgebäuden oder sogar historischen Bauwerken ist es ggfs. notwendig über materielle Abweichungen nach §67 MBO im Zuge des Brandschutzplanung evtl. Schnittstellenprobleme aus Bausubstanz und verwendeten Bauprodukten zu lösen. In vielen Fällen ist auch über die Einbindung von Ingenieurmethoden und der Betrachtung von Realbrandszenarien zu argumentieren. Da die Verwendbarkeit von Bauprodukten bzgl. ihres Feuerwiderstandes in der Regel auf der Grundlage der Einheitstemperaturzeitkurve beurteilt werden, handelt es sich bei der Betrachtung von Realbrandszenarien um Abweichungen von materiellen bauordnungsrechtlichen Anforderungen. In diesen Fällen ist im Rahmen der Brandschutzplanung die Gesamtsituation inkl. der verwendeten Bauprodukte zu beurteilen.

5. Fazit

Der Umgang mit Abweichungen von Verwendbarkeits- und Anwendbarkeitsnachweisen erfordert Erfahrung und Kenntnisse bzgl. der verwendeten Systeme. Nicht jede Abweichung führt zwingend zu einem vorzeitigen Versagen des Systems. Im Einzelfall ist zu der qualitativen Beurteilung einer Abweichung die Erfahrung aus Brandprüfungen unter Berücksichtigung der Einbausituation und des angestrebten Schutzzieles notwendig.

Die deutlichere Trennung von Bauprodukten und Bauarten offenbart jedoch auch eine gewisse Schwierigkeit hinsichtlich einer klaren Trennung von Verwendung und Anwendung. Diese Trennung hat auch Auswirkungen auf die Betrachtung von Abweichungen. Auch bei Abweichungen von Bauprodukten, die eine CE-Kennzeichnung tragen, ist hier im Einzelfall zu differenzieren.

Die formale Nachweisführung von Bauprodukten und Bauarten ist komplex – nicht erst durch Europa!

Tragwerk – Neue Ansätze im Modul- und Holzhochhausbau

Tall Wood Buildings – The US Approach to Performance and Protection

Sean DeCrane
Underwriters Laboratories, USA
Northbrook, USA



Tall Wood Buildings – The US Approach to Performance and Protection

ICC AD HOC Committee on tall wood buildings Responds to concerns raised during the public comment period

The International Code Council (ICC) established an Ad Hoc Committee on Tall Wood Buildings (TWB) in December 2015. This committee studied building science for tall wood buildings and has proposed amendments to the 2021 edition of the International Building Code (IBC) to address building construction using mass timber.

The committee worked for two years to develop code proposals in a consensus process. It should be noted that all of the meetings and phone calls were posted on a website: <https://www.iccsafe.org/codes-tech-support/cs/icc-ad-hoc-committee-on-tall-wood-buildings/>

In addition to the committee members, who represented many interests, including the engineers, architects, building and fire code officials, fire service, materials representatives, and testing laboratory representatives, the committee also welcomed close to 100 others as interested parties to follow and comment on committee proceedings. In addition, the documentation provided to the committee was also posted on the website. Committee members have routinely spoken about the committee activities to interested parties at various conferences and meetings to further ensure open and inclusive discussion exploring the issues of tall wood buildings.

The TWB code proposals were assigned the following IDs.

G28-18: IBC 403.3.2, High Rise Sprinkler Water Supply
G75-18: IBC 504.3, Height, Feet
G80-18: IBC 504.4, Height, Stories
G84-18: IBC 506.2, Allowable Area
G89-18: IBC 508.4.4.1/509.4.1.1, Fire Separations, Occupancy and Incidental Uses
G108-18: IBC 602.4 (also definitions and IBC 601), Types of Construction
FS5-18: IBC 703.8, Performance method for noncombustible protection
FS6-18: IBC 703.9, Sealant/Adhesives at Edges
FS73-18: IBC 708.2.1, Fire and Smoke Protection
FS81-18: IBC 722.7, Prescriptive method for noncombustible protection
G146-18: IBC 3102, Membrane Buildings
G152-18: IBC Appendix D, Fire Districts
F88-18: IFC 701.6, Owner's responsibility
F266-18: IFC 3308.4, Fire Safety during construction

Interested parties are invited to visit [CDPAccess](#) to review the committee proposals and the supporting justifications.

The TWB code proposals were approved at the ICC Code Action Hearings in Columbus, OH in April 2018. Previously, the TWB responded to concerns raised during the Code Action Hearings, linked here: https://cdn-web.iccsafe.org/wp-content/uploads/TWB-Response-to-Concerns-Raised-at-Hearings_8_1_18-Posted.pdf

As many of the current issues are similar to the concerns already raised, the reader is invited to review this link in addition to reading this document.

During the current public comment period, concerns have again been raised regarding the approved code proposals. This document seeks to inventory the concerns raised during this public comment period, and to provide a summary response from the committee.

Concern #1

There is currently no complete testing or engineering justification for expanding the height limitation for mass timber from 6 stories to 18 stories.

Response

As discussed in the previous response to issues raised at the code hearings, the committee reviewed the building codes, data from numerous fire tests, and utilized a performance-based approach to justify the taller heights. Performance objectives adopted by the committee are as follows:

1. No collapse under reasonable scenarios of complete burn-out of fuel without automatic sprinkler protection being considered.
 - Note, the ATF test series included tests of Type IV-A and IV-B construction. No automatic sprinkler protection was provided, and the structure withstood complete burn-out of fuel without any collapse. The proposed construction types require passive fire resistance ratings of structural elements consistent with other construction types and in consideration of expected fuel loads.
2. No unusually high radiation exposure from the subject building to adjoining properties to present a risk of ignition under reasonably severe fire scenarios.
 - Note, the proposals require exterior wall protection with 40 minutes of noncombustible fire protection on any mass timber exterior walls, and does not permit the walls to contain other combustible materials other than a water barrier, which limits the impact from a building fire to adjoining properties
3. No unusual response from typical radiation exposure from adjacent properties to present a risk of ignition of the subject building under reasonably severe fire scenarios
 - Note, the proposals require exterior wall protection with 40 minutes of noncombustible fire protection on any mass timber exterior walls, and does not permit the walls to contain other combustible materials other than a water barrier, which reduces the risk of ignition of the exterior wall from adjacent properties
4. No unusual fire department access issues
 - Note, the ATF test series incorporated a corridor to determine conditions that a fire fighter would face in response, and no unusual conditions were observed. Vehicle access is governed by the Fire Code and would apply to these buildings the same as all others. The code proposals require that stair enclosures in taller wood buildings either be fully encapsulated, and non-combustible stairs are required when a building exceeds 12 stories. In addition, note that elevators for fire department access are also required for buildings heights over 120 feet.
5. Egress system design to protect building occupants during the design escape time, plus a factor of safety
 - Note, the egress factors provided in the code apply also to tall wood buildings. As previously noted, additional criteria are applied to stair enclosures to ensure that occupants are protected during egress
6. Highly reliable fire suppression system to reduce the risk of failure during reasonably expected fire scenarios. The degree of reliability should be proportional to evacuation time and the risk of collapse
 - Note, the proposals include a requirement to provide redundant water supply to the site, which adds reliability to the automatic fire protections systems, and also to the water supply available through fire hydrants for use by responding personnel. This criteria is triggered at a building height of 120 feet for tall wood buildings (note the trigger for other construction types is a building height of 420 feet).

The performance based approach considers all fire protection features contributing to the building's fire safety. The Ad Hoc Committee performed a rigorous review to evaluate the

risks and include building features to address those risks without relying on a single element to provide for the safety of occupants and the structure. An important thought to remember is that high-rise buildings of mass timber are still considered high-rise buildings with respect to all of the other code requirements. Tall Wood Buildings are required to comply with all of the same high-rise requirements that currently protect Type I high-rise buildings, and more. In fact, while Type I high-rise buildings are allowed to reduce their fire resistance ratings under the high-rise provisions, this reduction does not apply to Tall Wood Buildings. In other words, mass timber high-rise buildings will have a greater degree of fire resistance than current Type I highrise buildings are permitted to have, while also having all of the high-rise features that currently only apply to Type I buildings. By matching, and often exceeding, the hourly ratings already used for taller buildings, mass timber was determined to provide equal performance, and thus is being proposed to have the same tolerances for building height.

Concern #2

Allowing wood framed structures to be built above the level of fire department access is a serious mistake. The vast majority of municipal ladder trucks cannot reach above the 7th floor.

Response

This is not an issue related only to tall wood. Regardless of construction type, at a certain height, fire response is required to utilize the interior of the building for all high-rise buildings, through elevators and/or stairs to ascend to the fire event. For this reason, the committee bolstered requirements for exit enclosures and elevator shafts, which increases safety for 4 responding personnel. In addition, tall wood buildings are required to have exterior skin of non-combustible materials (i.e. plastics are not permitted), so the exterior surface fire concerns that relate to current steel/concrete high-rise buildings do not apply to tall wood buildings. These buildings will have higher fire resistance ratings requirements than currently required of current wood-frame construction, providing additional passive protection. The ATF tests incorporated features to address conditions expected to be encountered by responding personnel, and no abnormal issues were observed.

Concern #3

Wood does not offer the resilience and fire protection of non-combustible alternatives like concrete, masonry and steel.

Response

The ability of mass timber to endure through various fire scenarios is well understood. Through standard tests and compartment tests, often lasting over many hours, the committee was able to determine the strengths and weaknesses of the materials and provide code proposals that ensure mass timber provides suitable protection. Even as the resilience of mass timber against fire was proven, it is important to note that the mass timber prescribed in the code proposals have even greater fire resistance requirements than comparable concrete, masonry or steel high-rise buildings. With respect to structural resilience, the structural requirements that currently apply in the code will be applicable to tall wood buildings also. The tall wood buildings will be required to provide the same structural resilience as is required by the code for all other construction types currently.

Concern #4

Cross-Laminated Timber chars in a fire; however, charring is not equivalent to noncombustible. Charring wood will add fuel to the fire and increase the heat and smoke output relative to noncombustible materials. Note: if the char rate is 1" per hour in a fire, then after 2 hours in a fire, a 6" thick CLT wood load bearing wall will only have 2" of structural material left. This is not acceptable and is not addressed in the code change proposals.

Response

The committee is aware that mass timber is combustible, so it will burn and add fuel to the fire. The question is whether the burning characteristics can be quantified. Through numerous tests, the char rate of mass timber has been established and the amount of material expected to char can be calculated. The char rate calculation feeds into the structural design, so that all wood expected to char is determined to be sacrificial, and the

remaining cross section of wood is calculated to ensure that the structural design requirements have been met. From full scale comparative testing, the committee has found that the increase in burning rate from mass timber is negligible in the amounts prescribed in the code proposals for taller buildings.

Concern #5

To date, there has been no full scale CLT fire tests done to ASTM standards.

Response

The committee is not aware of what testing is being referred to. Full scale building fire tests are not required of any construction type. Full-scale testing in compartments has obviously occurred, however there are no ASTM standard tests for compartment testing, nor are there ASTM standards or code requirements to build a full-scale, complete buildings and subject them to fire tests for any other construction materials. Wall assembly and ceiling/floor assembly testing has occurred to ASTM E119, which is a full scale test.

Concern #6

There has been no wind component involved in the fire testing of Mass Timber assemblies. This is a serious mistake. This type of testing is essential.

Response

The issue of wind has been raised previously as well. There is no wind driven component in any of the tests required for construction using any material, such as ASTM E119 and NFPA 285. The wind driven component was rejected by the committee during design of the ATF tests, as wind can yield unpredictable results (both positive and negative results are possible), and there is a need to have reproducible data to assist with future areas of study. However, the ATF full scale tests were configured to allow an abundance of air to the fire by removing the glazing of both the living room and the bedroom prior to fire initiation, which resulted in a significant fire test that reinforced the performance characteristics of mass timber. Also, note that study of wind effects on exterior fires has shown that wind can actually move the flame away from the exterior surface and could yield a less intense fire test, so the effects of wind are not as predictable or as negative as may be assumed.

Concern #7

It is unknown what will happen to water that accumulates as a result of a fire sprinkler system discharge as a result of fire or accidental incident that opens a sprinkler head. The system has not been tested with the additional water load and what of the water damage and mold issues?

Response

Regarding the load concern, this is not an issue unique to mass timber. Certainly, the weight of water from sprinkler discharge is something all buildings, of all materials and all sizes, can sustain. There is no reason to expect that mass timber will not perform as well as all other buildings that have experienced water accumulation, from fire sprinklers or other means. Regarding mold issues, those issues can occur in steel, concrete and masonry buildings also. Again, these concerns are not specific to mass timber, and mass timber is expected to perform as well as existing construction methods. There is over 100 years of heavy timber buildings without issues or concerns.

Concern #8

Neither the Fire Code Action Committee nor the Building Code Action Committee voted to support this series of Tall Wood / Mass Timber Code Changes.

Response

There is no current process for any of the code action committees (CACs) to vote on code proposals from any groups or individuals outside of the CACs. The charge of the CACs is to develop code change proposals to "improve or enhance an International Code or a portion thereof" (ICC Council Policy 31), not review and take positions on code change proposals not originating within their CAC. Instead, the ICC process sets up the Code Development Committees as the groups that will review the work of all code action committees. The FCAC, BCAC, and Ad Hoc Committee for Tall Wood Buildings; all have to

submit code proposals, not to each other, but to these Code Development Committees. While the TWB kept the FCAC and BCAC informed during the process of preparing the code proposals, the charge of the committee was to create proposals for review by the Code Development Committees. It is worthy to note that the proposals were overwhelmingly approved by the IBC General Code Development Committee and the IFC Code Development Committee. ICC committees are governed by Council Policy 7 *Committees and Members* which was developed and updated by the ICC Board. Section 9.3 specifically addresses inter-committee coordination by assigning primary responsibility to a single committee – in this case, it was assigned to the TWB. As noted in the policy, this is intended to avoid conflicts and minimize duplication.

Concern #9

Adhesives used between the layers of CLT have not been standardized and are key to whether the CLT delaminates during fire and continues to advance till complete burnout. A test standard for the adhesives has been proposed, but not fully vetted by the cognizant committees.

Response

Structural adhesives are standardized. As discussed in the previous response to issues raised at the code hearings, the committee deliberated adhesive performance extensively. The performance of adhesives has been bolstered by updates to PRG 320-18, which standardize the minimum performance of adhesives. The performance of the adhesives per the new PRG 320-18 have been validated by the NRC re-testing of the NIST fire tests.

Concern #10

The behavior of CLT is completely dependent on the connections, and all connections used to date are proprietary. There is no publicly available information on their design or capacities, even for the Tall Wood Ad-Hoc. There is no information on the performance of the proprietary connections during fires?

Response

The connections utilized in the ATF tests were non-proprietary connections designed in accordance with the CLT Handbook AND NDS. Connections can be engineered using existing standards, so standard/prescriptive designs are not needed. Connections are not prescriptively set forth in the codes for any of the construction types.

Concern #11

Wood absorbs water, and the resulting rot and mold can seriously impair a wood structures' overall anticipated performance. Note: non-combustible materials such as concrete, masonry and structural steel do not rot.

Response

Heavy timber wood construction has endured for many years under many conditions. This issue is not specific to tall wood, but past history has shown that wood construction is resilient from the serious impairments alluded to in the comment. It is to be noted that noncombustible materials are not immune from water damage. Appropriate protection is required for all construction materials.

Concern #12

With respect to the proposed Type IV-B construction type, there is practical difficulty with defining areas of exposed wood and enforcement in the field.

Response

The percentage of exposed wood permitted in Type IV-B construction is derived from the ATF tests. It is normalized to the floor area as walls and ceilings can have detailing and surface elevation changes that could be improperly used to increase the amount of exposed wood. It is expected that exposed areas of walls and ceilings will be shown on construction documents with details sufficient to allow review by the AHJ. It is important that these details be shown on plans to ensure that the exposed wall percentage allowed is per code, and to ensure that exposed areas of walls and ceiling are separated from each

other by the minimum separation distance mandated by the proposals. As the plans are expected to contain this level of detail, it is expected that field inspections will be facilitated by these plan details.

Concern #13

With respect to Type IV-B construction, this construction type does not fit into a category that coincides with existing construction types. Existing construction types are generally categorized as protected or unprotected. Type IV-B is a designer construction type for aesthetic purposes that is a mix of IV-A and IV-C construction, and not clearly protected or unprotected.

Response

While the focus of this proposal is to add three new construction types, a nuance that needs to be remembered is that traditional Type IV construction has been maintained, and is identified as Type IV-HT. This existing construction type continues in the code and is the “unprotected” version of all of the Type IV construction types, in that the majority of the structural frame has no assigned minimum fire resistance rating. In contrast, the three new construction types all have minimum assigned fire resistance rating for the structural frame, so all three are considered to be different versions of “protected” construction. Type IV-B is validated by the ATF tests, and provides clear prescriptive requirements to ensure that protection is sufficiently provided to limit the contribution of mass timber walls to a fire, by exposing a limited quantity of mass timber, all while maintaining the minimum required fire resistance ratings. Note that the existing Type IB construction is a protected construction type, so the current code does not follow the framework described by the comment.

Concern #14

Concerns with vetting of NFPA 285 changes mean that additional clarification is needed to limit combustible products from the exterior wall construction. Additional protection is necessary for the exterior walls of high-rise buildings. In addition to adding to fire resistance rating, the additional protection is needed to ensure that ignition of exterior mass timber walls does not occur during the minimum fire resistance time rating.

Response

The original text within the code proposals clearly indicates that the entire exterior wall covering is required to be of noncombustible materials, except for the combustible water barrier, which must meet strict flammability limits. The concern stating that additional protection should be provided is overstated, as in typical high-rise construction, the load-bearing structural members in core areas carry larger loads than those that occur on the exterior perimeter of the building, meaning that there is less mass timber that will occur on the exterior perimeter. Adding a provision about combustion involvement of the wood does not follow any of the exterior wall flame spread standards and would be targeting only one type of construction if added here; these types of amendments to exterior wall testing criteria need to be added to the code sections in Chapter 14 that address these test requirements. Finally, please note that additional safeguards for exterior walls occur as the plastic/foam wall panels currently allowed in Type I and II buildings, which has exhibited the significant fire problems throughout the world, are not permitted to be installed on Tall Wood Buildings. 9

Concern #15

The prohibition of combustible materials in exterior walls and concealed spaces will create a conflict with the International Energy Conservation Code.

Response

The intent of the committee is to ensure the fire safety of these buildings. In doing so, the committee added these prohibitions of using combustible materials. The design will still be required to meet energy code provisions. Note that continuous insulation is only required if using the prescriptive path for compliance, but compliance can still be achieved using non-combustible materials such as mineral wool insulation. Also, performance approaches are available as a means of compliance, which can take advantage of the minimal leakage through mass timber elements.

Concern #16

There is no language in the code proposals that describe what should be provided or expected to protect the connections for the required fire resistance ratings.

Response

Please note that Section 704 of the IBC prescribes fire-resistance protection to be applied to structural members and requires that this protection must extend to connections to other structural members. As the base code already addresses this issue, no additional code proposals were necessary. Note also that the NDS requires protection for connections.

Concern #17

The proposed heights are not technically justified.

Response

Heights were based on a performance based approach and analysis of fire resistance rating. The performance based approach is validated by the results of fire testing, including the ATF fire tests. Numerous tests also validate the fire-resistance rating of mass timber elements. The TWB proposals address the issue of non-combustible construction versus the contribution of the mass timber to the fire load by requiring minimum levels of non-combustible protection for the mass timber elements in the taller buildings (Types IV-A and IV-B Construction). Following is a discussion for heights that speaks to each individual type of construction proposed.

Proposed Type IV-A: Currently, Type I-A is permitted unlimited heights, depending on occupancies. Please note that proposed Type IV-A construction is required to have exactly 10 identical fire resistance ratings as Type I-A construction. Although the proposed Type IV-A has the same fire resistance rating requirements as Type I-A, the committee decided to limit the height of Type IV-A, specifically to address firefighting concerns. The heights provided for Type IV-A construction are lower than what is permitted for Type I-A construction, even with identical fire resistance rating requirements.

Proposed Type IV-B: Currently, Type I-B is permitted heights up to 12 stories (180 feet), depending on occupancies. Please note that Type I-B has tabular values for fire-resistance ratings that equal those proposed for Type IV-B. However, a big difference occurs where, per Section 403 of the IBC, the ratings for Type I-B are permitted to be reduced in high-rise buildings. Please note that this reduction is not allowed for Type IV-B. The net effect is that the fire resistance ratings for Type IV-B are higher than those required for Type I-B when considering these buildings. As such, it is a conservative treatment to limit Type IV-B to the same heights allowed for Type I-B.

Proposed Type IV-C: The heights for IV-C construction are based on the existing requirements for Heavy Timber construction (now termed Type IV-HT). Please note that IV-C construction is fully exposed wood, but still requires a fire resistance rating of 2-hours for the structural frame; only dimensional criteria are provided for Type IV-HT. Type IV-HT is currently permitted to a height of 85 feet; conservatively, no additional height in feet is proposed for Type IV-C. However, due to the higher fire resistance rating of IV-C construction, the committee proposed additional stories for IV-C construction, as the fire resistance rating provides greater compartmentation within the building. Please note that CLT assemblies have achieved 2-hour and 3-hour fire-resistance ratings in standardized tests, as is required by the table setting forth rating requirements. Also, note that mass timber does not utilize the fire-resistance rating reductions set forth in the building code for high-rise buildings, so deeper analysis shows that mass timber will often yield higher fire resistance ratings than currently required of other construction types, which is a conservative approach taken by the committee, to justify the height proposed.

Concern #18

The proposed building areas are not technically justified.

Response

The allowable areas for both Type I-A and I-B construction are unlimited for many occupancy types. While the committee used a performance based approach that centered on

comparing Type IV-B to Type I-B construction, and while such an approach could be used to justify unlimited areas for some of these new construction types for certain specific occupancies, the committee instead decided to limit the size of these buildings, to provide a conservative approach to introducing these types of construction into the code. In other words, rather than 11 being an increase in the allowable areas, these proposals actually limit the size of these buildings, versus the construction Types I-A and I-B.

Concern #19

There has been no live fire testing at the limits being proposed

Response

To the committee's knowledge, there are no standard tests that involve full building mock-up fire testing. The committee reviewed testing of compartments to determine material response to fire and to quantify the compartment boundary conditions. From ATF Tests 1-3, each of which experienced a fire in the range of 20 MW, it is clear that the proposed high-rise Type IV construction types can contain a fire within the compartment, which provides sufficient information about the conditions expected anywhere in a building.

Concern #20

There is incomplete data regarding the fire loading of test burn buildings.

Response

Please note that the fire test report for the ATF tests is publicly available at:
https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr247.pdf

For loading of the structure, the report details construction of the two-story test structure, including a description of the loading applied via roof top water containers.

Also, fire loading is addressed in the report as heat potential per floor area. Note that the fire loading used in the ATF tests are in general agreement with the NIST tests series, which was important to allow comparative review of the tests.

Concern #21

No indication that any seismic testing has been performed or evaluated which goes to the issue of resiliency and sustainability.

Response

The committee has researched and tracked a variety of mass timber seismic research efforts, including the Japan mass timber shake table test and ongoing research into mass timber behavior under seismic conditions. Structural issues have been a constant focus of this committee, beginning from being one of the main issues identified by the committee, to having presentations regarding structural systems, including lateral structural design. The fact of the matter is that structural engineers, like with buildings of any other materials, will need to engineer their designs understanding the capabilities of mass timber. Note that seismic design 12 will be required in accordance with Chapter 16 of the IBC, which references ASCE 7 and the NDS.

Concern #22

The reason statements for these proposals places an over reliance on the presence of fire sprinklers.

Response

Fire sprinklers are effective and provide a strong measure of fire protection. It is true that the committee did not propose any increased heights for the Non-sprinklered rows in the heights tables. However, fire sprinklers were not a part of Tests 1-3 in the ATF fire tests, as the TWB needed to confirm that these new proposed types of construction could withstand a fire without a bevy of fire protection features, including the lack of fire sprinklers. It was these tests, not just the prescriptive requirements for fire sprinklers, that formed the basis for the committee proposals. There is a great deal of emphasis placed on passive protection in the code proposals. Unlike other construction types, taller wood buildings are not permitted to reduce fire resistance rating requirements of structural members when high-rise provisions are applied.

Concern #23

There is concern that if a fire occurs and damages a CLT panel, there is not a prescribed method for repair.

Response

There are currently no code-prescribed methods of repair for any construction materials, nor does the code detail methods of replacement of wood, steel, concrete, or masonry structural members that have been exposed to adverse conditions such as fire, seismic and weathering. In any building, engineering review and judgement will be required to assess proper repair methods. Manufacturers are currently validating a variety of repair concepts for basic damage scenarios, many of which are derived from procedures used for other products such as glu-lam. Current code does not have prescriptive methods for repair, but requires repair to meet original design, which would apply also to taller wood buildings.

Concern #24

There is concern about CLT panels and marking requirements of these for field identification

Response

Chapter 23 of the IBC and the NDS both reference PRG-320. PRG-320 sets forth criteria for the labelling of CLT panels.

Brandschutz im Holzhochhaus am Beispiel von Suurstoffi 22

Reinhard Wiederkehr
Dipl. Holzbau-Ingenieur HTL/STV/SIA
Brandschutzexperte mit eidg. Diplom

Mitinhhaber Ingenieurbüro
Makiol Wiederkehr AG
Ingenieure Holzbau Brandschutz
Beinwil am See, Schweiz



Brandschutz im Holzhochhaus am Beispiel von Suurstoffi 22

Auf dem ehemaligen Industrieareal Suurstoffi entsteht ein durchmischtes, klimaneutrales Quartier, in dem Wohnen, Arbeiten und Freizeitaktivitäten gleichermaßen Platz finden. Auf dem an der Bahnlinie gelegenen Baufeld 22 ist ein Bürogebäude in einer Holz-Beton-Verbundkonstruktion entstanden, das den Abschluss des Areals bildet. Mit zehn Geschossen war dieser Bau 2018 das erste Bürohochhaus in Holzbauweise in der Schweiz.



Abbildung 1: Aussenansicht Suurstoffi 22 (Bild Roger Frei Zürich)

1. Holz im Höhenflug

Insgesamt 32 Gebäude sollen bis 2025 auf dem zehn Hektar grossen Areal Suurstoffi in Risch-Rotkreuz entstehen und Wohnen, Arbeiten und Freizeit miteinander verbinden. Nach ihrer Fertigstellung wird die Suurstoffi Raum für 1500 Bewohnerinnen und Bewohner, gegen 2000 Studierende und über 2500 Arbeitsplätze bieten. Das neue Quartier neben dem Bahnhof Rotkreuz ist ein so genanntes Zero-Zero-Areal: Im Betrieb kommt es ausschliesslich mit erneuerbaren Energien aus und emittiert keinerlei Treibhausgase.

Auf dem an der Bahnlinie liegenden Baufeld bildet das erste Holzhochhaus der Schweiz den Abschluss der neuen Häuserzeile. Der Baustart des zehngeschossigen Bürobaus erfolgte im August 2016, lediglich ein Jahr nach dem von der Burkard Meyer Architekten BSA AG in Zusammenarbeit mit der Erne Holzbau AG gewonnenen Studienauftrag. Die Bauzeit beträgt rund zwei Jahre. Mit dem Bau unterstreicht Zug Estates ihre Rolle als innovative Bauherrin: 2010 eröffnete sie mit dem Hotel City Garden in Zug den ersten viergeschossigen Hotelneubau in der Schweiz aus Holz. Zudem sind in den vergangenen Monaten auf dem nördlichen Arealteil der Suurstoffi bereits neun Gebäude mit über 150 Wohneinheiten in Holzsystem- sowie in Holz-Hybridbauweise entstanden.

2. Holz prägt das Innere

Das Bürohaus besteht aus zwei sich überschneidenden Baukörpern, die unterschiedlich hoch sind und die Massstäblichkeit des Neubauquartiers übernehmen. Der mit 36 m höhere bahnseitige Turm ist um einen Erschliessungskern aus Beton gegliedert, der rückwärtige 25,5 m hohe Turm um einen Innenhof. In seinem Innern zeichnet sich das Gebäude durch flexibel nutzbare Grundrisse aus, die sich in den Geschossen 1 bis 6 über eine offene Fläche von 1600 m² erstrecken. Eine grundlegende Zonierung der Geschosse ist über die beiden zentralen Elemente Innenhof und Erschliessungskern vorgegeben, durch zusätzliche Abtrennungen können aber mehrere Nutzer pro Geschoss unabhängig voneinander funktionieren. Im frei unterteilbaren Erdgeschoss befinden sich zudem vermietbare Flächen mit mieter eigenen Zugängen.



Abbildung 2: Innenansicht Suurstoffi 22 (Bild Roger Frei Zürich)

3. Enge Kooperation

Wichtige Voraussetzung für den Bau des Hochhauses war die Inkraftsetzung der seit 2015 gültigen Brandschutzvorschriften, die unter gewissen Voraussetzungen Holzbauten mit einer Gesamthöhe bis maximal 100m als Standardkonzept zulassen. Für die Umsetzung der Brandschutzmassnahmen arbeiteten die Architekten eng mit Holzbauingenieuren und – so verlangt es die in diesem Objekt angewandte Qualitätssicherungsstufe 3 (QSS) – Brandschutzexperten zusammen.

Damit der Holzbau effizient gemäss den Brandschutzvorschriften realisiert werden kann, wurde ein Löschanlagenkonzept mit einer Sprinkleranlage als Vollschutz geplant. Basierend dem Löschanlagenkonzept können die linear tragenden Bauteile im Innern ohne Brandschutzbekleidung in Holz ausgeführt werden. Speziell für das Bürohaus Suurstoffi 22 entwickelten Architekten und Holzbauingenieure ein innovatives Holz-Verbund-Tragsystem. Dabei werden die sichtbaren, in der Fassadenebene liegenden vertikalen Holzstützen (Brettschichtholz Fichte/Tanne) sowie die innere, umlaufende Tragebene mit Stützen und Unterzügen (Baubuche) mit einer Holz-Beton-Verbunddecke kombiniert.

Die hybriden Deckenelemente (Erne Suprafloor ecoboost2) wurden für die spezifischen Anforderungen eines Bürogebäudes konzipiert und dienen sowohl der Kühlung, Heizung

und Lüftung als auch der Raumakustik. Darüber hinaus haben sie eine brandabschnittbildende Funktion, wirken schalldämmend und nehmen die Leitungsführung des Sprinklersystems auf.

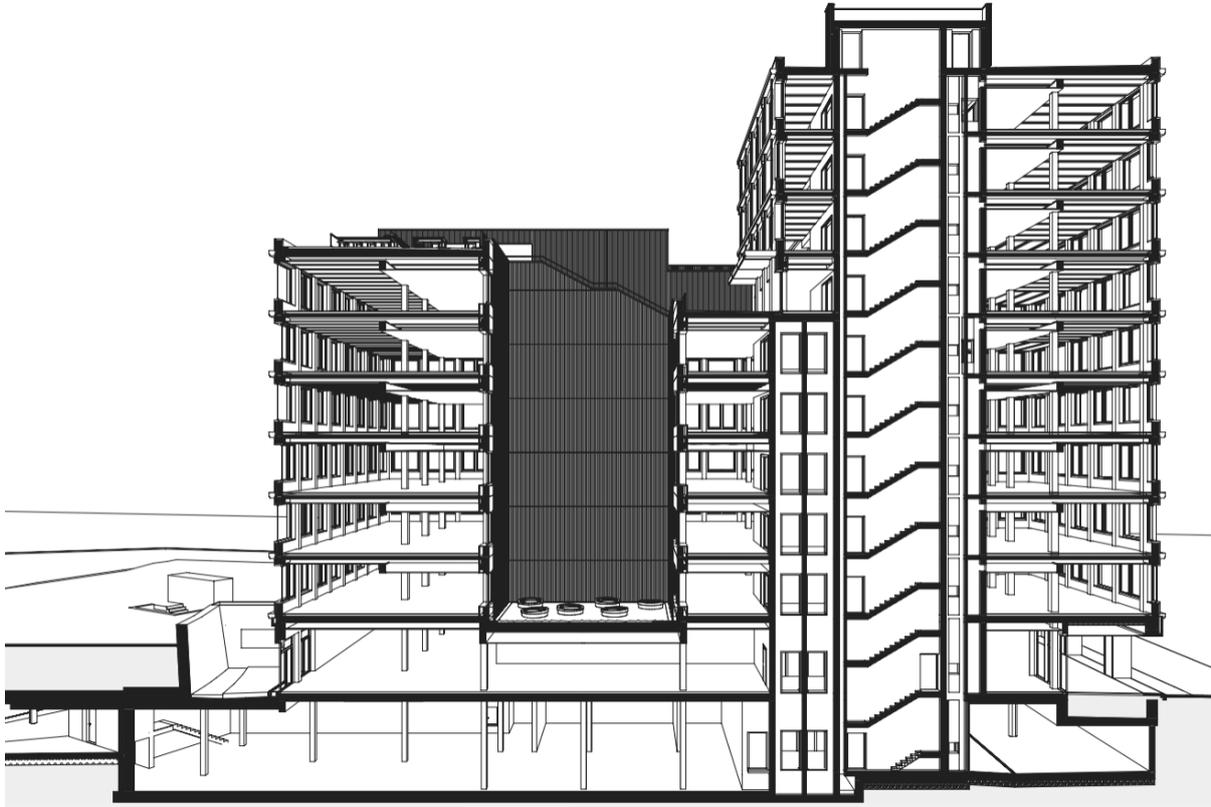


Abbildung 3: Schnittperspektive Suurstoffi 22

4. Hülle aus Alucobond

Im Gegensatz zum Innern, wo Holz den Charakter der Räume bestimmt, besteht die Hülle aus einer nicht brennbaren, matten Bekleidung in Alucobond. Die Alucobondplatten enthalten einen mineralischen Kern und dienen dem Witterungsschutz wie auch der Gestaltung der Fassade. Die Fassadenelemente mit einer Länge von je 5,75 m wurden im Werk vorgefertigt und mit einer zweilagigen Fermacell-Brandschutzbekleidung (15 mm und 18mm) bekleidet. Damit erfüllen diese Holzbauelemente die Vorgaben der Brandschutzvorschriften für die Verwendung von Baustoffen in Aussenwänden von Hochhäusern. Die Vorfertigung erlaubte eine vier Monate verkürzte Bauzeit, bedurfte allerdings einer intensiven Abstimmung zwischen den Planern und den Unternehmern. Der Erschliessungskern ist zentral angeordnet und wurde entsprechend den Brandschutzvorschriften für Hochhäuser in nicht brennbarer Bauweise ausgeführt. In Stahlbeton realisiert, sichert er die horizontale Aussteifung des Holz-Beton-Hybridbaus und beherbergt nebst Liftschächten auch die Treppenanlagen.

5. Brandschutz-Standardkonzept

Das im ersten Holzhochhaus der Schweiz angewendete Brandschutzkonzept entspricht einem Standardkonzept nach VKF – eine Ausnahmegewilligung war nicht erforderlich.

Die beiden Kerne mit den vertikalen Fluchtwegen sind in nicht brennbarer Bauweise REI 90-RF1 erstellt. Durch die Anwendung des Löschanlagenkonzeptes mit einer Sprinkleranlage als Vollschutz kann der Feuerwiderstand des Tragwerkes und der Geschossdecken auf 60 Minuten reduziert werden.

Der grosse Bürobereich ist vom 1. - 9. Obergeschoss in Holzbauweise umgesetzt. Durch den Sprinklerschutz können die linear tragenden Bauteile der Holz-Beton-Verbunddecke, der Unterzüge und der Pfosten in Holz sichtbar und ohne Brandschutzbekleidung eingebaut werden. Der Feuerwiderstand wird durch eine logische Konstruktionsweise mit Nachweis des Feuerwiderstandes über Abbrand gewährleistet.

Die Aussenwände in Holzbauweise werden mit einer Brandschutzbekleidung K 60-RF1 umhüllt. Die Fassadenbekleidung ist aus einer nicht brennbaren Verbundplatte.

Zur Erhöhung des Personen- und Sachwertschutzes wird das Gebäude mit einer Brandmeldeanlage als Teilüberwachung ausgerüstet. Die technischen Brandschutzmassnahmen dienen zur Ansteuerung verschiedener Brandschutzeinrichtungen und gewähren die sofortige Alarmierung. Wie in konventionellen Hochhäusern werden die beiden Sicherheitstreppehäuser und der Feuerwehraufzug mit einer Rauchschutz-Druckanlage gegen das Eindringen von Rauch geschützt. Sicherheitsbeleuchtung, Fluchtwegsignalisation, Lösch-einrichtungen, Blitzschutz usw. entsprechen den Vorgaben der Brandschutzvorschriften.

Eines der Hauptziele aller am Bau Beteiligten bestand darin, aufzuzeigen, dass sich die hohen Anforderungen des Brandschutzes auch in Holzhochhäusern in sehr kurzer Zeit und mit hoher Präzision effizient und mit hoher Flexibilität für die Nutzer umsetzen lassen.

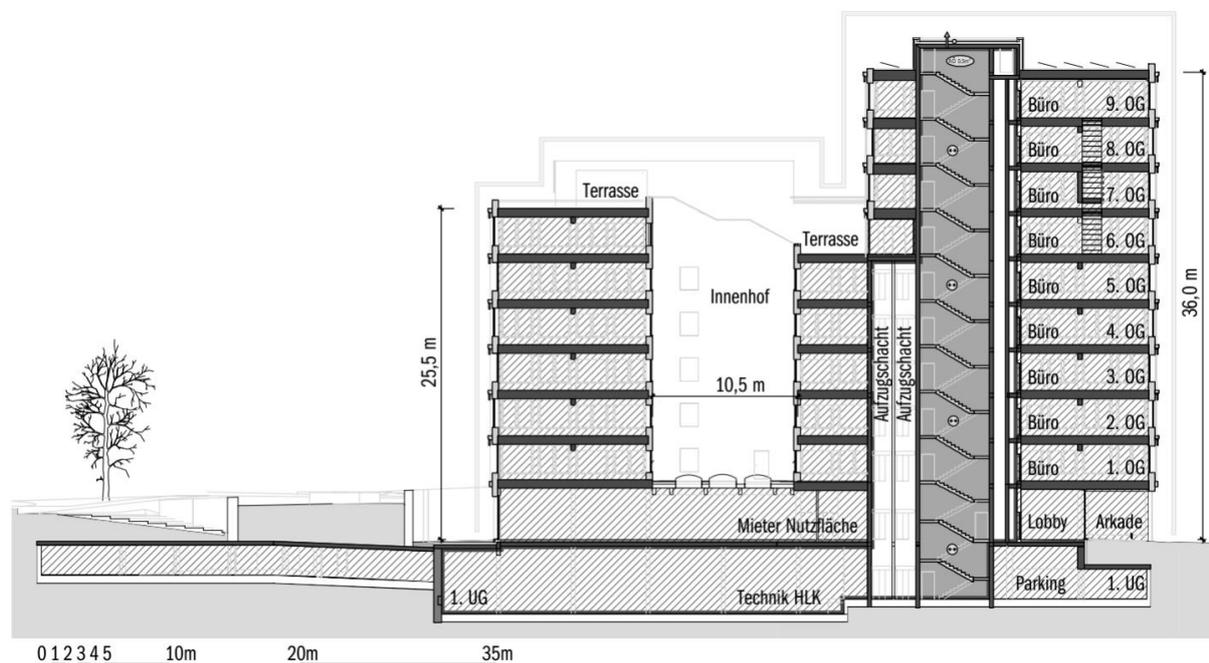


Abbildung 4: Brandschutzkonzept Suurstoffi 22 (Schnitt)

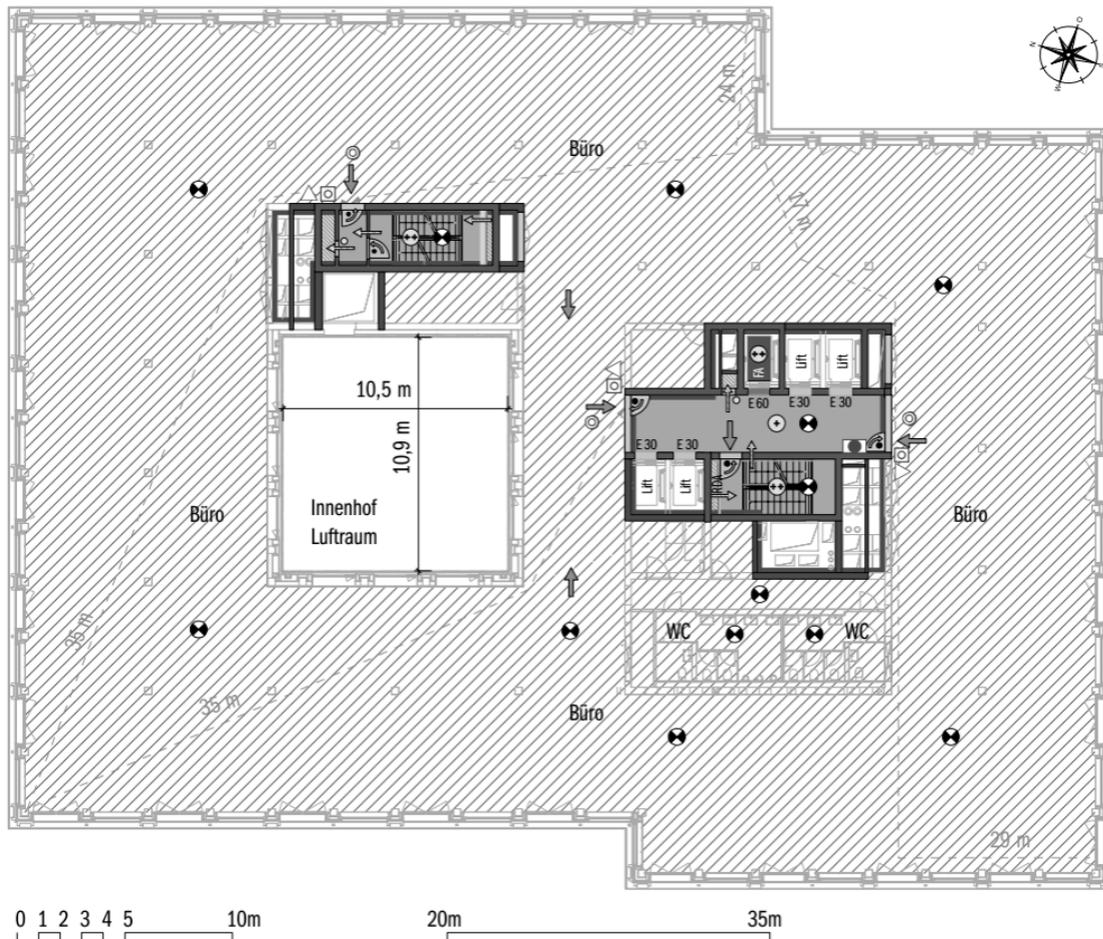


Abbildung 5: Brandschutzkonzept Suurstoffi 22 (Grundriss)

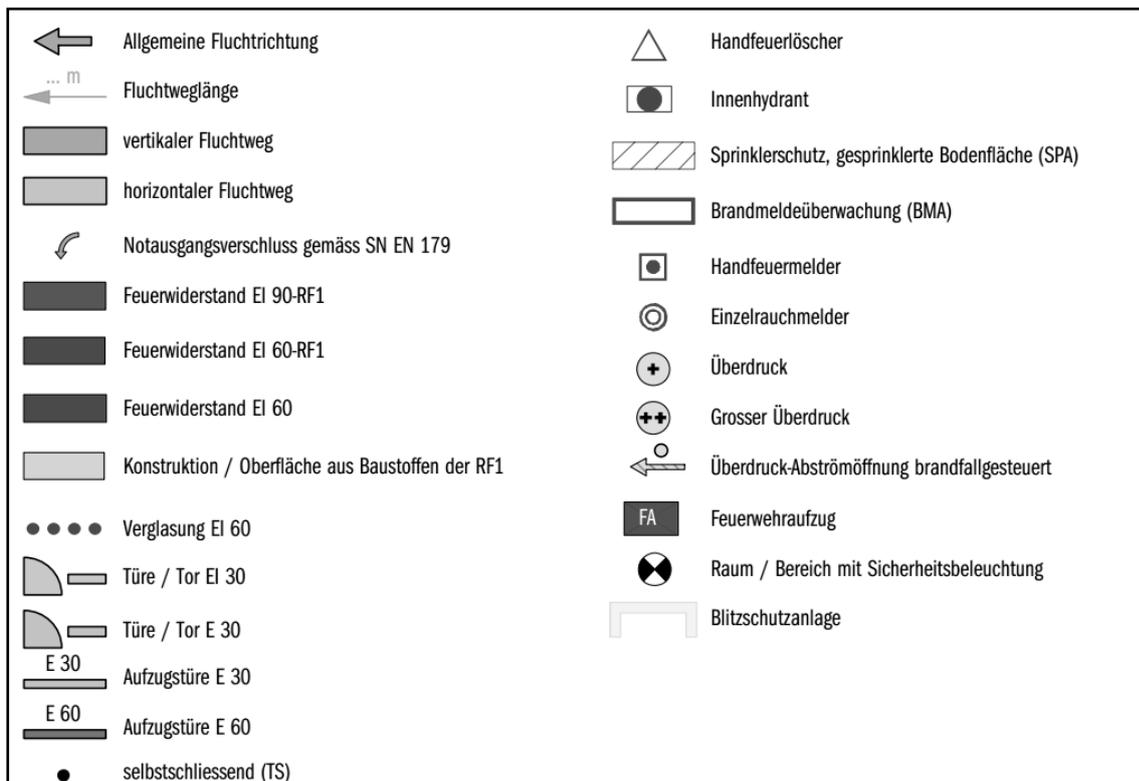


Abbildung 6: Brandschutzkonzept Suurstoffi 22 (Planlegende)

Ort Suurstoffi 22, 6343 Risch-Rotkreuz
Bauherrschaft Zug Estates AG, Zug
Architekt und Generalplaner Burkard Meyer Architekten BSA AG, Baden; Projektteam Studienauftrag: Oliver Dufner, Daniel Krieg, Adrian Meyer, Andreas Signer mit Tobias Burger, Fabian Obrist; Projektteam Planung: Daniel Krieg, Thomas Wernli (Gesamtprojektleitung) mit Markus Tschannen, Franziska Hellstern, Cyril Kunz
Örtliche Bauleitung Erne AG Holzbau, Stein
Bauingenieur MWV Bauingenieure AG, Baden
HLKS- Planer Kalt+Halbeisen AG, Kleindöttingen
Elektroplaner Enerpeak AG, Hägendorf
Bauphysik BAKUS Bauphysik und Akustik GmbH, Zürich
RDA-Planer Gruner Roschi AG, Köniz
Brandschutzingenieur Makiol Wiederkehr AG, Beinwil am See
Holzbauingenieur, Systementwicklung und Unternehmer Erne AG Holzbau, Stein
Materialien Brettschichtholz 1300 m³, Furnierschichtholz in Buche 200 m³, Gipsfaserplatten 17 500 m²; Systemdecken 10 000 m², Aussenwände mit Fenstern 7500 m²
Baukosten BKP 1-9 CHF 43,95 Mio.
Baukosten BKP 2 CHF 42 Mio.
Hauptnutzfläche SIA 416 10 725 m²
Geschossfläche SIA 416 17 900 m²
Gebäudevolumen SIA 416 70 000 m³
Kubikmeterpreis SIA 416 (BKP 2) CHF 600.-
Bauzeit November 2016 – Februar 2018 (Rohbau), Februar–Juli 2017 (Vorfertigung Holzbau), Mai–September 2017 (Montage Holzbau), März–Juli 2018 (Ausbau und Bezug Ankermieter)
Fotograf Roger Frei, Zürich

Abbildung 7: Bautafel; am Bau Beteiligte

6. Literatur

- [1] Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Schweizerische Brandschutzvorschriften VKF; VKF; gültig ab 01.01.2015, Bern, www.praever.ch
- [2] Lignum-Dokumentation Brandschutz, 1.1 Bauten in Holz – Brandschutz-Anforderungen, Lignum, 2017, Zürich; www.lignum.ch
- [3] Lignum-Dokumentation Brandschutz, 1.2 Bauten in Holz – Verwendung von Baustoffen, Lignum, 2017, Zürich; www.lignum.ch
- [4] Lignum-Dokumentation Brandschutz, 2.1 Bauen mit Holz – Qualitätssicherung und Brandschutz, Lignum, 2015, Zürich; www.lignum.ch
- [5] Lignum-Dokumentation Brandschutz, 4.1 Bauteile in Holz – Decken, Wände und Bekleidungen mit Feuerwiderstand, Lignum, 2017, Zürich; www.lignum.ch
- [6] Makiol Wiederkehr AG; Konstruktiv mit Holz 1992 - 2018, Dokumentierte Bauprojekte, Lignum, Zürich 2018
- [7] Aeberhard S.: Holz im Höhenflug, in faktor Themenheft 48 Brandschutz; Faktor Verlag AG, Zürich, Mai 2018
- [8] Wiederkehr R.: Der mehrgeschossige Holzbau – eine Schweizer Domäne, 16. Internationales Holzbau-Forum, Garmisch-Partenkirchen, 2010
- [9] Wiederkehr R.: Brandschutz im Holzbau – Die Schweiz setzt Massstäbe, 20. Internationales Holzbau-Forum, Garmisch-Partenkirchen, 2014
- [10] Wiederkehr R.: Einfach – klar – holzfreundlich; Die neuen Schweizer Brandschutzvorschriften im Innenausbau, 6. HolzBauSpezial Bauphysik, Bad Wörishofen, 2015
- [11] Wiederkehr R.: Brennt Holz immer und überall (gleich)?; 8. HolzBauSpezial Bauphysik, Bad Wörishofen, 2017
- [12] Zuschnitt 59: In Zukunft Stadt; Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz; proHolz Austria; Wien; September 2015

Brandschutz im Holzbau – Konzept für ein Boardinghaus der Gebäudeklasse 5 in Brettsperrholz-Modulbauweise

Dipl.-Ing. Anton Pavic
PHIplan
Grabenstätt, Deutschland



B.Eng. Marinus Döpfer
PHIplan
Grabenstätt, Deutschland



Brandschutz im Holzbau – Konzept für ein Boardinghaus der Gebäudeklasse 5 in Brettsperrholz-Modulbauweise

1. Einführung in das Projekt

Geplant ist ein Boardinghaus, welche zur Hälfte auch als Hotel genutzt wird, in Brettsperrholz-Modulbauweise westlich von Moosthenning bei Dingolfing.

Das viergeschossige Gebäude wird freistehend mit den Außenmaßen von ca. 49 m x 20 m auf einer bebauten Fläche von ca. 980 qm errichtet. Im Untergeschoss soll eine Großgarage mit 54 Einstellplätzen entstehen.

Das Boardinghaus ist durch einen Haupteingang im Norden erschlossen. Die vertikale Erschließung erfolgt über einen Treppenraum sowie über zwei Aufzugsanlagen außerhalb des Treppenraums. Ausgehend vom Treppenraum ist nach Westen orientiert ein Stichflur mit einer Länge von ca. 14 m vorgesehen, in Ostrichtung ein Flur mit zwei Fluchtrichtungen über eine außenliegende Treppe.

Im Eingangsbereich ist eine Empfangslobby mit Frühstücksraum und Küche sowie dazugehörigem Back-Office. Nach Westen und Osten erstrecken sich die Wohnraummodule für das Boardinghaus sowie für das Hotel.

Ab dem ersten OG sind ausschließlich Wohnmodule vorgesehen. Das Dach erhält eine extensive Begrünung.

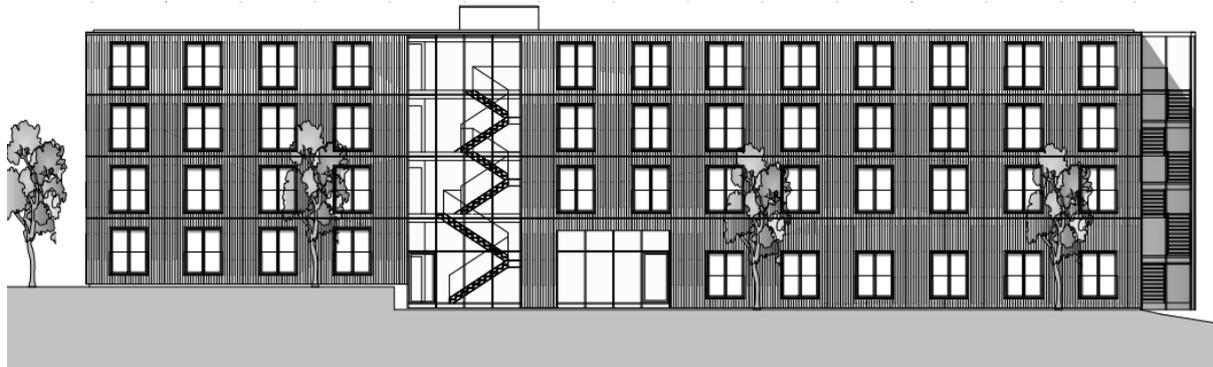


Abbildung 1: Ansicht Nord-Ost

1.1. Rechtsgrundlage und Einstufung

Aufgrund der geplanten Gebäudehöhe von mehr als 7 m sowie der Größe der Nutzungseinheiten von mehr als 400 qm handelt es sich gem. Art. 2 Abs. 3 Satz 1 Nr. 5 BayBO [1] um die Gebäudeklasse 5.

Die unterirdische Großgarage wird nach der Garagenstellplatzverordnung (GaStellV) [2] beurteilt.

Im gesamten Haus sind 196 Gastbetten geplant, womit das Sonderbaukriterium nach Art. 2 Abs. 4 Nr. 8 BayBO erfüllt ist.

Zusätzlich sind im Frühstücksbereich mehr als 40 Gastbetten vorhanden.

2. Baurechtliche Anforderungen

Gemäß den Vorgaben der BayBO sowie den geltenden Sonderbauverordnungen sind für Gebäude der GK 5 die tragenden und aussteifenden Bauteile feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen zu errichten.

Außenwände sind aus nichtbrennbaren Baustoffen zulässig, wenn sie als raumabschließende Bauteile feuerhemmend sind. Die Außenwandbekleidung, Unterkonstruktion sowie Dämmebene müssen schwerentflammbar sein.

Trennwände zwischen Beherbergungszimmern müssen feuerhemmend sein. Trennwände zwischen Räumen der Beherbergungsstätte und Räumen, die nicht als Beherbergungszimmer genutzt werden, müssen feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen errichtet werden. [3]

Brandwände sind zur Unterteilung ausgedehnter Gebäude in Abständen von nicht mehr als 40 m anzuordnen.

Decken müssen in Gebäuden der GK 5 feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen ausgeführt sein. Die Decke über dem 3. OG ist feuerhemmend herzustellen.

Nach den Vorgaben der GaStellV darf eine Lauflänge von 30 m bis zu einem notwendigen Treppenraum bzw. einem Ausgang ins Freie von jeder Stelle in der unterirdischen Großgarage nicht überschritten werden.

Innerhalb des Boardinghauses darf die Lauflänge maximal 35 m betragen.

Für jeden Beherbergungsraum müssen mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege vorhanden sein. Stichflure dürfen eine Länge von mehr als 15 m bis zum notwendigen Treppenraum nicht überschreiten.

Der notwendige Treppenraum ist in der Bauart einer Brandwand unter mechanischer Belastung feuerbeständig herzustellen. Die tragenden Bauteile der notwendigen Treppe müssen feuerhemmend sein.

Die Wandoberflächen von notwendigen Fluren müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Bodenbeläge müssen schwerentflammbar sein.

Öffnungen zwischen Beherbergungsräumen und notwendigen Fluren müssen als vollwandige, dicht- und selbstschließende (VDS) Türen ausgeführt werden.

3. Tatsächliche Ausführung

Die unterirdische Großgarage wird nach den Vorgaben der BayBO sowie der GaStellV in Stahlbetonbauweise errichtet.

Das Gebäude erhält einen Stahlbetonkern, in welchem sich der notwendige Treppenraum sowie die Aufzugsanlagen befinden werden. Ebenso wird der östliche Teil des Erdgeschosses in Stahlbetonbauweise errichtet.

Der östliche Teil des Erdgeschosses sowie die darüberliegenden Geschosse bestehen hauptsächlich aus den Wohnraummodulen. Die Flurdecken werden vor Ort als Stahlbetonfertigteil eingelegt.



Abbildung 2: Schnitt

Die tragenden Wände und Decken der Wohnraummodule werden mit einer Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten errichtet und von innen nicht brandschutztechnisch bekleidet, sodass das Brettsperrholz innen sichtbar bleibt.

Die Oberfläche der Fassade besteht aus einer hölzernen Wechselfalzschalung, welche belüftet, jedoch nicht hinterlüftet ausgeführt wird.

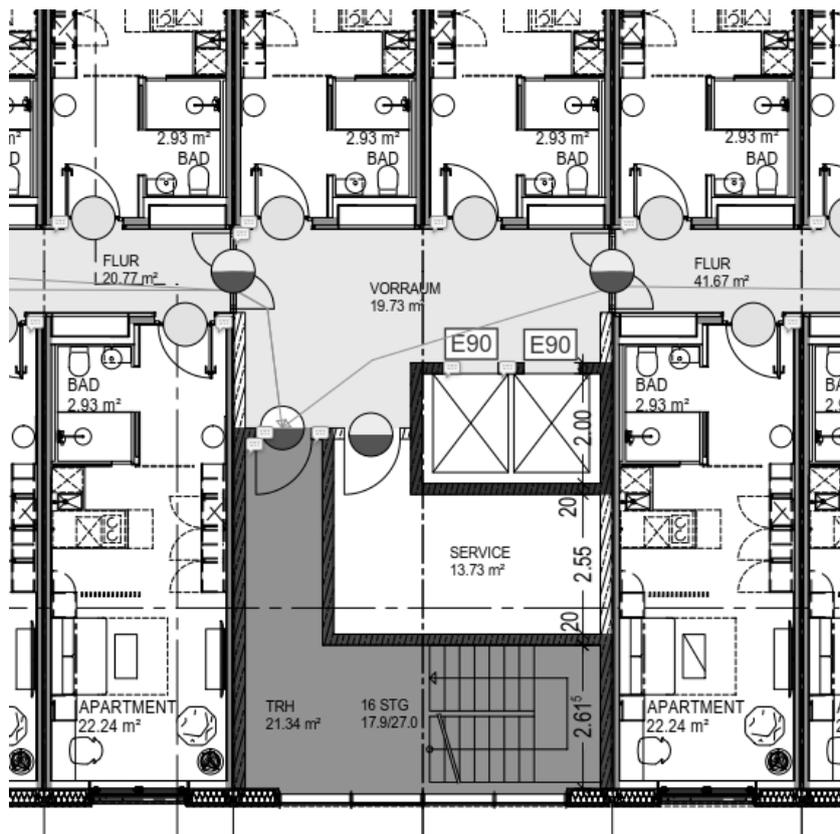


Abbildung 3: Ausschnitt BS-Plan OG

Auf eine innere Brandabschnittstrennung wird verzichtet.

Das Gebäude wird mit einer automatischen Brandmeldeanlage der Kategorie 1 «Vollschutz» gem. DIN 14675 [4] ausgestattet, wobei auf die zulässigen Ausnahmen gem. VDE 0833 [5] verwiesen wird.

Um eine frühzeitige Branderkennung und rechtzeitige Selbstrettung zu gewährleisten, wird über die BMA automatisch im gesamten Gebäude ein akustisches Alarmsignal (Hausalarmanlage HAA mit Sirene nach DIN 33404 [6]) ausgelöst.

Bei jedem Brandalarm wird automatisch angesteuert:

- Fernalarm zur alarmauslösenden Stelle (ILS)
- Das Alarmsignal im Gebäude
- Das Feuerwehrschrüsseldepot (FSD) inkl. Blitzleuchte
- Die Brandfallsteuerung der Aufzüge

Automatisch stillgelegt werden die dezentralen Lüftungsanlagen der Wohnraummodule.

3.1. Brandschutztechnische Abweichungen

In Zusammenarbeit mit dem Bauherrn, Architekten, Tragwerksplaner und des ausführenden Holzbauunternehmens wurden insbesondere folgende brandschutztechnische Abweichungen von der BayBO und der BStättV erarbeitet und mit dem Prüfsachverständigen für Brandschutz abgestimmt:

1. Bzgl. Verzichts auf eine innere Brandabschnittsbildung bei mehr als 40 m Gebäudelänge entgegen Art. 28 Abs. 2 Nr. 2 BayBO
Der Verzicht auf eine unter mechanischer Belastung feuerbeständige Brandwand bei einer Gebäudelänge von ca. 48 m sowie einer Gebäudetiefe von ca. 20 m kann vertreten werden, weil:
 - Das Gebäude durch die Modulbauweise mit Holzwänden und -decken von 60 Minuten Feuerwiderstandsdauer kleinzellig in weniger als 30 qm große Räume unterteilt wird, womit die Brandausbreitung erheblich behindert wird.
 - Die Wände und Decken des notwendigen Flurs mit nichtbrennbaren Baustoffen ausreichender Dicke bekleidet werden.
 - Der notwendige Flur wird bestimmungsgemäß brandlastenarm gehalten, durch feuerhemmende, rauchdichte und selbstschließende (T30-RS) Türen unterteilt wird, womit eine Brandausbreitung erheblich behindert wird.
 - Die extensive Begrünung bzw. die brennbare Dachhaut (Dachfolie o. Bitumenbahn) im Abstand von max. 40 m durch mind. 1,25 m breite Streifen aus Kies (Körnung 16/32; mind. 5 cm stark abgedeckt wird, womit ein größerer Dachflächenbrand unterbunden wird.
2. Bzgl. Verzichts auf Ausführung der tragenden und aussteifenden Wände und Decken als feuerbeständige Bauteile aus nichtbrennbaren Baustoffen entgegen Art. 24 Abs. 2 BayBO i.V.m. §4 Abs. 1 BStättV
Die Ausführung aus Holzwänden und -decken mit einer Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten ohne brandschutztechnische Bekleidung kann vertreten werden, weil:
 - Der Brandausbreitung innerhalb des Gebäudes durch die kleinzellige Unterteilung ausreichend entgegengewirkt wird.
 - Jeder Raum mit automatischen Branderkennungselementen überwacht ist womit von einer frühzeitigen Brandbekämpfung ausgegangen werden kann.

3. Bzgl. Verzichts auf eine schwerentflammbare Qualität der Außenwandbekleidung entgegen Art. 26 Abs. 3 S. 1 BayBO

Die Ausführung der Fassade aus einer Holzschalung mit darunterliegender nicht-brennbarer Dämmebene kann vertreten werden, weil:

- Zwischen jedem Geschoss ein horizontal umlaufender und die Belüftung durchbrechender Brandriegel (mind. 1,0 mm dickes Stahlblech) ausgeführt wird.
- Die Brandriegel-Vorderkante mind. 3 cm über die Schalung hinausragt.
- Die Belüftungsebene mit vertikalen Streifen im Abstand einer Modulbreite unterbrochen ist.
- Ein Brandüberschlag zwischen den Fassadenöffnungen (Fenster und Türen) zwischen den Geschossen ein baurechtlich akzeptiertes Restrisiko darstellt.
- Die wandseitige Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen ausgeführt wird.
- Flucht- und Rettungswege nicht gefährdet sind.

4. Bzgl. Verzichts auf Überwachung des Konstruktionshohlraumes über jedem Modul durch die BMA entgegen Abschnitt 6.1.3.2 DIN VDE 0833-2, obwohl die Umfassungsbauteile aus brennbaren Materialien bestehen bzw. Brandlasten vorhanden sind.

Der geplante Verzicht kann vertreten werden, weil bzw. sofern:

- Der Konstruktionshohlraum (vgl. Holzbalkendecke) mit einer lichten Höhe von ca. 8,0 cm mit nichtbrennbaren Baustoffen (Schmelzpunkt > 1000 °C) ausgefüllt wird (Hohlraum ca. 2,5 cbm) und somit allenfalls ein Schwelbrand zu erwarten ist.
- Installationen für die Modulbelüftung aus nichtbrennbaren Baustoffen ausgeführt werden.

4. Ausblick: BayBO, LBO-BW und M-HFHolzR

Im Vergleich der Landesbauordnungen sind für den Holzbau innerhalb Deutschlands unterschiedlich hohe Hürden zu bewältigen.

Wesentlicher Unterschied zwischen Bayern und Baden-Württemberg ist die Zulässigkeit von hochfeuerhemmenden oder feuerbeständigen tragenden und aussteifenden Bauteilen aus brennbaren Baustoffen bei Sicherstellung der ausreichenden Feuerwiderstandsdauer.

Somit darf in Baden-Württemberg ein Gebäude beispielsweise in Massivholzbauweise ohne Abweichungen, Begründungen und Kompensationen errichtet werden.

In Bayern hingegen beruft man sich überwiegend auf die M-HFHolzR [8] um ein Gebäude in Holzbauweise zu errichten.

Im Gültigkeitsbereich der M-HFHolzR sind jedoch lediglich die Holzrahmen-, Holzständer-, Holztafel- sowie Fachwerkbauweisen enthalten, jedoch nicht die Holzmassivbauweise.

Die Definition «hochfeuerhemmend» steht nach den Vollzugshinweisen zur BayBO-2008 jedoch im textlichen Widerspruch zur M-HFHolzR und im fachlichen Widerspruch zu hölzernen Auskleidungen von Massivgebäuden wie z.B. Zirbenholzstuben.

Ausblick: Noch in 2019 soll sowohl in der Musterbauordnung als auch in der BayBO die erleichternde Formulierung des §26 Abs. 3 LBO-BW [7] übernommen werden: «Abweichend von Absatz 2 Satz 3 sind tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile, die hochfeuerhemmend oder feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn die geforderte Feuerwiderstandsdauer nachgewiesen wird und die Bauteile so hergestellt und eingebaut werden, dass Feuer und Rauch nicht über Grenzen von Brand- oder Rauchschutzbereichen, insbesondere Geschosstrennungen, hinweg übertragen werden können»

Dies ist auch vergleichend begründbar, da auch bei Stahlbetonfertigteilen oder modernen Hybridbauweisen insbesondere mit Vorhangfassaden auf die Fugenausbildung ein besonderes Augenmerk gelegt werden muss.

Auch mit Verweis auf konventionell hölzerne Dachstühle von Massivgebäuden handelt es sich auch eine Jahrhunderte Jahre alte jedoch bewährte Bauweise.

Bereits im Mittelalter sind damalige Stadtbrände weniger durch die hölzernen Dachstühle, sondern mehr durch die strohgedeckten Häuser, der engen Bebauung, den offenen Feuerstätten und nicht zuletzt der rudimentären Löschmittel geschuldet.

Fazit: Die Veranlassung einer Massivholzbauweise mit Anlagentechnik zu kompensieren ist weder aus der Schadenserfahrung noch den herkömmlichen bzw. zukünftig erhofften Bauweisen nachvollziehbar.

Motto: Sichtholz in Kombination mit unsichtbarem Brandschutz!

5. Literatur

- [1] Bayerische Bauordnung (BayBO)
Fassung vom 01. September 2018
- [2] Garagen- und Stellplatzverordnung (GaStellV)
Fassung vom 30. November 1993
Geändert am 25. April 2015
- [3] Beherbergungsstättenverordnung (BStättV)
Fassung vom 2. Juli 2007
Geändert am 8. Juli 2009
- [4] DIN 14675-1:2018-04 Brandmeldeanlagen – Teil 1: Aufbau und Betrieb
Fassung vom April 2018
- [5] VDE 0833 Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall
Fassung vom Oktober 2014
- [6] DIN 33404-3:2016-04 Gefahrensignale – Akustische Gefahrensignale –
Teil 3: Einheitliches Notfallsigna
Fassung vom April 2016
- [7] Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO-BW)
Fassung vom 05. März 2010
- [8] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuer-
hemmende Bauteile in Holzbauweise
Fassung vom Juli 2014

GEBÄUDE – technik | bauteile | materialien
Gebäudetechnik –
Energieeffizienz und Massnahmen

Energieeffizienz durch Gebäudeautomation?

Prof. Dr. Michael Krödel
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Energieeffizienz durch Gebäudeautomation?

1. Einführung

Moderne Gebäude sind inzwischen gut gedämmt und nutzen üblicherweise eine effiziente Anlagen-technik.

Was nutzt aber ein gut wärmegeprägtes Haus, wenn es beheizt wird, während gleichzeitig über die Fenster gelüftet wird? Was nutzt eine hoch-effiziente Lüftungsanlage, die lüftet, obwohl ein Teil des Gebäudes nicht benutzt wird? Was nutzt eine energieeffiziente LED-Beleuchtung, die den ganzen Tag im Büro eingeschaltet bleibt (z.B. weil es dem Mitarbeiter in der Früh etwas zu dunkel war und er deshalb die Beleuchtung eingeschaltet, danach aber einfach keinen Anlass mehr gefunden hat, diese später wieder auszuschalten)? Dabei sind das noch relativ harmlose Beispiele. Wenn man sich die Betriebsarten der Anlagentechnik genauer ansieht, erkennt man in vielen Fällen schnell gravierendere Beispiele für Energieverschwendung.

Dabei könnte in größeren Gebäuden ein Hausmeister den optimalen Betrieb der Anlagentechnik gewährleisten. Könnte er. Macht er aber nicht! Ein Hausmeister wird die Anlagentechnik immer so betreiben, dass die Nutzer zufrieden sind und er möglichst seine Ruhe hat. Und da er nicht jede Viertelstunde durch das Gebäude laufen und überall nach dem Rechten schauen kann, wird er die Heizungs- oder Lüftungsanlage lieber so einstellen, dass diese eher mehr heizt und lüftet als nötig. Ein Controller (z.B. SPS/DDC) kann das besser. Der kann sogar im Minutentakt Soll- und Ist-Zustände vergleichen und den Anlagenbetrieb optimal steuern. Wenn Sie Ihr Auto für eine Viertelstunde nicht benutzen, stellen Sie doch auch den Motor ab! Hier machen Sie es richtig und betreiben die Anlage, bzw. die Anlagentechnik nur genau dann, wenn sie auch tatsächlich benötigt wird.

Das hat auch der Gesetzgeber erkannt und seit dem 01. Mai 2014 in Form der EnEV 2014 vorgegeben, dass die Art des Anlagenbetriebs verstärkt berücksichtigt werden muss. Neu ist, dass mit der EnEV 2014 erstmals auch Fragen zum Automationsgrad des Gebäudes gestellt werden und somit Einfluss auf die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs, wie er über den Energieausweis ausgewiesen wird, haben. Letzterer darf bei Neubaumaßnahmen vorgegebene Obergrenzen nicht überschreiten. Mit der EnEV 2014 gilt damit erstmals: Kein Energieausweis ohne Berücksichtigung der Gebäudeautomation!

Der von der EnEV 2014 erwartete Automationsgrad, konkret die Ausstattung des sogenannten Referenzgebäudes, ist dabei relativ gering und wird von heutigen Neubauten bereits erfüllt. Das verhilft dem Gewerk der Gebäudeautomation zu einem sehr sympathischen Einstieg. Die Gefahr, durch die Berücksichtigung der Gebäudeautomation einen Malus bei der Gebäudebewertung zu erhalten, ist sehr gering. Dafür belohnt die EnEV 2014 diejenigen, die mehr automatisieren als für das Referenzgebäude vorgegeben ist.

Mit der Verschärfung der EnEV 2014 zum 01. Januar 2016 reduziert sich der erlaubte Jahres-Primärenergiebedarf um weitere 25 %. Nun ist es so, dass der bis dahin erlaubte Höchstwert bereits hohe Anforderungen an die Wärmedämmung und die Anlagentechnik stellt. Diesen um weitere 25 % zu reduzieren ist eine beachtliche Reduktion. Im Übertragenden ist das so, als wollte man aus einer bereits ziemlich ausgedrückten Orange nochmals einen ganzen Schwall an Saft produzieren. Bei der Orange hilft eine bessere Presse und beim Gebäude die Gebäudeautomation. Da die EnEV nur eine geringe Erwartungshaltung an den Automationsgrad hat, haben viele Funktionen der Gebäudeautomation eine positive Auswirkung. Beim Neubau hilft das, die erlaubte Obergrenze trotz Verschärfung zu erfüllen und beim Bestandsgebäude verbessern sich die ausgewiesenen Werte des Energieausweises und damit der Wert der Immobilie.

2. Die Rolle der Gebäudeautomation

Warum überhaupt Gebäudeautomation? Was ist der Sinn und der Nutzen dieser zusätzlichen Technologie?

Stellen Sie sich folgendes vor: In einem modernen Bürogebäude, gerade einmal 5 Jahre alt, ist eine Lüftungsanlage installiert. Das Gebäude ist gut gedämmt und das Datenblatt der Lüftungsanlage bescheinigt gute Effizienzwerte. In Konsequenz wird dem Gebäude bei der Berechnung des Energieausweises ein sehr geringer Energiebedarf attestiert. Stolz hängt der Immobilienbesitzer seinen Energieausweis in das Foyer des Gebäudes. Alles ist in Ordnung, oder?

Picken wir uns mal nur die Lüftungsanlage heraus. Kann es sein, dass die echten Leistungsdaten der Anlage (d.h. das Luftvolumen und der dazu nötige elektrische Energiebedarf) im wahren Leben anders sind, als die vom Datenblatt? Immerhin muss ein womöglich komplexes Luftkanalsystem gespeist werden. Dieses war dem Hersteller bei der Ermittlung der Leistungsdaten für das Datenblatt sicher nicht bekannt, sondern wurden nur vermutet. Auch ist die Anlage in unserem Beispiel 5 Jahre alt und ob bzw. wie gut die Wartung von Lüftungsanlage, Filtern etc. durchgeführt wurde, hat natürlich auch einen Einfluss auf den tatsächlichen Energiebedarf. Wäre es also nicht sehr aufschlussreich, die echten Leistungsdaten einmal nachzumessen, bevor man sich in Sicherheit wiegt?

Beim Dimensionieren der Lüftungsanlage für das Bürogebäude lag die Anforderung zugrunde, dass die Lüftungsanlage genügend Luftzufuhr für ein voll besetztes Bürogebäude gewährleisten muss. Ist das aber immer so, d.h. ist das Bürogebäude immer voll besetzt? Und das auch durchgehend von morgens bis abends, d.h. auch über die Mittagspause? Ist es nicht realistisch, dass die Anzahl der Menschen im Gebäude je nach Tag und je nach Uhrzeit stark schwankt? Ist es in Konsequenz nicht sinnvoll, die Luftzufuhr auch anzupassen bzw. auch zwischendurch mal auszuschalten? Ist das nicht logisch, dass man damit den Energiebedarf der Lüftungsanlage reduzieren kann?

Für unseren Immobilienbesitzer bedeutet das, dass er sich nicht auf den scheinbar gut aussehenden Energieausweis verlassen darf. Was nutzt eine eigentlich gute Lüftungsanlage, wenn diese schlecht gewartet ist, ihre Leistung nicht entfalten kann und das niemand bemerkt? Was nützt diese, wenn sie läuft obwohl es nicht nötig ist?

Fazit: Ohne die regelmäßige Überwachung des Energiebedarfs (Energiemonitoring) und des bedarfsgeführten Betriebes der Anlagentechnik kann und darf man nicht von einem energieeffizienten Gebäude sprechen. Oder umgekehrt: Wer von seinem Gebäude behaupten will, dass es energieeffizient ist, muss zumindest an den wesentlichen Stellen regelmäßig nachmessen und sicherstellen, dass die technische Gebäudeausrüstung (Heizung, Beleuchtung, Lüftung, Klimatisierung etc.) bedarfsgeführt betrieben wird.

Abbildung 1 fasst diese wesentliche Erkenntnis zusammen.



Abbildung 1: Gebäude ganzheitlich optimieren!

Wer stellt nun aber die Lüftungsanlage in unserem Beispiel je nach Bedarf auf die gerade benötigte Leistungsstufe, bzw. schaltet zwischendurch immer wieder mal aus? Theoretisch könnte das durch einen fleißigen Hausmeister ausgeführt werden. Dieser müsste z.B. alle 15 Minuten durch alle Räume gehen und jedes Mal die Luftqualität messen. Basierend darauf geht der Hausmeister zur Lüftungsanlage und schaltet diese je nach Bedarf mal wieder ein oder aus. So funktioniert das in der Theorie, aber nicht in der Praxis. Ein solches Szenario wäre störend und nur bedingt zuverlässig (bei allem Respekt allen Hausmeistern gegenüber) und zudem sehr teuer. Also werden an wenigen wesentlichen Stellen Luftqualitätssensoren platziert und mit einem Controller verbunden, der wiederum die Lüftungsanlage ansteuern kann. Das nennt man Gebäudeautomation und ist kein Hexenwerk, sondern eine zeitgemäße und gängige Methode, die technischen Anlagen bedarfsgeführt zu betreiben.

3. Gebäude ganzheitlich optimieren

Zurück zur Frage: Wozu überhaupt Gebäudeautomation? Die Frage ist fundierter zu beantworten, wenn man näher betrachtet, welche Aspekte zur Reduktion des Energiebedarfs im Gebäude beitragen.

Zunächst ist die Bauphysik zu nennen. Darunter fallen Aspekte wie der Dämmzustand von Wänden, Dachgeschoss sowie thermische Isolierung von Bodenplatte bzw. Kellergeschoss. Dazu zählen aber auch der Zustand von Fenstern und Türen sowie die sogenannten Wärmebrücken. Bei letzteren handelt es sich um Stellen in der Gebäudehülle, die die Wärme (leider) besonders gut nach außen leiten und damit die eigentliche Dämmung umgehen. In der Praxis sind das z.B. die Randbereiche an Fenstern oder Balkonen. Aufgrund aktiver Werbung der Baubranche ist das Bewusstsein in der Bevölkerung sehr ausgeprägt, dass ein energieeffizientes Haus eine vernünftige Dämmung und anständige Fenster braucht. Ebenso verbreitet ist auch das Bewusstsein, dass ein energieeffizientes Haus auch eine zeitgemäße Anlagentechnik benötigt. Neben effizienten Brennern (z.B. Brennwertkesseln) oder effizienten Wärmepumpen ist auch der Einsatz von z.B. Photovoltaik- oder Solarthermie-Anlagen ein wesentlicher Schritt, den zuzuführenden Energiebedarf weitgehend zu reduzieren. Diese Aspekte sind in Abbildung 1 unter dem Punkt «Bauphysik & Anlagentechnik» zusammengefasst und werden in der Bevölkerung auch von bautechnischen Laien weitgehend verstanden und akzeptiert.

Nun ist es aber so, dass der Energiebedarf aufgrund von Kennwerten (oft als Teil von Datenblättern) berechnet wird. Diese Kennwerte werden meist im Labor unter Rahmenbedingungen ermittelt, wie man diese beim späteren Einsatzfall in der Praxis vermutet.

Auch geht die Berechnung davon aus, dass der Bau des Gebäudes fachgerecht ausgeführt wird und sich die Anlagentechnik in einem ordnungsgemäßen und regelmäßig gewarteten Zustand befindet. Das alles kann stimmen – muss es aber nicht. Das echte Leben verhält sich oft anders als es Vorschriften, Wartungsanforderungen oder Berechnungsverfahren vorgeben. Auf jeden Fall ist es für einen konkreten Einzelfall sehr wahrscheinlich, dass die echten Energiebedarfswerte für ein Gebäude oder dessen Anlagentechnik anders ausfallen, als es über die Verwendung von Kennwerten berechnet wurde. Deshalb ist es wichtig, den Energiebedarf über Energiemonitoring zu überwachen. Im Detail bedeutet das, dass man die wesentlichen Energiekennwerte wie z.B. elektrischer Energiebedarf bzw. Verbrauchsmenge an Brennstoffen überwacht und mit den Erwartungswerten vergleicht. Die regelmäßige Abfrage der Verbrauchsmengen sowie der Vergleich zu den Erwartungswerten kann automatisch durchgeführt werden und der Nutzer wird nur im Falle von zu großen Abweichungen informiert. Besondere Bedeutung erhalten die Auswertungen dann, wenn auch Einflussgrößen wie Präsenz, Zustand von Fenstern und Türen, Helligkeit etc. erfasst werden. Damit kann man ermitteln, ob die Anlagentechnik überhaupt sinnvoll betrieben wurde: Wird z.B. in Zeiten, in denen niemand im Gebäude war, unnötig geheizt? Wird zu Zeiten, in denen genug Tageslicht in das Gebäude kommt, unnötig beleuchtet? Beim Energiemonitoring ist es dabei wesentlich, dass man sich vor der Einführung Gedanken darüber macht, was man messen möchte und was die Erwartungswerte sind. Nur so ermittelt man die richtige (geringe) Anzahl und Art an Sensoren, Zählern oder anderen Messeinrichtungen und hält die Komplexität des Energiemonitorings in Grenzen. Richtig eingesetzt ermöglicht Energiemonitoring wesentliche Erkenntnisse über den Zustand von Gebäude und Anlagentechnik sowie das Nutzerverhalten. Mit diesen Erkenntnissen können Optimierungen am Gebäude bzw. der Anlagentechnik durchführt und Nutzer informiert werden. Entsprechende Reduktionen des Energiebedarfs bewegen sich damit schnell im zweistelligen Prozentbereich. Deshalb zeigt Abbildung 1 das Energiemonitoring als einen weiteren wesentlichen Aspekt für energieeffiziente Gebäude.

4. EN 15232 und EnEV

Die Notwendigkeit zur EnEV 2014 ergibt sich durch die EPDB 2010 (Energy Performance of Buildings Directive). Diese von der EU beschlossene Richtlinie ist der gesetzliche Rahmen für Vorgaben, die von den einzelnen Mitgliedsstaaten in jeweils nationales Recht umzusetzen sind. In dieser EU-Richtlinie von 2010 finden sich auch erstmals Forderungen zu «intelligenten Messsystemen», «aktiven Steuerungssystemen» sowie «Automatisierungs-, Regelungs- und Überwachungssystemen». Im Detail ist in Artikel 8, Absatz 2, der EPBD 2010 folgendes zu lesen:

«Die Mitgliedstaaten unterstützen die Einführung intelligenter Messsysteme bei der Errichtung oder einer größeren Renovierung von Gebäuden, wobei sie gewährleisten, dass die betreffende Unterstützung mit Anhang I Nummer 2 der Richtlinie 2009/72/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt im Einklang steht. Die Mitgliedstaaten können gegebenenfalls auch die Installation aktiver Steuerungssysteme wie auf Energieeinsparungen ausgelegte Automatisierungs-, Regelungs- und Überwachungssysteme unterstützen.»

Beim genauen Durchlesen der EPDB 2010 fällt auf, dass die Anforderungen an die Automation zunächst nicht richtig verbindlich sind. Es werden Formulierungen wie «unterstützen» und «gegebenenfalls» verwendet. Somit war im Jahr 2010 noch nicht klar, ob und wie verbindlich die Anforderungen an die Automation in nationales Recht umgesetzt werden. Auch erlaubt das den unterschiedlichen europäischen Ländern viel Interpretationsbedarf. Für Deutschland hat die Spekulation mit der EnEV 2014 ein Ende: Dort finden sich, wie wir später behandeln, viele konkrete Anforderungen.

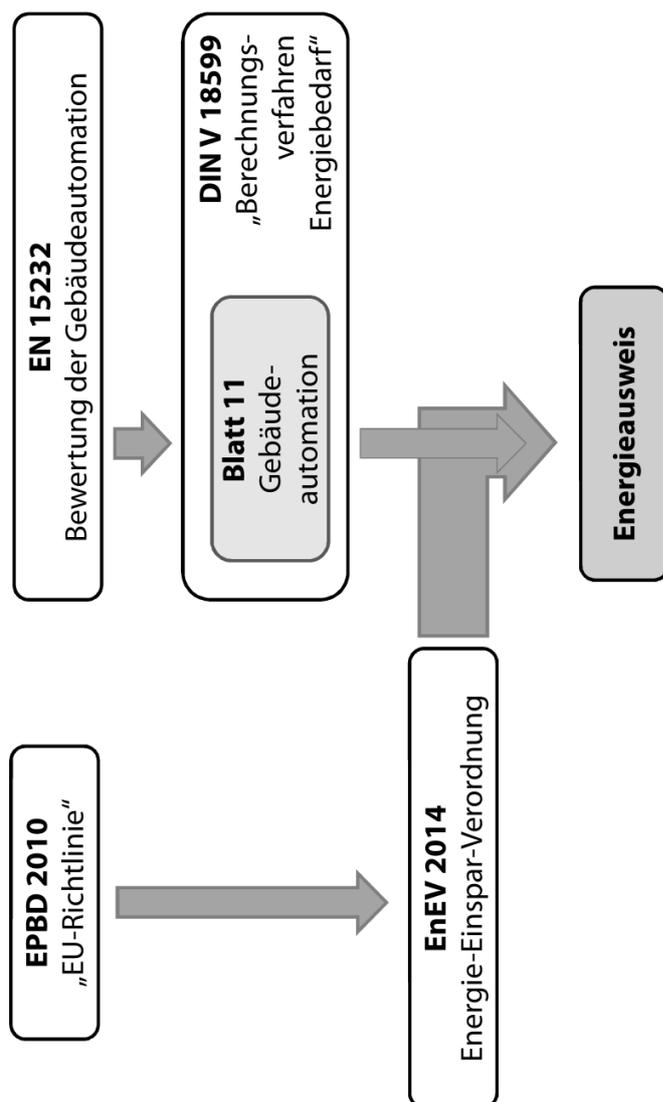


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen den Vorschriften

Die Bewertungsgrundlagen für den Energiebedarf kommen inhaltlich aus der Norm DIN V 18599. Schon seit der ersten Version wurden dort die Einflüsse von Gebäudezustand und Anlagentechnik berücksichtigt. Im Dezember 2011 wurde diese Norm um einen 11. Teil ergänzt, um dem Einfluss durch die Gebäudeautomation Rechnung zu tragen. Der in diesen 11. Teil geflossene Inhalt stammt größtenteils aus der Europeanorm EN 15232. Abbildung 2 visualisiert den Zusammenhang zwischen diesen Normen und Vorschriften.

Die EnEV (Energieeinsparverordnung) legt die Mindestanforderungen an Gebäude in Bezug auf den energieeffizienten Betrieb fest. Das sind zunächst die Obergrenzen für Neubaumaßnahmen für den Jahres-Primärenergiebedarf für ein Gebäude sowie für die Wärmeverluste (Transmissionswärmeverluste) durch Bauteile bzw. die gesamte Gebäudehülle. Zusätzlich werden Mindestanforderungen an die Anlagentechnik gestellt. Im Detail schreibt die EnEV die Berechnungsmethode für die Ermittlung des Energiebedarfs vor und ist die Grundlage für die Erstellung des Energieausweises.

Dabei unterscheidet die EnEV in Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG) wie z. B. Büros, Hörsäle, Schulen, Krankenhäuser etc. Die Obergrenze für den Jahres-Primärenergiebedarf für ein Gebäude wird über ein sogenanntes Referenzgebäude berechnet. Dieses besitzt dieselbe Geometrie, Ausrichtung und Nutzung wie das echte, zu errichtende Gebäude. Die Berechnung des Energiebedarfs für das Referenzgebäude erfolgt mit festgeschriebenen Materialkennwerten und technischer Gebäudeausstattung sowie Anforderungen an die Gebäudeautomation.

Parallel wird für das echte, zu errichtende Gebäude, der Jahres-Primärenergiebedarf ermittelt. Dieser echte Wert darf den Wert des Referenzgebäudes nicht überschreiten. Werden beim echten Gebäude einige Gewerke energetisch schlechter ausgeführt als beim Referenzgebäude, kann dies grundsätzlich durch eine energetisch höherwertige Ausführung anderer Gewerke kompensiert werden.

Als Berechnungsgrundlage wird üblicherweise die DIN V 18599 verwendet, die, wie erwähnt, auch den Automationsgrad berücksichtigt. Bei ungekühlten Wohngebäuden darf, sofern gewollt, die Berechnung gemäß DIN V 4108 und DIN V 4701 erfolgen, die den Automationsgrad nicht berücksichtigen.

5. EN 15232

Die europäische Norm EN 15232 wurde 2002 von der EU-Kommission mit dem Ziel in Auftrag gegeben, Verfahren zur Abschätzung der Auswirkungen von Gebäudeautomatonsystemen (GA-Systemen) und Maßnahmen des technischen Gebäudemanagements (TGM) auf die Energieeffizienz und den Energieverbrauch von Gebäuden zu erarbeiten. Die erste Version wurde als EN 15232:2007 im Jahr 2007 veröffentlicht und eine inhaltlich überarbeitete Version erschien im Jahr 2012 als EN 15232:2012. In Deutschland wurde die deutschsprachige Version der EN 15232 als DIN EN 15232 veröffentlicht. Da im Folgenden der Inhalt und nicht die Wahl der Sprache im Vordergrund steht, wird für die Norm auch im Folgenden die kurze Bezeichnung «EN 15232», verwendet.

Diese Norm ermöglicht eine grundlegende Bewertung des Einflusses der Gebäudeautomation auf die Energieeffizienz von Gebäuden. Sie nutzt eine einfache Checkliste zur systematischen Abfrage aller Gewerke. Basierend auf den Antworten können für das jeweilige Gebäude sogenannte Gebäudeautomations-Effizienzklassen (A, B, C, D) sowie Energieeffizienz-Faktoren bestimmt werden. In Summe ist die Norm ein ausgesprochen wichtiges Dokument, denn sie ermöglicht bei korrekter Anwendung die Ermittlung und Bewertung von sinnvollen Maßnahmen sowie die Abschätzung der Auswirkungen auf den Energiebedarf. Die Fragen der Checklisten sind so formuliert, dass zur Anwendung kein explizites Automationswissen nötig ist. Im Grunde kann jeder die Fragen beantworten, der ein gutes Grundwissen zur technischen Ausstattung von Gebäuden hat und somit von Begriffen wie Vorlauftemperatur, Zirkulationspumpe, Wärmepumpe, Mehrstufenregelung, motorbetriebene Rollläden etc. nicht abgeschreckt wird.

6. Checkliste zur Ermittlung der GA-Effizienzklasse

Im Kern verwendet die Norm das sogenannte Gebäudeautomations-Faktorverfahren, um das Energieeinsparpotenzial durch Automation zu berechnen. Grundsätzlich unterscheidet die Norm in Wohn- und Nichtwohngebäude. Mithilfe der sogenannten Funktionsliste – einer Art Checkliste zur Ermittlung der Intensität des automatisierten Betriebs – wird zu allen Gewerken im Gebäude gefragt, in welcher Art und Weise diese betrieben werden. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus dieser Funktionsliste. Zu jeder Frage sind unterschiedliche Antwortmöglichkeiten vorgegeben und die ähnlichste ist auszuwählen. Dabei enthalten die Antwortmöglichkeiten bereits einen Hinweis, zu welchem Automationsgrad die jeweilige Antwortmöglichkeit führt. Im Detail sind im rechten Bereich der Funktionsliste sowohl für das Wohn- als auch für das Nichtwohngebäude jeweils 4 Spalten für die sogenannten Gebäudeautomations-Effizienzklassen A bis D gegeben. Der Querbezug zwischen der Antwortmöglichkeit und der Effizienzklasse wird darüber ausgedrückt, wie weit die Schraffur in der Tabelle nach rechts reicht. Ist nur die Spalte «D» schraffiert, entspricht die Antwortmöglichkeit der Effizienzklasse «D». Sind die Spalten «D» und «C» schraffiert, entspricht die Antwortmöglichkeit der Effizienzklasse «C».

		Definition der Klassen							
		Wohngebäude				Nicht-Wohngebäude			
		D	C	B	A	D	C	B	A
AUTOMATISCHE REGELUNG									
1	REGELUNG DES HEIZBETRIEBS								
1.1	Regelung der Übergabe								
		<i>Die Regeleinrichtung wird auf der Übergabe- oder Raumebene installiert; im Fall 1 kann eine Einrichtung mehrere Räume regeln</i>							
	0	Keine automatische Regelung							
	1	Zentrale automatische Regelung							
	2	Einzelraumregelung							
	3	Einzelraumregelung mit Kommunikation							
	4	Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsenzbabhängiger Regelung							
1.2	Regelung der Übergabe für TABS								
	0	Keine automatische Regelung							
	1	Zentrale automatische Regelung							
	2	Erweiterte zentrale automatische Regelung							
	3	Erweiterte zentrale automatische Regelung mit intermittierendem Betrieb und/oder Raumtemperatur-Rückführregelung							

Abbildung 3: Auszug aus der Funktionsliste der EN 15232 (Quelle: EN 15232)

Die Gebäudeautomations-Effizienzklassen erlauben eine Aussage über die Qualität der Regelung oder Steuerung und sind wie folgt definiert:

Klasse A	hoch energieeffizientes Gebäudeautomationssystem (GA-System) und Technisches Gebäudemanagement (TGM)
Klasse B	erweitertes GA-System und einige spezielle TGM-Funktionen
Klasse C	Standard GA-System
Klasse D	GA-System, das nicht energieeffizient ist

Im Idealfall liegt bei allen Gewerken ein ähnlicher Automationsgrad (z.B. C) vor. Als Beispiel hieße das, dass die Fragen der Beleuchtung die Klasse C ergeben und ebenso auch die Fragen der Heizung, Kühlung etc. Damit wäre logischerweise die Gebäudeautomations-Effizienzklasse des gesamten Gebäudes ebenso C. In der Praxis kommt diese Art der gleichmäßigen Automation aller Gewerke jedoch äußerst selten vor.

Gemäß strenger Normauslegung bestimmt die Antwortmöglichkeit mit der schlechtesten Bewertung die Effizienzklasse des ganzen Gebäudes. Das ist aber nicht praxistauglich. Man stelle sich ein Gebäude vor, welches bei fast allen Gewerken vollautomatisiert ist. Lediglich eine einzige Frage führt zu einer Effizienzklasse D. Damit entspräche die Gesamtbewertung für das Gebäude ebenso D und wäre einem tatsächlich durchgehend manuell betriebenen Gebäude gleichzusetzen.

Zur Ermittlung der Gesamt-Effizienzklasse des Gebäudes muss also ein Mittelwert über alle Fragen bestimmt werden. Im einfachsten Fall werden die Ergebnisse aller Fragen linear gemittelt. Im besseren Fall werden vor der Mittelwertbestimmung die Antworten der unterschiedlichen Fragen mit Gewichtungsfaktoren versehen. Diese Gewichtungsfaktoren entsprechen dem unterschiedlichen Einfluss von z.B. Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung etc. auf den Gesamtenergiebedarf. Solche Gewichtungsfaktoren wurden in einem mehrjährigen Projekt der eu.bac (European Building Automation and Controls Association - europäische Industrieplattform von Herstellern und Anbietern für Hausautomation, Gebäudeautomation und Energiedienstleistungen für Gebäude) entwickelt und anschließend von einer deutschen Universität überprüft und bestätigt. Diese Gewichtungsfaktoren werden auch von dem kostenlosen Softwaretool «Gebäude-IQ» genutzt, welches die interaktive Anwendung der EN 15232 ermöglicht. Auf dieses Softwaretool wird später näher eingegangen.

7. Ist-Erfassung und Ableitung von Maßnahmen

Die Anwendung der EN 15232 kann über ein einfaches Tool durchgeführt werden: Das Programm «Gebäude-IQ». Dieses Programm kann kostenlos über die Webseite www.Gebäude-IQ.de heruntergeladen und anschließend lokal installiert werden (Windows Betriebssystem).

Ohne sich in technischen Details zu verlieren, gibt dieses Tool Anregungen und Handlungsempfehlungen, ob sich die (weitere) Einführung von Gebäudeautomation lohnt.

Die durch dieses Tool erstellten Auswertungen sind eine mögliche Grundlage für weitere Gespräche mit zuständigen Fachplanern und Systemintegratoren, deren Einbeziehung für eine konkrete Umsetzung natürlich nach wie vor sinnvoll und erforderlich ist. Das Tool ist nicht nur für einen interessierten Personenkreis, sondern besonders auch für Fachplaner geeignet, die den nutzungs- und ergebnisorientierten Dialog mit ihren Kunden suchen.

Durch den Vergleich von Ist- und Zielausstattung lässt sich auf Basis dieser Norm abschätzen, wie groß die mögliche Reduktion des Energiebedarfs durch die (weitere) Einführung von Gebäudeautomation ist.

Dieses Tool nutzt die gute Grundlage der EN 15232 und erleichtert den Zugang und die Handhabung der darin enthaltenen Informationen. Die in diesem Tool verwendete Checkliste ist textlich angepasst und interaktiv aufgebaut.

Auf Basis des Ist-Standes werden sinnvolle Maßnahmenpakete ermittelt und deren Auswirkungen auf den Energiebedarf abgeschätzt.

Mit diesem Programm sollte die Anwendung der EN 15232 und damit der Bestimmung des Einsparpotenzials und sinnvoller Maßnahmen kein Problem sein. Zusätzlich gibt es auf der Webseite bei Bedarf auch vereinfachte Hilfsmittel wie z.B. «rote und gelbe Karten» oder ein Onlinetool.

Abbildung 4: Software-Tool «Gebäude-IQ» - Auswertung

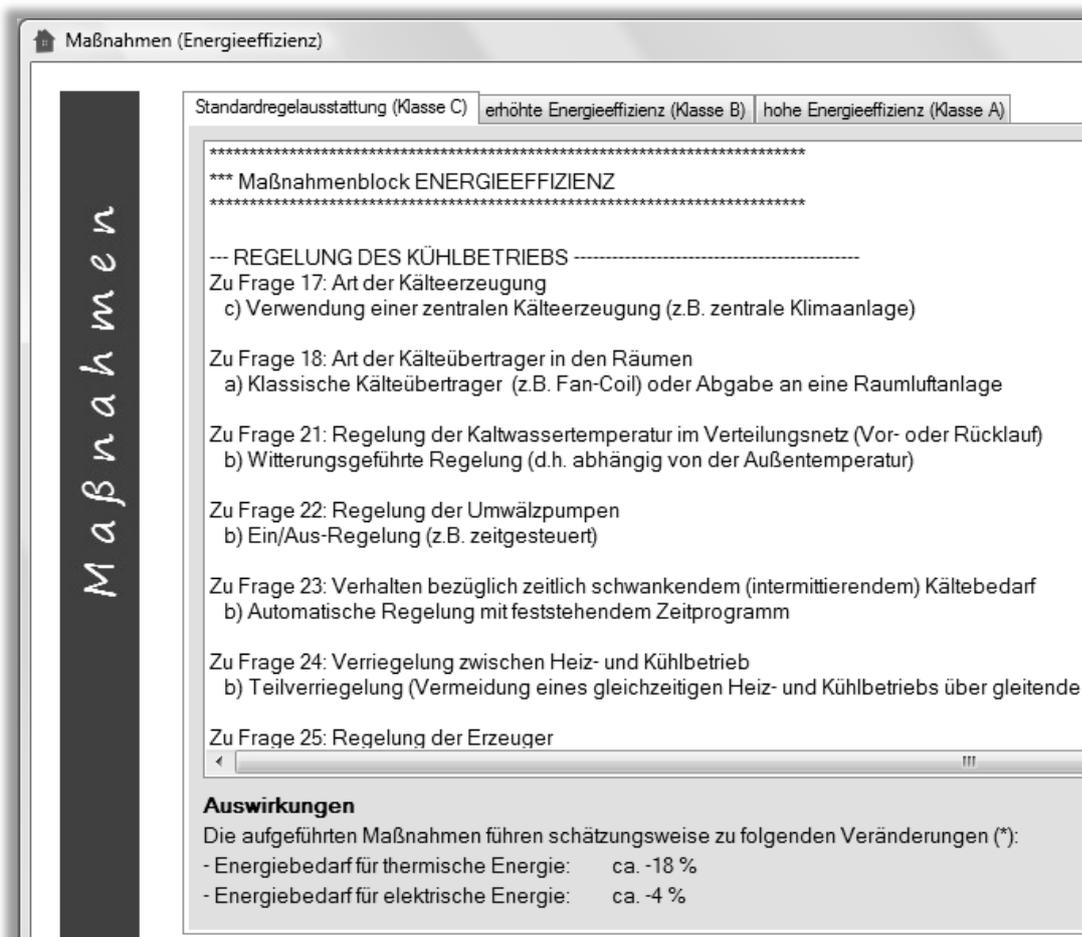


Abbildung 5: Software-Tool «Gebäude-IQ» – Maßnahmen

8. Anforderungen festlegen (Lastenheft)

Zur Bestimmung und Festlegung der Anforderungen hilft die Checkliste auf Basis der DIN EN 15232, wie sie zuvor vorgestellt wurde.

Sobald die Anforderungen ermittelt wurden, können diese in die Checkliste auf Basis der DIN EN 15232 eingetragen werden. Abbildung 6 zeigt einen Auszug aus einer solchen «Checkliste Energieeffizienz», die im linken Teil die Fragen der DIN EN 15232 enthält.

Dort kann bei Bestandsgebäuden der Ist- und Soll-Zustand getrennt erfasst werden. Den Ist-Zustand ermittelt man meist über einen Ortstermin oder Befragung des Betriebspersonals. Die Festlegung des Soll-Zustands ist etwas diffiziler. Wenn man es gar nicht besser weiß, kann man alle Aussagen auswählen, die mindestens einer gewünschten Gesamtzielklasse entsprechen. Wenn man z.B. die GA-Effizienzklasse B erreichen möchte, sollte man keine Auswahl treffen, die zu «D» oder «C» führt. Alternativ betrachtet man den rechten Teil der Checkliste. Dort ist die jeweilige funktionale Beschreibung enthalten, wie sie später auch an den Generalplaner gegeben werden oder als Teil einer Ausschreibung verwendet werden kann. Diese Texte können für Rückfragen mit entsprechenden Fachfirmen verwendet werden, um eine Abschätzung von Aufwand und Kosten zu erhalten und zu entscheiden, welchen Unterpunkt man als Soll-Zustand auswählt.

Bei Neubaumaßnahmen sollte der Planungszustand als «Soll-Konfiguration» erfasst werden und die Spalte «Ist» wird ignoriert. Die Bestimmung der Soll-Auswahl erfolgt ähnlich wie beim Bestandsgebäude.

		Klasse		
		WG	NWG	
Frage 3	Raumtemperatur-Regelung (Regelung der Übergabe) <i>Wie wird die Raumtemperatur im Fall von Heizbedarf geregelt, d.h. die Übertragung von Wärme an die Wärmeübertrager (z.B. Heizkörper) im Raum? Im Falle ausschließlich elektrisch betriebener Wärmeerzeuger in den Räumen ist die im Vergleich ähnlichste Funktion auszuwählen. [EN15232:2012; 1.1]</i>			
	ist			
	Soll			
	<input type="radio"/>	a) Keine automatische Regelung (die Wärmeübertrager erhalten kontinuierlich eine konstante Heizleistung)	D	D
	<input type="radio"/>	b) Zentrale automatische Regelung (die Heizleistung wird, basierend auf dem erwarteten Bedarf, zentral für ein Gebäude oder eine Gebäudezone erzeugt und allen Räumen gleichermaßen zugeführt; d.h. es erfolgt keine Unterscheidung von individuellem Wärmebedarf in unterschiedlichen Räumen)	D	D
<input type="radio"/>	c) Einzelraumregelung mit Thermostatventilen oder durch elektronische Regeleinrichtungen (d.h. Berücksichtigung von individuellem Wärmebedarf in unterschiedlichen Räumen)	C	C	
<input type="radio"/>	d) Einzelraumregelung mit Kommunikation	B	B	
<input type="radio"/>	e) Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsentabhängiger Regelung (d.h. basierend auf Raumbelugung)	A	A	

Funktionale Beschreibung (Ausschreibungstext)	
Die Raumtemperatur wird nicht automatisch geregelt. Die Wärmeübertrager erhalten kontinuierlich eine konstante Heizleistung. [EN15232:2012; 1.1.0]	Die Raumtemperatur wird zentral geregelt. Hierbei wird, basierend auf dem zu erwartenden Bedarf, Wärme für ein Gebäude bzw. Gebäudezone erzeugt und allen Räumen gleichermaßen zugeführt. Der Wärmebedarf wird über die Vor- oder Rücklauftemperaturen in den Heizkreisen ermittelt; alternativ über die Außentemperatur. Die Ansteuerung erfolgt über im Vorlauf befindliche Stellventile. Alternativ werden Schaltaktoren bei der Verwendung von elektrischen Wärmeerzeugern angesteuert. [EN15232:2012; 1.1.1]
Die Raumtemperatur wird über eine automatische Einzelraumregelung mit Thermostatventilen oder durch elektronische Regeleinrichtungen geregelt. Der Wärmebedarf wird über die Raumtemperaturen in den jeweiligen Räumen ermittelt. Die Ansteuerung erfolgt über am Heizkörper befindliche Stellventile oder Schaltaktoren bei elektrischen Wärmeerzeugern. [EN15232:2012; 1.1.2]	Die Raumtemperatur wird über Einzelraumregelungen mit elektronischen Regeleinrichtungen geregelt. Der Wärmebedarf wird über die Raumtemperaturen in den jeweiligen Räumen ermittelt. Die Ansteuerung erfolgt über am Heizkörper befindliche Stellventile oder Schaltaktoren bei elektrischen Wärmeerzeugern. Die jeweiligen Einzelraumregelungen unterschiedlicher Räume kommunizieren entweder untereinander oder mit einer übergeordneten Steuerung. [EN15232:2012; 1.1.3]
Die Raumtemperatur wird über Einzelraumregelungen in Abhängigkeit der Raumbelugung geregelt. Der Wärmebedarf wird über die Raumtemperaturen in den jeweiligen Räumen ermittelt. Die Ansteuerung erfolgt über am Heizkörper befindliche Stellventile oder Schaltaktoren bei elektrischen Wärmeerzeugern. Eine zusätzliche Präsenzerfassung über Präsenzmelder sowie nutzerspezifische Kalender-/ Belegungsfunktionen führen zu einer bedarfsgeführten Klimatisierung der Räume. Bei Abwesenheit wird die Solltemperatur der Räume um einige Grad Celsius gesenkt. [EN15232:2012; 1.1.4]	

Abbildung 6: Auszug aus der «Checkliste Energieeffizienz»

9. Tools zum Download

Die Links zu den Tools sowie der Checkliste sind kostenlos über die folgende Webseite abrufbar: www.download.igt-institut.de/190313-ForumHolzbau/

Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit vorgefertigten Holzfassaden mit integrierter Lüftung und Kleinst-Wärmepumpe

Dietmar Siegele
Energieeffizientes Bauen / UIBK
Innsbruck, Österreich



Fabian Ochs
Energieeffizientes Bauen / UIBK
Innsbruck, Österreich



Georgios Dermentzis
Energieeffizientes Bauen / UIBK
Innsbruck, Österreich



Toni Calabrese
Energieeffizientes Bauen / UIBK
Innsbruck, Österreich



Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit vorgefertigten Holzfassaden mit integrierter Lüftung und Kleinst-Wärmepumpe

1. Einleitung und Motivation

Bei der Sanierung von Geschoßwohnbauten, welche häufig kleine Wohnungen mit sehr inhomogener Wärmeversorgung aufweisen (Gas-, Öl- oder Stückholz-Einzelöfen, Elektroboiler usw., vgl. EU-Projekt Sinfonia) zeigt sich, dass eine Gesamtanierung inklusive Umstellung auf zentrale Heizung und TWW-Versorgung mit z.B. Fernwärmeanschluss, Biomassekessel mit oder ohne Solarthermie oder Grundwasserwärmepumpe i.d.R. nicht möglich ist. Gerade für Wohnbauten mit kleinen Wohneinheiten scheiden auch am Markt verfügbare dezentrale Lösungen aus Platz- und Kostengründen häufig aus.

Ziel des Forschungsvorhabens SaLüH! war es, Wohnungsbaugesellschaften, Herstellern von Lüftungs- bzw. Heizungsgeräten sowie Planern Konzepte und Entwicklungsrichtungen für ein Gesamtpaket für die dezentrale (wohnungsweise) Lüftung, Heizung und TWW-Versorgung an die Hand zu geben, welches die kostengünstige und baulich einfache Umstellung auf effiziente Haustechnik im Rahmen der Sanierung auch schrittweise Wohnung für Wohnung ermöglicht, ohne die NutzerInnen in ihrem gewohnten Wohnumfeld einzuschränken. Ein abgestimmtes Gesamtpaket bestehend aus Wärmedämmung, Fenster, einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, sowie Heizung (und ggf. Kühlung) und Trinkwarmwasserversorgung wurde entwickelt, welches kostengünstig und mit minimalem Eingriff in der Wohnung umgesetzt werden kann. Es erfolgte eine simulationsgestützte Bewertung der Innenraumqualität, d.h. thermischer Komfort und Luftqualität, und der Energieeffizienz sowie eine Wirtschaftlichkeitsbewertung. Es wurden Funktionsmuster für eine kompakte Hybrid-Kleinst-Wärmepumpe für Lüftung, Heizung und Kühlung sowie eine kompakte Trinkwarmwasser-Wärmepumpe entwickelt optimiert und im Labor vermessen.

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe.

2. Stand des Wissens und Stand der Technik

Durch die luftdichte Bauweise von Passivhäusern ist eine mechanische Lüftung für Wohngebäude erforderlich. Die Lüftungstechnik im Passivhaus soll vier wesentliche Aufgaben erfüllen:

- a) Sicherstellen einer guten Raumluftqualität,
- b) Feuchteschutz,
- c) Minimierung der Lüftungswärmeverluste durch Wärmerückgewinnung und
- d) den Transport der nötigen Heizleistung über die Zuluft.

Aus bauphysikalischer und hygienischer Sicht ist Wärmerückgewinnung nicht erforderlich, jedoch ist durch die Verwendung einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung neben der Reduzierung der Wärmeverluste auch hoher thermischer Komfort garantiert. Die Zuluftheizung ermöglicht den Verzicht auf ein konventionelles Heizsystem und bietet damit ein großes Potential Kosten zu reduzieren. In einem Mehrfamilienhaus besteht die Möglichkeit, den Luftaustausch über eine zentrale mechanische Be- und Entlüftung sicherzustellen. Andererseits ist es aber auch möglich, die Wohnungen separat zu lüften. Dabei bleiben die verschiedenen Brandabschnitte getrennt. Der Wartungsaufwand erhöht sich jedoch, wenn zu Wartungszwecken Zugang zu den einzelnen Wohnungen nötig ist. Grundsätzlich gibt es mehrere Möglichkeiten, eine Wohnung mechanisch zu lüften, nämlich mittels:

- a) Abluftanlage (ohne Wärmerückgewinnung),
- b) dezentrale wohnungsweise Komfortlüftung,
- c) Einzelraumlüftung – Raumkombinationen,
- d) Pendellüfter.

Es gibt eine Vielzahl von nach dem PHI (Passivhausinstitut) zertifizierten Lüftungsgeräten mit Luftvolumenströmen unter 600 m³/h. Für die Anwendung in kleinen Wohnungen sind Volumenströme zwischen etwa 50 m³/h und 150 m³/h interessant.

Die Heizlastberechnung in Passivhäusern erfolgt i.d.R. nach dem PHPP-Verfahren. Als oberer Grenzwert für die Heizlast bei Passivhäusern gelten ca. 10 W/m². Eine personenbezogene Auslegung des Luftvolumenstroms mit 20 m³/h bis 30 m³/h und Person im Wohnbau sollte als Grundlage dienen. Im Optimierungsprozess der Gebäudehülle wird meist ein Zielwert des Heizwärmebedarfs von 15 kWh/(m² a) angestrebt. In der Praxis haben sich zwei wesentliche Grundtypen von Heizsystemen für Passivhäuser herausgebildet: Heizung mit Wärmepumpen und Wärmepumpenkompaktgeräten, sowie Heizung mit Biomassekesseln unterstützt durch Solaranlagen. Wärmepumpen-Kompaktgeräte stellen dabei eine der häufigsten Versorgungstechniken im Passivhaus dar. Benötigt werden für Passivhäuser Anlagen bzw. Wärmepumpen kleiner Leistung, im Bereich 1,5 bis 2,5 kW.

Die Idee eines einfachen kostengünstigen und kompakten Systems für dezentrale Lüftung, Heizung, Kühlung sowie ggf. Warmwasser ist so alt wie die Idee des Passivhauses selbst. Eine Vielzahl solcher (Wärmepumpen-) Kompaktgeräte wurde entwickelt und verschiedene Ausführungen sind bzw. waren am Markt erhältlich. Diese Lüftungs-Kompaktgeräte mit Wärmerückgewinnung beinhalten eine kleine Fortluftwärmepumpe für die Heizung und die Brauchwassererwärmung. Mit diesen können Passivhäuser vollständig mit Wärme und frischer Luft versorgt werden. Die grundlegende Idee hinter dieser Technik ist das Zusammenführen von Heizung, Warmwasser und Lüftung in einem Gerät mit optimal aufeinander abgestimmten Komponenten. Bei der Heiz- bzw. Wärmepumpenleistung können entsprechend grob zwei Klassen unterschieden werden: klassische Kompaktgeräte mit 1,4 kW bis um die 2 kW und «große» Kompaktgeräte mit 4 bis zu 13 kW bzw. 22 kW. Sowohl die Luftmengen (teilweise 200 bis 350 m³/h bzw. 500 bis 600 m³/h) als auch die Abmessungen der größeren Kompaktgeräte liegen mit etwa 2 m / 1 m / 0,6 m teilweise deutlich über dem, was unter kompakt vermutet werden würde, was teilweise auch an relativ großen Trinkwasserspeichern liegt. Die Luftmengen bewegen sich bei den meisten der zertifizierten Geräte in der Größenordnung von 50 bis 200 m³/h. Sowohl hinsichtlich der Kosten als auch der Effizienz (vgl. (Bettgenhäuser & Boermans, 2011), (Pehnt, 2009)) gibt es noch ein großes Verbesserungspotential. Eine weite Verbreitung finden diese Systeme derzeit hauptsächlich deswegen nicht, weil die Investitionskosten für die Anlagen, auch wegen der bisher geringen Stückzahlen, noch zu hoch sind.

Im für Passivhäuser benötigten Leistungsbereich verfügbar – und dies aufgrund der hohen Stückzahl zu geringen Preisen – sind sogenannte (Klima-) Splitgeräte. Im Gegensatz zu Fortluft-Wärmepumpen sind Split- bzw. Multisplitgeräte unabhängig von der Lüftung. Diese Außenluft-WP (in der Regel reversible Luft-Luft-Wärmepumpen mit getrenntem Kondensator und Verdampfer) arbeiten gebäudeseitig rein mit Umluft. Splitgeräte werden mittlerweile von nahezu allen namhaften Firmen mit durch die Invertertechnologie hoher Effizienz angeboten. Nachteilig sind die Geräuscentwicklung, die i.d.R. optisch wenig attraktiven Inneneinheiten und im Falle von Multisplit die relativ hohen Kosten. Ein weiterer Nachteil von Multisplitgeräten ist der relativ hohe Kältemittelbedarf. Splitgeräte werden primär von asiatischen Herstellern wie Daikin, Toshiba, Mitsubishi, LG, Panasonic u.v.m. angeboten, wobei auch europäische Firmen Geräte in ihr Portfolio aufgenommen haben (Stiebel-Eltron, Viessmann, etc.). Es gibt Splitgeräte bereits ab einer Heizleistung von 300 W (niedrigste Stufe) aber auch bis hin zu 8 kW. Die Schallleistungspegel dieser Geräte liegen je nach Betriebsmodus bei den Außeneinheiten in einer Bandbreite von 59 bis 70 dB(A) und bei den Inneneinheiten je nach Leistungsstufe zwischen 43 und 65 dB(A). Bei manchen Geräten liegt der Schalldruckpegel auf der niedrigsten Leistungsstufe bei nur 19 dB(A).

Bereits im EU-Projekt *iNSPiRe* konnte eine Fortluft-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von knapp 1 kW in Kombination mit einem Lüftungsgerät vollständig in eine vorgefertigte Holzfassade integriert und in einem Demo-Gebäude in Ludwigsburg (Deutschland) getestet werden. Diese Größenordnung der Heizleistung ist ausreichend für Sanierungen auf Passivhausstandard. Häufig kann dies jedoch nicht erreicht werden.

3. Referenzgebäude

Für das Projekt SaLüH! stand kein definiertes Gebäude für die Entwicklung eines Sanierungskonzepts zur Verfügung. Vielmehr wurde versucht ein generisches Objekt als Referenzgebäude zu definieren, um die im Rahmen des Projekts entwickelten Lösungen in möglichst vielen Situationen (räumlich, geografisch, gesetzlich) anwenden zu können. Abbildung 1 zeigt das erstellte Referenzgebäude, ein typisches mehrgeschossiges Wohnhaus (MFH) in Innsbruck mit zehn Wohnungen (zwei symmetrische Wohnungen pro Etage). Die untersuchte Wohnung (Wohnnutzfläche 70,8 m²) besteht aus sechs Zonen: Küche (KÜ), Schlafzimmer (SZ), Korridor (Flur) (KO), Bad (BA), Kinderzimmer (KZ) und Wohnzimmer (WZ). Dieses Gebäude wurde auf Basis von typischen Wohnungsgrundrissen bzw. Gebäudetopologien des EU-Projekts Sinfonia (in dem großflächig in Innsbruck und Bozen Sanierungslösungen umgesetzt werden) entwickelt. Der Grundriss des Gebäudes kam zuvor bereits beim «Component Award 2016» des Passivhausinstituts (Passivhausinstitut, 2018) zur Anwendung.

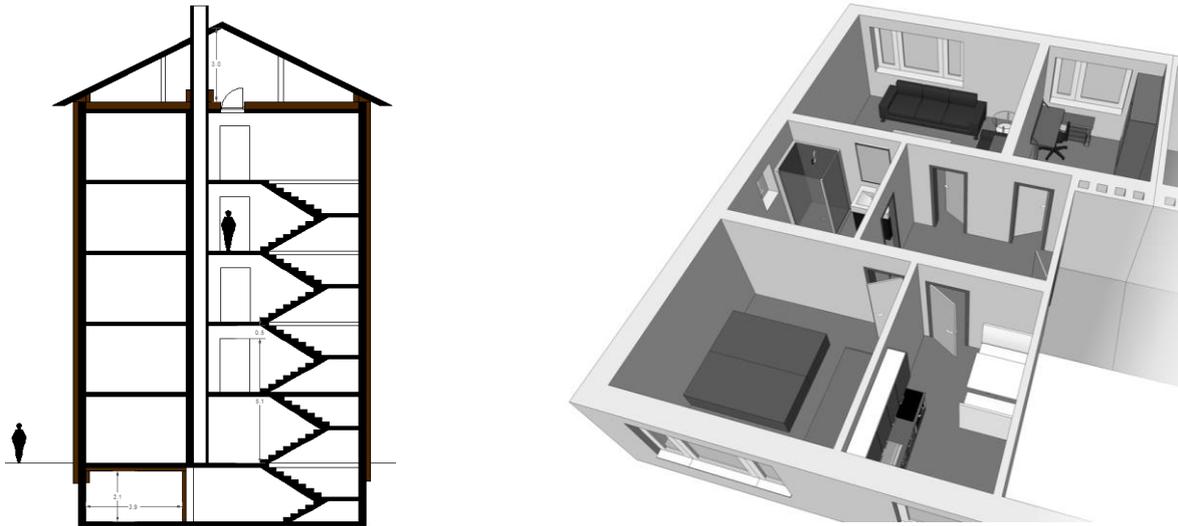


Abbildung 1: Mehrfamilienhaus Schnitt (links) (in Anlehnung an (Passivhausinstitut, 2018)), 3D Ansicht einer Wohnung (Wohnnutzfläche 70,8 m²) mit sechs Räumen (rechts)

Tabelle 1: Eckdaten Referenzgebäude und Referenzhaustechnik

Anzahl der Wohnungen	10
Energiebezugsfläche	732 m ² , 70,8 m ² pro Wohnung
Heizwärmebedarf	28,4 kWh/(m ² .a)
Energieerzeuger	Außenluftwärmepumpe für Heizung und WW
Ergebnisse (Simulation bzw. PHPP Berechnung) für 10 Wohnungen	
Wärme von der zentralen Versorgung inkl. Verteilverluste	
- für Trinkwarmwasser	32,3 MWh/a
- für Heizung	21,7 MWh/a

4. Konzept

Die im Rahmen des Projekts gegebenen Wohnungssituationen, also kleine Wohnungen ohne zentrale Heizungs- und Warmwasserbereitung, ist das Platzangebot für neue effiziente und kostengünstige Heizungs- und Lüftungstechnik sehr begrenzt.

Es wurden verschiedene Konzepte für die Bereitstellung der Heizwärme mittels Lüftungsheizungs-wärmepumpe (Fortluftwärmepumpe) und des Trinkwarmwassers mit einer separaten Trinkwasserwärmepumpe (TWW-WP) ausgearbeitet.

Für die Lüftungsheizungs-wärmepumpe hat es sich als vorteilhaft erwiesen das Gerät in eine Innen- und eine Außeneinheit aufzutrennen (siehe Abbildung 2). Die Hauptursache ist, dass sich eine vollständige Fassadenintegration (mit den vorliegenden Randbedingungen) als nicht realisierbar herausgestellt hat. Diese wäre nur durch die Entwicklung neuer Komponenten (konkret Miniaturisierung von Verdampfer und Kondensator durch den Einsatz neuer Materialien) möglich.



Abbildung 2: Schema des Konzepts der Lüftungs-Heizungs-WP und Grundriss der Wohnung mit Anordnung der Komponenten (Außen- und Inneneinheit sowie Luft-Verteilung) (Siegele, 2019)

Das Innengerät (siehe Abbildung 3) wird als Deckengerät ausgeführt und enthält die notwendigen Ventilatoren für das Lüftungsgerät und den Wärme- bzw. Enthalpieübertrager. Zudem sind die Kondensatoren der Wärmepumpe im Zuluft- bzw. Sekundärluftstrom positioniert. Zusätzlich sind die Außenluft- und Fortluft-Schalldämpfer bereits integriert.

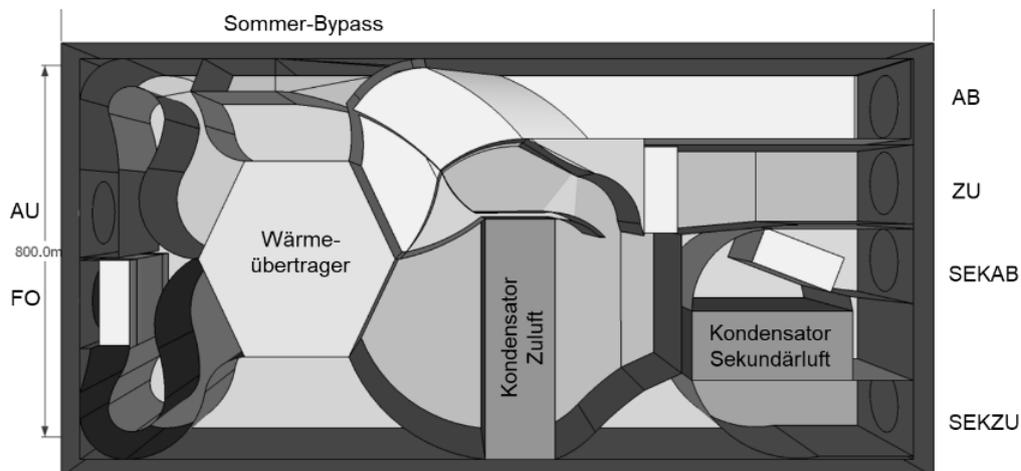


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Inneneinheit (Siegele, 2019)

Die Außeneinheit enthält den Kompressor und den Verdampfer. Der Verdampfer verwendet als Quellen den Fortluftvolumenstrom und zusätzlich wird bei erhöhten Heizleistungsanforderungen Außenluft beigemischt. Um die Heizleistung über die Luft zuführen zu

können, wird neben dem hygienischen Luftwechsel auch Sekundärluft verwendet. Beide Luftströme können über je einen Kondensator aufgeheizt werden. Die Sekundärluft wird ausschließlich dem Gang bzw. Korridor entnommen und aufgeheizt wieder zugeführt. Dies ermöglicht es ohne Einbußen bei der Raumluftqualität, wie mit einem zusätzlichen Fan Coil, in den Flur zusätzlich Heizleistung einzubringen.

Der hygienische Luftwechsel des Geräts beträgt $100 \text{ m}^3/\text{h}$, der Luftwechsel der Sekundärluft max. $100 \text{ m}^3/\text{h}$ und dem Verdampfer können bis zu $250 \text{ m}^3/\text{h}$ Außenluft zugeführt werden.

5. Entwicklung und Vermessung der Funktionsmuster

Es wurden zwei Funktionsmuster der Lüftungs-Heizungs-WP mit verschiedenen Kompressoren mit unterschiedlichen Leistungsgrößen durch den Industriepartner *SIKO Energiesysteme* ausgeführt und im Kompaktgeräteprüfstand der Universität Innsbruck (UIBK) vermessen. Es liegen Messwerte für jeweils ein Funktionsmuster mit einer Design-Heizlast von ca. 2500 W und ca. 1400 W vor, welche den Bereich EnerPHit-Sanierung bzw. der Sanierung zum Passivhausstandard abdecken. Abbildung 4 zeigt das Funktionsmuster im Labor der UIBK.

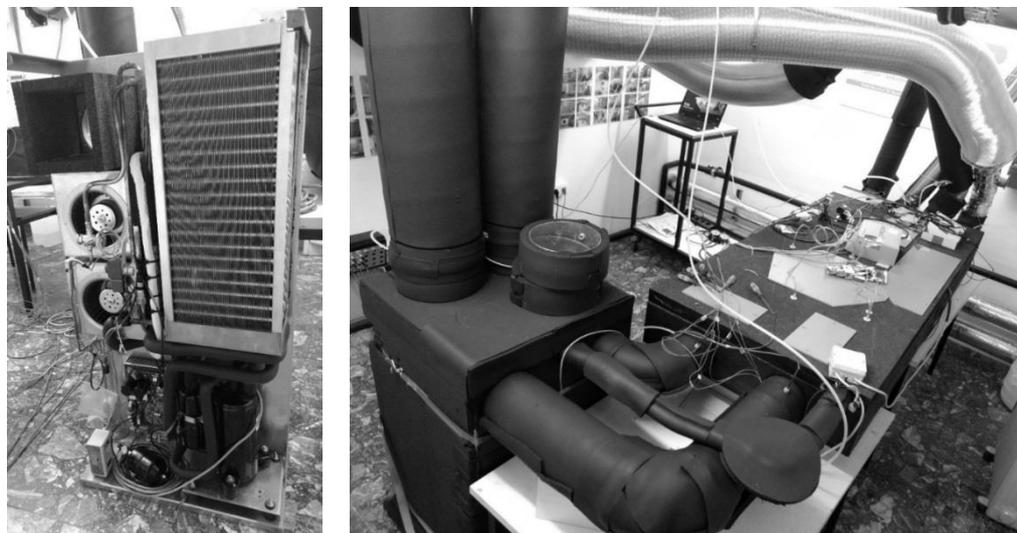


Abbildung 4: (links) Außeneinheit beim Einbau, (rechts) Gesamtaufbau Funktionsmuster mit Innen- und Außeneinheit im Kompaktgeräteprüfstand der UIBK (Siko Energiesysteme)

Für das Funktionsmuster kommt ein Feuchteübertrager der Firma *Paul Wärmerückgewinnung GmbH* zum Einsatz. Im Vorfeld wurde dieser Feuchteübertrager (und auch der Wärmeübertrager in der gleichen Baugröße) im Lüftungs- und Kompaktgeräteprüfstand der Universität Innsbruck ausführlich vermessen. Aus diesen Messdaten konnte dann ein physikalisches Wärme- und Feuchteübertragermodell abgeleitet werden.

Im Rahmen des Projekts wurden Vermessungen der Komponenten und des Funktionsmusters der Heizungswärmepumpe durchgeführt. Ebenso wurden die Parametrierung und Validierung der entwickelten Simulationsmodelle durchgeführt. Eine Übersicht der im Labor ermittelten Leistungsdaten gibt Tabelle 2. Tabelle 2: Übersicht über die Leistungs-Daten der Lüftungs-Heizungswärmepumpe

Parameter	Variante 2500 W	Variante 1400 W
Wärmebereitstellungsgrad zuluftseitig (100 m ³ /h)	82,6 %	82,6 %
Wärmebereitstellungsgrad fortluftseitig (100 m ³ /h)	70,2 %	70,2 %
Feuchterückzahl (100 m ³ /h)	59,3 %	59,3 %
Ventilator-Strombedarf (100 m ³ /h, 100 Pa)	40,4 W	40,4 W
Maximale Heizleistung mit Sekundärluft (+2 °C)	1922 W	1076 W
COP bei maximaler Heizleistung mit Sekundärluft (+2 °C)	1,4 W/W	2,2 W/W
Minimale Heizleistung mit Sekundärluft (+2 °C)	556 W	319 W
COP bei minimaler Heizleistung mit Sekundärluft (+2 °C)	2,6 W/W	4,3 W/W
JAZ bei einer Design-Heizlast von 2 kW inkl. Nachheizung	1,9 W/W	2,0 W/W
JAZ bei einer Design-Heizlast von 2 kW ohne Nachheizung	1,9 W/W	2,8 W/W

6. Fassadenintegration

Ein wesentliches Hindernis für den Einsatz effizienter Technologien in der Sanierung ist Verfügbarkeit von Raum. Entsprechend wurden im Rahmen des Projekts Konzepte ausgearbeitet, wie die Geräte platzsparend im Gebäude untergebracht werden können. Dabei wurde sowohl die (teilweise) Integration in eine Holzleichtbau-Vorhangfassade als auch die Integration im Brüstungsbereich unterhalb eines Fensters betrachtet.

Für die Heizungs-Lüftungswärmepumpe wurde ein Funktionsmuster gebaut und in ein Testmodul einer Holzleichtbau-Vorhangfassade integriert, siehe Abbildung 5.



Abbildung 5: (a) Funktionsmuster einer vorgefertigten Holzfassade mit integrierter Außeneinheit der Heizungs-Lüftungswärmepumpe in der PASSYS Testzelle der UIBK und (b) während der Installation des Fassadenelements (Holzbau Kulmer)

Das Funktionsmuster ist von seiner Geometrie auf eine Vorhangfassade abgestimmt indem die Breite der Einheit genau zwischen zwei Holzsteher passt. Die Komponenten wurden dazu in verschiedenen Ebenen angeordnet. Eine Integration derselben Einheit im Brüstungsbereich ist wegen der erforderlichen Bauhöhe daher nicht möglich. Dazu müssten konstruktiv andere Lösungen gefunden werden, die in diesem Projekt aber nicht weiter behandelt wurden. Nachteilig wären dabei die notwendigen Luftdurchführungen durch ein vorgesetztes Wärmedämmverbundsystem.

Der Aufbau der Testfassade ist in Abbildung 6 dargestellt. Die vorgefertigte Fassade besteht aus einem Holzrahmen, einer Holzplatte, die die Mineralwoll-Wärmedämmung innen und außen abdeckt, und einer zementgebundenen Spanplattenverkleidung. Hinter der Außeneinheit wird eine leistungsstärkere Dämmplatte verwendet, damit trotz geringerer Dämmstärke keine kritischen Temperaturbedingungen auftreten. Außerdem ist auf der Innenseite eine dampfbremsende und luftdichte Membran und auf der Außenseite eine

winddichte Membran eingebaut. Die Testfassade ist entsprechend Maße der PASSYS-Testzelle 273 cm breit, 273 cm hoch und 31 cm dick.

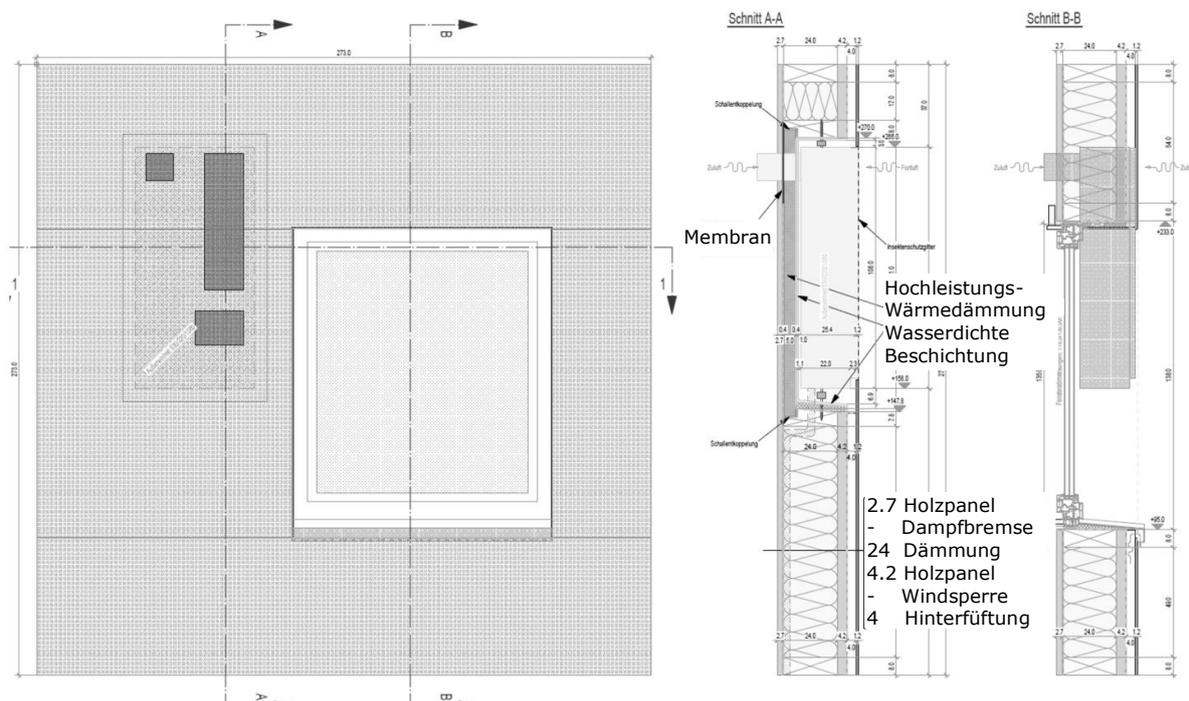


Abbildung 6: Aufbau der Testfassade mit integrierter Außeneinheit (Holzbau Kulmer)

7. Simulationsergebnisse

Im Rahmen der Simulationsstudie innerhalb des Projekts SaLÜH! wurden vier verschiedene Konzepte zur dezentralen Beheizung und Belüftung von Kleinwohnungen für die Sanierung von Mehrfamilienhäusern (MFH) untersucht. Der thermische Komfort (d.h. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) und die Raumluftqualität (IAQ) in einer Wohnung der MFH wurden durch dynamische Gebäude- und Systemsimulationen in MATLAB Simulink mit dem CARNOT Blockset analysiert. Darüber hinaus wurde der Einfluss relevanter Parameter (d.h. des genutzten Gebäudes, der Planung und des Betriebs der Heizungs- und Lüftungsanlage) auf die Simulationsergebnisse mittels einer parametrischen Studie analysiert.

Als Simulationsobjekt wurde das Referenzgebäude (siehe Abschnitt oben) herangezogen. Die im Abschnitt Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Sekundärluftzirkulation (nachfolgend «System D» genannt) wurde mit verschiedenen Lösungen für eine störungsarme Renovierung einer Wohnung verglichen:

- «System A»: raumweise Elektroheizkörper (kostengünstig in der Installation, hohe Betriebskosten)
- «System B»: Split-Wärmepumpe, Inneinheit im Korridor angebracht (Verbesserung der Effizienz im Vergleich zu System A)
- «System C»: Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe in Kombination mit einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung (ohne Sekundärluft).

Das untersuchte Heizkonzept (d.h. Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Sekundärluftzirkulation) kann, wie Abbildung 7 zeigt, einen guten thermischen Komfort und eine gute Raumluftqualität (IAQ) in der Wohnung gewährleisten. Im Vergleich zum System mit der Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe (z.B. "System C" in Abbildung 8) kann eine Überhitzung der Zulufräume begrenzt und eine gute Durchschnittstemperatur in allen Räumen der Wohnung gewährleistet werden.

So können mit dem vorgeschlagenen System eine höhere Heizleistung, gute Effizienz und flexible Regelung der Raumtemperatur, aber auch hoher Komfort und IAQ erreicht werden.

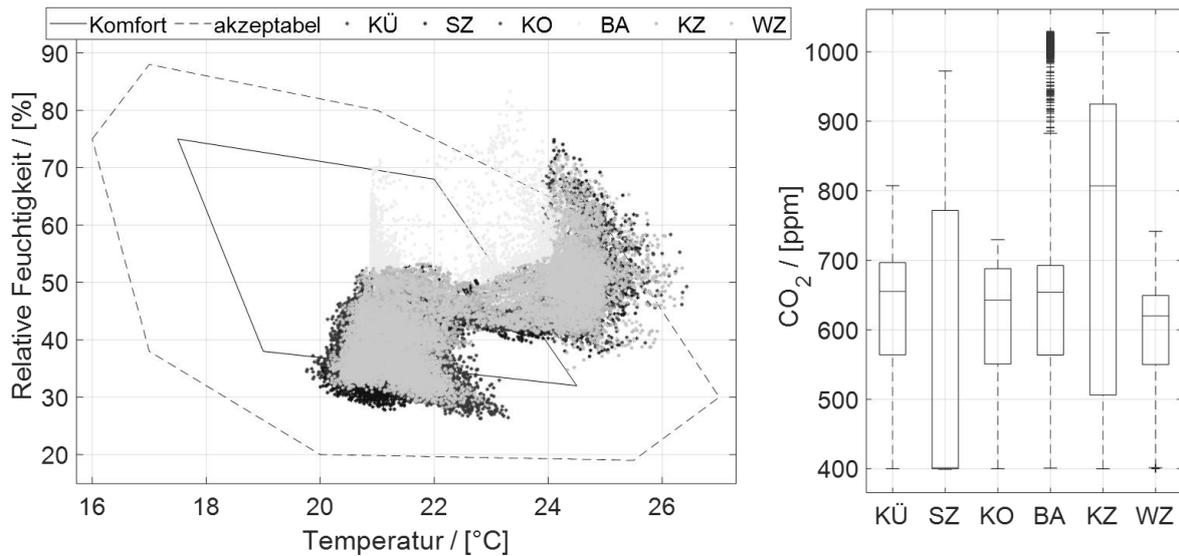


Abbildung 7: Stundenwerte der relativen Feuchte vs. Temperatur für jeden Raum der Wohnung (links) und Box-Plot der CO₂-Konzentration (rechts) bei Berücksichtigung der Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Sekundärluftzirkulation - KÜ: Küche, SZ: Schlafzimmer, KO: Korridor (Flur), BA: Bad, KZ: Kinderzimmer, WZ: Wohnzimmer

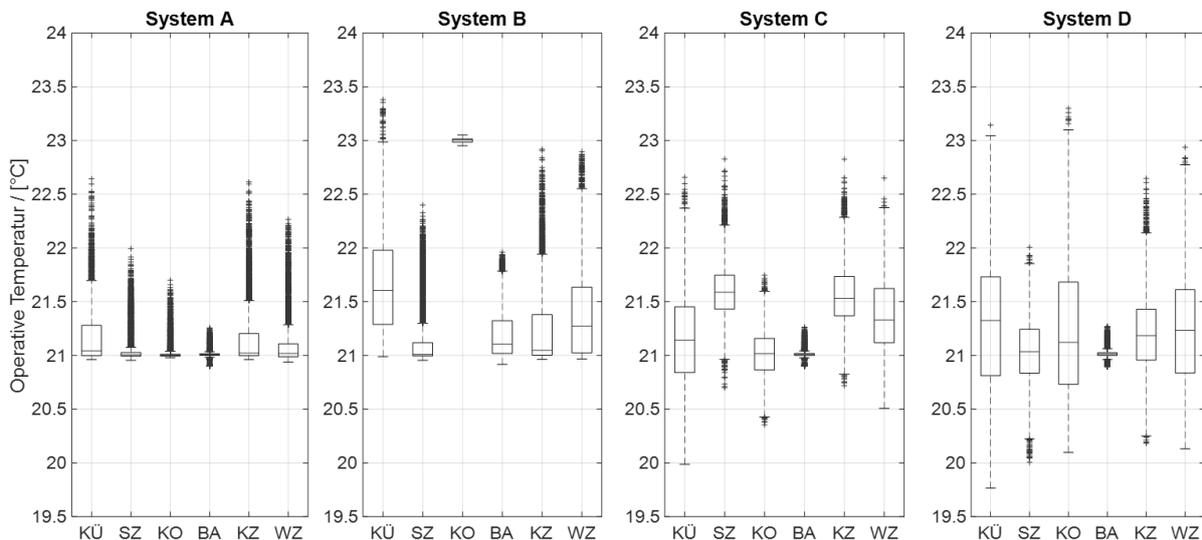


Abbildung 8: Raumtemperatur während der Heizperiode für jeden Raum der Wohnung für die vier analysierten Heizsysteme (d.h. raumweise elektrische Heizkörper (A), Splitgerät mit Inneneinheit im Korridor (B), Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe (C) und Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Sekundärluft (D))

Wie in den Abschnitten oben bereits ausführlich vorgestellt, ist die Heizungswärmepumpe mit zwei Wärmeübertragern, einem Kondensator und einem Enthitzer ausgestattet. Die Sekundärluft, die aus dem Korridor bzw. Flur der Wohnung kommt, wird durch den Enthitzer erwärmt und wieder in den Flur eingebracht. Der Einsatz von zwei Wärmeübertragern mit zwei getrennten Luftströmen fügt dem System einen neuen Freiheitsgrad für die Regelung hinzu, der es ermöglicht, Heizenergie nur mit der Zuluft (d.h. mit dem Kondensator) oder mit Zu- und Sekundärluft (d.h. mit Kondensator und dem Enthitzer) einzubringen.

Dieses neue Konzept (d.h. System «D») wurde mit anderen drei möglichen Sanierungslösungen bezüglich der Effizienz verglichen.

System «C» und System «D» weisen deutlich bessere Ergebnisse auf als die beiden anderen Heizkonzepte (vergleiche Abbildung 9). Die Energieeffizienz der Systeme «C» und «D» ist bei Heizlasten kleiner als 1,2 kW vergleichbar, aber das System D kann auch bis zu 2,5 kW einen besseren thermischen Komfort in der Wohnung gewährleisten.

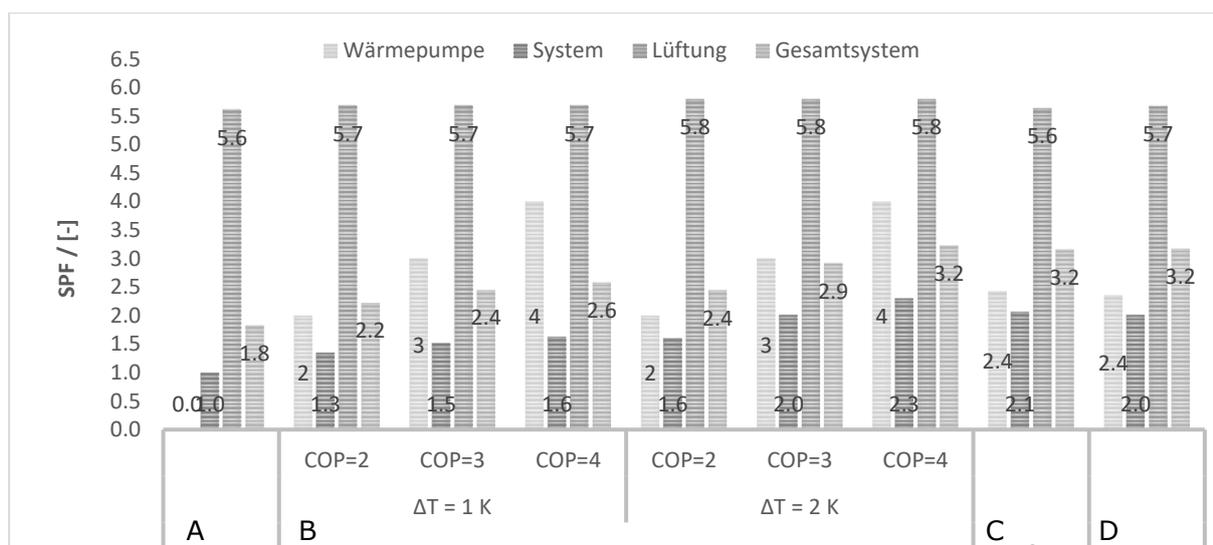


Abbildung 9: Jahresarbeitszahlen (SPF) für die vier untersuchten Heizsysteme. Für die Split-Wärmepumpe (d.h. System «B») werden SPF für unterschiedliche Überhitzungen des Korridors (ΔT , Überhitzung des Korridors im Vergleich zu den anderen Räumen der Wohnung) und unterschiedliche Leistungszahlen (COP) der Split-Wärmepumpe angenommen.

8. Wirtschaftlichkeit

Das Sanierungskonzept basierend auf den beiden im Rahmen des Projekts SaLüH! entwickelten Wärmepumpen (Lüftungs-Heizungswärmepumpe und Trinkwarmwasser-Wärmepumpe) bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu einem Referenzsystem bewertet. Mithilfe der am Projekt beteiligten Industriepartner wurden realistische Kosten für das Referenzsystem sowie die jeweils benötigte Verrohrung, weiteres Zubehör, Installation, Inbetriebnahme und Wartung abgeschätzt. Alle Kosten sind Bruttoangaben und enthalten. In einem zweiten Schritt wurden dann die Grenzkosten bestimmt, unter denen die dezentralen Wärmepumpen liegen müssten, um wirtschaftlich konkurrenzfähig mit dem Referenzsystem zu sein.

Anmerkung: Es wurde zwar für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ein zentrales Referenzsystem angesetzt, jedoch soll das vorgeschlagene Konzept nur dann zum Einsatz kommen, wenn eine zentrale Lösung aus diversen Gründen nicht möglich ist. Der Vergleich mit einem zentralen System ist dennoch lehrreich und erforderlich.

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung wurde mit der Kapitalwertmethode durchgeführt. Dabei werden alle Kosten, die zu späteren Zeitpunkten anfallen, auf den Investitionszeitpunkt abgezinst (Strompreissteigerung 0,5 %, Kapitalzinsen 2,0 % Inflationsrate 1,0 %). Bei der Analyse wurden die Investitionskosten und ggf. Reinvestitionen sowie Betriebskosten inklusive Wartungskosten berücksichtigt. Die Betriebskosten für das zentrale Referenzsystem und für die dezentralen Wärmepumpen wurden jeweils mit dem PHPP unter Berücksichtigung von Speicher und Leistungsverlusten und mit durch Simulationen überprüften Effizienz der Wärmepumpen ermittelt.

Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist, dass die Geräte bei den aktuellen Stromkosten in Österreich etwa 9.000 EUR inklusive Montage und Umsatzsteuer kosten dürfen, um wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein (also z.B. 6.000 EUR für die Lüftungs-Heizung-Wärmepumpe und 3.000 EUR für die Trinkwarmwasserwärmepumpe). In Deutschland dürfen die Kosten wegen der höheren Strompreise (derzeit 30 Eurocent in Deutschland statt 18 Eurocent in AT) bei etwa 10.000 EUR liegen. Es erscheint realistisch, dass bei einer breiten Markteinführung, solche Gerätepreise erreicht werden. Durch die kompakte Bauweise können beide Geräte äußerst platzsparend in die Fassade oder ins Gebäude integriert werden (z.B. die Heizungs-Lüftung-WP in der Küche als Deckengerät und der Außenteil in die Fassade integriert und die TWW-WP in der Fensterbrüstung im Bad) und damit in nahezu jeder hochwertig sanierten Wohnung zur Anwendung kommen.

9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Das SaLüH!-Konzept – der Einsatz von dezentralen Kleinst-Wärmepumpen für Heizung (kombiniert mit der Lüftungsanlage) und für Trinkwarmwasser in der Sanierung von mehrgeschossigen Wohnbauten – wurde mittels Simulationsstudien überprüft und bewertet. Es konnten dabei drei sich ergänzende technische Lösungsansätze erarbeitet und als Funktionsmuster umgesetzt werden:

- Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe (Schwerpunkt in diesem Beitrag)
- Kompakte Trinkwarmwasser-Wärmepumpe mit Speicher
- Aktive Überströmer

Diese Funktionsmuster wurden anschließend im Labor getestet und bewertet. In umfangreichen Simulationsstudien, mit durch Messungen parametrisierten Modellen, wurden diese unter verschiedenen Randbedingungen (virtuell) getestet, optimiert und bewertet. Damit stehen theoretisch Lösungen für die wohnungsweise Sanierung zur Verfügung. Diese sollen insbesondere dann zum Einsatz kommen können, wenn eine zentrale Sanierung oder Nachrüstung der Heizungs- und Lüftungsanlage nicht möglich ist oder ein ökonomischer Vorteil erwartet wird. Damit kann zukünftig ein Einsatz von E-Boilern und E-Heizungen, mit entsprechend ineffizientem Einsatz von Strom, oder von Gas-Boilern vermieden oder zumindest reduziert werden. Es können ausgezeichnete Luftqualität und hoher thermischer Komfort erreicht werden, wie durch die umfangreichen Simulationsstudien gezeigt werden konnte.

Praktisch müssen die Technologien zu marktreifen Produkten weiterentwickelt werden und sich am Markt durchsetzen. Dies hängt maßgeblich von den wirtschaftlichen und politischen Randbedingungen (Energiepreis, Förderung, Ausstieg aus Gas, etc.) ab. Generell lässt sich schlussfolgern, dass Lösungen für die Heizung und Warmwasserbereitung im Mehrgeschosswohnungsbau auf Basis von dezentralen Kleinst-Wärmepumpen in Kombination mit einem Lüftungsgerät vielversprechend sind, jedoch bei den derzeitigen Randbedingungen (v.a. Energiepreisen) ein wirtschaftlicher Einsatz kaum möglich ist.

Es konnte bei der Entwicklung der Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe auf Erfahrungen des kurz vor Projektstarts abgeschlossenen EU-Projekts iNSPiRe zurückgegriffen werden, in dem ein Funktionsmuster einer Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe in eine vorgefertigte Holzfassade integriert wurde. Dieses Funktionsmuster wurde im Labor der UIBK sowie in einem Demogebäude (Mehrfamilienhaus in Ludwigsburg, Deutschland) getestet und vermessen. Das Ziel in SaLüH! war die Verbesserung der Effizienz und v.a. die Steigerung der Leistung der Wärmepumpe von unter 1 kW auf für die Sanierung notwendigen 2,5 kW. Dafür sollte zusätzlich Umluft (Sekundärluft) für die Wärmeabgabe als auch zusätzliche Außenluft als Wärmequelle verwendet werden.

Die Funktionsmuster wurden detailliert im Labor vermessen. Die Vermessung der Lüftungs-Heizungs-Wärmepumpe erfolgte im Kompaktgeräte-Prüfstand der UIBK, welcher für SaLüH! angepasst und erweitert wurde. Es erfolgte zunächst die Vermessung der Komponenten (Wärmeübertrager, Feuchteübertrager, Verdampfer, Kondensator, Kompressor, Inverter und Ventilatoren) und dann die Vermessung des Gesamtsystems. Für alle Komponenten wurden Simulationsmodelle erstellt.

Enthalpieübertragern werden mehr und mehr nachgefragt, um dem Problem der zu trockenen Luft bei kalten Außenlufttemperaturen im Winter entgegenzuwirken. Außerdem wird durch die Verwendung eines Enthalpieübertragers Kondensatbildung im Wärmeübertrager vermieden bzw. zumindest deutlich reduziert, wodurch die Möglichkeit entsteht, das Gerät als deckenhängendes Gerät auszuführen. Der Einfluss der Feuchteübertragung auf die Effizienz bei einer Fortluft-Zuluft-Wärmepumpe wurde im Rahmen des Projekts SaLüH! erstmals systematisch untersucht.

Die Integration der Komponenten (vollständig oder zumindest teilweise) in die Fassade war ein weiterer Aspekt des Projekts SaLüH!. Fassadenintegration verspricht einen breiteren Einsatz, z.B. auch in Gebäuden mit sehr kleinen Wohnungen, in denen kein Platz für die Heizungstechnik vorhanden ist. Innerhalb des Projektes SaLüH! wurde auf Konzeptebene die Heizungswärmepumpe und die Kleinst-Trinkwarmwasserwärmepumpe jeweils in eine vorgefertigte Holzfassade, als auch in die Bestandswand integriert. Es zeigte sich,

dass zum einen das benötigte Volumen des Gerätes für solch eine Leistung (2,5 kW) und damit verbunden relativ hohen Volumenstrom (100 m³/h hygienischer Luftwechsel und 100 m³/h Sekundärluft-Zirkulation) auch bei maximal möglicher Kompaktheit so groß ist, dass eine vollständige Integration nur bei Modularer Bauweise möglich ist und zum anderen, dass die Rohrführung bei Integration in die Bestandswand (Fensterbrüstung) schwierig ist. Entsprechend wurde schwerpunktmäßig an der Integration der Heizungswärmepumpe in eine vorgefertigte Holzfassade gearbeitet.

Ein Funktionsmuster der Außeneinheit der Lüftungs-Heizungswärmepumpe wurde in einer Holzrahmen-Fassade integriert im Außenlabor (PASSYS Testzelle der UIBK) montiert und erfolgreich getestet. Die Fassade wurde mit im Werk bereits vollständig integrierter Außeneinheit der Lüftungs-Heizungswärmepumpe geliefert. Es wurden praktische Aspekte der Handhabbarkeit und Installation getestet sowie bauphysikalische Messungen (Schallemissionen, Kondensatvermeidung) durchgeführt. Die Messergebnisse wurden zudem verwendet um thermische (3D) und hygrothermische Modelle (2D) zu parametrieren. Damit können diese Modelle bzw. Simulationswerkzeuge zuverlässiger für zukünftige Planungen eingesetzt werden.

Danksagung

Die hier präsentierten Ergebnisse sind Teil des Forschungsprojekts «SaLÜH! Sanierung von MFH mit kleinen Wohnungen - Kostengünstige technische Lösungsansätze für Lüftung, Heizung und Warmwasser» (2015-2018). Förderprogramm Stadt der Zukunft, FFG, Projektnr.: 850085. Stadt der Zukunft ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Literaturverzeichnis

Bettgenhäuser, K., & Boermans, T. (2011). *Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland - ein Vergleich*. Köln: Umweltbundesamt.

Passivhausinstitut. (07. 12 2018). *Passivhausinstitut Component Award 2016*. Von https://passiv.de/de/08_award/01_component_award/01_component_award_2016.html abgerufen

Pehnt, M. (2009). *Energiebalance - Optimale Systemlösungen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Sibille, E. (2015). *Optimized Integration of Ventilation with Heat Recovery in Residential Buildings through the Implementation of innovative Air Distribution Strategies and Pre-fabricated Components*. *Dissertation*. Innsbruck.

Siegele, D. (2019). *Optimization and Appliance of small Air Exhaust Heat Pumps with Focus on Alpine Regions*. *Disseration*.

Wetter, M. (2011). *Co-Simulation of building energy and control systems with the Building Controls Virtual Test Bed*. *Journal of Building Performance Simulation*(4), S. 185-203.

EnergieMonitoring – eine notwendige Massnahme für einen effizienten Gebäude- und Anlagenbetrieb

Prof. Uli Spindler
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



EnergieMonitoring – eine notwendige Massnahme für einen effizienten Gebäude- und Anlagenbetrieb

1. Einleitung

Der Gebäudebereich verursacht laut IEA weltweit etwa 40 % der direkten und indirekten CO₂-Emissionen [1], für das Erreichen jeglicher Klimaziele also eine wichtige Stell-schraube. Gleichzeitig gibt es im Gebäudebereich extrem große Fortschritte, was den Energieverbrauch von neuen Gebäuden betrifft, in der Jahresbilanz sind sogar Plusenergiehäuser zumindest im Ein- und Zweifamilienhausbereich problemlos realisierbar. Das Gebäude wird immer mehr zum Energieerzeuger.

Die Reduzierung des Energieverbrauchs wird vor allem durch zwei Entwicklungen erreicht, wesentliche Verbesserungen der Gebäudehülle und eine immer effizientere Gebäudetechnik. Bei der Hülle wurden in den letzten 25 Jahren einfach durch passive Maßnahmen die Dämmwerte und die Gebäudedichtheit in etwa um den Faktor 10 erhöht. Bei der Gebäudetechnik werden die Verbrauchsreduktionen durch eine zunehmende Technisierung einhergehend mit immer aufwändigeren Anlagen und komplexerer Regelung erreicht. Durch die rasende Entwicklung der digitalen Vernetzung werden Gebäude auch immer mehr auf die Anforderungen der Versorgungsnetze reagieren können, um so z.B. auch Energie zu speichern und damit für Entlastung der Versorgungsnetze zu sorgen. Das bedeutet, dass die Gebäude auch auf Quartiersebene in eine komplexe Regelung eingebunden werden.

Ein gerade entstehender Entwicklungstrend ist die prädiktive Regelung. Die thermisch meistens sehr trägen Gebäude sollen so geregelt werden, dass Wettervorhersagen mit in die Regelung einbezogen werden und so noch mehr Energie gespart wird, weil beispielsweise die Heizung vorab die Wärmezufuhr reduziert, wenn ein sonniger Tag mit hohen solaren Gewinnen vorhergesagt ist. Auch hier wird sich eine weitere Zunahme der Komplexität in der Regelung und im Zusammenspiel verschiedener Anlagen ergeben.

2. Die Realität

Soweit die Theorie, doch wie sieht die Realität aus? Ehrlicherweise muss man sagen, man weiß es nicht, denn es wird kaum nachgeschaut. Bei den wenigsten Gebäuden werden überhaupt Daten aufgezeichnet. Und dann gibt es noch viele größere Gebäude, in denen die Gebäudeleittechnik die Daten zwar aufzeichnet, diese aber von niemandem analysiert werden. Man kann also nur von den wenigen Gebäuden, die gemonitort werden, auf die übrigen schließen und das lässt auf erhebliches Einsparpotential durch Optimierung des Gebäudebetriebs schließen. In allen Monitorings, die von unserer Forschungsgruppe durchgeführt wurden, haben wir bis jetzt immer Fehler in den Anlagen und Regelungen gefunden, die ohne ein Monitoring sicherlich unentdeckt geblieben wären. Von anderen Forschungsgruppen hört man ähnliches.

Im Folgenden sind exemplarisch Fälle aus verschiedenen Bereichen mit unterschiedlichen Ursachen dargestellt, um zu zeigen wie sich die Problematik über alle Gewerke erstreckt.

2.1. Solarthermie

Das technische Prinzip einer Solarthermieanlage ist eigentlich sehr einfach. Erstaunlicherweise scheinen trotzdem häufig Probleme aufzutreten. Jedenfalls gab es in jedem der drei Forschungsmonitorings der TH Rosenheim Solarthermieanlagen, die unter ihren Möglichkeiten blieben. Fehlerursache waren entweder Temperaturfühler, Regelung oder hydraulische Einbindung. Interessant ist, dass sich bei zwei unterschiedlichen Anlagen ein ähnliches Fehlermuster ergab. In beiden Fällen war der Wärmeabtransport nicht ausreichend, so dass die Anlagen oft schon beim Anfahren überhitzten. Aufgrund der dadurch

einsetzenden Dampfblasenbildung waren die Anlagen dann für den Rest des Tages hydraulisch blockiert und konnten frühestens nach Abkühlung, meist am nächsten Morgen, wieder Wärme liefern.

Im einen Fall wurde das Problem zuerst im Sommerbetrieb entdeckt. Die Solarpumpe war zu niedrig eingestellt, so dass durch die geringe Durchströmung bei hohen solaren Einstrahlungen die Temperatur am Austritt der Solaranlage zu groß wurde und die Schutzschaltung ansprach, obwohl sekundärseitig der Speicher die Wärme problemlos abnehmen hätte können. Nach Behebung des Fehlers wurde bei dieser Anlage im Winterbetrieb nochmal das gleiche Problem gefunden. Die Ursache war nun eine stark reduzierte Anfahrschaltung der Solarpumpe im Winterbetrieb, die eigentlich verhindern soll, dass unnötig Wärme verloren geht, weil die Solarpumpe bereits läuft, obwohl die Solaranlage noch nicht genügend Wärme liefert. An sonnigen Wintertagen war die Leistung der Röhrenkollektoren jedoch schon so groß, dass die Abschaltungstemperatur erreicht wurde, bevor die Solarpumpe hochgeregelt wurde.

Bei der anderen Anlage lag das Problem auf der Abnahmeseite. Diese Anlage speist in ein Wärmenetz ein und die Hauptpumpe im Netz erzeugte einfach einen höheren Druck als die sekundärseitige Pumpe der Solaranlage, mit der die Wärme der Solaranlage in das Netz gepumpt werden sollte. Im Ergebnis konnte die Wärme aus der Solaranlage, diesmal sekundärseitig, auch nicht abgeführt werden und die Anlage überhitzte ebenfalls. Gelöst werden konnte das Problem durch einen reduzierten Betrieb der Hauptpumpe in Zeiten, in denen die Solaranlagen Wärme ins Netz liefern.

2.2. Wärmepumpe

Viele Wärmepumpen erreichen die Planwerte nicht. Bei den meisten liegt es daran, dass die Heizungsvorlauftemperaturen auf Grund von Regelungs- oder Hydraulikfehlern zu hoch sind. Im gezeigten Beispiel (Abb. 1) zweier Grundwasserwärmepumpen aus einem Plusenergiegebäude war die hydraulische Einbindung und Regelung gut, was an den geringen Abweichungen zwischen den gemessenen und geplanten Arbeitszahlen zu sehen ist. Sobald man den Energieverbrauch für die Grundwasserpumpe mit in die Arbeitszahl einrechnet, sinken jedoch die Arbeitszahlen auf Werte, die im untersuchten Gebäude auch problemlos mit guten Luftwärmepumpen zu erreichen gewesen wären. Der Grund für den hohen Strombedarf der Grundwasserpumpe hat einen einfachen Grund, das Grundwasser befindet sich dort in einer Tiefe von 30 Metern. Im Gegensatz zu Tiefensonden, bei denen die Sonden ein geschlossener Kreislauf sind und die Tiefe keine Rolle spielt, ist der Grundwasserkreis nicht geschlossen, so dass mit zunehmender Tiefe der Pumpaufwand steigt.

Den Hinweis in der Installationsanleitung des Herstellers, dass von Grundwasserwärmepumpen abzuraten ist, wenn das Grundwasserspiegel tiefer als 15 m liegt, hatte offensichtlich niemand gelesen.

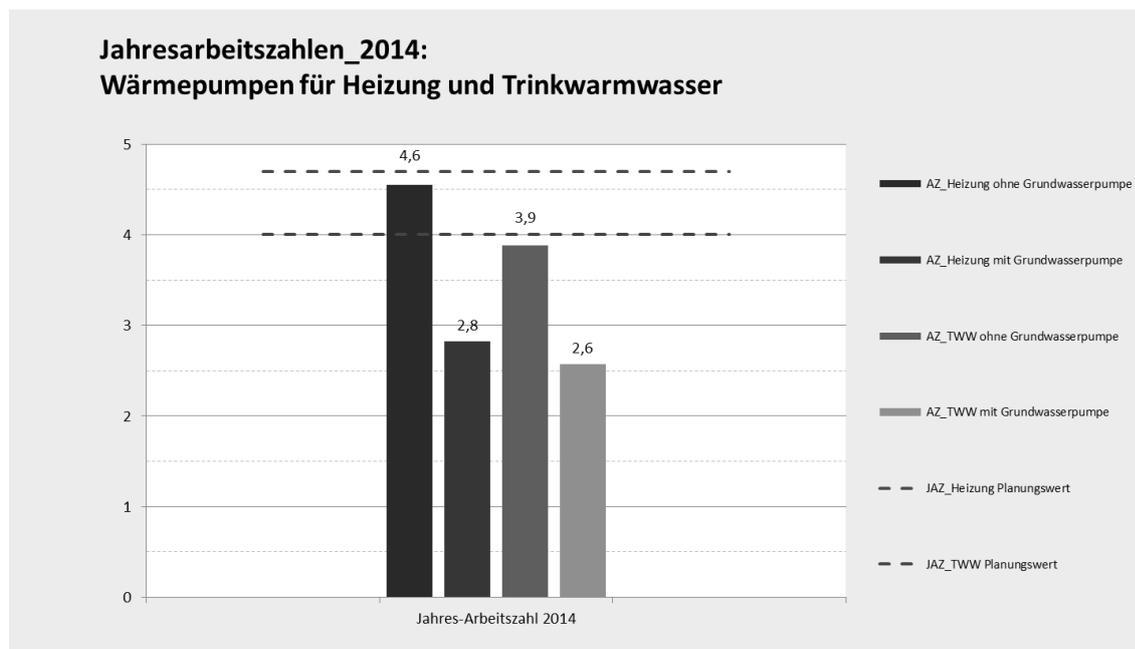


Abbildung 1: Jahresarbeitszahlen der Heizungs- und Trinkwasserwärmepumpe mit und ohne Grundwasserpumpe [2]

2.3. Lüftungsanlage

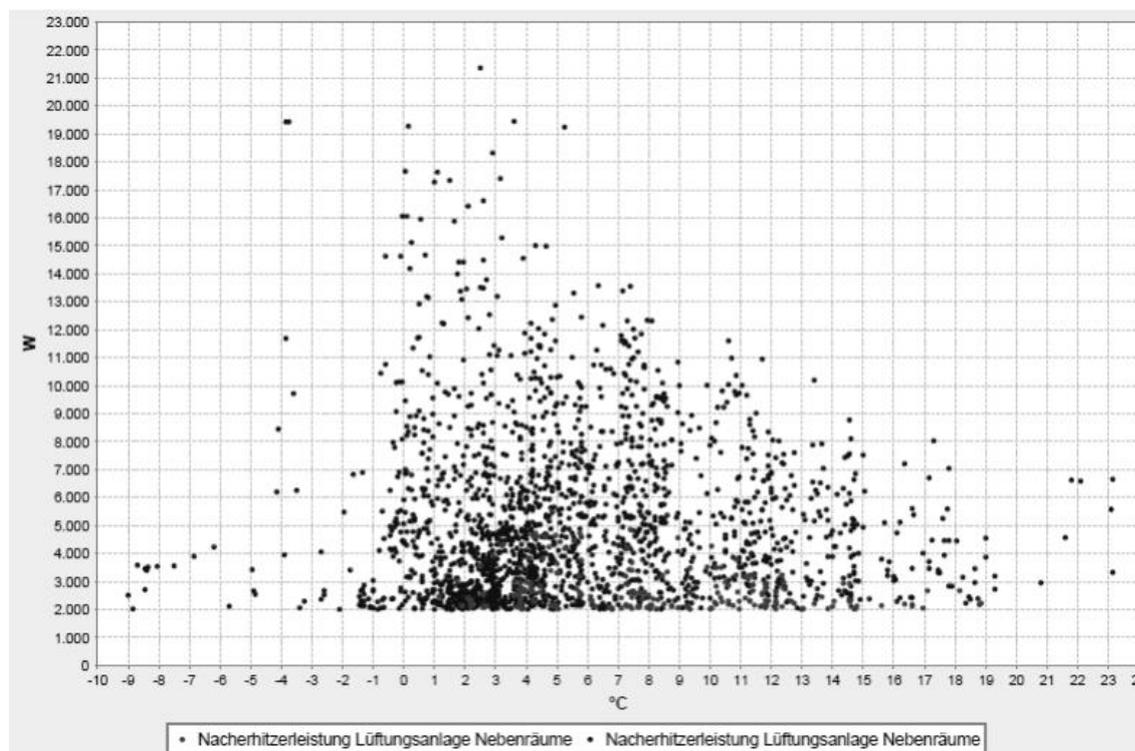


Abbildung 2: Nacherhitzerleistung in Abhängigkeit von der Außentemperatur: Eine klare Abhängigkeit zwischen Außentemperatur und der Leistung des Nacherhitzers ist nicht erkennbar. Es treten außentemperaturunabhängig hohe Nacherhitzer-Leistungen auf [3]

Aus demselben Gebäude stammt auch das nächste Beispiel. Das Gebäude besitzt eine Lüftungsanlage mit einem regelbaren Wärmerückgewinnungsgrad. Für ein hochgedämmtes Gebäude mit hohen solaren Gewinnen eine sehr sinnvolle Eigenschaft. Auf die Wärmerückgewinnung folgt ein Nacherhitzer, um auch bei kalten Außentemperaturen die Luft auf die gewünschte Zulufttemperatur bringen zu können. Bei der Analyse der Lüftungsanlagen fiel auf, dass der Nacherhitzer mit erheblicher Heizleistung lief, obwohl die Wärmerückgewinnung nur auf einen geringen Rückgewinnungsgrad geregelt hat (blaue Punkte

in Abb. 2). Das heißt, eigentlich hätte zuerst die Wärmerückgewinnung auf maximale Leistung regeln müssen und nur die fehlende Restwärme durch den Nacherhitzer erbracht werden dürfen (rote Punkte).

Als Ursache konnte ein Fehler in der Regelungsstrategie ausgemacht werden. Sowohl der Nacherhitzer als auch die Wärmerückgewinnung regelten auf die Lufttemperatur nach dem Nacherhitzer. Da tendenziell die Erwärmung durch den Nacherhitzer schneller erfolgte als durch die trägere Wärmerückgewinnung, wurde die Wärmerückgewinnung gedrosselt, da die Solltemperatur der Zuluft ja schon erreicht war. Ein klassisches Beispiel für einen Regelungsfehler bei Mehrfachanlagen.

2.4. Beleuchtung

Da sich im Gebäude auch bei der Beleuchtung deutliche Abweichungen des Verbrauchs von der Bedarfsprognose ergeben haben (+25%), wurde auch dieser Bereich genauer untersucht. Geplant war in einem Großteil der Räume eine tageslichtabhängige Regelung der Deckenleuchten, die die Beleuchtungsstärke entsprechend dem Tageslichtangebot dimmen sollte.

Im Diagramm (Abb. 3) ist der Dimmwert über die Globalstrahlung für den November aufgetragen. Deutlich kann man einen Bereich sehen, in dem das Licht mit zunehmendem Tageslicht zwischen etwa 20 und 70% geregelt wird. Man sieht aber auch ebenso gut die Ursache des erhöhten Verbrauchs. Es gibt einen Bereich, in dem die Beleuchtung unabhängig vom Tageslicht auf fast 100% Beleuchtungsstärke eingestellt ist.

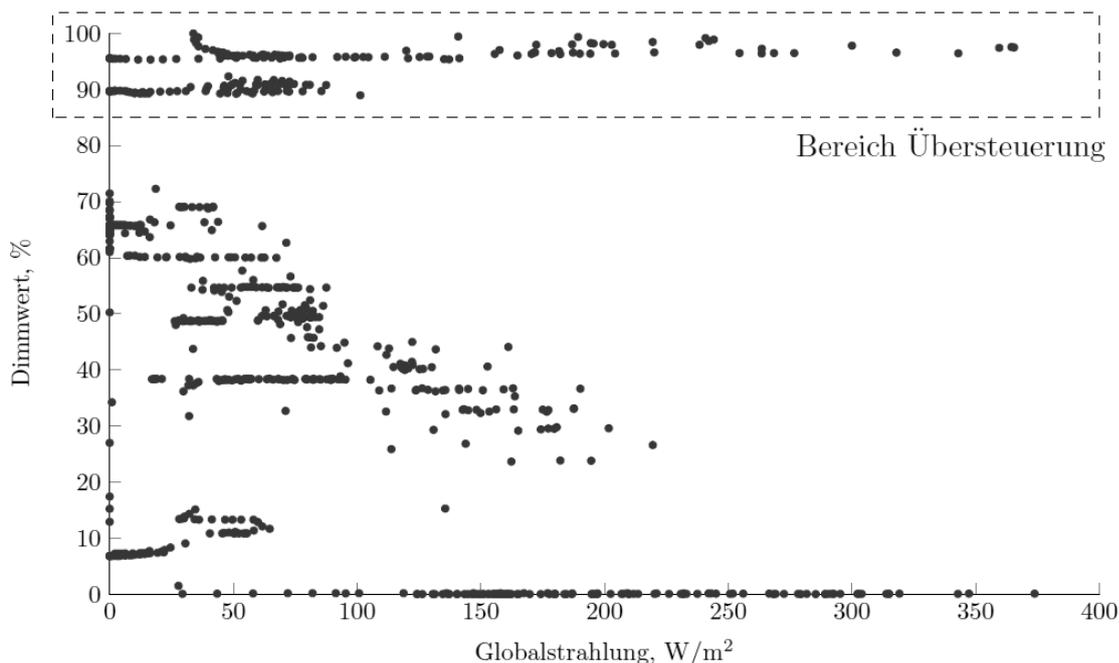


Abbildung 3: Dimmwert in Abhängigkeit vom Strahlungsangebot im November 2014: Während die Dimmwerte im Bereich zwischen 0 % und 70 % bei zunehmendem Strahlungsangebot abnehmen, gibt es bei annähernd 100 % Dimmwert eine große Anzahl an tageslichtunabhängigen Beleuchtungseinstellungen [3]

Eine genauere Vermessung der Räume zeigte folgendes Fehlerbild: die Räume waren ungleichmäßig ausgeleuchtet, da keine Zonierung der Beleuchtung vorgesehen war. Der Sensor für die Tageslichtregelung war relativ nahe am Fenster eingebaut und die Regelung konnte vom Nutzer übersteuert werden und behielt diesen Wert anschließend bis zum manuellen Ausschalten des Lichts bei. Durch die ungleichmäßige Ausleuchtung wurde der fensterferne Teil des Raumes von den Nutzern oft als zu dunkel empfunden und daher manuell übersteuert, was durch die Struktur der Regelung meist für den Rest des Tages beibehalten wurde. Da die verbauten Sensoren sogar mehrzonig messen konnten, wurde die Lichtsteuerung auf zwei Zonen umgestellt, die auch vom Nutzer unabhängig gedimmt werden konnten. Dadurch ergab sich eine gleichmäßigere Ausleuchtung des Raumes und

die Nutzer greifen nun seltener in die Regelung ein. Da die Übersteuerung meist die fensterferne Zone betrifft, die sowieso mehr Kunstlicht benötigt, ist für diese Zone der Zusatzverbrauch durch die Übersteuerung nicht so hoch. Leider konnten keine vergleichenden Verbrauchsmessungen mehr gemacht werden, da die Umsetzung erst gegen Ende des Monitorings erfolgte.

2.5. Heizkessel

In einem Monitoring, das ein Kollege schon vor längerer Zeit durchgeführt hatte, zeigte sich, dass der verbaute 450 kW Pelletkessel deutlich mehr Pellets verbrauchte als prognostiziert war. Die in Abbildung 4 dargestellte mitaufgezeichnete Abgastemperatur zeigt, dass bei höheren Leistungen die Abgastemperatur über 300°C stieg. Mit 62% fiel der mittlere Kesselwirkungsgrad entsprechend niedrig aus. Ein hinzugezogener Gutachter bestätigte, dass der Kessel nicht dem Stand der Technik entsprach, der Kessel war eigentlich nur für kleinere Leistungen geeignet. Hier wurde geplant, durch einen Abgaswärmtauscher und zusätzliche Dämmmaßnahmen am Kessel, das Problem zu lösen.

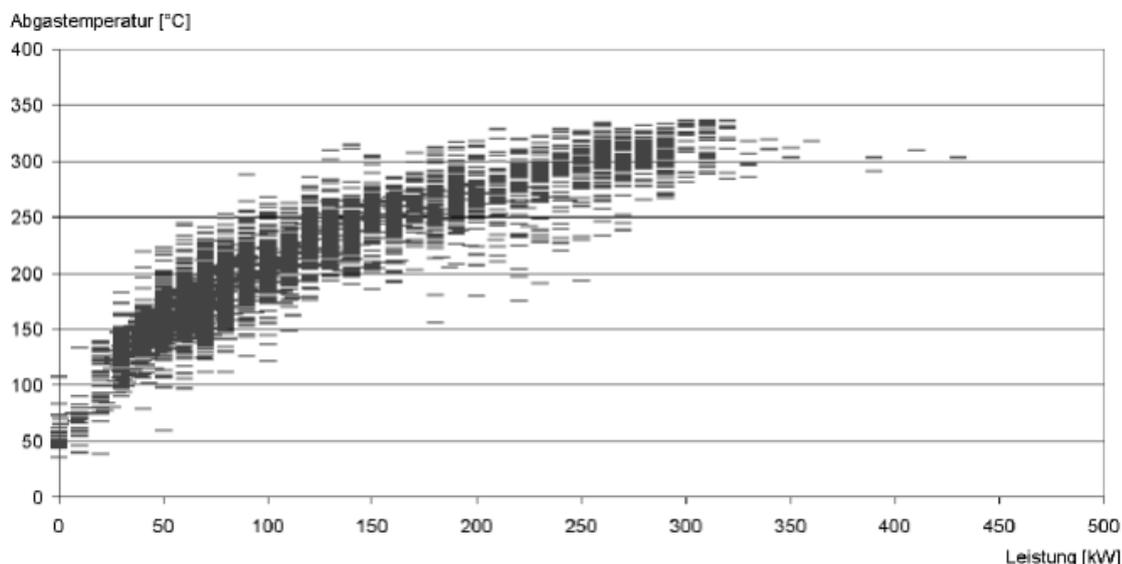


Abbildung 4: Stundenmittelwerte der Abgastemperatur des Holzessels aufgetragen über der Leistung [4]

3. Zusammenfassung und Fazit

Gerade Fehler in mehrstufigen Anlagen wie in den Beispielen der Lüftung und Solarthermie sind dafür prädestiniert, ohne Monitoring unentdeckt zu bleiben, da die regenerativen Wärmeerzeuger mit einem zweiten Wärmeerzeuger kombiniert sind, der bei unzureichendem regenerativen Wärmeangebot die fehlende Wärmeversorgung übernimmt. Die Gesamtanlage tut ja, was sie soll, nämlich ausreichend Wärme zu liefern, allerdings mit einem höheren Verbrauch des zweiten, üblicherweise nicht-regenerativen Wärmeerzeugers.

Die meisten der gezeigten Beispiele wären vermutlich ohne Monitoring nur durch Zufall entdeckt worden. Im Normalfall wären also die Gebäude ineffizient weiter betrieben worden. Es ist also davon auszugehen, dass bei vielen Gebäuden ein Potenzial zur Energieeinsparung nicht gehoben wird, da es durch fehlendes Monitoring unentdeckt bleibt. Leider gibt es auch Beispiele, bei denen die gefundenen Fehler nicht behoben wurden. Üblicherweise sind dies Fälle, in denen die Mängelbeseitigung zu teuer ist und die Schuldfrage nicht geklärt werden kann oder die Schuldigen durch die Abnahme schon aus der Pflicht entlassen worden sind.

Gerade beim letzteren scheint es sich um ein strukturelles Problem der zunehmend komplexen Technik im Gebäudebereich zu handeln. Die Anlagen der verschiedenen Gewerke sind über eine aufwändige Regelung miteinander gekoppelt, werden allerdings oft genug nur mit einfachen Funktionstests abgenommen. Ob die Anlage aber in den vielfältigen Betriebsmodi im Zusammenspiel mit den anderen Anlagen richtig reagiert, wird nicht geprüft. Vielfach wäre das auch nicht möglich, da hierzu keine ausreichenden detaillierten

Planungsunterlagen erstellt wurden. Es gibt zwar erste systematische Ansätze wie z.B. den Energie-Naviator, die aber noch keine große Verbreitung gefunden haben. Eine Lösung wäre hier sicher, wie von einigen gefordert, eine «HOAI-Phase 10», in der eine Leistungsbeschreibung für eine Inbetriebnahmephase geregelt werden sollte.

Nachdem gezeigt wurde, dass Monitoring für den effizienten Betrieb von modernen Gebäuden dringend notwendig ist, bleibt die Frage zu klären, warum so wenige Gebäude gemonitort werden. Es gibt sicherlich viele Gründe, aber vorrangig dürfte im Moment die Wirtschaftlichkeitsfrage sein. Ein Monitoring verursacht Kosten, auf der Investitions- als auch Personalseite, und es kann, ohne schon Daten gesammelt zu haben, nie sicher gesagt werden, ob es überhaupt Einsparpotenziale gibt und wie hoch diese sein können – eine echte Herausforderung für jeden Verkäufer. Sicher kann nur gesagt werden, dass die Wahrscheinlichkeit der Rentabilität eines Monitorings mit den Betriebskosten und damit mit der Gebäudegröße steigt.

Abschließend lässt sich feststellen, dass für den effizienten Betrieb von modernen Gebäuden mit komplexer Analgentechnik energetisches Monitoring nötig ist, jedoch aus wirtschaftlichen und auch personellen Gründen im Normalfall nicht praktiziert wird. Der einzige Weg, um Monitoring zum Normalfall zu machen, kann nur über Kostenreduktion oder gesetzliche Vorschriften führen. Durch die gesetzliche Einführung von Smartmetern in der EU werden zumindest die Abrechnungszähler soweit ertüchtigt, dass sie sich für ein Basismonitoring eignen. Mit Hilfe eines Basismonitorings kann dann überprüft werden, wie weit das Gebäude von den vorhergesagten Planungswerten abweicht. Über die Differenzen lässt sich das Einsparpotential abschätzen und es kann dann eine zahlenbasierte Entscheidung über ein weitergehendes Monitoring zur Fehlersuche getroffen werden.

Nachteil bei dieser Methodik ist allerdings, dass der Einbau der Messtechnik für ein Monitoring während der Bauphase durch den verringerten Verdrahtungsaufwand einen Bruchteil der Kosten verursacht gegenüber einer Nachrüstlösung. Durch die steigende Omnipräsenz von funkbasierter Sensorik und wachsenden Smarthome-Anwendungen zeichnet sich allerdings auch hier eine Trendwende ab. Der zweite große Kostenverursacher bei Monitorings ist die Datenanalyse. Interessant wird, ob sich hier durch die Entwicklung der Künstlichen Intelligenz in absehbarer Zeit eine Kostenreduktion erreichen lässt.

4. Literaturverzeichnis

- [1] IEA, Energy Efficiency: Buildings:
<https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/>
Abgerufen am: 17.2.2019
- [2] Plus-Energie-Kinderhaus in Höhenkirchen-Siegersbrunn – Vorbild für eine neue Generation; Andreas Hack, Mathias Wambsganß, Uli Spindler; OTTI Energieeffizienzhaus Fachforum, 14. - 15.07.2015, Hamburg
- [3] Abschlussbericht: Plus-Energie-Kinderhaus Höhenkirchen-Siegersbrunn, Teilprojekt der Hochschule Rosenheim: Monitoring; Mathias Wambsganß, Andreas Hack, Uli Spindler; BMWi FKZ 0327430P; 2016, Rosenheim
- [4] Abschlussbericht: Neubau "Ostarkade" der KfW Bankengruppe, Frankfurt a.M.; Prof. Dipl.-Ing. Andreas Wagner, Dipl.-Ing. Michael Kleber, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Gropp; BMWi, FKZ 0335007F; 2006, Karlsruhe

Schallschutz – Interaktion mit konstruktiven Anforderungen

Schall- und Luftdichtheit von Fenstern in der Renovation

Barbara Wehle
Berner Fachhochschule AHB
Biel, Schweiz



Prof. Dr. Christoph Geyer
Berner Fachhochschule AHB
Biel, Schweiz



Amabel Mélian Hernandez
Berner Fachhochschule AHB
Biel, Schweiz



Schall- und Luftdichtheit von Fenstern in der Renovation

1. Einleitung

Im Rahmen des bereits abgeschlossenen Forschungsprojektes «Schallschutz und Luftdichtheit historischer Fenster - Untersuchung des Einflusses der Fugendurchlässigkeit auf den Schallschutz und die Lüftungswärmeverluste historischer Fenster» der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau (BFH AHB) wurden die Schalldämmmaße der am häufigsten vorkommenden historischen Fensterkonstruktionen Einfachfenster, Kastenfenster, Vorfenster und Verbundfenster an sechs historisch wertvollen Gebäuden vor und nach einer Sanierung insitu gemessen.

Zudem wurde die Fugendurchlässigkeit der unsanierten und sanierten Fenster anhand von zwei verschiedenen Insitu-Messmethoden bestimmt. Durch einen Vergleich der Messergebnisse vor und nach der Sanierung wurde das Potenzial der Sanierungsmaßnahmen an historischen Fenstern in Hinblick auf die Verbesserung der Schalldämmeigenschaften sowie der Luftdichtheit ermittelt.

2. Anforderungen

Nachfolgend werden die Anforderungen an die Schalldämmung sowie Luftdichtheit eines Fensters beschrieben.

2.1. Luftschalldämmung Fassade

Gemäß Art. 74 der schweizerischen Bundesverfassung [3] ist der Bund verpflichtet, Vorschriften über den Schutz des Menschen und seiner natürlichen Umwelt gegen schädliche oder lästige Einwirkungen zu erlassen. In Bezug auf Lärmeinwirkungen wurde 1986 die Lärmschutzverordnung (LSV) eingeführt [8].

Die Beurteilung der Schallschutzanforderungen der im Forschungsprojekt untersuchten Fenster erfolgt auf Grundlage der Belastungsgrenzwerte für Straßenverkehrslärm bzw. Schienenverkehrslärm am jeweiligen Objektstandort. Andere Lärmarten, wie z.B. Fluglärm, werden nicht berücksichtigt.

Die zulässigen Belastungsgrenzwerte werden mit Hilfe der maßgebenden Beurteilungspegel L_r in dB(A) am Gebäudestandort festgelegt. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden die Beurteilungspegel der Lärmdatenbank «sonBASE» des Bundesamts für Umweltschutz (BAFU) entnommen [7]. Diese ersetzt genaue Lärmmessungen nicht, ist aber für eine erste Beurteilung der Lärmsituation an den Gebäudestandorten gut geeignet. Der Datenbank können Beurteilungspegel der Lärmbelastung durch Straßen- sowie Schienenverkehr sowohl am Tag (6:00 – 22:00 Uhr) als auch in der Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) entnommen werden.

Die LSV definiert in Anhang 1 Anforderungen an die Schalldämmung von Fenstern. Das bewertete Bauschalldämmmaß mit am Bau gemessenem Spektrum-Anpassungswert $R'_{w+(C \text{ oder } C_{tr})}$ der Fenster einschliesslich der zugehörigen Bauteile wie z.B. Rollladenkästen muss in Abhängigkeit des maßgebenden Beurteilungspegels L_r mindestens die in Abbildung 1 dargestellten Werte einhalten. Das bewertete Bauschalldämmmaß ohne Spektrum-Anpassungswerte muss dabei mindestens 35 dB und höchstens 41 dB betragen.

L_r in dB(A)		$R'_{w+(C \text{ oder } C_{tr})}$ in dB
Tag	Nacht	
bis und mit 75	bis und mit 70	32
über 75	über 70	38

Abbildung 1 : Anforderungen bewertetes Bauschalldämmmaß mit am Bau gemessenen Spektrum-Anpassungswerten $R'_{w+(C \text{ oder } C_{tr})}$ der Fenster einschliesslich zugehöriger Bauteile (z.B. Rollladenkästen) in Abhängigkeit des Beurteilungspegels L_r (entnommen aus LSV, Stand 01.04.2018 [8]).

Der Spektrums-Anpassungswert C_{tr} gilt bei überwiegend tieffrequentem Lärm, insbesondere von Straßen mit einer Höchstgeschwindigkeit bis 80 km/h. Der Spektrums-Anpassungswert C gilt bei überwiegend hochfrequentem Lärm, insbesondere von Straßen mit einer Höchstgeschwindigkeit über 80 km/h.

2.2. Luftdichtheit

Um die Luftdichtheit eines Fensters zu beurteilen, erfolgt in der Regel eine Einordnung in Luftdichtheitsklassen nach SN EN 12207 «Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung»[12]. Die Norm definiert vier verschiedene Luftdichtheitsklassen. Die Klassifizierung des jeweiligen Fensters erfolgt anhand von Messungen in akkreditierten Fensterprüfständen nach der Norm SN EN 1026 «Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit – Prüfverfahren»[11].

Für die Prüfung der Fugendurchlässigkeit wird eine Messung mit Überdruck und eine Messung mit Unterdruck durchgeführt. Die Ergebnisse beider Messungen sowie deren Mittelwerte werden mit Referenzdurchlässigkeiten der vier Luftdichtheitsklassen verglichen. Die Norm SN EN 12207 definiert für jede Luftdichtheitsklasse als oberen Grenzwert eine Referenzdurchlässigkeit bei 100 Pa.

Fenster der Klasse 1 weisen dabei die niedrigste und Fenster der Klasse 4 die höchste Luftdichtheit auf. Um ein Fenster auf dem Schweizer Markt einführen zu dürfen, muss dieses mindestens die Luftdichtheitsklasse 1 einhalten. Mit den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Messverfahren ist es möglich, die Luftdichtheitsklasse von eingebauten Fenstern insitu am Gebäude zu bestimmen.

3. Messverfahren

An sechs verschiedenen Gebäuden an den Standorten Coseaux (GE), Luzern (LU), Basel (BS), Neuchâtel (NE), Bern (BE) und Ebnat-Kappel (SG) werden Messungen der Luftschalldämmung sowie Luftdichtheit mit einer Ausnahme an jeweils zwei Fenstern vor und nach der Sanierung durchgeführt. In Ebnat-Kappel konnte nur ein unsaniertes sowie ein saniertes Fenster untersucht werden.

3.1. Luftschalldämmung nach EN ISO 16283-3

Die Luftschalldämmung der Fenster wird vor Ort mit dem sogenannten Bauteil-Lautsprecher-Verfahren nach EN ISO 16283-3 [5] bestimmt. Bei diesem Messverfahren wird das zu untersuchende Bauteil mit einem Lautsprecher beschallt. Dieser wird so vor dem zu messenden Fenster aufgestellt, dass die von ihm erzeugte Schallwelle unter einem Winkel ϑ von $(45 \pm 5)^\circ$ gegenüber der Flächennormalen des Fensters einfällt.

Das Bauschalldämmmaß für Außenbauteile, $R'_{w,\vartheta}$ in dB, wird in Anlehnung an EN ISO 16283-3 wie folgt ermittelt:

$$R'_{w,\vartheta} = L_{1,s} - L_2 + 10 \cdot \log\left(\frac{S \cdot \cos \vartheta}{A}\right) \text{ dB}$$

Dabei steht

- $L_{1,s}$ für den mittleren Schalldruckpegel direkt auf der Außenfläche des zu prüfenden Bauteils in dB
- L_2 für den mittleren Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB
- S für die Fläche des Trennbauteils zwischen Außenraum und Empfangsraum in m^2
- ϑ für den räumlichen Einfallswinkel der Schallwelle auf dem Fenster
- A für die äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum in m^2

Der Sendepiegel des Lautsprechers (mittlerer Schalldruckpegel $L_{1,s}$) wird aussen direkt auf dem zu prüfenden Fenster im Abstand von 3 mm vor der Verglasung an 8 bis 10 Positionen gemessen.

Im Raum hinter dem Fenster wird der mittlere Schalldruckpegel im Empfangsraum L_2 an mindestens 5 Positionen mit Hilfe eines weiteren Mikrophons erfasst.



Abbildung 2: Links und Mitte: Messprinzip Bauteil-Lautsprecher-Verfahren nach EN ISO 16283-3 [5]; der Lautsprecher (2) wird außen so aufgestellt, dass die Schallwelle unter einem Winkel von $(45 \pm 5)^\circ$ auf das Fenster (1) einfällt. Rechts: Positionierung des Mikrophons im Abstand von 3 mm außen vor der Verglasung mit Hilfe eines Abstandhalters.

3.2. Insitu-Messverfahren Luftdichtheit

Für die Messung der Luftdurchlässigkeit von Fenstern im eingebauten Zustand stehen zwei Messverfahren zur Verfügung: Das «a-Wert Messsystem»[1] und das «MLM-Messsystem»[2] zur Bestimmung der Fugendurchlässigkeit von Fenstern und Bauteilen, die beide von der BlowerDoor GmbH vertrieben werden.

3.2.1. Messung mittels a-Wert MessSystem

Das a-Wert MessSystem besteht aus einem Druckmessgerät (DG-700), einem Ventilator mit Drehzahlregler, einem Aluminiumrahmen mit einer roten Plane, einem Schlauchset, einem Lochblendenset, einer Plastikfolie und Klebeband. Die Folie wird mit Klebeband luftdicht auf dem Blendrahmen des Fensters befestigt.

In die Folie wird eine Lochblende mit definierter Öffnung eingeklebt. Zur Aufnahme des Druckes im Hohlraum zwischen Folie und Bauteil wird ein Kapillarröhrchen in den Zwischenraum durch die Folie gesteckt und mit Klebeband abgedichtet.

In eine Türöffnung des Raumes hinter dem zu untersuchenden Fenster wird mit Hilfe des Aluminiumrahmens und der Plane ein Ventilator eingebaut. Dieser wird genutzt, um gegenüber dem atmosphärischen Druck außen einen Unterdruck im Raum und somit auch im Hohlraum zwischen Fenster und Folie zu erzeugen. Bei der Messung werden mindestens 8 verschiedene Druckstufen angefahren.

Die Luft, die über die Funktionsfugen des Fensters eindringt, strömt durch die Lochblende mit definierter Öffnung. Anhand der Größe der Lochblendenöffnung und der Druckdifferenz vor und hinter der Lochblende (Δp_{Blende}) wird der Volumenstrom durch die Blende gemäß folgender Formel ermittelt [14]. Um die Luftdichtigkeitsklasse zu erhalten, wird dieser auf die Fugenlänge und die Bauteilfläche bezogen.

$$V_{\text{Blende}} = 3600 \cdot \frac{s}{h} \cdot c_d \cdot A_{\text{LB}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (\Delta p_{\text{Blende}})^{0.5} \text{ in } \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Hierbei bezeichnet

- $c_d = 0.61$ den Widerstandbeiwert der Blende
- A_{LB} die lichte Öffnungsfläche der Blende in m^2
- Δp_{Blende} die Druckdifferenz, die an der Blendenöffnung anliegt in Pa
- ρ die Dichte der Luft an der Blende in kg/m^3

Um die Messergebnisse miteinander vergleichen zu können, werden alle Volumenströme für Normalbedingungen (Temperatur $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, Luftdruck $p_0 = 101'325 \text{ Pa}$) berechnet. Zur Bestimmung der am Fenster anliegenden Druckdifferenz, wird zusätzlich die dazugehörige Druckdifferenz am Bauteil ($\Delta p_{\text{Bauteil}}$) gemessen. Die Drücke werden jeweils über Schläuche an den einzelnen Messstellen abgegriffen und von der DG-700 erfasst.

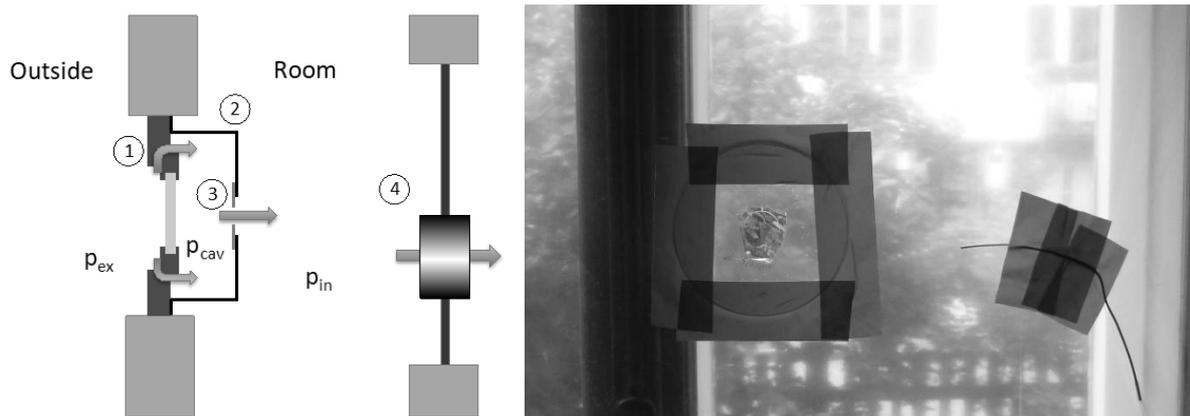


Abbildung 3: Links: Prinzipskizze der Vor-Ort-Messung zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit mittels a-Wert MessSystem mit Testfenster (1), der Folie (2), der Messblende (3) und dem BlowerDoor - Ventilator (4) zur Erzeugung eines Unterdruckes im Raum. « p_{in} » steht für Innendruck, « p_{cav} » für Druck im Hohlraum und « p_{ex} » für Außendruck. Rechts: Ansicht Lochblende mit definierter Öffnung und Kapillare.

3.2.2. Messung mittels MLM MessSystem

Das MLM-Messsystem besteht ebenfalls aus einem Ventilator mit Drehzahlregler, dem Messgerät DG-700, einem Schlauchset, einer Plastikfolie und Klebeband. Weiter besteht es aus dem Volumenstrommessgerät MLM mit vier dazugehörigen Messblenden zwei Verbindungsschläuchen und zwei Anschlußplatten.

Die Bauteilanschlußplatte wird, analog zur Lochblende beim a-Wert MessSystem, in der Folie am Fenster festgeklebt. Ein Verbindungsschlauch verbindet diese Anschlußplatte mit dem Volumenstrommessgerät MLM. Der zweite Verbindungsschlauch verbindet dieses wiederum mit dem Ventilator. Der Ventilator muss nicht wie bei der Messung mit dem a-Wert MessSystem in einer Türöffnung befestigt werden, sondern steht frei im Raum.

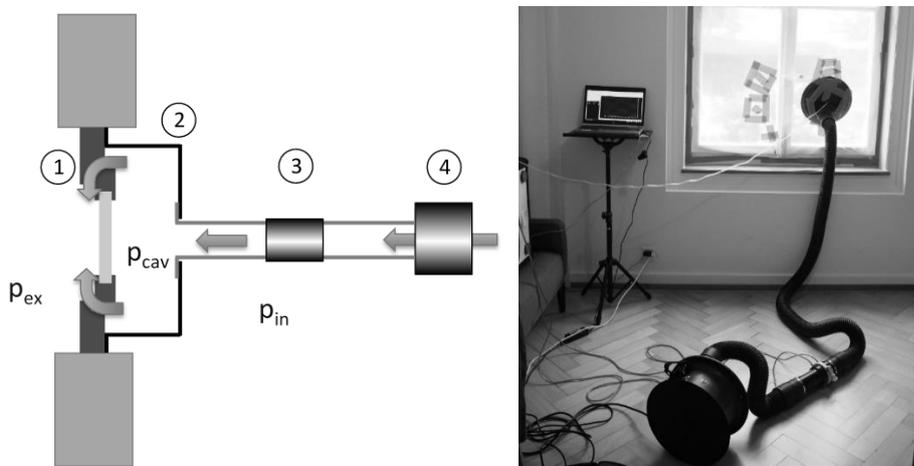


Abbildung 4: Links: Prinzipskizze der Vor-Ort-Messung zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit mittels MLM-MessSystem mit Testfenster (1), der Folie (2), der Messblende (3) und dem BlowerDoor - Ventilator (4) zur Erzeugung eines Überdruckes im Hohlraum zwischen Folie und Fenster. « p_{in} » steht für Innendruck, « p_{cav} » für Druck im Hohlraum und « p_{ex} » für Außendruck. Rechts: Ansicht MLM-Messsystem

Der Ventilator erzeugt gegenüber dem atmosphärischen Druck im Gebäude einen Überdruck im MLM Rohrsystem, und somit auch im Hohlraum zwischen Fenster und Folie. Sobald ein stabiler Überdruck zwischen Fenster und Folie hergestellt ist, kann mit der Messung begonnen werden.

Die Luft strömt durch die definierte Messblende im Volumenstrommessgerät MLM in den Hohlraum zwischen Fenster und Folie und durch Undichtigkeiten der Funktionsfugen nach außen. Anhand der Größe der Lochblendenöffnung und der Druckdifferenz vor und hinter der Blende (Δp_{MLM}) wird der Volumenstrom nach oben genannter Formel ermittelt.

Um die Referenzdrücke zu erhalten, wird zusätzlich die dazugehörige Differenz des Druckes im Hohlraum zu dem im Raum ($\Delta p_{Bauteil}$) gemessen. Damit sichergestellt ist, dass diese Druckdifferenz gleich der Druckdifferenz am Bauteil, $\Delta p_{Bauteil}$, ist, wird in diesem Raum ein Fenster geöffnet, so dass der Druck im Raum gleich dem Aussendruck ist.

4. Untersuchte Fenster

Die Messungen werden an insgesamt 11 historischen Fenstern an 6 verschiedenen Objekten durchgeführt. Bei der Sanierung werden die originalen Bauteile der Fenster, wie z.B. Beschläge und Fensterrahmen, soweit wie möglich erhalten.

Die Fensterrahmen werden im Zuge der Sanierung alle mit mindestens einer umlaufend eingefrästen Falzdichtung ausgestattet. Zudem wird in jedes Fenster eine Isolierverglasung eingebaut. Die sanierten Fensterflügel werden in der Werkstatt instandgesetzt. Die Beschläge der Fenster werden neu eingestellt.

In nachfolgender Tabelle sind Angaben zu Fenstertyp, Glasart, Glasaufbau und Anzahl Dichtungen der untersuchten Fenster vor und nach der Sanierung aufgeführt.

Tabelle 1: Fenstertyp, Glasart, Glasaufbau und Anzahl Dichtungen der untersuchten Fenster vor und nach der Sanierung.

Objekt/ Fensteralter	Unsanierter Zustand			Sanierter Zustand		
	Fenstertyp	Glasart/Dicke [mm]	Dichtungen	Fenstertyp	Glasart/Dicke [mm]	Dichtungen
Corseaux (GE-1)/ ca. 1920	Einfachfenster (2 Drehflügel)	1-fach/ 2.5	-	Einfachfenster (2 Drehflügel)	Isolierglas, 4/12.4/4+4	1
Corseaux (GE-2)/ ca. 1920	Einfachfenster (1 Kippflügel)	1-fach/ 2.5	-	Einfachfenster (1 Kippflügel)	Isolierglas, 4/12.4/4+4	1
Luzern (LU-1)/ Anfang 20. Jhd.	Einfachfenster + Vorfenster (2 Drehflügel)	1-fach + 1-fach/ 3.0 + 3.0	-	Einfachfenster + Vorfenster (2 Drehflügel)	Isolierg.+1-fach/ 4/16/6 + 3.0	1+0
Luzern (LU-2)/ Anfang 20. Jhd.	Einfachfenster + Vorfenster (2 Drehflügel)	1-fach + 1-fach/ 3.0 + 3.0	-	Einfachfenster + Vorfenster (2 Drehflügel)	Isolierg.+1-fach/ 4/16/6 + 3.0	1+0
Basel (BS-1)/ Anfang 20. Jhd.	Einfachfenster + Vorfenster (4+2 Drehflügel)	1-fach + 1-fach/ 2.1 + 1.8	-	Einfachfenster + Vorfenster (4+2 Drehflügel)	Isolierg.+1-fach/ 3/10/3 + 1.8	2+0
Basel (BS-2)/ Anfang 20. Jhd.	Einfachfenster + Vorfenster (4+2 Drehflügel)	1-fach + 1-fach/ 2.1 + 1.8	-	Einfachfenster (4 Drehflügel)	Isolierglas/ 3/10/3	2
Neuchâtel (NE-1)/ Ende 19. Jhd.	Kastenfenster (2+2 Drehflügel)	1-fach + 1-fach/ 3.0 + 3.0	-	Kastenfenster (2+2 Drehflügel)	1-fach+Isolierg./ 3.0 + 4/10/3+3	0+1
Neuchâtel (NE-2)/ Ende 19. Jhd.	Kastenfenster (2+2 Drehflügel)	1-fach + 1-fach/ 3.0 + 3.0	-	Kastenfenster (2+2 Drehflügel)	1-fach+Isolierg./ 3.0 + 4/10/3+3	0+1
Bern (BE-1)/ 1930	Verbundfenster (2 Drehflügel + 1 Lüftungsflügel)	1-fach + 1-fach/ 2.1 + 2.1	-	Verbundfenster (2 Drehflügel + 1 Lüftungsflügel)	Isolierg.+1-fach/ 3/10/3 + 2.1	2+0
Bern (BE-2)/1930	Verbundfenster (2 Drehflügel)	1-fach + 1-fach/ 2.1 + 2.1	-	Verbundfenster (2 Drehflügel)	Isolierg.+1-fach/ 3/10/3 + 2.1	2+0
Ebnat-Kappel (SG-1)/Anfang 20. Jhd.	Einfachfenster + Vorfenster (3+2 Drehflügel; 3+2 Kippflügel)	1-fach + 1-fach/ 2.1 + 2.1	-	Einfachfenster (3 Drehflügel; 3 Kippflügel)	Isolierglas/ 4/10/4	1

5. Resultate

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Schall- sowie Luftdichtigkeitsmessungen zusammengefasst.

5.1. Schalldämmung

In Tabelle 2 ist eine Übersicht der gemessenen Bau-Schalldämmmaße $R'_{w,\vartheta}$ (C ; C_{tr}) in dB der Fenster im unsanierten sowie sanierten Zustand dargestellt. Kastenfenster, Verbundfenster und Einfachfenster mit Vorfenster werden in die Kategorie «2 Fenster» und Einfachfenster in die Kategorie «1 Fenster» eingeteilt. Die untersuchten Messobjekte befinden sich alle in Wohngebieten an Straßen mit Höchstgeschwindigkeiten unterhalb von 80 km/h, weshalb der Spektrums-Anpassungswert C_{tr} maßgebend ist.

Die gemessenen Werte für $(R'_{w,\vartheta} + C_{tr})$ werden mit den Anforderungen der LSV [8] verglichen. Ausgehend von einem maßgebenden Beurteilungspegel $L_{r,Tag} < 75$ dB und $L_{r,Nacht} < 70$ dB an den Objektstandorten gemäss «sonBASE»-Datenbank, liegt die Anforderung an die Schalldämmung der Fenster bei $(R'_{w,\vartheta} + C_{tr}) > 32$ dB.

Tabelle 2: Übersicht der gemessenen Bau-Schalldämmmaße für Außenbauteile $R'_{w,\vartheta}$ (C ; C_{tr}) in dB im unsanierten sowie sanierten Zustand der Fenster. Es erfolgt eine Einteilung in «2 Fenster» (Kastenfenster, Verbundfenster und Einfachfenster mit Vorfenster) sowie «1 Fenster» (Einfachfenster). Die gemessenen Werte für $(R'_{w,\vartheta} + C_{tr})$ werden mit den Anforderungen der LSV verglichen, ausgehend von einem maßgebenden Beurteilungspegel $L_{r,Tag} < 75$ dB und $L_{r,Nacht} < 70$ dB an den Objektstandorten gemäss «sonBASE»-Datenbank.

Objekt	Unsanierter Zustand		Sanierter Zustand		Differenz		Anforderungen LSV nach Sanierung erfüllt?	
	2 Fenster	1 Fenster	2 Fenster	1 Fenster	1 Fen.	2 Fen.	2 Fenster	1 Fenster
	$R'_{w,\vartheta,vor}$ (C ; C_{tr}) in dB	$R'_{w,\vartheta,nach}$ (C ; C_{tr}) in dB	$R'_{w,\vartheta,vor}$ (C ; C_{tr}) in dB	$R'_{w,\vartheta,nach}$ (C ; C_{tr}) in dB	$\Delta R'_{w,\vartheta}$ in dB	$\Delta R'_{w,\vartheta}$ in dB	$R'_w + C_{tr}$ > 32dB	$R'_w + C_{tr}$ > 32dB
GE-1		26.7 (-2.3; -2.3)		34.4 (-1.8; -1.8)		7.7		ja
GE-2		21.4 (-2.0; -1.7)		25.3 (-1.6; -1.2)		3.9		nein
LU-1	33.3 (-5.2; -5.2)	25.0 (-1.3; -2.6)	37.7 (-2.6; -7.7)	32.3 (-1.1; -2.7)	4.4	7.3	nein	nein
LU-2	33.2 (-2.2; -5.8)	26.7 (-1.6; -2.4)	32.2 (-2.4; -5.9)	29.1 (-1.5; -3.0)	-1.0	2.4	nein	nein
BS-1	33.2 (-2.0; -5.6)		37.2 (-1.8; -4.5)		4.0		ja	
BS-2	28.9 (-2.0; -5.6)			27.8 (-1.6; -1.6)		-1.1		nein
NE-1	30.7 (-2.3; -0.4)		39.6 (-2.3; -0.4)		8.9		ja	
NE-2	40.1 (-1.6; -2.6)		36.2 (-1.1; -1.9)		-3.9		ja	
BE-1	25.8 (-1.8; -1.3)		29 (-1.5; -1.4)		3.2		nein	
BE-2	22.7 (-1.0; -1.4)		35.7 (-1.6; -4.1)		13		ja	
SG-1	29.1 (-1.7; -3.5)	23.5 (-1.4; -2.3)		22.3 (-1.3; -2.2)	-6.8			nein

In vier von elf gemessenen Fenstern wurden nach der Sanierung geringere Schalldämmmaße gemessen als zuvor. Die Verschlechterung lag im Bereich von 1 dB bis knapp 7 dB. Beim Messobjekt «NE-1» ist die Verschlechterung vermutlich mit einer offenen Bau-

anschlussfuge am unteren Blendrahmen nach der Sanierung zu begründen. Im Falle des Objektes «LU-2» scheint das Vorfenster nach der Sanierung schlechter zu sein als zuvor, da am Hauptfenster eine Verbesserung erzielt werden konnte. Bei den Testobjekten «BS-2» und «SG-1» weist das sanierte Fenster jeweils kein Hauptfenster mehr auf. Die Vorfenster tragen zum Teil erheblich zur Verbesserung des Schallschutzes sowohl der sanierten als auch der unsanierten Fenster bei. Durch die Sanierungsmaßnahmen kann das Fehlen des Vorfensters offensichtlich nicht immer kompensiert werden.

Die Verbesserungen der Schalldämmmaße der sanierten Fenster liegen im Bereich von 2 dB bis 13 dB. Die Verbesserungen sind demnach schwankend.

Bis auf die Messobjekte «GE-1» und «GE-2» sind die untersuchten Fenster an den Gebäuden jeweils mehr oder weniger baugleich. Dennoch fällt das gemessene Schalldämmmaß nach der Sanierung zum Teil stark unterschiedlich aus, wie beispielsweise an «LU-1» und «LU-2» sowie «BE-1» und «BE-2» zu sehen.

Im Falle von Luzern besteht die Vermutung, dass eine offene Fuge am Anschluss Blendrahmen zu Mauerwerk ursächlich für das 3 dB schlechtere Schalldämmmaß des Hauptfensters «LU-2» im Vergleich zum Hauptfenster «LU-1» ist.

Beim Objekt Bern konnte die Ursache für die starke Abweichung der Messresultate bei «BE-1» und «BE-2» nach der Sanierung ermittelt werden. So wurde am untern Blendrahmen des Objektes «BE-1» keine Falzdichtung eingebaut. Offene Fugen an Bauanschlüssen sowie im Fensterfalz führen gemäß den Messresultaten zu einer starken Verschlechterung des Schallschutzes. «SG-1» weist nach der Sanierung kein Vorfenster mehr auf. Zudem ist ein ungedämmter Rollladenkasten vorhanden, der die Schalldämmung des sanierten Fensters maßgeblich verringert.

5.2. Luftdichtheit

Tabelle 3 zeigt die berechneten Volumenströme bei 50 Pa Druckdifferenz inklusive des 95 %-Vertrauensintervalls aus den a-Wert sowie MLM Messungen vor und nach der Sanierung. Die Differenz der Volumenströme vor und nach der Sanierung sind ebenfalls aufgeführt. Zudem erfolgt eine Einteilung in die Luftdichtheitsklasse nach SN EN 12207 [12].

Tabelle 3: Übersicht der berechneten Volumenströme bei 50 Pa Druckdifferenz inklusive des 95 % Vertrauensintervalls aus den a-Wert sowie MLM Messungen vor und nach der Sanierung. Die Differenz der Volumenströme $\Delta V_{50,a}$ bzw. $\Delta V_{50,MLM}$ in % ist ebenfalls aufgeführt. Zusätzlich erfolgt eine Einteilung in die jeweilige Luftdichtheitsklasse nach SN EN 12207[12]. «n.g.» steht für «nicht gemessen». Die Messfehler, $dV_{50,a}$, werden als 95 %-Vertrauensintervalle angegeben.

Ob- jekt	Unsanierter Zustand				Sanierter Zustand				Differenz		Luftdichtheits- klasse							
	$V_{50,a}$	$dV_{50,a}$	$V_{50,MLM}$	$dV_{50,a}$	$V_{50,a}$	$dV_{50,a}$	$V_{50,MLM}$	$dV_{50,a}$	$\Delta V_{50,a}$	$\Delta V_{50,MLM}$	$a_{vor} /$ MLM _{vor}				$A_{nach} /$ MLM _{nach}			
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	%	%	1	2	3	4	1	2	3	4
GE-1	28.4	0.60	31.9	0.47	4.5	0.16	5.1	0.07	-84	-84	1/1				3/3			
GE-2	33.3	2.1	33.5	0.43	20.0	0.93	24.7	0.79	-40	-26	x/x				1/1			
LU-1	46.4	2.8	50.4	1.2	11.1	1.2	16.3	0.28	-75	-68	1/1				3/2			
LU-2	11.2	0.81	13.6	0.45	34.5	0.60	34.6	0.54	+209	+154	2/2				2/2			
BS-1	71.0	1.9	93.3	2.5	19.8	1.7	26.4	0.37	-72	-72	x/x				2/2			
BS-2	32.4	1.2	33.6	0.3	25.2	0.84	27.3	2.0	-22	-19	2/2				2/2			
NE-1	n. g.	n. g.	69.7	1.0	n. g.	n. g.	28.4	0.16	n. g.	-59	n. g./1				n. g./2			
NE-2	n. g.	n. g.	63.3	4.7	n. g.	n. g.	39.8	0.54	n. g.	-38	n. g./1				n. g./2			
BE-1	82.3	0.67	85.1	1.2	26.6	1.9	26.5	0.30	-68	-69	x/x				2/2			
BE-2	59.3	1.2	58.2	1.5	2.54	0.03	3.96	0.02	-96	-93	1/1				4/4			
SG-1	n. g.	n. g.	n. g.	n. g.	43.5	3.4	41.6	1.5	n. g.	n. g.	n.g./n.g.				2/2			

Ähnlich wie die Resultate der Schallmessungen weisen auch die Messergebnisse der Luftdichtheitsmessung eine hohe Streuung auf.

So sind mehrere baugleiche Fenster schon vor der Sanierung unterschiedlich luftdurchlässig. Dies ist der Fall bei «LU-1» und «LU-2», «BS-1» und «BS-2» und «BE-1» und «BE-2». Auch ein Vergleich der untersuchten Objekte untereinander zeigt eine große Schwankungsbreite der Luftdurchlässigkeiten.

Auch nach der Sanierung weisen Fenster des gleichen Gebäudes teils große Unterschiede der Luftdichtheit auf. Einer der deutlichsten Unterschiede ist bei den Messobjekten «BE-1» und «BE-2» vorhanden. Nach der Sanierung weist «BE-2» sehr niedrige Volumenströme bei 50 Pa Druckdifferenz im Bereich von 2 – 4 m³/h auf. Das Fenster ist in Fugendurchlässigkeitsklasse 4 einzuordnen. Die Verbesserung bei «BE-1» fällt jedoch deutlich geringer aus. So weist das sanierte Fenster eine Luftdurchlässigkeit von 26 m³/h auf. Analog zu den Resultaten der Schallmessungen ist hierfür die fehlende untere Falzdichtung der Fensterflügel für die geringer ausfallende Verbesserung der Luftdichtheit verantwortlich zu machen.

Bei «LU-2» wurde im sanierten Zustand eine höhere Luftdurchlässigkeit gemessen als im unsanierten Zustand. Dieses Resultat kann ein Hinweis auf einen Schaden am Fenster sein, der vor der Sanierung nicht bestand. Eventuell bestehen Undichtigkeiten an der Verglasung oder im Fensterfalz. Dies wäre auch eine plausible Erklärung für die geringe Verbesserung des Schallschutzes des Hauptfensters bzw. Verschlechterung des Schallschutzes des Hauptfensters inklusive Vorfenster.

Auch wenn Vorfenster aufgrund ihrer Funktion nicht fest mit dem Bauwerk verbunden sind, scheinen sie dennoch die Luftdurchlässigkeit zu verringern. Dies lässt sich aus den Messergebnissen an den Objekten «BS-1» und «BS-2» schließen. Bei «BS-2» fanden die Messungen im sanierten Zustand nur am Hauptfenster statt. Bei «BS-1» hingegen wurden die Messungen des sanierten Zustands am Hauptfenster inklusive Vorfenster durchgeführt. Bei «BS-1» konnte durch die Sanierungsmaßnahmen eine Reduzierung der Luftdurchlässigkeit von ca. 70 % erzielt werden, wohingegen diese bei «BS-2» mit rund 20 % deutlich kleiner ausfällt.

Mit einer Ausnahme («LU-2») ist bei allen sanierten Fenstern eine Verbesserung der Luftdichtheit nach der Sanierung festzustellen. Das Maß der Verbesserung schwankt aber stark. So konnte die Luftdurchlässigkeit bei einem Fenster nur um 20 % gesenkt werden, wohingegen beim luftdichtesten sanierten Fenster eine Reduzierung von über 90 % stattfand. Bei den meisten Fenstern konnten jedoch deutliche Verringerungen der Luftdurchlässigkeit von über 70 % erzielt werden.

Ein Vergleich der zwei Messmethoden untereinander zeigt, dass diese, mit Ausnahme der Messungen am Messobjekt «BS-1», jeweils relativ nahe beieinanderliegende Volumenströme liefern. In den meisten Fällen weichen diese weniger als 10 % voneinander ab. Eine Regressionsanalyse liefert eine hohe Übereinstimmung der Messergebnisse aus a-Wert und MLM Messungen. So liegt das Bestimmtheitsmaß bei den sanierten Fenstern bei $R = 0.96$ und bei den unsanierten Fenstern bei $R = 0.93$.

6. Handlungsanweisungen Baupraxis

Aus den Messungen und Auswertungen lassen sich einige Erkenntnisse und Handlungsanweisungen für die Baupraxis ableiten.

Vorfenster tragen sowohl bei unsanierten als auch bei sanierten historischen Fenstern erheblich zum Schallschutz bei. Deutlicher fällt die Verbesserung bei unsanierten Fenstern aus. Hier konnten an drei Hauptfenstern inklusive Vorfenstern um 6 dB («LU-2» und «SG-1») und um 8 dB («LU-1») höhere Schalldämmwerte gemessen werden als ohne Vorfenster. Messungen an zwei sanierten Hauptfenstern inklusive Vorfenster ergaben 3 dB («LU-2») und 5 dB («LU-1») höhere bewertete Schalldämmmaße der Fenster. An zwei Messobjekten wiesen die sanierten Hauptfenster ohne Vorfenster um 1 dB («BS-2») bzw. um 7 dB («SG-1») niedrigere Schalldämmmaße auf.

Auch auf die Luftdichtheit haben Vorfenster einen positiven Einfluss, wie Messungen an einem Gebäude an zwei sanierten Fenstern mit bzw. ohne Vorfenster zeigen («BS-1» und «BS-2»).

Eine Weiternutzung der Vorfenster auch nach der Sanierung der Hauptfenster ist demnach anzustreben.

Offene Fugen verschlechtern den Schallschutz in hohem Maße. Aus diesem Grund müssen offene Bauanschlussfugen unbedingt sorgfältig mit elastischem Dichtmaterial verschlossen und ggf. mit Leisten abgedeckt werden. Andernfalls ist damit zu rechnen, dass die Sanierungsmaßnahmen einen geringen oder keinen positiven Effekt auf die Schalldämmung haben («LU-2»).

Schäden an Fensterrahmen können ebenfalls zu einer deutlichen Verschlechterung des Schallschutzes führen («NE-2»). Auch auf die Luftdurchlässigkeit wirken sich Schäden an Blendrahmen und Verglasungen negativ aus («LU-2»).

Auf einen sorgfältigen Einbau der Falzdichtungen ist zu achten. Fehlende Dichtungen führen zu Einbussen bezüglich der Schalldämmung von bis zu 7 dB und zu erhöhten Lüftungswärmeverlusten («BE-1»).

Weisen die zu sanierenden Fenster Rollladenkästen auf, so sollten diese im Rahmen der Schallschutzsanierung ebenfalls ertüchtigt werden. Andernfalls ist ein Erzielen von hohen Schalldämmmaßen der sanierten Fenster nicht möglich («SG-1»). Der Einbau von Dämmstoffen mit möglichst hohen Flächengewichten wirkt sich positiv auf den Schallschutz aus. Offene Fugen an den Rollladenkästen auf der Rauminnenseite sind auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Verriegelungsbeschläge der Fenster müssen so gestaltet sein, dass ein ausreichender Anpressdruck auch nach Einbau der Falzdichtungen im Rahmen der Sanierung erzielt werden kann. Andernfalls ist mit Einbussen beim Schallschutz und der Luftdichtigkeit zu rechnen.

Die Messungen der Luftdichtigkeit der Fenster zeigen eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse von a-Wert und MLM Messungen. Beide Messverfahren sind geeignet für die Messung an historischen Fenstern. In zwei Fällen kam es beim Abziehen des Klebebandes zur Fixierung der Kunststoffolie am Blendrahmen jedoch zu Schäden an der Lackierung. Die Bauherrschaft ist demnach auf mögliche Schäden an der Lackierung vor Durchführung der Messungen hinzuweisen.

Der kleinere Ventilator der MLM Messausrüstung ist handlicher als der große Ventilator für die a-Wert Messung. Zudem kann bei der MLM Messungen auf den Einbau des Prüfrahmens in einer Zimmertüre verzichtet werden.

Das Aufkleben der Folie auf dem Blendrahmen ist je nach Ausführung der Beschläge und des Blendrahmens zum Teil mit Schwierigkeiten und einem relativ hohen Zeitaufwand verbunden. Generell ist für die Messung von zwei Fenstern mit einem Messverfahren mit einem Zeitaufwand von ca. 6 Arbeitsstunden zu rechnen.

Auch für die Durchführung der Schallmessungen ist ausreichend Zeit einzuplanen. Die Verwendung von Teleskopstützen, an welchen das Mikrofon zur Erfassung der Schallpegel direkt vor der Verglasung befestigt werden kann, erleichtert die Durchführung enorm. Zudem ist die Verwendung eines Abstandhalters zum Einstellen des Abstands von 3 mm zwischen Mikrofon und Verglasung sehr hilfreich.

7. Danksagung

Wir bedanken uns bei der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege sowie den Fensterbauunternehmungen André SA, CH-1160 Yens/Morges und Holzmanufaktur Swiss AG, CH-5502 Hunzenswil für die Finanzierung des Projektes. Unser Dank gilt auch den übrigen Partnern, die sich am Projekt beteiligt haben. Namentlich sind dies die Haupt AG, CH-6017 Ruswil, Vogel Fensterbauer AG, CH-9403 Goldach, Fachstelle Denkmalpflege Stadt Biel, Kantonale Denkmalpflege Aargau, Kantonale Denkmalpflege Zürich und Prona AG, CH-2503 Biel. Bei der BlowerDoor GmbH, D-31832 Springe-Eldagsen bedanken wir uns zudem für die zur Verfügung gestellte Messtechnik. Nicht zuletzt gilt unser Dank auch den Gebäudebesitzern, die uns Messungen an ihren Fenstern durchführen liessen.

8. Literaturangaben

- [1] BlowerDoor GmbH: *a-Wert MessSystem a-Wert MessSystem zur Bestimmung der Fugendurchlässigkeit*. Springe, 2012.
- [2] BlowerDoor GmbH: *Minneapolis Micro Leakage Meter, Dichtheitsprüfung von Lüftungskanalsystemen nach DIN EN 12599*. Springe, 2016.
- [3] Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (SR 101) vom 18. April 1999 (Stand am 1. Januar 2018): <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19995395/201801010000/101.pdf> (zuletzt abgerufen am 31.01.2019)
- [4] EN ISO 140-5 (Ausgabe 2008): *Akustik-Messung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 5: Messung der Luftschalldämmung von Fassadenelementen und Fassaden an Gebäuden*. Zürich: Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.
- [5] EN ISO 16283-3 (Ausgabe 2016): *Akustik-Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau - Teil: Fassadenschalldämmung*. Zürich: Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.
- [6] EN ISO 717-1 (Ausgabe 2013): *Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung*. Zürich: Schweizer Ingenieur und Architekten Verein.
- [7] Lärmdatenbank «sonBASE» des Bundesamtes für Umwelt (BAFU): <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/zustand/gis-laermdatenbank-sonbase.html> (zuletzt abgerufen am 31.01.2019)
- [8] Lärmschutzverordnung (LSV; SR 814.41) vom 15. Dezember 1986 (Stand am 1. Januar 2016): <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19860372/201601010000/814.41.pdf> (zuletzt abgerufen am 31.01.2019)
- [9] Prof. Dr. Christoph Geyer, et. al.: *Evaluation of In Situ Measurement Methods for Air Permeability of Windows*. Bern: 12th Conference on Advanced Building Skins, 2017.
- [10] SIA 181. (Ausgabe 2006-09): *Schallschutz in Hochbauten*. Zürich: Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.
- [11] SN EN 1026:2016. (Ausgabe 2016-10): *Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Prüfverfahren*. Zürich: Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.
- [12] SN EN 12207:2016. (Ausgabe 2016-10): *Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung*. Zürich: Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.
- [13] SN EN 12599:2012. (2012): *Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen*. Zürich: Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.
- [14] Walther, W.: Messung kleiner Volumenströme mit Hilfe von Lochblenden. In: *Tagungsreader des 8. BlowerDoor Symposiums, 2013*.

Verbesserung der Luftdichtheit und Kältebrücken bei auskragenden Bauteilen

Roland Maderebner
Universität Innsbruck
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Arbeitsbereich für Holzbau
Innsbruck, Österreich



Sebastian Hirschmüller
Abteilung Forschung und Entwicklung
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Michael Flach
Universität Innsbruck
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Arbeitsbereich für Holzbau
Innsbruck, Österreich



Verbesserung der Luftdichtheit und Kältebrücken bei auskragenden Bauteilen

1. Stand der Technik

Im Betonbau ist die Ausführung auskragender Bauteile, welche lokale Kältebrücken vermeiden, hinlänglich bekannt. Durch thermische Entkopplung von Gebäudeaußenhülle und dem auskragenden Bauteil kann die Anbringung bzw. Durchführung einer Dämmschicht mit nur geringen Unterbrechungen bewerkstelligt werden. Im Holzbau verursacht die Ausbildung von auskragenden Bauteilen auf Grund der relativ schlechten Wärmeleitfähigkeit des Holzes zu wesentlich geringeren lokalen Kältebrücken, die im Normalfall zu keinen bauphysikalisch relevanten Schwachstellen führen. Dennoch ist Holz mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. $0,12 \text{ W/mK}$ doch deutlich schlechter als übliche Wärmedämmungen, die in etwa bei $0,035 \text{ W/mK}$ liegen. Deshalb kann es bei Gebäuden mit erhöhten wärmetechnischen Anforderungen bei auskragenden Bauteilen, ohne thermische Entkopplung, auch in der Holzbauweise zu Schwierigkeiten kommen.

Neben den Anforderungen an den Wärmeschutz besteht im Holzbau bei der Ausführung von auskragenden Bauteilen eine weitere, viel größere Herausforderung. Diese betrifft die Ausbildung einer durchgehenden luftdichten Ebene (LDE) zur Vermeidung einer unerwünschten lokalen Konvektion von warmer, feuchtegesättigter Luft von innen nach außen durch die Wärmedämmebene (WDE), um die Gefahr einer Schädigung durch den erhöhten Feuchteintrag in die tragenden Konstruktionselemente zu unterbinden. Da systembedingt bei Holzkonstruktionen, insbesondere Brettsperrholz, Fugen und Stöße vorhanden sind, ist die Gefahr einer erhöhten Luftkonvektion im Bereich von Elementstößen, aber auch bedingt durch die unvermeidbaren einzelnen Fugen zwischen den Lamellen, selbst bei seitenverleimten Brettsperrholz-Elementen besonders hoch. Diese Schwachstellen werden momentan durch einen erhöhten Arbeitsaufwand durch nachträgliches Abdichten zwar vermindert, dauerhaft aber nur selten zufriedenstellend gelöst [1]. Entsprechend den Angaben der EN 16351 [2] sind zwischen den einzelnen Brettern Fugen bis zu 6 mm erlaubt.



Abbildung 1: Auskragungen im Betonbau- Entkopplung mittels Isokorb® [3]

Bei einem üblichen Brettsperrholzelement CLT 160 | 5s mit einer Breite von 125 cm, einer mittleren Fugenstärke von 1 mm und der Annahme einer effektiven Lagenanzahl von 1,5 (=Anzahl der Hirnholzlagen an der Stirnseite) ergibt das eine Konvektionsfläche von rund $140 \text{ mm}^2/\text{m}$. Somit können über diese Fläche ca. $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ an Feuchtigkeit eingetragen werden.

In der Planungsbroschüre «Bauen mit Brettspertholz im Geschoßbau» [4] werden Detailanschlüsse von Balkonausführungen sowie deren Fehlerquellen dargestellt. Neben der direkten Durchführung der Innendecke nach außen kommen auch auf die Decke aufgesetzte Varianten zur Ausführung, bei denen zwar das Problem der Luftkonvektion durch Herumführen der LDE von innen nach außen gelöst ist, welche allerdings wärme-, feuchte- und schallschutztechnische Probleme mit sich bringen. Den Autoren zufolge ist nach heutigem Stand der Technik eine einwandfreie entkoppelte Befestigung nur durch eine außen sichtbare vorgesetzte Konstruktion (Abhängung, Stützen, ...) umzusetzen.

Die entkoppelte Befestigung von Kragbalkonen in Holzbauweise ist bis heute nur bedingt möglich, da durch die derzeit ausgeführten Konstruktionen eine der beiden Bedingungen «Entkopplung und/oder Kragbalkon» verletzt werden. Vor allem bei der Verwendung von Brettspertholz ist die Befestigung eines entkoppelten Kragbalkons bedingt durch die geringe Höhe eine besondere Herausforderung.

Deshalb werden zur Gänze entkoppelte Holzbalkone bis heute mittels zusätzlich angeordneten Stützen oder auch Aufhängungen vorgesetzt, und somit lediglich die Querkraft ohne Übertragung von Biegemomenten zu bewerkstelligen ist. Allerdings werden dadurch häufig zum einen architektonische Anforderungen nicht zufriedenstellend umgesetzt, und zum anderen sind die erforderlichen Gründungen der Stützen mit einem zusätzlichen Aufwand verbunden, da diese oftmals im Hinterfüllungsbereich der Baugrube liegen. Hinzu kommt, dass in Abhängigkeit von den Regelungen der Bauordnungen derartige Ausführungen bei der Ermittlung des umbauten Raumes vielfach als umbauter Raum zu berücksichtigen sind.

Ein weiterer großer Nachteil auskragender Balkonplatten, bei denen tragende Deckenelemente auskragend gegebenfalls aufgesetzt, in den Freibereich geführt werden, ist die mangelnde Austauschbarkeit der Elemente. Balkonelemente sind häufig der freien Bewitterung ausgesetzt und besitzen somit auch ein größeres Schadenspotential (siehe auch Abbildung 2). Bei Schadensfällen von durchgehenden auskragender Deckenbauteilen bestehen für eine Sanierung demnach die Möglichkeiten den Bestand mittels Rückbau vollständig zu erneuern oder eine neue Konstruktion mittels eigener Fundierung an den Bestand anzubringen.

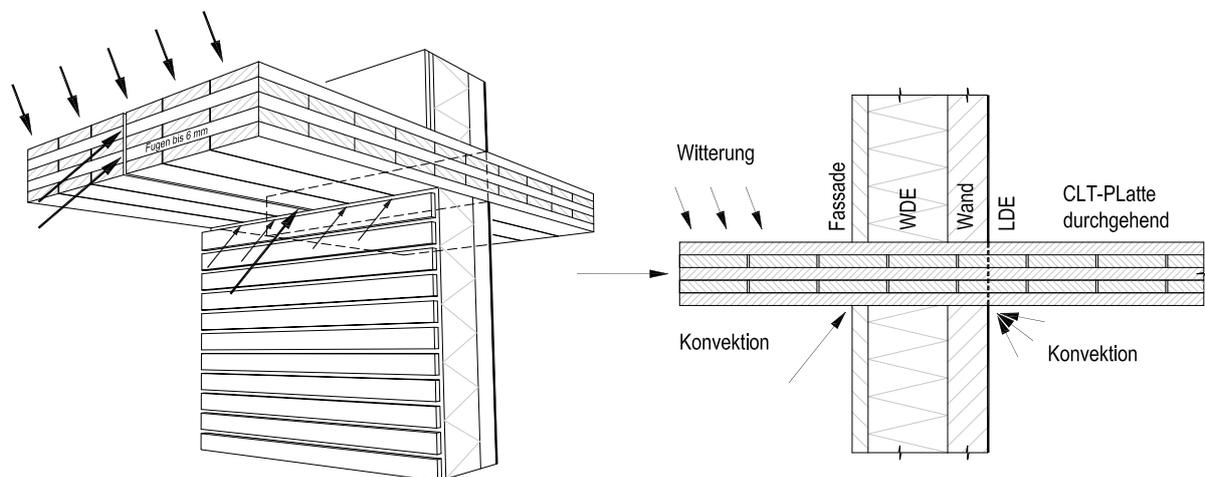


Abbildung 2: Durchbrechung der LDE und WDE bei durchgehenden Brettspertholz Platten sowie Konvektionsströme zufolge Fugen und Elementstoß

2. Innovationsgehalt

Ziel der Erfindung

«Entwicklung eines Systems das eine bauphysikalisch optimierte, flexible biegesteife Entkopplung von auskragenden Bauteilen aus Holz – insbesondere Brettsper Holzplatten – ermöglicht, um zum einen die durchgehende luftdichte als auch wärmedämmende Ebene, sowie zum anderen durch die Lösbarkeit eine vom Konstruktionsablauf zeitlich unabhängige Montage, bzw. bei Schadensfällen eine einfache Demontage und Wiederherstellung zu gewährleisten.»

Das entwickelte Verbindungssystem (Abbildung 3) ist gekennzeichnet durch einen ersten Halteabschnitt für das Gebäudeelement, sowie einem zweiten Halteabschnitt für das Holzelement, ein Koppel-element, welches den ersten Halteabschnitt und den zweiten Halteabschnitt lösbar miteinander verbindet, wobei der zweite Halteabschnitt einen holzelementseitigen Beschlag mit einer ersten Kontaktfläche zur Befestigung an einer ersten Fläche des Holzelements und einer zweiten Kontaktfläche für eine zweite Fläche des Holzelements aufweist.

Durch dieses System wird die Durchdringung der Wärmedämmebene auf ein statisch erforderliches Mindestmaß reduziert, da die auftretenden Schnittgrößen (vor allem Biegemoment und Querkraft) in Zug- und Druckkomponenten aufgeteilt werden. Der verbleibende Hohlraum der fachwerksartigen Verbindungsstruktur wird mit einem geeigneten Dämmmaterial ausgefüllt. Die vorhandenen Zugkräfte aus Biegemoment werden mittels Zuglaschen in die Oberseiten der Plattenelemente durch geneigt angeordnete Vollgewindeschrauben eingeleitet. Die Übertragung der resultierenden Druckkräfte erfolgt mittels formschlüssig eingebauten Druckplatten über die Stirnseiten der Plattenelemente. Die Querkraftübertragung geschieht über eine Kombination mittels geneigten Zugdiagonalen, sowie schräg eingebrachten Vollgewindeschrauben. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Brandschutzes ist ober- und unterseitig der Verbindungsstruktur im Bedarfsfall auch eine Abschottung (Brandriegel) möglich. Die Luftdichtheit wird durch eine werksmäßige an dem gebäudeseitigen Teil des Koppel-elementes aufgeklebte Dichtmanschette erzielt. Durch die Ausbildung der Kragelemente und der Befestigung auf den CLT-Elementen können mit dem System in Zukunft Auskragungen unabhängig von der Spannrichtung (Orientierung der Decklagen der CLT-Platten) realisiert werden (Abbildung 5).

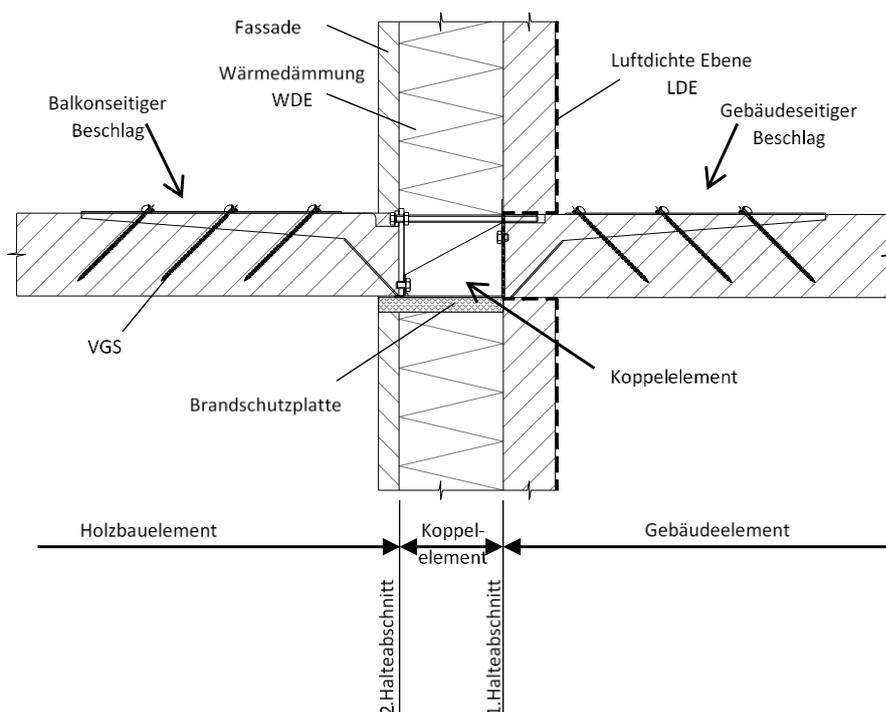


Abbildung 3: BRIDGE CONNECTOR – Prinzip Skizze

An der der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der Universität Innsbruck wurden die Leistungsfähigkeiten verschiedener Varianten des biegesteifen Anschlusses mittels Biegeversuchen experimentell untersucht und weiterentwickelt (Abbildung 4). Dabei wurden neben Biegeversuchen und numerischen Wärmestromanalysen auch Schwingungsmessungen durchgeführt, welche anschließend mit Hilfe numerischer Rechenmodelle optimiert wurden. Daraus konnte ein Prototyp entwickelt werden, der nun bei ersten Pilotprojekten eingesetzt werden soll, wodurch neue Erkenntnisse zur praktischen Umsetzung generiert werden, um in abschließende Entwicklungen des Prototyps einzufließen. Die Erteilung einer Europäischen Technische Bewertung ETA ist bis Ende 2019 abgeschlossen.

3. Auswirkungen auf die Holzbauweise

Ein erhöhter Elementierungs- und Vorfertigungsgrad, sowie die modularen Baumöglichkeiten und die damit verbundene reduzierte Bauzeit unter größtmöglicher Variabilität sind die Stärken des Holzbaus im Vergleich zu konkurrierenden Bausystemen und Baustoffen. Das innovative Koppелеlement schließt die Lücke zwischen bis dato handwerklich ausgeführten Konstruktionen und modularen Bausystemen, wie sie beispielsweise im Massivbau durch vorgefertigte und entkoppelt angeschlossene Balkonplatte schon lange zum Stand der Technik gehören.

Vor allem die nachträgliche einfache Lösbarkeit der biegesteifen Verbindung ist eine große Stärke des Elements. Vorteilhaft wirkt sich auch die Möglichkeit der Anwendung in unterschiedlichen Einbausituationen aus, da das Koppелеlement im Allgemeinen für auskragende und entkoppelte Bauteile verwendet werden kann.

Die derzeitige technologische Entwicklung flächiger Holzbauelemente mit mehrachsiger Tragwirkung und die damit verbundene Marktdurchdringung von Bereichen, welche bisher dem Massiv- bzw. Stahlbetonbau zugeschrieben wurden, erfordert auch eine konsequente Weiterentwicklung des Verbindungselementes für diesen Bereich. Das innovative Koppелеlement ist somit ein weiterer Schritt in diese Richtung und bietet auch weniger holzbauaffinen Planern und Ausführenden den vom Massivbau gewohnten Freiraum für individuell anpassungsfähige Detaillösungen in Kombination mit einem hohen Vorfertigungsgrad.

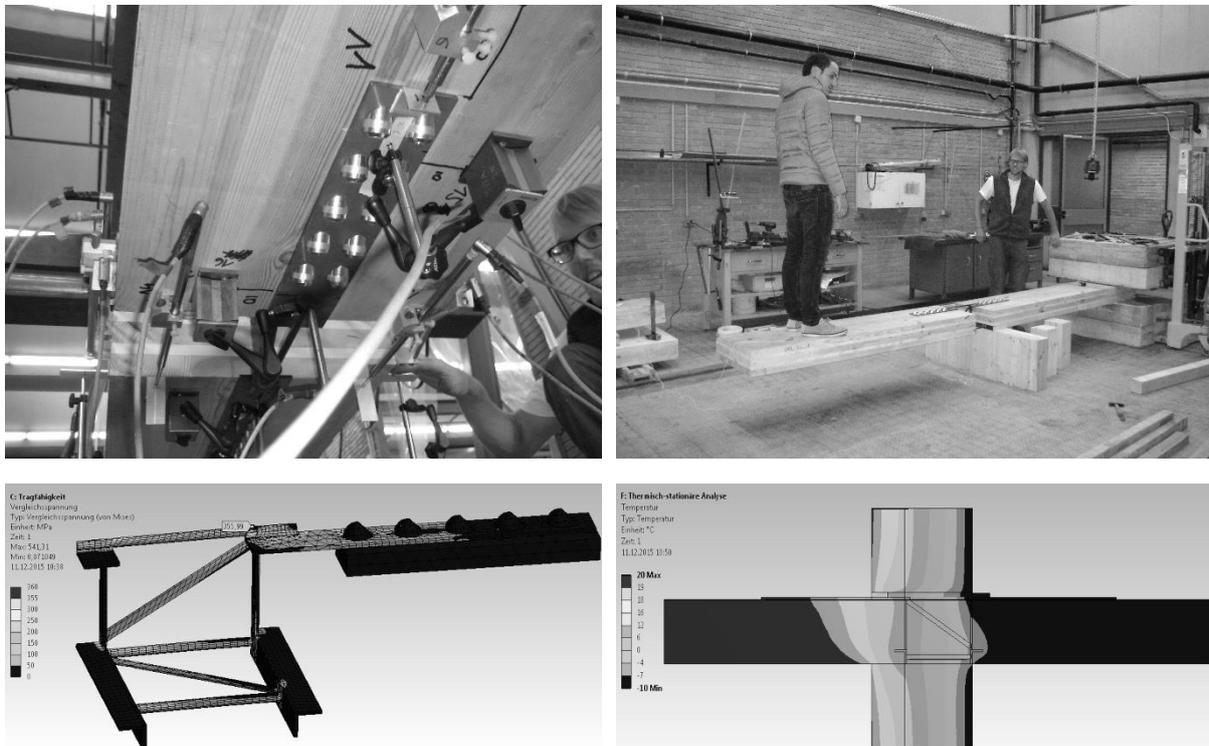


Abbildung 4: Experimentelle Untersuchungen Universität Innsbruck

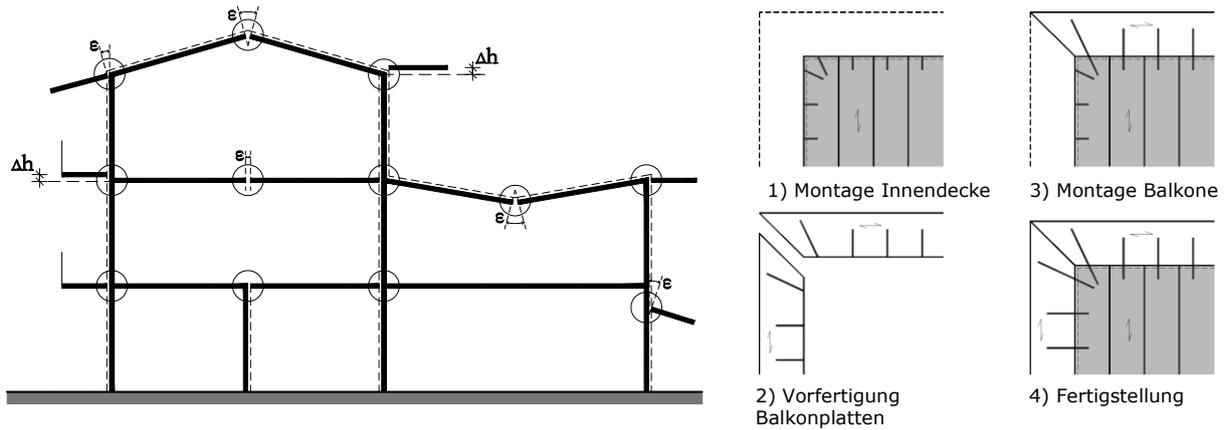


Abbildung 5: BRIDGE-CONNECTOR: Einsatzgebiete und geänderter Montageablauf

4. Literatur

- [1] Maderebner R, Hirschmüller S, Falkner F-J (2014) Bauphysikalische Entkopplung von auskragenden Brettsperrholz-Elementen: Endbericht Innovationscheck FFG
- [2] EN 16351 (2016) Timber structures – Cross laminated timber - Requirements
- [3] Schöck Bauteile Ges.m.b.H, Thaliastraße 85/2/4 (2019) Schöck Isokorb. <https://www.schoeck.at>
- [4] Teibinger M, Matzinger I (2014) Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau: Fokus Bauphysik ; Planungsbrochüre, 2., überarb. Aufl. HFA Schriftenreihe

Schwingungsverhalten und Trittschall bei Holzdecken – ein Zusammenhang?

Patricia Hamm
Institut für Holzbau
Hochschule Biberach
Biberach, Deutschland



Manuel Stuhlinger
best wood SCHNEIDER® GmbH
Eberhardzell, Deutschland



Schwingungsverhalten und Trittschall bei Holzdecken – ein Zusammenhang?

1. Einleitung

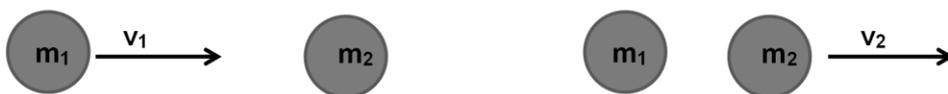
Bei der Bemessung von Holzdecken ist oft der Gebrauchstauglichkeitsnachweis, bei längeren Spannweiten der Schwingungsnachweis maßgebend. Bei diesem Schwingungsnachweis geht es um fühlbare Schwingungen, also solche, die nicht gehört, sondern gespürt werden. Bei den hörbaren Schwingungen geht es um Schall. Die Frage, der in diesem Beitrag nachgegangen werden soll, ist, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Schwingungsverhalten (der spürbaren Schwingungen) und den Trittschalleigenschaften gibt.

2. Ausgangssituation

Sowohl bei den fühlbaren Schwingungen als auch beim Schall ist ausreichend Masse ein wesentliches Kriterium. Ein anschaulicher Vergleich ist der mit einer Billardkugel. Je nach Verhältnis der Massen der anstoßenden Kugel (anregende Person) zur angestoßenen Kugel (Decke) ist deren Geschwindigkeit kleiner oder größer, vgl. Abb. 1. Physikalischer Hintergrund ist der Impulserhaltungssatz mit $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$.

Vor dem Stoß:

Nach dem Stoß:



Kleines m_2 , großes v_2



Großes m_2 , kleines v_2

Abbildung 1: Impulserhaltungssatz

Beim Schallschutz von Holzdecken ist eine hohe Masse ebenfalls ein wichtiges Kriterium.

So kam der Gedanke, ob sich ein Zusammenhang zwischen den Schwingungseigenschaften und dem Trittschallschutz einer Decke formulieren lässt. Ob eine Decke, die gute (Tritt-) Schallschutzeigenschaften besitzt, automatisch ein gutes Schwingungsverhalten aufweist? Mittels Experimenten wurde versucht, diese Frage zu beantworten.

3. Versuche

3.1. Prüfstand für Schallmessungen

Auf dem Firmengelände der best wood SCHNEIDER® GmbH in 88436 Eberhardzell werden wöchentlich unterschiedliche Decken mit unterschiedlichen Deckenaufbauten in einem Prüfstand für Schallmessungen eingebaut, vgl. Abb. 2. Eigentliches Ziel der best wood SCHNEIDER® GmbH ist die schalltechnische Beurteilung dieser Decken.

Die Schwingungsmessungen der Decken (vgl. Abb. 3) konnten an diese Messserie «angedockt» werden, so dass nun bei diesen realen Decken sowohl der Schallschutz als auch das Schwingungsverhalten bekannt sind.

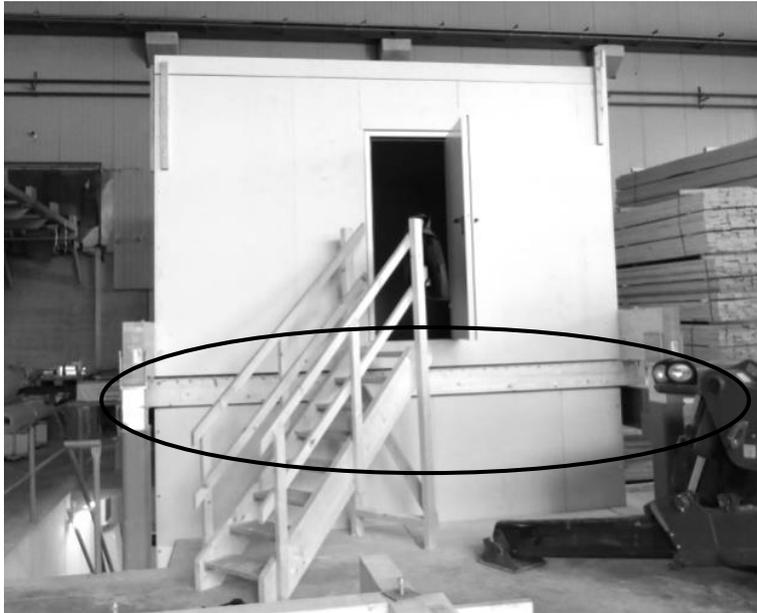


Abbildung 2: Außenansicht des Bauakustik-Prüfstands der best wood SCHNEIDER® GmbH, Eberhardzell.

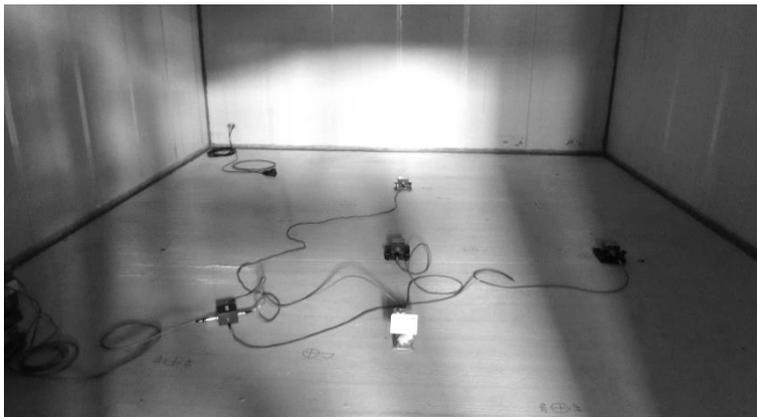


Abbildung 3: Beschleunigungsaufnehmer im Bauakustik-Prüfstand

3.2. Probekörper

Von Beginn der Untersuchungen des Schwingungsverhaltens (im April 2018) bis jetzt wurden folgende Tragkonstruktionen eingebaut und untersucht, vgl. Abb. 4:

- a) Balkendecke
- b) Brettsperrholzdecke (CLT)
- c) Kastendecke (CLT-BOX)

Die Spannweite der Decken ist jeweils 4,61m.

Auf diese Tragkonstruktionen wurden unterschiedliche Aufbauten aufgebracht, z. B. Trockenestrich, Nassestrich, ohne oder mit Schüttung, ungebundene oder gebundene Schüttung, unterschiedliche Dämmungen, unterschiedliche Reihenfolge der Aufbauten.

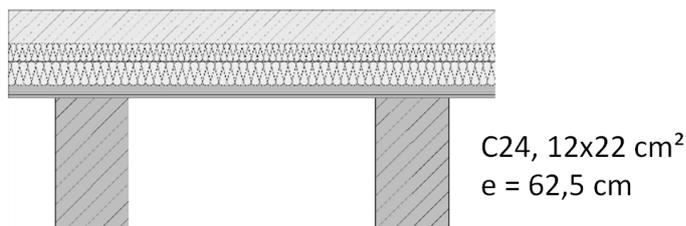
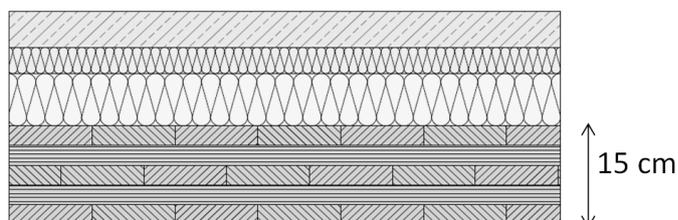
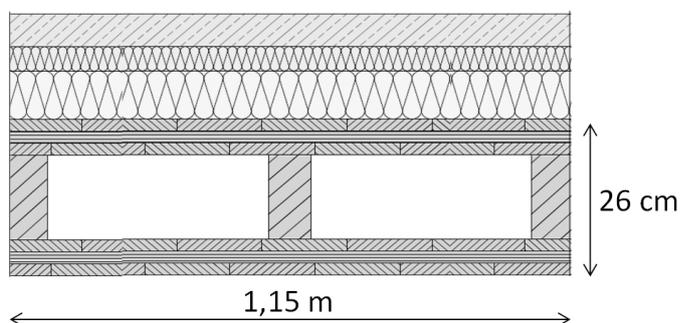
a) Balken**b) Brettsperrholz (CLT)****c) CLT-BOX**

Abbildung 4: Im Prüfstand gemessene Tragkonstruktionen

3.3. Ablauf der Messungen

Das Schalldämm-Maß R_w wurde nach ISO 10140-2 gemessen. Die Bewertung wurde nach ISO 717-1 durchgeführt.

Der Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ wurde nach ISO 10140-3 gemessen und die Bewertung wurde nach ISO 717-2 durchgeführt.

Bei der Schwingungsmessung der fühlbaren Schwingungen wurde wie folgt vorgegangen:

- Zuerst wurde mittels Heeldrop die Decke zu Schwingungen angeregt, so dass die Eigenfrequenz der Decke ($f_{e,gemessen}$) gemessen werden konnte.
- Wenn die Eigenfrequenz kleiner als ca. 8 – 10 Hz war, konnte die Decke in Resonanz mit dem Drittel der Eigenfrequenz angeregt werden. Z. B. bei einer Eigenfrequenz von 9 Hz wurde in der Mitte des Deckenfelds mit einer Schrittfrequenz von 3 Hz «auf der Stelle» gelaufen. Das Ergebnis dieser Messung ist die Beschleunigung in Resonanz ($a_{gemessen}$).
- Auch «Regellooses Gehen» ist Bestandteil der Versuche. Hier wird die «normale Nutzung» der Decke simuliert.
- Zuletzt wird die Decke beurteilt. Es können «Noten» von 1 bis 4 vergeben werden. Note 1 wurde für den Fall vergeben, wenn die Schwingungen so gut wie nicht spürbar waren, Note 4, wenn die Schwingungen deutlich spürbar und störend waren. Bei dieser Beurteilung stellt sich heraus, dass die zuverlässigsten Ergebnisse erzielt werden konnten, wenn der Beurteiler nicht gleichzeitig der Schwingungserreger ist.

4. Berechnungen – am Beispiel der Holzbalkendecke

Für alle Decken und Aufbauten wurden die Eigenfrequenzen und Beschleunigungen (im Resonanzfall) berechnet und der Schwingungsnachweis nach [Hamm, 2017] geführt, vgl. Abb. 5. Exemplarisch wird hier eine Bemessung vorgestellt: Die Balkendecke mit einer Spannweite von $L = 4,61\text{m}$ nach Abb. 4a mit 55mm Zementestrich, beidseitig elastisch gelagert auf je einem IPE 400, Spannweite 6,75m.

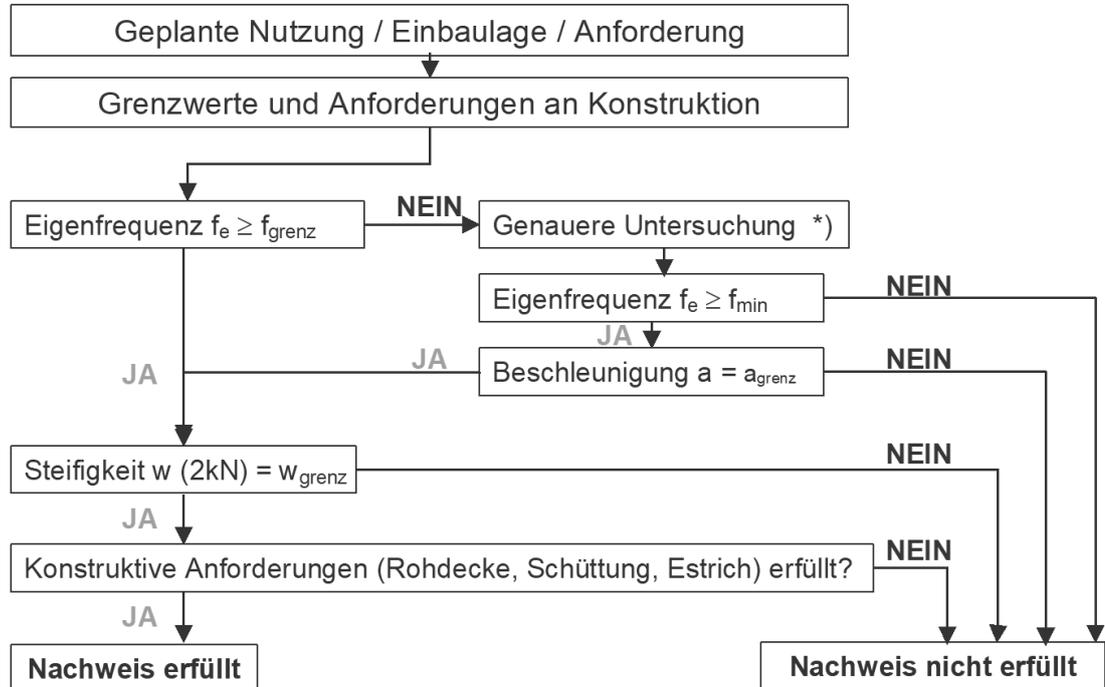


Abbildung 5: Nachweis nach den Konstruktions- und Bemessungsregeln aus dem Forschungsvorhaben [Winter/Hamm/Richter, 2010]

4.1. Eigenfrequenz

Eigenfrequenz der Holzbalken starr gelagert:

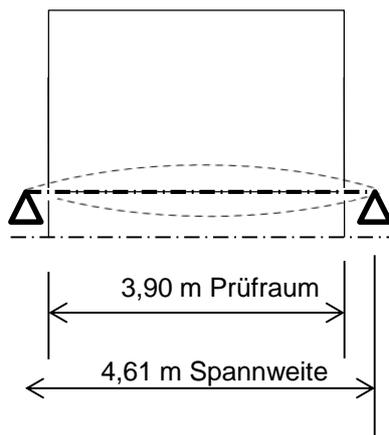


Abbildung 6: Situation Oberer Prüfraum auf Decke

$$f_{e,\text{starr}} = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m \cdot e}} = \frac{\pi}{2 \cdot 4,61^2} \cdot \sqrt{\frac{1,17 \cdot 10^6}{154 \cdot 0,625}} = 8,15 \text{ Hz}$$

Deckenbalken: C24, $b \times h = 12 \times 22 \text{ cm}^2$, $e = 62,5 \text{ cm}$; $L = 4,61 \text{ m}$
 $EI = E_{0,\text{mean}} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = 11000 \cdot \frac{0,12 \cdot 0,22^3}{12} = 1,17 \text{ MNm}^2$
 $m = 154 \text{ kg/m}^2$

Hinweis: Die Prüfräume sind von der Decke entkoppelt. Die Last des oberen Prüfraums wird von einer externen Konstruktion getragen.

Eigenfrequenz mit Berücksichtigung der Biegesteifigkeit des Estrichs:

$$EI_{\text{Estrich}} = 25000 \cdot \frac{1,0 \cdot 0,055^3}{12} = 0,347 \text{ MNm}^2 = EI_{\text{quer}}$$

$$EI_{\text{gesamt}} = \frac{1,17}{0,625} + 0,347 = 1,87 + 0,347 = 2,22 \text{ MNm}^2 = EI_{\text{längs}}$$

$$f_{e,\text{Decke+Estrich}} = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{\text{gesamt}}}{m}} = \frac{\pi}{2 \cdot 4,61^2} \cdot \sqrt{\frac{2,22 \cdot 10^6}{154}} = 8,9 \text{ Hz}$$

Eigenfrequenz der Unterzüge, Stahlträger (IPE 400):

Die Decke ist beidseitig nachgiebig auf Stahlträger gelagert, vgl. Abb. 7 und 8. In [Hamm, 2008] wird eine Methode hergeleitet und vorgestellt, wie die resultierende Eigenfrequenz aus den Deckenbalken und den Unterzügen näherungsweise berechnet werden kann.

Dazu ist die Berechnung der beiden starr gelagerten Eigenfrequenzen, der Decke $f_{e,\text{Decke+Estrich}}$ und des Unterzugs $f_{e,\text{UZ}}$ erforderlich.

$$f_{e,\text{UZ}} = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m \cdot e}} = \frac{\pi}{2 \cdot 6,75^2} \cdot \sqrt{\frac{4,857 \cdot 10^7}{420,5}} = 11,7 \text{ Hz}$$

$$EI_{\text{UZ}} = 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 23130 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 = 4,857 \cdot 10^7 \text{ Nm}^2$$

$$m = 154 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 4,6 \text{ m} \cdot \frac{1}{2} + 66,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 354,2 + 66,3 = 420,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

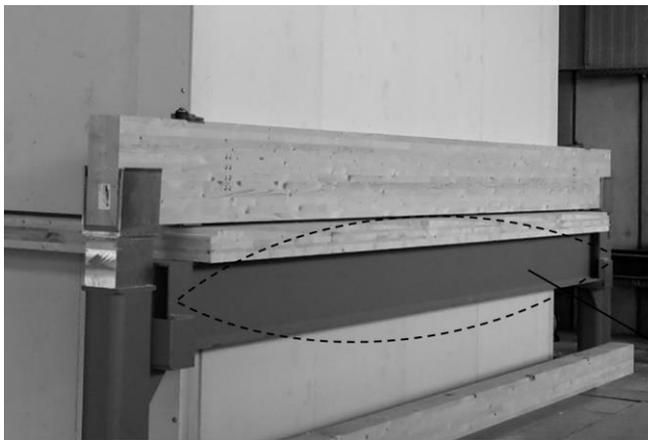


Abbildung 7: Situation Lagerung der Decke auf dem Stahlträger und dessen Eigenform.

Resultierende Eigenfrequenz:

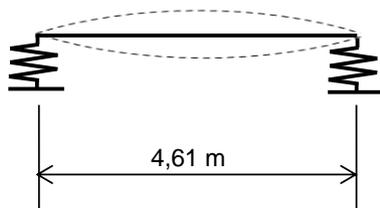


Abbildung 8: Elastische Lagerung der Decke auf dem Stahlträger.

$$f_{e,\text{Res}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_{e,\text{Decke+Estrich}}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{e,\text{UZ}}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{e,\text{UZ}}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_{e,\text{Estrich}}^2} + \frac{2}{3 \cdot f_{e,\text{UZ}}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{8,9^2} + \frac{2}{3 \cdot 11,7^2}}} = 7,6 \text{ Hz}$$

Nachweis: $f_{e,Res} = 7,6 \text{ Hz} \leq 8 \text{ Hz} \rightarrow$ Für MFH ist ein genauere Nachweis (Beschleunigung) erforderlich. $f_{e,Res} \geq 6 \text{ Hz} \rightarrow$ NW für übliches EFH erfüllt.

Vergleich mit Messung: $f_{e,gemessen} = 7,8 \text{ Hz}$

4.2. Genauere Untersuchung – Beschleunigung in Resonanz

Die Gleichung für die Berechnung der Beschleunigung im Resonanzfall sowie die Parameter a und D finden sich z. B. in [Winter/Hamm/Richter, 2010].

$$a = \frac{F}{M^* \cdot 2D} = \frac{0,4 \cdot \alpha_3 \cdot G}{m \cdot 0,5 \cdot L \cdot 0,5 \cdot B \cdot 2D} = \frac{0,4 \cdot 0,1 \cdot 700}{154 \cdot 0,5 \cdot 4,61 \cdot 0,5 \cdot 5,0 \cdot 2 \cdot 0,03} = 0,52 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Fourierkoeffizient für die 3. Harmonische: $\alpha_3 = 0,1$

Gewichtskraft Testperson (nach EC5): $G = 700 \text{ N}$

Mitschwingende Masse: $M^* = m \cdot 0,5 \cdot L \cdot 0,5 \cdot B$

Dämpfung für Holzbalkendecken mit schwimmendem Estrich: $D = 3 \%$.

Nachweis: $a = 0,52 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \geq 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow$ NW für MFH nicht erfüllt.

Vergleich mit Messung: $a_{gemessen} = 0,58 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

4.3. Steifigkeit – Durchbiegung unter Einzellast

Durchbiegung der starr gelagerten Deckenbalken:

$$w(2\text{kN}) = \frac{2\text{kN} \cdot L^3}{48 \cdot EI_{\text{Längs}} \cdot b_{\text{ef}}} = \frac{2\text{kN} \cdot 4,61^3}{48 \cdot 2,22 \cdot 2,64} = 0,70 \text{ mm} = w_{\text{Balken}}$$

Mit einer mittragenden Breite von:

$$b_{\text{ef}} = \frac{L}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{\text{quer}}}{EI_{\text{längs}}}} = \frac{4,61}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{0,347}{2,22}} = 2,64 \text{ m}$$

Durchbiegung der Unterzüge unter 1 kN:

$$w(1\text{kN}) = \frac{1\text{kN} \cdot L^3}{48 \cdot EI_{\text{UZ}}} = \frac{1\text{kN} \cdot 6,75^3 \text{ m}^3}{48 \cdot 4,857 \cdot 10^7 \text{ Nm}^2} = 0,13 \text{ mm} = w_{\text{UZ}}$$

Überlagerung der Durchbiegungen:

$$w(2\text{kN})_{\text{Res}} = w_{\text{UZ}} + w_{\text{Balken}} = 0,13 + 0,70 = 0,83 \text{ mm}$$

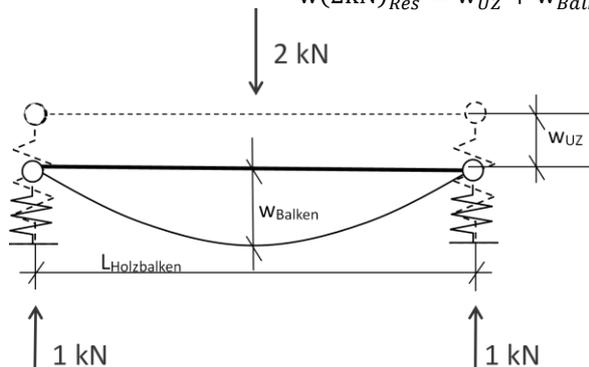


Abbildung 9: Durchbiegung unter Einzellast bei Decke und Stahlträger.

Nachweis: $w(2\text{kN})_{\text{Res}} = 0,83 \text{ mm} \geq 0,5 \text{ mm} \rightarrow$ NW für MFH nicht erfüllt.

$w(2\text{kN})_{\text{Res}} = 0,83 \text{ mm} \leq 1,0 \text{ mm} \rightarrow$ NW für übliches EFH erfüllt.

4.4. Konstruktive Anforderungen

Der letzte Nachweis ist die Überprüfung der konstruktiven Anforderungen nach Tabelle 1 (aus [Hamm, 2017]). In diesem Beispiel handelt es sich um eine Holzbalkendecke mit schwimmendem Nassestrich ohne Schüttung. Damit ist die Anforderung für die Bewertung 1,5 bis 2,5 (übliches Einfamilienhaus) erfüllt. NW für MFH ist nicht erfüllt.

Tabelle 1: Konstruktive Anforderung je nach Art der Rohdecke, Einbaulage und Bewertung

Art der Rohdecke	Art des Estrichs	Anforderung an Aufbau bei Bewertung 1,0 bis 1,5 (MFH)	Anforderung an Aufbau bei Bewertung 1,5 bis 2,5 (EFH)
Flächige Massivholzdecken (Brettsperrholz-, Brettstapeldecken)	schwimmender Nassestrich	schwimmend auf schwerer oder leichter Schüttung	schwimmend (auch ohne Schüttung)
	schwimmender Trockenestrich	schwimmend auf schwerer Schüttung *)	schwimmend auf schwerer Schüttung *)
Holzbalkendecken oder Trägerroste	schwimmender Nassestrich	schwimmend auf schwerer Schüttung	schwimmend (auch ohne Schüttung)
	schwimmender Trockenestrich	nicht möglich	schwimmend auf schwerer Schüttung

*) ... bis jetzt nur im Labor getestet.

4.5. Subjektiver Eindruck

Die subjektive Einschätzung des Schwingungsverhaltens dieser Decke ist schlechter als die rechnerischen Werte: Die Schwingungen waren spürbar und störend.

Auch der subjektive Eindruck bei der Schallmessung war sehr schlecht, da der durch das Norm-Hammerwerk erzeugte Körperschall im Empfangsraum als deutlich hörbar und störend wahrgenommen wurde.

4.6. Ergebnis der Schallmessungen

Das Ergebnis der Schallmessung im Labor liegt ohne Betrachtung der Flankenwege schon deutlich über ($L_{n,w}$) bzw. unter (R_w) den Mindestanforderungen für MFH und ist somit bestenfalls für Decken im eigenen Wohnbereich ohne Schallschutzanforderungen geeignet.

5. Weitere Messungen

Bei zwei Messungen ist die Tragkonstruktion eine Holzbalkendecke nach Abb. 4a. Die Aufbauten sind Nassestriche ohne Schüttung, d.h. nach Tab. 1 für übliche EFH geeignet. Sie weisen rechnerisch gute Ergebnisse auf (für übliche EFH geeignet), subjektiv und nach Schallmessung fallen sie schlecht aus, vgl. Rechenbeispiel im Kapitel 4.

Bei den folgenden Messungen ist die Tragkonstruktion eine Brettsperrholzdecke nach Abb. 4b. Die meisten Aufbauten sind mit Schüttung und Nassestrich, also auch für MFH geeignet. Die rechnerischen Werte der Schwingungsuntersuchung, sowie die Messergebnisse der Schwingungs- und Schallmessungen sind nicht für MFH, sondern nur für übliche EFH geeignet.

Ausnahmen bei den Aufbauten sind:

- der Aufbau ohne Schüttung.
- die Rohdecke
- der Aufbau mit Trockenestrich.

Das führt jeweils zu schlechten Schallschutzwerten. Die rechnerischen Schwingungskriterien bleiben jeweils in der Kategorie «EFH», außer bei der Rohdecke: Hier wird die Frequenz größer als 8 Hz, also für MFH geeignet, allerdings sind die konstruktiven Anforderungen nicht mehr erfüllt.

Bei den letzten Messungen ist die Tragkonstruktion eine Kastendecke nach Abb. 4c. Die Kastendecke, CLT-BOX mit 26cm Höhe, hat bei gleichem Materialverbrauch wie die CLT-

Decke (15cm Höhe) eine deutlich größere Biegesteifigkeit. Dadurch sind die rechnerischen Kriterien an den Schwingungsnachweis auch für MFH erfüllt. Die subjektive Wahrnehmung ist hier gut bis sehr gut.

6. Vorläufige Ergebnisse

In der Tendenz nützen viel Masse durch die Schüttung und den Nassestrich sowie eine hohe Steifigkeit in der Tragkonstruktion beiden Nachweisen, Schwingungen und Schall. Nach derzeitiger Datenlage ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen gutem Schallschutz- und gutem Schwingungsverhalten nicht ablesbar.

7. Danksagung

Diese Untersuchungen sind nur durch die Unterstützung der best wood SCHNEIDER® GmbH in Eberhardzell möglich geworden. Die Autorin möchte sich für die zur Verfügung Stellung der Versuchsflächen, des Materials für die Versuchskörper, der Infrastruktur, den Personaleinsatz für die Ein- und Umbauten und natürlich für die zur Verfügung Stellung der Ergebnisse der Schallmessung ausdrücklich bei der best wood SCHNEIDER® GmbH bedanken.

Weiterhin ist an dieser Stelle auch den Tutoren Jenny Heinzmann und Fabian Bader gedankt, die in den letzten Monaten regelmäßig die Schwingungsmessungen durchgeführt haben.

8. Literatur

DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen.

DIN 4109-33:2016-07 Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau.

DIN EN ISO 10140-2:2010-12 Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 2: Messung der Luftschalldämmung.

DIN EN ISO 10140-3:2015-11 Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 3: Messung der Trittschalldämmung.

DIN EN ISO 717-1:2013-06 Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung.

DIN EN ISO 717-2:2013-06 Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung.

[Eurocode 5: 2010]

Eurocode 5: DIN EN 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Dez. 2010.

[Eurocode 5: 2013 / NA - D]

Eurocode 5: DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.* August 2013.

[Hamm, 2008]:

Hamm, Patricia: *Schwingungsverhalten von Decken bei Auflagerung auf Unterzügen.* In: holzbau, die neue quadriga. 1/2008. S. 41-46.

[Hamm, 2017]:

Hamm, P.: *Schwingungsnachweise von Holzdecken auf Unterzügen.* In: 8. HolzBauSpezial | Bauphysik. 2017. Bad Wörishofen. März 2017. Hrsg.: FORUM HOLZBAU, CH-Biel.

[Winter/Hamm/Richter, 2010]:

Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A.: *Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. Schlussbericht Juli 2010.* TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion. Forschungsvorhaben gefördert aus den Haushaltsmitteln des BMWA über die AiF.

Gesundes Wohnen – Wie denn Planen und Bauen?

VVOC-/VOC-Emissionen aus Bauprodukten in Innenräumen von holzbasierten Gebäuden

Dr. Alexandra Schieweck
Fraunhofer WKI
Braunschweig, Deutschland



VVOC-/VOC-Emissionen aus Bauprodukten in Innenräumen von holzbasierten Gebäuden

1. Wohngesundheit und Innenraumluftqualität

In Abhängigkeit von dem individuellen Nutzerverhalten hält sich der moderne, mitteleuropäische Mensch überwiegend in geschlossenen Innenräumen auf (Wohnräume, öffentlicher Nahverkehr, Arbeitsplatz, Freizeiteinrichtungen). In diesen werden die Gesundheit und das Wohlbefinden der Nutzer nicht nur von den raumklimatischen Parametern (Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftwechsel), sondern auch von der Luftqualität im Hinblick auf eventuelle Schad- oder Geruchsstoffe beeinflusst.

Verunreinigungen der Innenraumluft können aus unterschiedlichen Quellen stammen. Neben dem Eintrag von Schadgasen und Partikeln über die Außenluft zählen Emissionen aus den im Innenraum verbauten Materialien und dem eingebrachten Mobiliar zu den wichtigsten Quellen. Daher sind sowohl die geographische Lage eines Gebäudes als auch dessen bauliche Konstruktion und die Innenausstattung wichtige Randparameter in Bezug auf die Innenraumluftqualität, aber auch Verbraucherprodukte und individuelle Nutzungsgewohnheiten stellen Einflussfaktoren dar.

Angesichts der Kenntnis von gesundheitlichen Auswirkungen infolge von Werkstoffemissionen hat die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten in den letzten Jahrzehnten stark an Bedeutung gewonnen. Im Rahmen der Thematik «Baustoffemissionen und Innenraumluftqualität» werden in der Regel die Substanzgruppen der flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOCs) und der Carbonylverbindungen, einschließlich Formaldehyd, betrachtet. Angesichts jüngster Entwicklungen auf dem Gebiet der gesundheitlichen Bewertung sowohl von Bauproduktemissionen als auch von der Luftqualität in Innenräumen zeigen, dass neben den VOCs auch zukünftig die Substanzgruppe der leicht flüchtigen organischen Verbindungen (very volatile organic compounds, VVOCs) einer Erfassung und Bewertung bedarf.

1.1. Hintergrund

Im Zuge der Harmonisierung für die Vermarktung von Bauprodukten gilt seit 2013 die europäische Bauproduktenverordnung (Regulation (EU) No 305/2011). In dieser wird unter ihren sechs wesentlichen Anforderungen (ER: Essential Requirements) unter Punkt 3 auch der Aspekt der «Hygiene, Gesundheit, Umweltschutz» (ER 3) genannt und damit der Gesundheitsschutz von Gebäudebewohnern und -nutzern als ein wesentliches Ziel definiert. Dieses umfasst u.a. auch die Freisetzung schädlicher Gase in die sowie das Vorhandensein gefährlicher Teilchen oder Gase in der Luft und gilt folglich nicht nur für das Bauwerk, sondern auch als Grundanforderung für die darin enthaltenen Bauprodukte. Damit ist die Begrenzung und Vermeidung von Schadstoffen in Innenräumen ausdrücklich genannt und gilt somit auch als Auflage im Zusammenhang mit der möglichen Freisetzung von flüchtigen Verbindungen aus Werkstoffen.

Innerhalb der European Collaborative Action (ECA) «Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure» wurden sowohl Kriterien für ein harmonisiertes Prüfverfahren als auch ein Schema für eine einheitliche und reproduzierbare gesundheitsbezogene Bewertung von Emissionen aus für den Innenbereich vorgesehenen Bauprodukten abgeleitet (ECA, 2005; 2012). Diese Kriterien umfassen die Substanzgruppen der flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds; VOCs) und der Carbonylverbindungen, einschließlich Formaldehyd (ECA, 2012). Die gesundheitsbezogene Bewertung der Emissionen basiert auf der Ableitung sogenannter LCI-Werte (Lowest Concentration of Interest), im Deutschen NIK-Werte (niedrigste interessierende Konzentration). Nach derzeitigem fachlichen Ermessen können Luftfremdstoffe in einer Konzentration oberhalb des jeweiligen EU-LCI-Wertes Auswirkungen auf den Menschen haben (ECA, 2013). Die Ableitung harmonisierter EU-LCI-Werte berücksichtigt in einem ersten Schritt ausschließlich VOCs.

Zukünftig ist aber eine Ausweitung auch auf die Gruppe der sogenannten VVOCs vorgesehen. Erste EU-LCI-Werte für Substanzen, die zur Gruppe der VVOCs zählen, wurden im Jahr 2013 publiziert. Mit Stand Dezember 2016 werden zukünftig EU-LCI-Werte für weitere VVOCs abgeleitet.

In Deutschland hat es sich der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) zur Aufgabe gemacht, ein Schema zu erarbeiten, das eine einheitliche und objektive Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten ermöglicht. Die gesundheitliche Bewertung von Einzelsubstanzen erfolgt stoffspezifisch auf Basis von NIK-Werten. Das Schema umfasst VOCs, die analytisch betrachtet in einem Retentionsbereich von C_6 bis C_{16} liegen (Hexan bis Hexadecan), und die Gruppe der SVOCs mit einer Retentionszeit $>C_{16}$ (Hexadecan). Mit Stand Februar 2015 hebt das AgBB-Schema einen zusätzlichen Forschungsbedarf insbesondere für die Substanzgruppe der VVOCs mit einer Retentionszeit $<C_6$ hervor, da diese als relevante Bauproduktmissionen einzustufen sind. Mit der neuesten Fassung vom August 2018 wird die Gruppe der VVOCs berücksichtigt. Seit 2017 ist das AgBB-Bewertungsschema Grundlage für die «Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG)», die in die Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) eingebunden sind (AgBB, 2018; DIBt, 2017).

Auf dem Gebiet der Innenraumluftqualität setzt der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR, vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK/AOLG) bundeseinheitliche, gesundheitsbezogene Richtwerte für die Innenraumluft fest. Diese können als Maßstab für die Bewertung der Qualität in Innenräumen in Deutschland angewendet werden. Die Grundlage ist ein sogenanntes Basisschema, das 1996 im Bundesgesundheitsblatt veröffentlicht wurde (Ad-hoc-AG, 1996). In diesem Schema sind zwei Richtwert-Kategorien definiert:

Richtwert II (RW II) ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Sicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen beziehungsweise Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese höhere Konzentration kann, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung sein. Je nach Wirkungsweise des Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder Langzeitwert (RW II L) definiert sein.

Richtwert I (RW I - Vorsorgerichtwert) beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Eine Überschreitung ist allerdings mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, unerwünschten Belastung verbunden. Aus Gründen der Vorsorge sollte auch im Konzentrationsbereich zwischen Richtwert I und II gehandelt werden, sei es durch technische und bauliche Maßnahmen am Gebäude (handeln muss in diesem Fall der Gebäudebetreiber) oder durch verändertes Nutzerverhalten. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen.

Da die Innenraumluft viele organische Verbindungen enthält und Richtwerte nur für relativ wenige Einzelsubstanzen/-gruppen zur Verfügung stehen, hat der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) Maßstäbe zur Beurteilung von flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC) erarbeitet. Das Konzept der TVOC-Bewertung und die Vorgehensweise bei den verschiedenen Stufen wurde in einer Bekanntmachung des Umweltbundesamtes (2007) ausführlich dargelegt.

1.2. Forschungsvorhaben

Auf dem «FORUM HOLZBAU - Bauphysik & Gebäudetechnik», das am 12./13. März 2019 in Bad Wörishofen stattfindet, werden vor diesem Hintergrund die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens vorgestellt¹, das sich im Schwerpunkt (i) mit der Freisetzung von VVOCs aus Vollholz und holzbasierten Werkstoffen sowie (ii) mit der Innenraumluftqualität in holzbasierten Gebäuden beschäftigt hat.

In einem ersten Schritt wurde eine analytische Methode für den quantitativen Nachweis von VVOCs (C₃-C₆) in Emissionsprüfkammern und in der Innenraumluft entwickelt. Das Verfahren wurde bereits publiziert (open access; Schieweck et al., 2018).

Darauffolgend wurden Vollhölzer, holzbasierte Holzwerkstoffe, Bauelemente und Fußbodenbeläge auf ihr Emissionsverhalten von VVOCs, aber auch hinsichtlich der Freisetzung von VOCs, leichtflüchtigen Carbonylverbindungen (einschließlich Formaldehyd und Acetaldehyd) und C₁-C₂-Alkansäuren untersucht. Die Σ VVOC-Konzentrationen variierten nicht nur unter den Werkstoffgruppen, sondern auch innerhalb dieser Gruppen. Das Spektrum der freigesetzten Einzelsubstanzen und insbesondere die detektierten Leitsubstanzen waren ähnlich. Hierbei handelte es sich überwiegend um niedermolekulare Alkane (n-/i-Pentan), Alkohole (z.B. Ethanol, n-Butanol, n-/i-Propanol) und Aldehyde (z.B. n-Pentanal, i-Propanal, 2-Propenal). Ein Zusammenhang zwischen den einzelnen Werkstoffgruppen und dem Emissionspotential für VVOCs war nicht eindeutig herstellbar, da keine systematischen oder besonders auffälligen Unterschiede festgestellt werden konnten. Nur in einigen Fällen ist es wahrscheinlich, dass Unterschiede im Emissionsverhalten auf die eingesetzten Klebstoffe zurückzuführen sind.

Da der Einfluss des Einzelmaterials auf die Innenraumluftqualität vom Umfang und von der Art der Verwendung abhängig ist, wurde die Raumluftqualität in vier Realhäusern in verschiedenen Bauphasen untersucht: (1) nach Schließen der luftdichten Hülle (Rohbau), (2) nach Abschluss des Innenausbaus und (3) während der Nutzungsphase. Durch diese Begleitung der einzelnen Bauvorhaben wurde ein umfassender Einblick über Veränderungen der Innenraumluftqualität in Abhängigkeit von der Bauphase und in Abhängigkeit von Umfeldfaktoren ermöglicht. Die Raumluftuntersuchungen umfassten jeweils die Zielsubstanzgruppen der VVOCs, VOCs, leichtflüchtigen Carbonylverbindungen (einschließlich Formaldehyd und Acetaldehyd) und C₁-C₂-Alkansäuren. Zusätzlich erfolgten Luftwechsellmessungen, insofern das Haus nicht über eine Lüftungsanlage verfügte. Die Messergebnisse wurden in Bezug auf verfügbare Bewertungsgrundlagen ausgewertet: (i) Innenraumrichtwerte des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) und (ii) Leitwerte für die Summe flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC) in der Innenraumluft (2007).

Neben den für den Hausbau eingesetzten Konstruktionsmaterialien (Außen-/Innenwände, Zwischendecke, Boden, Dach) wirken sich die klimatischen Parameter (Temperatur, relative Luftfeuchte) und insbesondere die Luftwechselrate auf die Innenraumluftqualität aus. Darüber hinaus können weitere Quellen die Raumluft beeinflussen. Hierzu sind primär das durch die Nutzer eingebrachte Mobiliar, ggf. weitere Raumausstattungsmaterialien (Wandverkleidungen, Anstriche, Teppiche) und durch Verbraucherprodukte sowie den Lebensstil eingebrachte Emissionen (u.a. Körperpflege-, Reinigungsmittel, Duftstoffe, Rauchen, Hobbies) zu nennen. Bei Luftanalysen in Realhäusern werden immer die Emissionen einer Vielzahl an Quellen detektiert, so dass ein sicherer Rückschluss auf einzelne Bauprodukte oder Werkstoffe nicht zwangsläufig möglich ist. Die im Forschungsvorhaben detektierten Σ VVOC-Konzentrationen waren teilweise stark erhöht und die in allen Häusern nachgewiesenen Leitsubstanzen n-/i-Butan und n-/i-Pentan weisen darauf hin, dass Treibmittel aus Dämmstoffen in hohen Konzentrationen freigesetzt werden können. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass der Betrieb einer Lüftungsanlage durch die dadurch erzielte Erhöhung der Luftwechselrate zu einer Reduzierung der Luftfremdstoffkonzentrationen in Innenräumen führen kann. Der Betrieb einer Lüftungsanlage kann allerdings nicht allein eine Luftqualität garantieren, die nur geringe Luftfremdstoffkonzentrationen aufweist.

¹ «Evaluierung der Emissionen von sehr flüchtigen organischen Verbindungen (VVOCs) aus Holz und Holzprodukten zur Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen – Entwicklung von Reduzierungsansätzen unter Berücksichtigung realer Innenraumbedingungen. Unterstützt mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Förderkennzeichen: #22008114.

Folglich sind die umsichtige Auswahl und der Einsatz von Konstruktionsmaterialien und Bauprodukten von hoher Wichtigkeit. Darüber hinaus zeigten die Messergebnisse auch, dass die Luftkonzentrationen von Formaldehyd in allen Häusern unterhalb des geltenden RW I von $0,1 \text{ mg/m}^3$ lagen. Stattdessen wurde auf Basis der Ergebnisse deutlich, dass zukünftig die Substanzen Acetaldehyd und Essigsäure von Relevanz sein werden, da diese in den Häusern in hohen Konzentrationen gemessen wurden, wobei die Konzentrationen teilweise während der Nutzung anstiegen. Für Acetaldehyd existieren bereits Richtwerte (RW II: 1 mg/m^3 , RW I: $0,1 \text{ mg/m}^3$; Ad-hoc-AG, 2013), für die Gruppe der C_1 - C_8 -Alkansäuren sind diese in Vorbereitung. Der RW II wird voraussichtlich bei 1 mg/m^3 , der RW I bei $0,3 \text{ mg/m}^3$ liegen. Grundlage wird die Analytik gemäß VDI 4301-7 (2017) sein, wie sie auch in dem vorgestellten Forschungsvorhaben eingesetzt wurde (AIR, 2018).

Literatur

Ad-hoc-AG, 1996. Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden: Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsblatt 39: 422-426.

Ad-hoc-AG, 2013. Richtwerte für Acetaldehyd in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt 56, 1434-1447.

Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR), 2018. Protokoll der 6. Sitzung des Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) am 02. und 03. November 2017 in Berlin, vom 07.05.2018. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#textpart-1> (letzter Zugriff: 20.02.2019)

AgBB (Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten), 2018. Anforderungen an die Innenraumluftqualität in Gebäuden: Gesundheitliche Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC, VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Stand August 2018.

Bekanntmachung des Umweltbundesamtes, 2007. Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 50, 990-1005.

European Collaborative Action (ECA), 2005. Harmonisation of indoor material emissions labelling systems in the EU. Inventory of existing schemes. Report No 24, Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

European Collaborative Action (ECA), 2012. Harmonisation framework for indoor products labelling schemes in the EU. Report No 27, Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

European Collaborative Action (ECA), 2013. Harmonisation framework for health based evaluation of indoor emissions from construction products in the European Union using the EU-LCI concept. Report No 29, Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 2017. Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Ausgabe 2017/1 mit Druckfehlerkorrektur vom 11. Dezember 2017, Ausgabe August 2017.

Schieweck, A., Gunschera, J., Varol, D., Salthammer, T., 2018. Analytical procedure for the determination of very volatile organic compounds (C_3 - C_6) in indoor air. Anal Bioanal Chem 13, 3171-3183. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00216-018-1004-z>

VDI-Richtlinie 4301 Blatt 7, 2017. Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Messen von Carbonsäuren. Beuth Verlag.

VOC-Anforderungen an Baustoffe und Innenräume

Dr. Martin Ohlmeyer
Thünen-Institut für Holzforschung
Hamburg, Deutschland



VOC-Anforderungen an Baustoffe und Innenräume

1. Einführung und Hintergrund

Menschen verbringen 80 bis 90 % ihrer Zeit in Innenräumen. Daher ist die Qualität der Innenraumluft von besonderem Interesse. Das Wohlbefinden beeinflussen neben den klimatischen Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftwechselrate und Luftgeschwindigkeit) auch die Konzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC vom englischen Volatile Organic Compounds) im Innenraum. Quellen dieser VOC können unterschiedliche Faktoren sein: Baustoffe, Bodenbeläge, Inneneinrichtungsgegenstände, Möbel, menschliche Aktivitäten (Kochen, Reinigung, Renovierung, Rauchen etc.) oder auch die Außenluft.

Der aktuelle Fokus liegt auf den Baustoffen, da diese vom Bewohner einer Wohnung / eines Hauses normalerweise nicht beeinflussbar sind. Somit werden diese Materialien besonders im Hinblick ihrer VOC-Abgabe beachtet. Für Holzprodukte ist dies von grundsätzlich hoher Bedeutung, da Holz als organisches Material eine Reihe von Substanzen enthalten kann, die unter Normalbedingungen flüchtig und somit unter gewöhnlichen Nutzungsbedingungen als VOC-Konzentrationen nachweisbar sind – der typische Geruch des Kiefernholzes gehört dazu.

2. Rechtlicher Rahmen

2.1. Innenräume

Für die größte Anzahl der in der Innenraumluft vorkommenden Substanzen existieren keine gesetzlichen Regelungen – Ausnahmen: Tertrachlorethen (gem. 2. BImSchV) sowie PCB und PCP (gem. den Technischen Baubestimmungen auf Länderebene).

Bezüglich der Innenraumluftqualität existiert in Deutschland ein Konzept zur Bewertung der Innenraumluft, das vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) im Bundesgesundheitsblatt veröffentlicht ist. Der AIR berät das Umweltbundesamt (UBA) und publiziert u.a. regelmäßig im Rahmen dieses Konzeptes Innenraumluftrichtwerte (RW I und II). Wenn der Kenntnisstand nicht ausreicht, um einen toxikologisch basierten Richtwert abzuleiten, werden hygienisch begründete Leitwerte erarbeitet; diese sind u.a. für TVOC-Konzentrationen in der Innenraumluft veröffentlicht.

Es sind Richtwerte für den Innenraum für Substanzen publiziert, die typisch für Holzprodukte sind: bitykliche Terpene (Leitsubstanz: α -Pinen), monocykliche Terpene (Leitsubstanz: Limonen), Aldehyde und Formaldehyd. Nach diesem Konzept besteht z. B. für die bityklichen Terpene ab einer Innenraumluftkonzentration von 2 mg/m^3 (RW II) Handlungsbedarf; bei einer Konzentration von $0,2 \text{ mg/m}^3$ (RW I) wird davon ausgegangen, dass bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung besteht.

Diese Werte haben keinen rechtlich bindenden Charakter. Da sie aber als Stand des wissenschaftlichen Kenntnisstandes betrachtet werden, können diese Werte im Streitfall herangezogen und als gerichtsfest angesehen werden. Allerdings finden sich für die bityklichen Terpene im wissenschaftlichen Diskurs auch andere (höhere) Werte, die als hinreichend angesehen werden.

Einen direkten Einfluss auf die Konzentration von VOC in der Innenraumluft hat die Luftwechselrate, die aus hygienischen Gründen zwischen $0,3$ und $0,5 \text{ h}^{-1}$ betragen sollte. Aber auch dieser Wert ist nicht rechtlich bindend, sondern stellt lediglich eine Empfehlung dar.

Die Innenraumluftqualität ist darüber hinaus auch ein Kriterium für die Nachhaltigkeitsbewertung nach dem DGNB-System (Kriterium «Innenraumluftqualität», SOC1.2). Hierbei werden Punkte für das Erreichen von unterschiedlichen VOC- und Formaldehydwerten vergeben und mit den weiteren Kriterien verrechnet.

2.2. Produkte – Europa

In der Europäischen Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) werden sieben wesentliche Anforderungen an Bauwerke gestellt. Darunter zählt auch die hygienische Vorsorge hinsichtlich der Abgabe von toxischen und anderen VOC-Substanzen in den Innenraum. Für die Umsetzung ist vorgesehen, dass diese Eigenschaft von Bauprodukten im Rahmen der CE-Kennzeichnung deklariert wird. In den letzten Jahren ist hierfür eine horizontale Prüfnorm erarbeitet worden, die im Januar 2018 veröffentlicht wurde. In dieser EN 16516 sind die Prüfbedingungen und die Ergebnisdarstellung im Hinblick auf die beabsichtigte Verwendung des Produktes geregelt. Es fehlt für die Umsetzung allerdings noch ein Regelwerk für die Bewertung der Ergebnisse. Dies befindet sich seit einiger Zeit in Diskussion und Abstimmung der EU-Kommission (unter Federführung von DG Groth) und soll als EU-Rechtsverordnung (Delegated Act) umgesetzt werden. Bisher ist lediglich absehbar, dass unterschiedliche Kriterien bewertet werden sollen (CMR-Substanzen, Formaldehyd und VOC-Substanzen) und dass es jeweils mindestens zwei Klassen geben wird, wobei die höhere Klasse immer eine offene Klasse ist. Somit kann damit dann national geregelt werden, inwieweit eine dieser Eigenschaften relevant für den eigenen Markt ist und berücksichtigt werden muss.

Hinweis auf die bisherige Regelung für Formaldehyd: Hier sind in der CE-Norm für Holzwerkstoffe (DIN EN 13986) die beiden Klassen E1 und E2 gegeben, wobei in Deutschland aufgrund der ChemVerbV ausschließlich E1 erlaubt ist.

Wenn diese Rechtsverordnung erlassen wurde, kann im nächsten Schritt über die harmonisierten CE-Normen die Bewertung von VOC für die relevanten Produkte verbindlich europaweit eingeführt werden. Derzeit ist der Stand über den Delegated Act aber offen. Bis zu welchem Zeitpunkt dieser zu erwarten ist, kann nicht abgeschätzt werden.

2.3. Produkte – Deutschland

Bis 2016 wurde durch das DIBt das AgBB-Schema bei der bauaufsichtlichen Zulassung von bestimmten Bauprodukten (Bodenbeläge) in Bezug genommen. Nach der Rechtsprechung des EuGHs, wonach national keine strengeren Regeln als europäisch verankert gelten dürfen, wurde von der weiteren Anwendung dieser Praxis abgesehen.

Aktuell sind die Anforderungen gemäß des AgBB-Schemas Bestandteil der MVV TB, Anhang 8, (Ausgabe August 2017) und sollen u. a. für folgende Produkte angewendet werden:

- Bodenbeläge und -konstruktionen
- Parkette und Holzfußböden
- Sportböden
- Oberflächenbeschichtungen für Holzfußböden und elastische Bodenbeläge
- behandelte oder verklebte Hölzer
- nachträglich aufgebrachte organische Feuerschutzmittel.

Im Rahmen der Bewertung nach AgBB werden unterschiedliche Kriterien (VOC, R-Wert, SVOC, CMR) geprüft. Entscheidender Unterschied zum europäischen Ansatz ist aber, dass nach dieser Bewertung ein Produkt marktfähig ist oder nicht – eine Abstufung oder Klassifizierung gibt es nicht.

Um eine hinreichend genaue Reproduzierbarkeit und damit die Belastbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten, sind produktspezifische Anforderungen für die Prüfung gemäß EN 16516 erforderlich, da diese Prüfmethode für alle Baustoffe mit unterschiedlichen Besonderheiten angewendet werden soll. Diese Anforderungen sollen im Rahmen der CE-Kennzeichnung von den CEN-Produkt TCs erarbeitet und festgelegt werden. Im Kontext der MVV TB sind bisher keine Festlegungen getroffen, daher ist derzeit nicht erkennbar, unter welchen Vorbedingungen (u. a. Prüfzeitpunkt, Beladungsgrad, ggf. Vorbehandlung) die o. g. Produkte geprüft werden müssten – zumindest sind diese bisher nicht öffentlich kommuniziert.

Darüber hinaus existieren eine Reihe von Labels (z.B. Blauer Engel, Natureplus), die nach privatwirtschaftlichen Regeln vergeben und zu Marketingzwecken verwendet werden.

3. Was ist über Holz bekannt?

Holz ist ein organischer Werkstoff, der – wie nahezu alle organischen Materialien – flüchtige organische Verbindungen (VOC) emittiert. Typische Substanzen sind hierbei (a) Primäremissionen, die im Holz frei vorliegen (z. B. Terpene, die für den charakteristischen Geruch verschiedener Nadelhölzer verantwortlich sind) oder (b) Sekundäremissionen, die beispielsweise aus der Gerüstsubstanz als Reaktionsprodukte entstehen können (z. B. organische Säuren aus Laubhölzern). Auch Formaldehyd wird in sehr geringen Mengen von Holz (i. d. R. um und bis zu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) emittiert.

Hölzer mit einem hohen Gehalt an flüchtigen Inhaltsstoffen emittieren somit auch die größten Mengen an VOC: Hierunter fallen die Nadelhölzer und hierbei wiederum insbesondere die Kiefer (*Pinus sylvestris*); die nennenswertesten Substanzen sind Terpene (hauptsächlich α -Pinen), Aldehyde und organische Säuren. Von der Fichte (*Picea abies*) werden nahezu die gleichen Substanzen emittiert, allerdings meist in geringen Mengen. Die wichtigsten Laubhölzer, wie Buche (*Fagus sylvatica*), Birke (*Betulus*) und Eiche (*Quercus*), emittieren fast ausschließlich organische Säuren (vornehmlich Essigsäure) in bedeutender Konzentration.

Die gemessenen Größenordnungen von VOC können stark (bis zu einer Größenordnung) variieren, da sie von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden:

- Extraktstoffgehalt, der wiederum von Genetik, Standortbedingungen und Kalamitäten beeinflusst sein kann
- Kern- und Splintholz-Anteil
- Verarbeitungsbedingungen: Temperatur, Materialfeuchte, pH-Wert, Zerkleinerungsgrad etc.

Daher lassen sich aus Holzwerkstoffen meist dieselben Substanzen im VOC-Spektrum wiederfinden, wie sie auch aus den Hölzern nachgewiesen werden, aus denen die Holzwerkstoffe hergestellt wurden – allerdings i. d. R. in anderer Größenordnung und Zusammensetzung.

4. Glossar

AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte
BImSchV	Bundesimmissionschutzverordnung
CE	Kennzeichnung gemäß europäischen Harmonisierungsrechtsvorschriften, EU-Verordnung 765/2008
CEN	Comité Européen de Normalisation, siehe Europäisches Komitee für Normung
ChemVerbV	Chemikalienverbotsverordnung
CMR	Carcinogenic, Mutagenic and toxic to Reproduction substances, dt. krebserzeugende, mutagene und reproduktionstoxische Stoffe
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsche Institut für Normung e. V.
DG Growth	Directorate General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, dt. Generaldirektionen der Europäischen Kommission für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
EU-BauPoV	EU-Bauproduktenverordnung, Verordnung (EU) Nr. 305/2011
EuGH	Europäischer Gerichtshof
EN	Europäischen Norm
MVV TB	Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCP	Pentachlorphenol
RW	Richtwert gem. Richtwertkonzept
R-Wert	Risiko-Wert gem. AgBB
SVOC	Semi Volatile Organic Compounds, dt. schwerflüchtige organische Verbindungen
TC	CEN Technical Committee, dt. Technisches Komitee des CEN
UBA	Umweltbundesamt
VOC	Volatile Organic Compounds, dt. flüchtige organische Verbindungen
VVOC	Very Volatile Organic Compounds, dt. leichtflüchtige organische Verbindungen

VOC-Emissionen aus mehrschichtigen Wand- und Deckenelementen in Holz- Rahmenbauweise

Dr. Ingo Mayer
Berner Fachhochschule AHB
Biel, Schweiz



VOC-Emissionen aus mehrschichtigen Wand- und Deckenelementen in Holz-Rahmenbauweise

1. VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen im Holzbau

VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen sind vor allem auf Holzinhaltsstoffe zurückzuführen, die in Konzentration und Zusammensetzung zwischen verschiedenen Holzarten stark variieren. Einige wichtige Holzinhaltsstoffe werden unter Temperatur- und Sauerstoffeinfluss chemisch verändert, und führen zu weiteren VOC-Emissionen. Neben der Emission an Formaldehyd aus Klebstoffsystemen (insbesondere UF-Harze), welche an dieser Stelle nicht thematisiert werden sollen, kommt es zu keinen relevanten VOC-Emissionen aus Klebstoffbestandteilen von Holzwerkstoffen.

Bei Nadelhölzern sind die emissionsrelevanten Inhaltstoffe im Wesentlichen Terpene (z.B. α -Pinen und 3-Caren) und Fettsäuren. Bei Kiefernholz ist der Harzanteil (Terpene) und der Anteil an Fettsäuren im Vergleich zu anderen heimischen Nadelholzarten hoch. OSB-Platten aus Kiefernholz haben deshalb ein großes Emissionspotential für VOC ^[5,6]. Die im Harz enthaltenen Fette und freien Fettsäuren, werden unter Temperatureinfluss leicht durch Sauerstoff oxidiert ^[11]. Bei einer fortschreitenden Oxidation der Fettsäuren werden schließlich Aldehyde gebildet, insbesondere Pentanal und Hexanal. Fettsäuren sind so empfindlich gegenüber oxidativen Veränderungen, dass auch bei Raumtemperatur fortlaufend Fettsäuren zu Aldehyden und anderen VOC durch Luftsauerstoff oxidiert werden und als VOC abgegeben werden.

Bei Laubhölzern besteht eine andere Ausgangslage. Da heimisch Laubholzarten keine Harzkanäle beinhalten, kommen im Laubholz keine Terpene oder Harzsäuren vor. Auch Fettsäuren kommen hier in deutlich geringerem Umfang als bei Nadelhölzern vor, da Laubhölzer, wie z.B. die Rotbuche eher Polysaccharide (Stärke) als Energiespeicher-Moleküle nutzen. Diese sind nicht flüchtig und erzeugen beim Heißpressen keine emissionsrelevanten Abbauprodukte. Lediglich die chemisch etwas unterschiedlich aufgebauten Hemicellulosen (höherer Anteil an Xylanen und Acetyl-Seitengruppen) resultieren in höheren Emissionen an Essigsäure und (in sehr geringem Umfang) an Furfural. Im Vergleich zu den Emissionen aus harzreichen Nadelhölzern stellen heimische Laubhölzer jedoch emissionsarme Alternativen für die Holzwerkstoffindustrie dar. Der Einsatz alternativer Holzarten für die OSB-Herstellung kann die VOC-Emission deutlich reduzieren. So wiesen z.B. OSB-Platten hergestellt im Technikums-Maßstab und basierend auf Buchenholz-Strands stark reduzierte VOC-Emissionen auf ($\text{VOC} < 150 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$, Tag 28 der Emissionsprüfung; Vergleich: OSB aus Kiefer bei ca. $1000 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) Bei der Verwendung von Pappel-Strands konnten sogar noch tiefere Emissionsraten von ca. $60 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ erzielt werden ^[4].

Holzwerkstoffe wurden in mehreren Studien hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens untersucht ^[5-13]. In einigen Studien wurde zur Erfassung und Bewertung der VOC-Emissionen auch das AgBB-Bewertungsschema zu Grunde gelegt ^[14]. Dabei konnten einige OSB-Produkte aus Kiefernholz die Anforderungen des AgBB-Schemas hinsichtlich der VOC-Emissionen nicht erfüllen. Arbeiten an der Universität Hamburg zeigen einen Einfluss der Trocknungsparameter für OSB-Strands auf die resultierenden VOC-Emissionen von OSB-Platten auf, der produktionstechnische Spielraum bei der OSB-Herstellung ist jedoch begrenzt, so dass keine wesentliche Reduktion des Emissionsverhaltens von OSB-Platten erzielt werden konnte ^[15,16].

Neben dem Emissionspotential der eingesetzten Holzart besitzt der Zerkleinerungsgrad der Holzpartikel (Strands, Späne, Fasern) einen Einfluss auf die VOC-Emissionen, welche mit zunehmendem Zerkleinerungsgrad kleiner werden (Tabelle 2). So variieren die VOC-Emissionen in frisch produzierten Holzwerkstoffen in einem Bereich von ca. $100 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (MDF-Platte mit hohem Laubholzanteil) und in Einzelfällen von mehr als $5000 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (OSB-Platten mit sehr hohem Kiefernholz-Anteil (Tabelle 1)).

Tabelle 1: Zusammenstellung typischer VOC-Emissionsraten handelsüblicher Holzwerkstoffe. Messwerte von Emissionskammerprüfungen, ISO 16000-9, Tag 28 [4]. Formaldehyd als VVOC ist nicht miterfasst.

Baustoff	Emissionsrate TVOC ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$) ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)
MDF-Platte	< 150
Spanplatte, Holzmix	< 250
OSB 3/OSB 4, Kiefer	500 - 1'200 (- 5'000)
3-Schichtplatte, Fichte	< 250
3-Schichtplatte, Tanne/Fichte	< 20
Leimholz-Platte, Kiefer	500 - 1'500

Bei Verfolgung des zeitlichen Verlaufs der Emissionen ist festzuhalten, dass insbesondere die Terpen-Emissionen in den ersten Wochen nach offener Exposition eines Holzwerkstoffes zur Raumluft stark zurückgehen. Dies ist ebenfalls an Messwerten von Emissionskammerprüfungen ersichtlich. Solange ein Holzwerkstoff über mehrere Wochen ungehindert VOC-Emissionen abgeben kann, ist schnell ein markanter Rückgang der Terpen-Emissionen feststellbar. Weniger günstig ist das zeitliche Emissionsverhalten für die aus Fettsäuren gebildeten Aldehyde. Die zugrundeliegenden Oxidationsreaktionen laufen langsam aber kontinuierlich ab und führen zu langanhaltenden Aldehyd-Emissionen. Durch Lagerung und Transport der Platten in Plattenstapeln und anschließend rascher Verbauung in mehrschichtigen Konstruktionen ist diese ungehinderte Auslüftungsphase in der Praxis - im Gegensatz zum normierten Emissionsprüfkammerversuch - in der Regel jedoch nicht gegeben. Holzwerkstoffe aus harzreichen Hölzern (insbesondere OSB-Platten mit hohem Kiefernanteil) stellen auch aufgrund Ihrer Einbausituation ein mittel- bis langfristiges Emissionsquelle für VOC-Emissionen dar.

Zunehmend kommt es in den letzten Jahren auch zu Klagen und Reklamationen von Endverbrauchern aufgrund auffälliger Gerüche in Innenräumen bei neu errichteten Gebäuden oder nach Bauen im Bestand. Auffällige Gerüche sind mittlerweile die am häufigsten genannte Ursache für Untersuchungen zur Raumluftqualität in Gebäuden (noch vor Überprüfung von Richtwerten, auftretenden Reizerscheinungen und Gesundheitsbeschwerden). Eine Reklamation von Fehlgerüchen trifft nicht selten bei Gebäuden in Holzbauweise auf, da die aus OSB entweichenden Aldehyd-Emissionen als olfaktorisch unangenehm empfunden werden ("Fehlgerüche") (Abbildung 2).

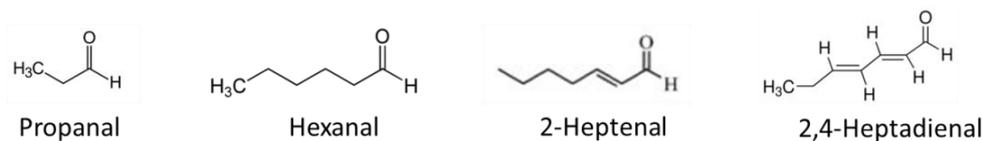


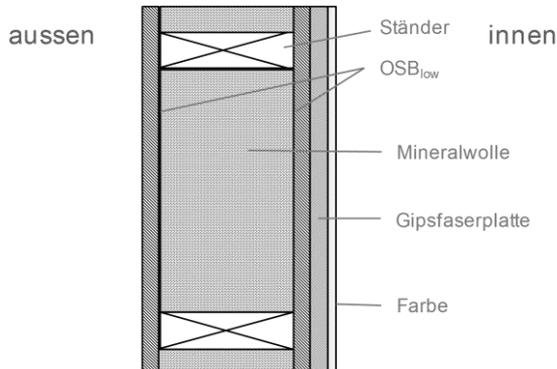
Abbildung 1: Strukturformeln geruchsintensiver Aldehyde aus Holz und Holzwerkstoffen, die beim oxidativen Abbau der im Holz enthaltenen Fettsäuren entstehen und an die Raumluft abgegeben werden

2. Emissionen aus mehrschichtigen Wand- und Dachaufbauten in die Innenraumluft

Weitestgehend unbekannt und empirisch noch nicht erfasst ist das Verhalten von Emissionen aus mehrschichtigen Aufbauten über einen längeren Zeitraum. Dies gilt insbesondere für die Frage der Migration von VOC-Emissionen durch eine oder mehrere darüber liegende Materialschichten in die Raumluft. In Hinblick auf übliche Materialkombinationen in Innenräumen betrifft dies insbesondere die häufig innenseitig eingebauten Gipskarton- oder Gipsfaserplatten mit darüber aufgetragenen Putz- und Farbschichten. Die Fragen a) wie stark zeitverzögert und b) ob eventuell abgeschwächt die Migration von VOC-Emissionen aus darunter eingebauten Holzwerkstoffen erfolgt, wurde an einem kürzlich abgeschlossenen und vom BAFU-WHFF (Bundesamt für Umwelt, Wald- und Holzforschungsfonds) geförderten Forschungsvorhaben an der Berner Fachhochschule untersucht [13].

Häufig in der Praxis eingesetzte Wand- und Dachaufbauten wurden zu Beginn des Projektes definiert (Materialtyp, Materialstärke, Aufbau). Dabei wurden zwei Wandaufbauten definiert, die sich im Aufbau hinsichtlich des Einsatzes der OSB-Platten unterscheiden (WA_OSB2x und WA_OSB1x, Abbildung 2).

WA_OSB2x



WA_OSB1x

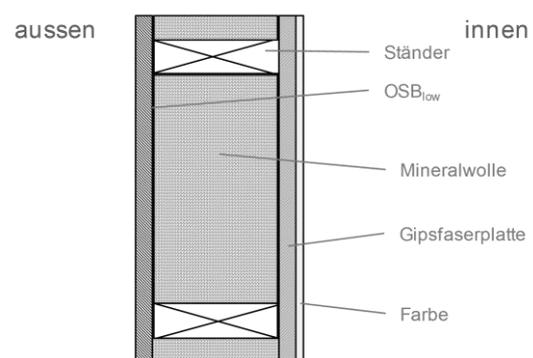
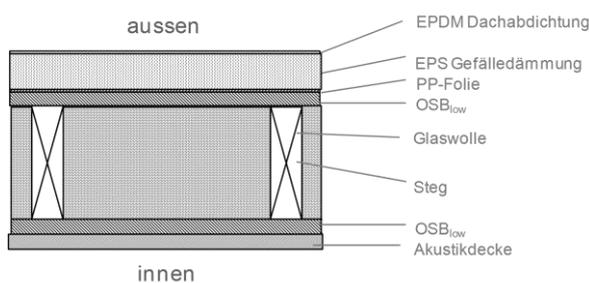


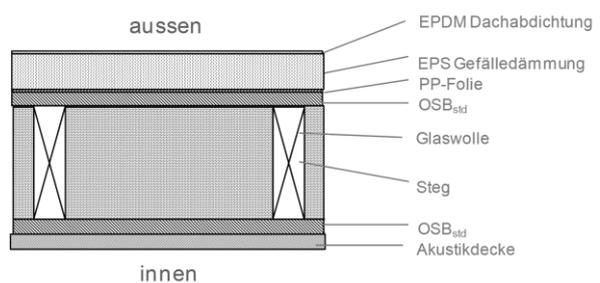
Abbildung 2: Aufbau mehrschichtiger Wandaufbauten

Zudem wurden zwei Dachaufbauten definiert, die sich im Typ der eingesetzten OSB-Platte unterscheiden. Aufbau DA-OSB_{low} weist die emissionsreduzierte Variante (OSB_{low}) der praxisüblichen OSB-Platte (OSB_{std}) auf, die in Aufbau DA-OSB_{std} eingesetzt wurde (Abbildung 3). Als Alternative wurde ein dritter Dachaufbau definiert, beim dem eine 3-Schichplatte (Holzartenmix Tanne/Fichte) eingesetzt wurde.

DA_OSB_{low}



DA_OSB_{std}



"DA_3S"

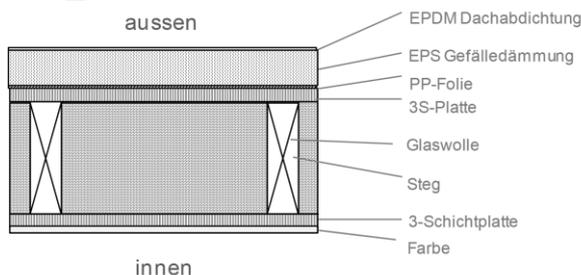


Abbildung 3: Aufbau mehrschichtiger Wand- und Deckenaufbauten

2.1. Emissionsverhalten einzelner Baustoffe

Zur Bestimmung der VOC-Einzelstoffemissionen der eingesetzten Baustoffe wurden diese einzeln in Emissionsprüfkammern gemäß EN 16516 geprüft und die flächenspezifische Emissionsrate SE_{RA} (angegeben in $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$) für alle VOC-Einzelstoffe und den Summenparameter TVOC bestimmt.

Das Emissionsverhalten der OSB-Platte "OSB_{std}" auf Basis von Kiefern-Strands ergibt einen SE_{RA} von $1270 \mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, im Wesentlichen zusammengesetzt aus Terpenen (Herkunft: Baumharz) sowie Emissionen an C₄-C₉-Aldehyden und -Säuren (Tabelle 2).

Aldehyde und Säuren entstehen beim oxidativen und temperaturunterstützten Abbau der im Kiefernholz enthaltenen Fettsäuren und entweichen als Spaltprodukte der Reaktion (Sekundäremissionen). Im Vergleich hierzu weist die OSB-Platte "OSB_{low}", mit hohem Fichten -Anteil und Kiefernholz-frei, deutlich verringerte Emissionsraten auf (SER_A 706 µg m² h⁻¹). Dies ist auf den verringerten Anteil an Fettsäuren im Holz der Fichte gegenüber der Kiefer zurückzuführen und spiegelt sich in deutlich geringeren Emissionsraten bei den gesättigten sowie ungesättigten C₄-C₉-Aldehyden (u.a. Pentanal, Hexanal, 2-Heptenal, 2-Octenal) sowie den organischen C₄-C₉-Säuren (u.a. Pentan- und Hexansäure) wieder. Deutlich niedrigere Emissionsraten weist die 3-Schicht-Massivholzplatte (Holzartenmix Fichte/Kiefer) auf, bedingt durch die in emissionsstechnischer Hinsicht günstigen Voraussetzungen des Tannenholzes, der geringere emissionsrelevante innere Oberfläche des Werkstoffs sowie mutmaßlich durch die geringere Temperatureinwirkung im Herstellungsprozess, der die Erzeugung der oben genannten Spaltprodukte wesentlich beschleunigt. Auch die Gipsfaserplatte weist relevante Eigenemissionen auf, die sich im Wesentlichen aus Emissionen der in der Gipsmatrix eingebetteten Holzfasern ergeben, darunter Essigsäureester, Aldehyde und org. Säuren. Die übrigen Baustoffe weisen flächenspezifische Emissionsraten zwischen SER_A 51 µg m² h⁻¹ (Glaswolle-Isolation) und 87 µg m² h⁻¹ (EPDM Dachabdichtung) auf. Ausnahmen bilden hier die selbstklebende PP-Folie (Emissionen aus der Klebeschicht) sowie die Farbe (SER_A 1338 µg m² h⁻¹, die welche als Wandfarbe eingesetzt wird. Letztere weist insbesondere hohe Emissionen an Glycolen und Glykolether auf, typische Emissionen von Lösungsvermittlern und Filmbildnern in wasserverdünnbaren Dispersionsfarben.

Tabelle 2: VOC-Emissionsraten einzelner Baustoffe der mehrschichtigen Aufbauten

Baustoff-Typ	Wichtigste VOC-Einzelstoffe	Ursprung Emissionen	Emissionsrate SER _A TVOC (µg m ² h ⁻¹)
OSB4 Std	Terpene, Aldehyde, org. Säuren	Harz, Fettsäuren	1256
OSB4 low	Terpene, Aldehyde, org. Säuren	Harz, Fettsäuren	706
Gipsfaserplatte	Toluol, Essigsäureester, Aldehyde, org. Säuren	Hilfsmittel, Holzfasern	91
3S-Platte	Terpene, Aldehyde, org. Säuren	Harz, Fettsäuren	62
Akustikdecke	Glykolether		52
Glaswolle-Isolation	Phenol-Derivate, Silan	Klebstoff, Haftmittel	51
Farbe	Essigsäure, Glykole, Glykolether, org. Säuren	Lösungsvermittler, Filmbildner	1338
Dachabdichtung EPDM	Benzothiazole		87
Gefälledämmung EPS	Styren, Benzaldehyd, Acetophenon	Grundstoffe, Verunreinigungen	70
Folie PP	Alkohole, Glykolether, Säureester	Klebstoff, Lösemittel	247

2.2. Emissionsverhalten von Wand- und Dachaufbauten

Die unterschiedlichen Aufbauten weisen im Ausgangszustand ein material- und konstruktionsbedingt stark unterschiedliches Emissionsverhalten auf. Die niedrigsten Emissionswerte weist der Dachaufbau DA_OS_Blow mit einer TVOC-Konzentration von 774 µg/m³ auf (Tabelle 3, Abbildung 4). Die Emissionen setzen sich mehrheitlich aus holzwerkstoffeigenen VOC-Einzelstoffen zusammen, die den Stoffklassen der Terpene (242 µg/m³), Aldehyde (173 µg/m³) und organischen Säuren (17 µg/m³) sowie weiteren Stoffklassen (58 µg/m³) zugeordnet werden können (Abbildung 4). Die Emissionen, die nachweislich nicht von Holzwerkstoffen abgegeben werden, liegen mit betragen mit 69 µg/m³ nur ca. 10 % der Gesamtemissionen.

Höhere Emissionen weist der konstruktionsgleiche Aufbau DA_OSStd auf, bei dem im Gegensatz zum Aufbau DA_OSBlow eine handelsübliche OSB-Platte aus Kiefernholz zum Einsatz kam. Der TVOC-Wert liegt hier bei 1139 µg/m³. Die Verteilung der VOC-Einzelstoffe auf die einzelnen Stoffklassen ist vergleichbar mit dem Aufbau DA_OSBlow, nur dass jeweils höhere Werte für die aus Holzwerkstoffen stammenden Emissionen gemessen werden konnten (Terpene 458 µg/m³, Aldehyde 173 µg/m³, organische Säuren 28 µg/m³).

Deutlich höhere Emissionswerte wurden für den Aufbau DA_3S gemessen (TVOC 1739 µg/m³). Bei genauer Betrachtung der vorliegenden Stoffklassen und Einzelstoffe fällt jedoch auf, dass sich nur ein geringer Anteil der Gesamtemissionen aus holzwerkstoffeigenen VOC-Einzelstoffen zusammensetzen (Terpene 42 µg/m³, Aldehyde 15 µg/m³). Der Großteil der Emissionen sind den Stoffklassen der organischen Säuren sowie Glykole und Glykolethern zuzuordnen (letztere in der Stoffklasse «Weitere_div» aufsummiert), die nachweislich nicht aus der hier verbauten 3-Schichtplatte abgegeben werden. Das Emissionsprofil des Aufbaus wird somit maßgeblich von den Einzelstoffemissionen der eingesetzten Farbe dominiert. Die oben genannten organischen Säuren, Glykole und Glykolether konnten zuvor alle und in vergleichbarem Konzentrationsverhältnis bei Emissionsbestimmung der Farbe nachgewiesen werden. Auffällig sind jedoch hohen Essigsäure-Emissionen des Dachaufbaus DA_3S. Zwar können wie oben beschrieben hohe Essigsäureemissionen bei Einzelmessung der Farbe detektiert werden, so dass das Auftreten von Essigsäureemissionen nicht verwundert. Die gleiche Farbe wird jedoch auch in den Wandaufbauten eingesetzt. Hier werden am Tag 3 jedoch nur geringe Essigsäurekonzentrationen von jeweils 18 µg/m³ gemessen. Unter Umständen hängen die unterschiedlichen Essigsäure-Emissionen mit der Wechselwirkung der Wandfarbe mit der darunterliegenden Materialschicht zusammen. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass Essigsäure mit der eingesetzten analytischen Methode (EN 16516) nur unzureichend genau bestimmt werden kann. Im Fall der Wandaufbauten wird die Farbe auf eine Gipsfaserplatte aufgebracht, im Fall des Dachaufbaus DA_3S auf eine 3-Schichtplatte. Es ist möglich, dass die Farbe in Wechselwirkung mit der obersten Fichte/Tanne-Massivholzlage der 3-Schichtplatte tritt und eine Abspaltung der Acetylseitengruppen der Hemicellulosen im Holz hervorruft, in deren Folge Essigsäure-Emissionen generiert werden.

Die Wandaufbauten WA_OS2x und WA_OS1x weisen etwa ähnlich hohe TVOC-Werte von 1990 µg/m³ bzw. 1979 µg/m³ auf. Wie bei Dachaufbau DA_3S dominieren auch hier Einzelstoff-Emissionen der eingesetzten Wandfarbe (Glykole, Glykolether), aufsummiert in den Stoffklassen "Weitere_div".) ein relevanter Anteil der Gesamtemissionen können den holzwerkstoffeigenen Stoffgruppen Aldehyde (102 µg/m³ bzw. 81 µg/m³) und Terpenen (223 µg/m³ bzw. 388 µg/m³) zugeordnet werden.

Tabelle 3: VOC-Emissionen wichtiger VOC-Stoffklassen aus mehrschichtigen Aufbauten nach deren Erstellung. Messwerte sind Mittelwerte (n=2) der Konzentration in der Prüfkammerluft (µg/m³).

	DA_OSBlow	DA_OSStd	DA_3S	WA_OS2x	WA_OS1x
Weitere_HWSt	58	99	0	51	81
Weitere_div	69	108	2398	2502	2013
Säuren_HWSt	17	28	0	36	81
Säuren_div	0	0	758	0	36
Aldehyde_HWSt	173	208	15	102	81
Terpene_HWSt	242	458	42	223	388
TVOC ¹⁾ Summenparameter	774	1139	1739	1990	1979

1) Die Bestimmung des Summenparameters TVOC erfolgt gemäß ISO 16000-6 über Toluol-Äquivalente und entspricht nicht der Summe der Einzelverbindungen, die über analytische Einzelstoffstandards genauer quantifiziert werden.

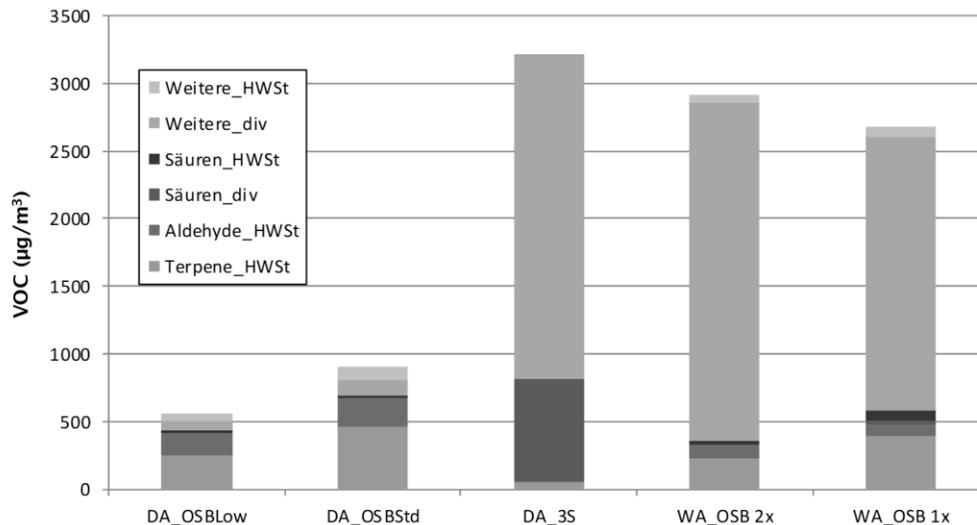


Abbildung 4 : VOC-Emissionen wichtiger VOC-Stoffklassen aus mehrschichtigen Aufbauten nach deren Erstellung (n=2).

2.3. Zuordnung der Emissionen der Aufbauten zu einzelnen Baustoffen

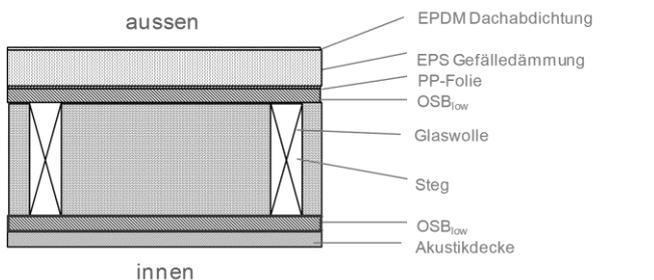
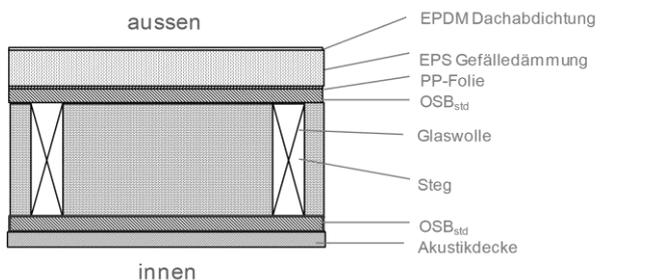
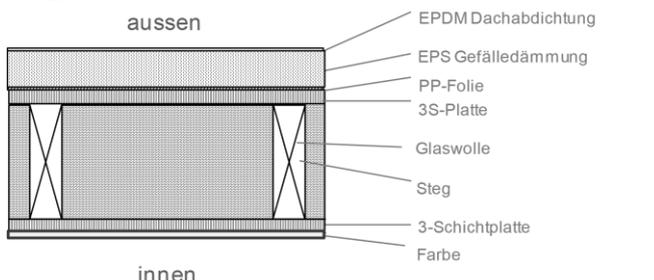
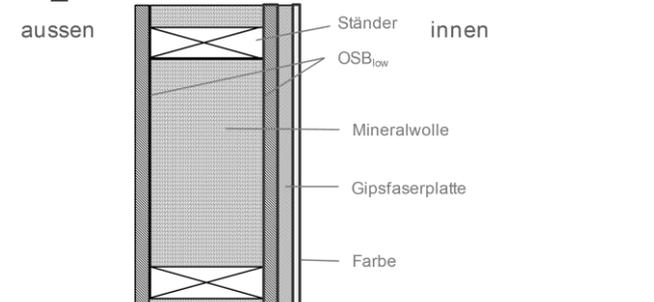
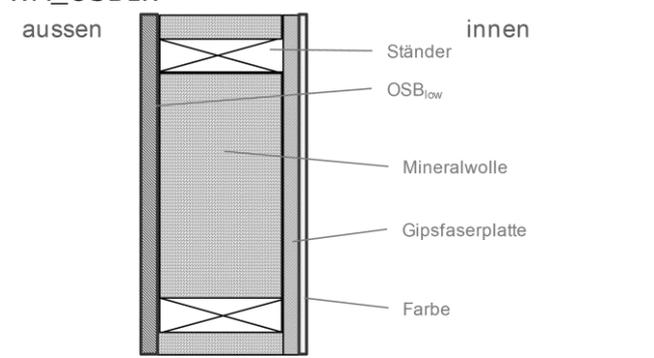
Eine Gegenüberstellung der Einzelstoffemissionen der Aufbauten mit denen der dafür eingesetzten Baustoffe lässt Aussagen über das Migrationsverhalten von Emissionen aus einzelnen Baustoffen in die Raumluft zu.

Für jeden Aufbau lassen sich ein bis zwei Materialschichten identifizieren, die im wesentlichen Anteil an den Emissionen des Aufbaus besitzen (Tabelle 4). Bei beiden Dachaufbauten unter Anwendung von OSB-Platten (DA_OSBlow und DA_OSStd) sind die jeweils eingesetzten OSB-Platten die primäre Quelle der Emissionen des Aufbaus. Die darüber hinaus im Aufbau gemessenen Einzelstoffemissionen setzen sich aus Emissionen der Akustikplatte, der PP-Folie (insb. Essigsäurebutylester, Butanol) sowie der EPS-Gefälledämmung (Styren, Ethylbenzen, Benzaldehyd) zusammen. Selbst die eher aussenseitig liegenden Baustoffe tragen demnach (in geringem Umfang) zu den Emissionen des Aufbaus Richtung Innenraumluft bei.

Die Emissionen des Aufbaus DA_3S setzen sich wie oben beschrieben aus den Emissionen der Farbe und möglicherweise aus der 3S-Platte (möglicherweise Essigsäureabspaltung auf Grund von Wechselwirkungen mit der Farbe) zusammen. Auch hier können Emissionen aus der PP-Folie gemessen werden.

Die beiden Wandaufbauten WA_OSB2x und WA_OSB1x werden nach deren Erstellung durch die Emissionen der Farbe dominiert. OSB-Emissionen sind aber dennoch in vergleichbarem Umfang anzutreffen wie bei den OSB-basierten Dachaufbauten.

Tabelle 4 : Schematische Darstellung der in jedem Aufbau besonders emissionsrelevanten Baustoffen (rot) und wesentliche Emissionen aus Schichten der Aufbauten.

Aufbau	Wesentliche Emissionsquellen
<p>DA_OSBlow</p> 	<p>Primäre Emissionsquelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - OSBlow <p>Weitere:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Akustikplatte (Nonanal, ua.) - PP (Essigsäurebutylester, Butanol) - EPS (Styren, Ethylbenzen, Benzaldehyd)
<p>DA_OSStd</p> 	<p>Primäre Emissionsquelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - OSStd <p>Weitere:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Akustikplatte (Nonanal, ua.) - PP (Essigsäurebutylester, Butanol) - EPS (Styren, Ethylbenzen, Benzaldehyd)
<p>DA_3S</p> 	<p>Primäre Emissionsquelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Farbe <p>Weitere:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3S-Platte - PP (Essigsäurebutylester)
<p>WA_OS2x</p> 	<p>Primäre Emissionsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Farbe (im zeitlichen Verlauf abnehmend) - OSBlow
<p>WA_OS1x</p> 	<p>Primäre Emissionsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Farbe (im zeitlichen Verlauf abnehmend) - OSBlow

3. Zusammenfassung

Die vergleichsweise hohen VOC-Emissionen der OSB-Platten prägen die Gesamtemissionen der daraus erstellten Aufbauten. Diese Emissionen setzen sich aus Einzelstoffen der Stoffklassen der Aldehyde, Terpene und org. Säuren zusammen. Die Einzelstoffe aller drei Stoffklassen besitzen vergleichsweise niedrige Geruchsschwellen, können also bereits in geringen Konzentrationen vom Menschen geruchlich wahrgenommen werden. Zudem wird der Geruch der ungesättigten Aldehyde und organischen Säuren, die als Spaltprodukte bei der Produktion der OSB-Platten und bei Luftkontakt gebildet werden, häufig als inakzeptabel beurteilt. Solche Emissionen sind häufig für die wahrgenommenen Fehlgerüche in der Raumluft von Innenräumen in Objekten in Holzbauweise verantwortlich.

Ein Dachaufbau unter Einsatz einer Fi/Ta-Dreischichtplatte zeigte kaum Holzwerkstoff-basierte Emissionen und belegt, dass bei Wahl einer emissionsarmen Alternative zur OSB-Platte das Emissionsverhalten von Aufbauten in Holzbauweise deutlich abgesenkt werden kann. Der Einsatz solcher Dreischichtplatten wird jedoch durch den damit einhergehenden Kostenmehraufwand eingeschränkt.

Der Einsatz einer emissionsreduzierten OSB-Platte (Pilotprodukt, kiefernholzfrei) führt zu geringeren Emissionswerten und zu einer Reduktion der Emission vergleichbarer Aufbauten um ca. 35 % gegenüber handelsüblichen OSB-Platten aus Kiefernholz. Mittel- bis langfristig sind insbesondere OSB-Platten, hergestellt aus Holzarten mit geringerem Emissionspotential, eine Option. Insbesondere inhaltsstoffarme Holzarten, darunter auch Laubhölzer wie Pappel oder Buche, sind hierbei aus emissionstechnischer Sicht interessante Alternativen.

Rauminnseitig über den OSB-Platten installierte Gipsfaserplatten und eine Wandfarbe wiesen keine wesentliche Barrierewirkung gegenüber den VOC-Emissionen aus den OSB-Platten in Richtung Innenraumluft auf.

Erneut konnte im vorliegenden Projekt aufgezeigt werden, dass die Materialwahl (neben der Umsetzung und dem Lüftungskonzept) Grundvoraussetzung für niedrige VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft darstellt. Neben den OSB-Platten traf dieser Umstand vor allem auf eine marktgängige Innenraum-Farbe zu, die im vorliegenden Fall maßgeblich zur Gesamtemission der Aufbauten beitrug.

4. Fazit

Die immer häufiger in Werkverträgen festgelegten Zielwerte zum Summenparameter TVOC und zu einzelnen VOC-Stoffgruppen sind für den Holzbau dann schwer einzuhalten, wenn bestimmte Faktoren zusammenkommen. Insbesondere wenn keine raumlufttechnische Anlage verbaut ist (Konsequenz: Raumluftmessung bei Standardbedingungen, für 8 h geschlossener Raum) und großflächig OSB-Platten in Wand- und Deckenaufbauten verbaut sind, liegen die VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft teilweise über den Zielwerten. Hinzu kommen immer häufiger Reklamationen der Raumnutzer entsprechender Objekte aufgrund von wahrgenommenen Fehlgerüchen, die ebenfalls mehrheitlich auf Emissionen handelsüblicher OSB-Platten zurückgeführt werden können. Die häufig zum Innenraum hin auf OSB verbauten Baustoffe (z.B. Gipsfaserplatten, Wandfarben) bieten keine effiziente Sperrwirkung gegen die Emissionen tieferliegender Materialschichten in den Innenraum. Kurzfristig kann der Einsatz von 3-Schichtplatten aus Tanne/Kiefern-Mix eine emissionstechnische (aber mit Mehrkosten verbundene) Alternative darstellen. Mittelfristig sind insbesondere OSB-Platten, hergestellt aus Holzarten mit geringerem Emissionspotential, eine Option. Holzarten wie Pappel, Birke oder Buche sind hierbei aus emissionstechnischer Sicht interessante alternative Holzarten bei der Herstellung von OSB.

5. Referenzen

- [1] Akrami, A. 2016, Dissertation Universität Hamburg
- [2] Roffael, E.; Dix, B.; Schneider, T. WKI-Kurzberichte 2004, 21/04.
- [3] Horn, W.; Jann, O.; Kasche, J.; Bitter, J.; Müller, D.; Final-report UFOPLAN: 202 62 320; Federal Environmental Agency (Germany): 2007.94
- [4] Salthammer, T., Boehme, B., Meyer, B., Siwinski, N. Proceedings of the 7th International Conference Healthy Buildings 2003, 2003; pp 160-165.
- [5] Manninen; Pasanen; Holopainen Science Direct- Atmospheric Environment 2002, 36, 1763-1768.
- [6] Augustin, H.; Puls, J. Timber Bulletin for Europe 1982, 34.
- [7] Roffael, E. Ursachen für Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen. Holz-Zentralblatt, 2006.
- [8] Jann O., Wilke O., Brödner D. UBA-Texte 74/99; UBA - Umweltbundesamt: Berlin, 1999.
- [9] Aehlig, K.; Broege, M. Holztechnologie 2005, 46, 11-17.
- [10] Wilke, Brozowski, Wiegner, Brauer (2013): UMID 1. Schwerpunkt Chemikalien, Umwelt und Gesundheit
- [11] Makowski, M.; Ohlmeyer, M. Holzforschung 2006, 60, 414-422.
- [12] Makowski, M.; Ohlmeyer, M. Holzforschung 2006, 60, 533-53
- [13] Mayer, I. Reduktion von Materialemissionen und Fehlgerüchen in der Innenraumluft von Gebäuden in Holzbauweise. Abschlussbericht Forschungsvorhaben BAFU WHFF , 2018

EPILOG

**Das HolzHochHaus aus der Sicht
des Architekten und des Bauphysikers**

Bautechnische Herausforderungen beim 1. Holzhochhaus Deutschlands SKAIO Heilbronn

Anders Übelhack
Züblin Timber GmbH
Aichach, Deutschland



Bautechnische Herausforderungen beim 1. Holzhochhaus SKAIO Heilbronn

1. Planung und Bau

1.1. Holzhochhaus – Wie kam es dazu?

Derzeit werden einige Projekte im Holz-Hochhaus-Bau in Deutschland entwickelt. Das erste wird in Heilbronn derzeit gebaut.

Auf dem Bundesgartenschauengelände 2019 in Heilbronn entsteht als «Leuchtturm» im Eingangsbereich als 10-geschossiges Gebäude. Es war politischer Wille mit diesem Gebäude ein Signal zu setzen, die Stadsiedlung Heilbronn fungiert dabei als Bauherr.



Abbildung 1: Lage des Grundstücks (Quelle: Kaden und Lager, Berlin)

Die Stadsiedlung Heilbronn GmbH als städtische Wohnungsbaugesellschaft hat folgende Tätigkeitsfelder, die auf den ersten Blick nicht direkt ein Holzhochhaus zur Folge haben:

- Wohnraumversorgung für breite Schichten der Bevölkerung
- Stadtentwicklung und Quartiersumbau
- Entwicklung von Bildungsinfrastruktur
- Unterstützung der städtischen Wirtschaftsförderung
- Projektentwicklung und Projektsteuerung für Dritte

Für das Projekt SKAIO ist die Stadsiedlung bewusst neue Wege gegangen und hat z.B. mit Ihren Ansätzen zu «Raumluftqualität», «Cradle to Cradle» oder «Materialqualitäten» den Planern und Ausführenden hohe Anforderungen gestellt und damit ein klares Statement zur Zielsetzung des Projektes abgeben.

Architekt ist Kaden und Lager, ein Pionier im mehrgeschossigen Bauen. Unter anderem beteiligte Fachplaner für Statik und Bauphysik sind bauart (Prof. Winter) und für den Brandschutz sind Dehne + Kruse verantwortlich.



Abbildung 2: Animation J1 + J6 (Quelle: Kaden und Lager, Berlin)

1.2. Eckdaten

Neben dem Holzhochhaus (Baufeld J1) wird nebenan noch ein 6-geschossiges Gebäude (Baufeld J6) realisiert. Züblin hat den Auftrag für die schlüsselfertige Errichtung beider Gebäude ab Oberkante Kellerdecke.

PROJEKTDATEN J1 + J6	
Bauwerk	Mehrfamilienwohnhäuser
Energie Standard	KfW Effizienzhaus-55 nach ENEC 2016 (J6)
Lage	Heilbronn, Baden-Württemberg
Kunde	Stadtsiedlung Heilbronn
Auftragssumme netto	15,4 Mio € (schlüsselfertig ab OK Kellerdecke)
Bauunternehmen	Ed. Züblin AG (Bereich Heilbronn und Bereich Züblin Timber)
Konstruktion	Beton-Treppenhaus sowie Holzskelett aus Brettschichtholz mit Stahlunterzügen und LENO-Brettsperrholzdecken sowie -wänden
Baubeginn	01/2018
J1: Geschosse / BGF o.i. / BRI o.i.	10 Geschosse / 5.685 m ² / 18.245 m ³
J6: Geschosse / BGF o.i. / BRI o.i.	6 Geschosse / 1.391 m ² / 4.809 m ³

Abbildung 3: Projektdaten beider Gebäude

1.3. Konstruktion

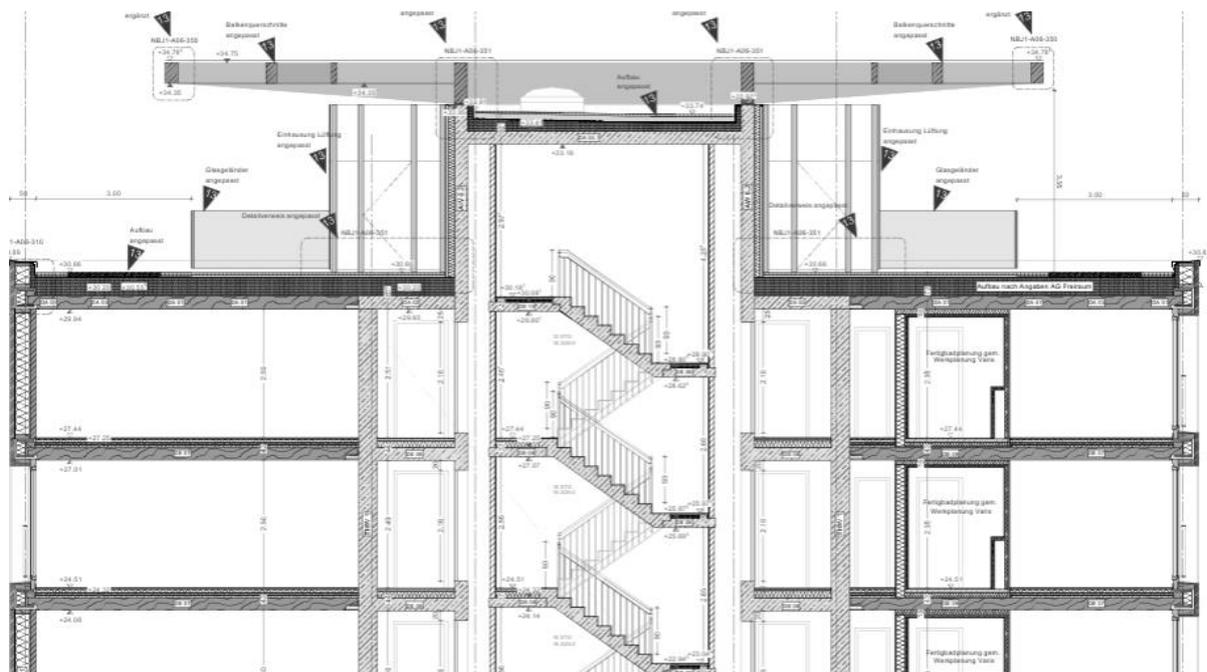


Abbildung 4: Gebäudeschnitt (Quelle: Kaden und Lager, Berlin)

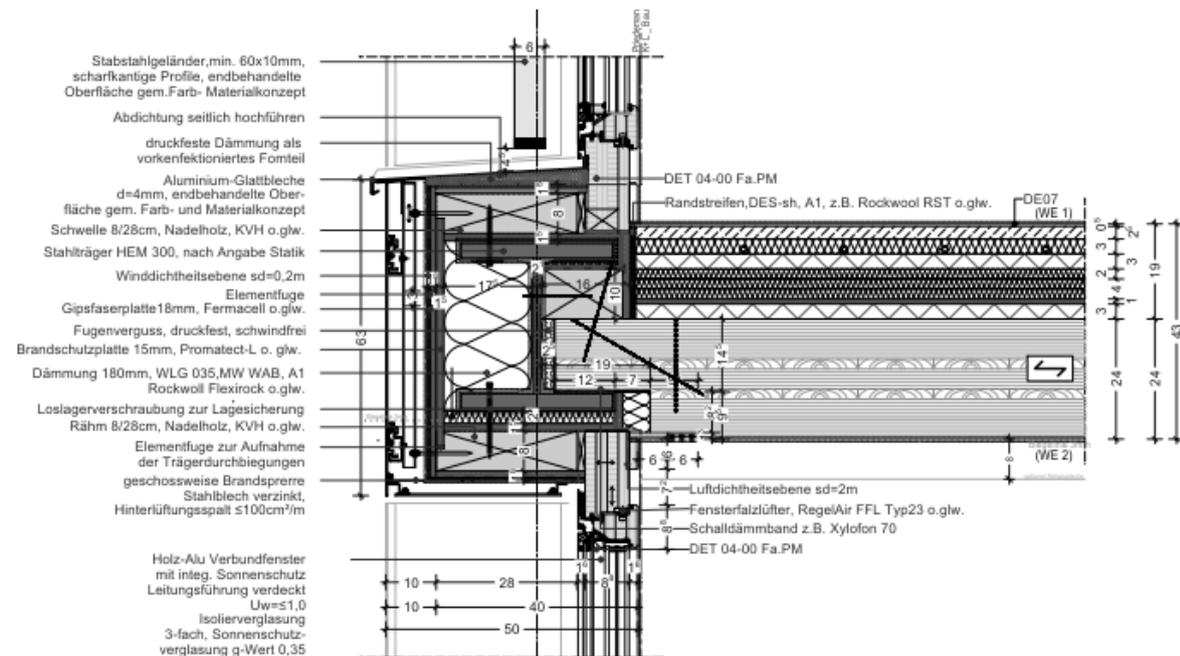


Abbildung 5: Detail Aussenwand/Decke (Quelle: Kaden und Lager, Berlin)

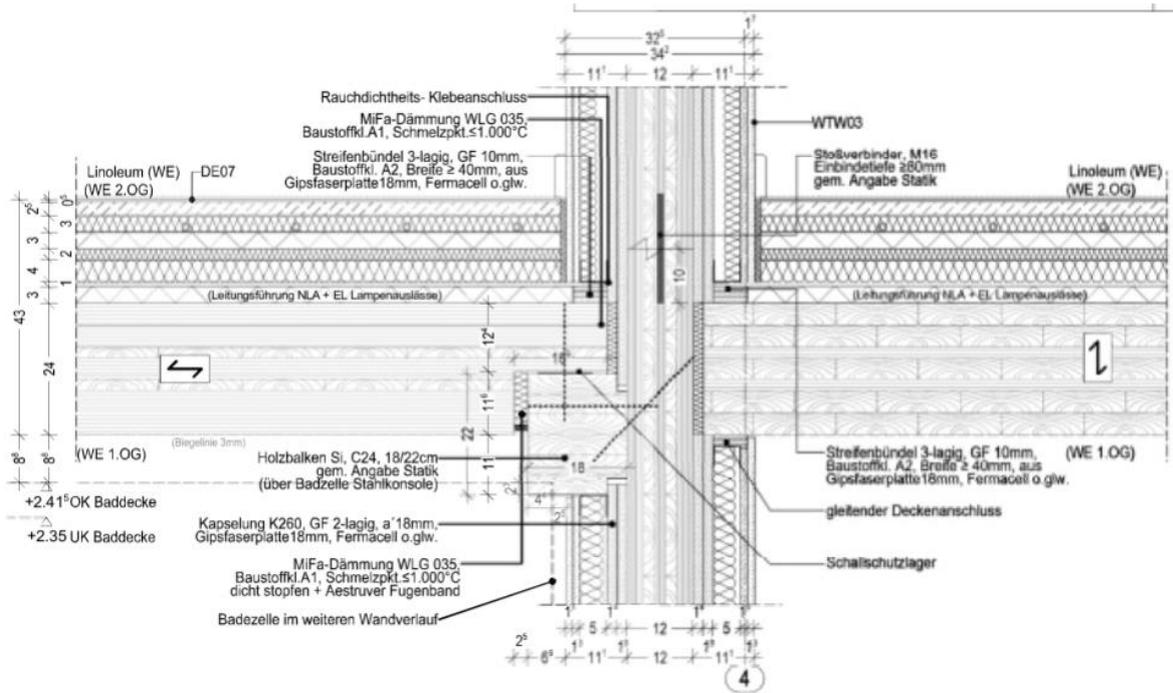


Abbildung 6: Detail Wohnungstrennwand / Decke (Quelle: Kaden und Lager, Berlin)

1.4. Bauablauf

Die Herausforderung im Bau lag beim SKAIO in der Kombination von Stahlbetonkern, Stahlbau und Holzbau im Umgang mit Toleranzen sowie Bau-/Montageabläufen. Die Erstellung eines (oberen) Geschosses erfolgte in 5 Tagen - teilweise im 3-Schichtbetrieb.

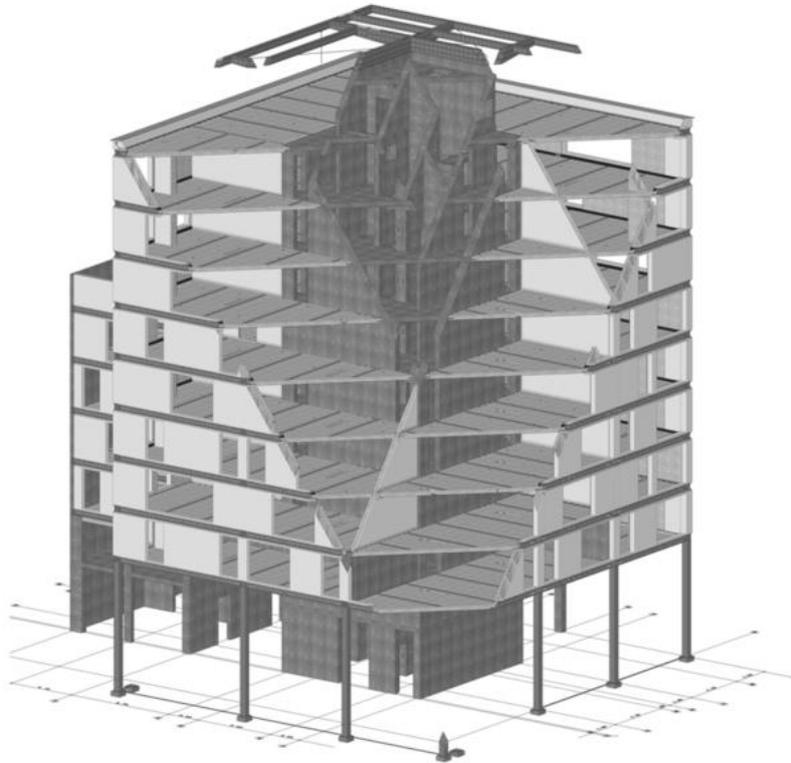


Abbildung 7: 3-D-Konstruktionsmodell (Quelle: Ingenieurbüro von Fragstein, Landau)

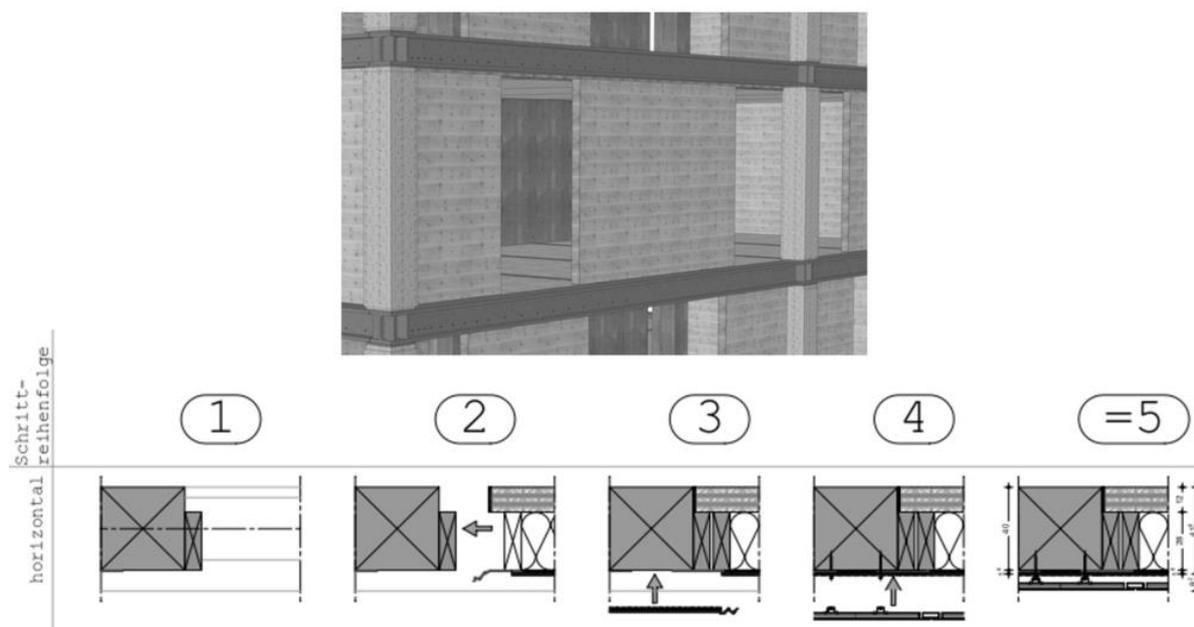


Abbildung 8: schematischer Bauablauf (Darstellung: Kaden und Lager, Berlin)

1.5. Badmodule

Die Frage nach der Tiefe der Vorfertigung in 2-D-Elementen, 3-D-Modulen oder 5-D-BIM ist derzeit eine der intensivsten Diskussionen in der (Holz-)Bauwelt. Im Projekt Skaio wurden vorgefertigte Badmodule eingesetzt. Ein Teil davon wurde als Prototyp im Werk von Züblin Timber in Aichach gefertigt. Der Einbau erfolgte im Zuge der Rohbauarbeiten.



Abbildung 9: Badmodule mit Wänden aus Holz-Verbundwerkstoff

Eigenschaften Badmodule von Züblin Timber:

- 40 % Gewichtsreduzierung durch Verbundwerkstoff der Wände, ca. 1,9 t
- Option vorinstallierter Schacht mit F 90 Schott zur Decke
- Extrem geringe Toleranzen für optimierte Installation und hohe Qualität
- Zeit zwischen Planfestlegung und Auslieferung ca. 3 Monate

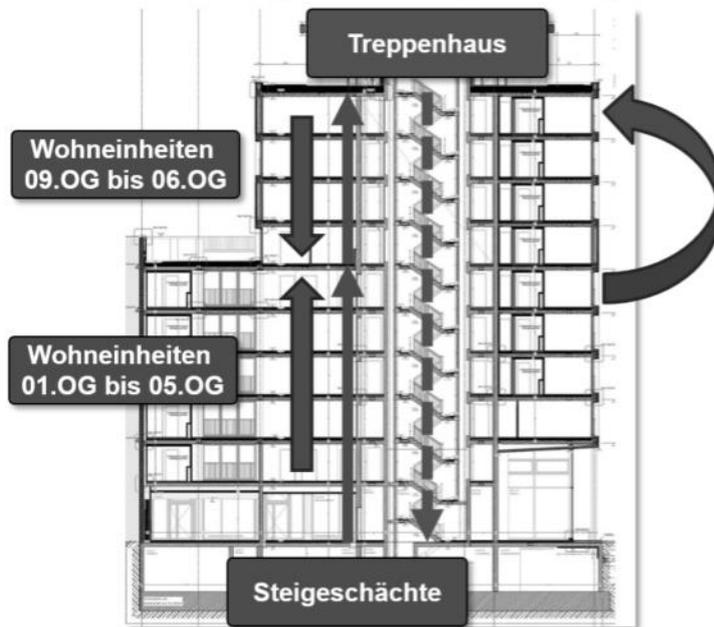
1.6. Erstellung nach der LEAN-Methode

Der Begriff LEAN wurde in der Automobilindustrie geprägt; Auszug WIKIPEDIA:

Schlanke Produktion als Übersetzung von *englisch* «**Lean Production**» und «**Lean Manufacturing**» bezeichnet ursprünglich die von *Womack/Jones/ Roos* in deren *MIT-Studie (1985 bis 1991)* bei *japanischen Automobilherstellern* vorgefundene, systematisierte *Produktionsorganisation*, welche der in den *USA* und *Europa* zu dieser Zeit vorherrschenden und von ihnen so genannten *gepufferten Produktion* («*Buffered Production*») entgegengesetzt wurde.

Beim SKAIO wird das LEAN-Prinzip angewendet. Die Gewerke werden hintereinander getaktet. Dadurch entsteht neben einer Zunahme der Baugeschwindigkeit noch mehr eine erhebliche Qualitätssteigerung durch den fortlaufenden Verbesserungsprozess. Weiter wird ein starkes Miteinander aller Handwerker gefördert.

Schritt 8: Finalisierung der Baustrategie Wohnungen.



Quelle: Ed. Züblin AG – Direktion Stuttgart | Projekt: Neckarbogen Heilbronn

- **Baurichtung Steigeschächte:**
Installation in „2 Schüssen“ von unten nach oben
1. OG – 5. OG, danach
6. OG – 9. OG
- **Baurichtung Wohnungen:**
Geschossweise, erst
1. OG – 5. OG, dann Sprung
9. OG – 6. OG
- **Baurichtung Treppenhaus:**
Grundausbau parallel getakteter Ausbau
Feinausbau von oben nach unten im Nachlauf zum getakteten Ausbau der Wohnungen

Abbildung 10: Lean-Prinzip – Baustrategie SKAIO Heilbronn

HolzHybridHochHaus

Warum ein Holzhochhaus bauen?

Yves Schihin
burkhalter sumi architekten
Zürich, Schweiz



HolzHybridHochHaus

Warum ein Holzhochhaus bauen?

Die Titelfrage gliedert sich in zwei Teile; Erstens «Warum und wo in der heutigen Zeit ein Hochhaus bauen?» Zweitens «Warum und wie ein solches aus Holz bauen?» Was sind die Vorteile der Holzbauweise im urbanen Raum?

Das Forschungsprojekt Holzhybridhochhaus wird erst im Spätsommer publiziert, darum darf die Katze noch nicht aus dem Sack gelassen werden... Was schon gezeigt werden kann, sind die Gedanken und Leitideen, welche zum Projekt führten oder während des Projekts auftauchten...

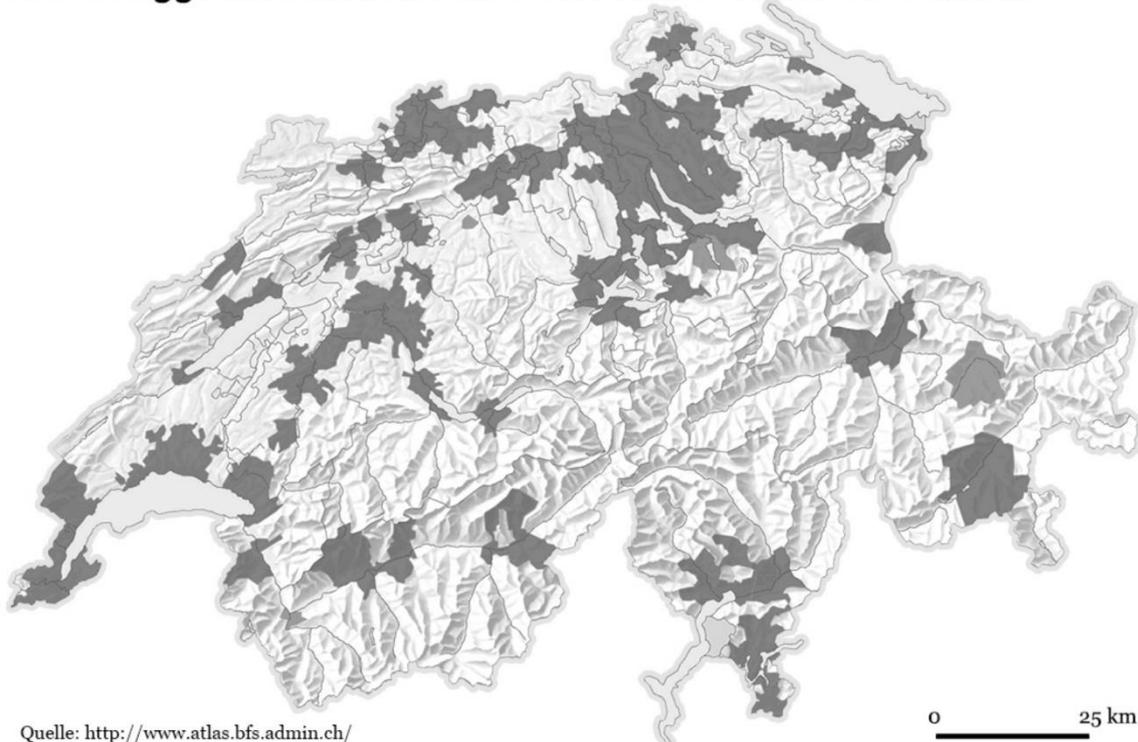
1. Megatrend Urbanisierung

Der Megatrend der Urbanisierung ist unübersehbar – weltweit leben heute bereits 55% der Weltbevölkerung von 7.6 Milliarden Menschen in Städten. Hochrechnungen zeigen, dass der Anteil bis 2050 voraussichtlich auf 68% ansteigen wird – dann bei 10 Milliarden Erdenbewohnern¹.

Der Urbanisierungsgrad der Schweiz beträgt schon 85% (Anteil der Bevölkerung in Städten und deren Agglomerationen) und wächst weiter...

Der urbane Raum in der Schweiz, der insgesamt beinahe 1000 Gemeinden mit 5.4 Mio. Menschen umfasst, dehnt sich über rund 9000km² aus (knapp 22% der Landesfläche). Die kontinuierliche Ausdehnung der grossen Agglomerationen führte zur Bildung der Metropolräume Zürich, Basel, Genf-Lausanne sowie der Hauptstadtregion Bern.

Die 50 Agglomerationen und 5 isolierten Städte der Schweiz



¹ Quelle: Deutsche Stiftung Weltbevölkerung, www.dsw.org/projektionen-urbanisierung/, 14.01.2019

2. Auftrag zur Innenverdichtung

2.1. Entwicklungsszenario

"Zürich wächst. Bis 2040 könnten Szenarien zufolge etwa 520'000 Personen innerhalb der Stadtgrenzen wohnen, und auch die Zahl der Arbeitsplätze wird entsprechend zunehmen. Die Stadt Zürich versteht dieses Wachstum als Rahmenbedingung und Chance.

Auch wenn mit der gültigen Bau- und Zonenordnung umfangreiche Reserven vorliegen, ist es erforderlich, mit zusätzlichen Massnahmen dem Bevölkerungswachstum Rechnung zu tragen. Die Bauzonen in der Stadt Zürich werden auch in Zukunft nicht erweitert werden. Der Bedarf an Flächen für Wohn- und Arbeitsraum sowie für Nutzungen im öffentlichen Interesse muss also mit einer baulichen Verdichtung nach innen im Bestand stattfinden. Für diesen Prozess braucht es die Koordination und Abwägung vielfältiger Ansprüche an das knappe Gut «Fläche». "²

2.2. Innere Verdichtung

Um die beschlossenen Klimaziele von Rio (1992) und Paris (2015) zu erreichen und die Erderwärmung auf weniger als 2°C ansteigen zu lassen, sind wir angehalten, massiv weniger CO₂ auszustossen. Der Gebäudepark ist für gut einen Viertel der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich.

Auch um die Zersiedelung zu stoppen sind wir angehalten, verdichtet zu bauen. So steht es im Jahr 2013 von der Schweizer Bevölkerung angenommenen revidierten Raumplanungsgesetz. Und so verlangte es - noch rigoroser - die Stopp-die-Zersiedelungs-Initiative vom Februar 2019. Dort wo schon institutionelle und bautechnische Infrastruktur vorhanden ist, soll verdichtet werden, keine weiteren Bauzonen erschlossen werden. Verdichtung in die Höhe, in die Breite und - ganz wichtig - auch in der Nutzungswidmung. Diese Innere Verdichtung erzeugt weniger induzierte Mobilität, nutzt die vorhandenen Angebote und Infrastruktur, stärkt und belebt die bestehenden Quartiere. Eine eigentliche Belebungspritze. Ein früher Zeuge von innerer vertikaler Verdichtung mit Holz ist das erste Holzhochhaus der Schweiz in Evolène (VS) von 1200.



Holzhochhaus in Evolène, 12Jhdt (Quelle: Lignum)

Auch ist, wie eine aktuelle Studie von Joelle Zimmerli belegt, die Akzeptanz der Dichte in den schon dichteren Gebieten grösser. Verdichten, wo man soziale Dichte schon kennt (und schätzt), ist auch notwendig, wenn wir unseren naturnahen Lebensraum rund herum bewahren wollen.³

2.3. Vertikale Verdichtung

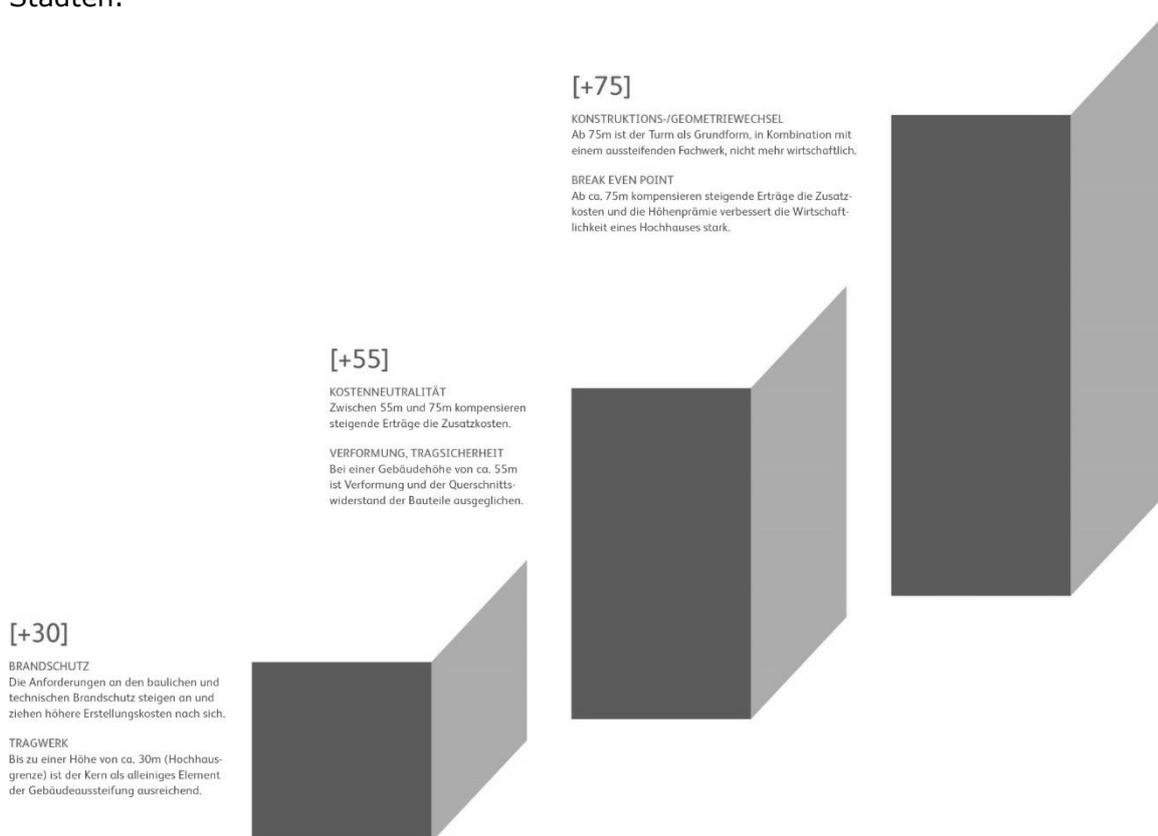
Diverse Städte in der Schweiz haben sich bereits mit der Thematik der vertikalen Verdichtung mittels Hochhäuser beschäftigt und Leitbilder, Richtlinien, Rahmenpläne, Regelemente und Planungsempfehlungen erstellt, so z.B. Zürich, Basel, Genf, Bern, Zug, Lausanne und Chur.

Mit der Liberalisierung der Brandschutzvorschriften (2015) ist die Höhenbeschränkung für Holzbauten gefallen und die Höhenentwicklung für Hochhäuser neu definiert worden.

² Quelle: <https://www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/staedtebau/planung/richtplanung.html>

³ Quelle: Akzeptanz städtischer Dichte, Joelle Zimmerli, 2011-18

Dadurch ergeben sich neue Perspektiven – auch für den Holzbau – in den Schweizer Städten.



Schema Höherentwicklung mit Höhenstufen (Quelle: HHHH, Grafik CTPP)

Vor diesem Hintergrund hat das Projektteam das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt lanciert, mit dem Ziel eine spezifische Hochhaustypologie in Holz-Hybridbauweise zu entwickeln und zu evaluieren, welchen Beitrag diese Typologie zur qualitativ hochwertigen Verdichtung im urbanen Raum leisten kann.

Entgegen den Zürcher Bauvorschriften (wo das Hochhaus – noch – nicht als Verdichtungsmittel eingesetzt werden kann) und dem derzeitigen Abwehrreflex der Zürcher Bevölkerung gegen Hochhäuser, ist das Projektteam der Meinung, dass die Verdichtung in die Vertikale geprüft werden sollte.

2.4. Beispiel Zürich

In Zürich wird das bestehende Hochhausleitbild aus dem Jahr 2001 endlich überarbeitet. Ein ganzer Strauss von Fragen müsse beantwortet werden, sagt Katrin Gügler, die Stadtbaumeisterin. Man müsse sich klar werden über die Bedeutung des Hochhauses in der Stadt. Welche Höhen, welche Proportionen braucht es? Wann ist ein Hochhaus besonders gut gestaltet, wie es das Gesetz verlangt? Auch der Schattenwurf oder die Ausnützung sollen genauer angeschaut werden, teilweise mit dem Kanton. Heute ist ein Hochhaus ja von Gesetzes wegen kein Mittel zur Verdichtung. Man verteilt einfach die Baumasse auf einem Grundstück anders.

Gügler spricht in diesem Zusammenhang von Singapur als Inspiration; Hochhäuser mit Grünräumen und Sportmöglichkeiten, neuartigen Dorfplätze und vieles mehr... immer jedoch gilt es eine passende Lösung für Zürich zu finden.

Wilhelm Natrup (Kantonsplaner ZH) hat unlängst in einem Interview von städtebaulich interessanten Hochhaus-Clustern gesprochen. Das Clustern bedeutet z.B., dass man über Abstände, Freiflächenziffern und den 2h-Schatten diskutieren muss. Das Clustern bringt aber auch den Vorteil von Synergien wie z.B. gemeinsame Erschliessungen mit sich. Bei guter Konzeption und geeigneter Geometrie kann ein solches Hochhauscluster sehr viel leisten.

Das Lochergut-Ensemble zeigt diesen Ansatz paradigmatisch; ein breiter publikumswirksamer Sockel mit Retail und Gewerbe und unterschiedlich hohe geclusterte Wohnwelten darüber. Studien zeigen, dass die Bewohner vom Lochergut entgegen der landläufigen Meinung sehr zufrieden mit der Wohnsituation sind.



Siedlung Lochergut, Zürich, 1966
(Quelle: www)



Hochhausleitbild Zürich, 2001 (Quelle: Stadt Zürich)

Die Frage «warum ein Hochhaus bauen?» kann also mit dem immer stärker werdenden Bodendruck und dem daraus folgenden Druck nach Innerer Verdichtung geklärt werden. Das Hochhaus als Stadtbaustein, gegen die Zersiedelung, für die Stadt.

«Warum ein solches aus Holz bauen wollen?» Zur Beantwortung dieser Frage soll einerseits das Material und andererseits die Bauweise ein wenig genauer betrachtet werden.

3. Vorteil Holz

3.1. Liberalisierung der Brandschutzvorschriften

Der Roche-Turm in Basel, mit einer Höhe von 178m das im Jahre 2018 höchste Gebäude der Schweiz, spielt im Wettlauf um die höchsten Häuser der Welt keine entscheidende Rolle. Trotzdem ist er Ausdruck dafür, dass das vertikale Bauen in der Schweiz in neue Sphären vorgedrungen ist. Sphären, die seit 2015 auch für den Holzbau erreichbar sind.

Mit der Liberalisierung der Brandschutzvorschriften ist die Höhenbeschränkung für Holzbauten gefallen und die Höhenregelung für Hochhäuser neu definiert worden. Dadurch ergeben sich neue Perspektiven für den Holzbau in der Schweiz. Holz, der Baustoff mit hohen ökologischen und nachhaltigen Eigenschaften, kann sein Potenzial nun auch im Bereich hochleistungsfähiger Bauweisen und Konstruktionen unter Beweis stellen. Die dazu notwendige Expertise in standardisierten Bauweisen und Vorfabrikation konnte in den letzten Jahren in der Schweiz, zumindest im Segment des mehrgeschossigen Holzbaus bis 7 Geschossen, in ausreichendem Masse gewonnen werden. Im Hochhausbau fehlt diese Expertise aber weitestgehend. So sind aktuelle Hochhausprojekte in Holz- Hybridbauweise in- und ausserhalb der Schweiz meist Leuchtturmprojekte, bei denen keine spezifische Typologie für den Hochhausbau in Holz-Hybridbauweise zu identifizieren ist oder dem Hybrid ein zu grosser Schwerpunkt gewidmet ist.

3.2. Geringes Gewicht

Holz ist (verbaut) bis 10x leichter als eine konventionelle Bauweise. Dies lässt z.B. grössere Aufstockungen auf Bestandesbauten zu, oder eben, im vorliegenden Forschungsprojekt weniger grosse Fundationen und die Beschränkung auf nur ein Untergeschoss, was wiederum die teuren Unterterrainvolumen deutlich reduziert.

Die Ergebnisse einer durchgeführten Studie im Rahmen eines Vergleichs haben gezeigt, dass die Holzkonstruktion durch ihr geringeres Eigengewicht und ihrer «weicheren» Systemsteifigkeit gegenüber den anderen Bauweisen eine deutlich geringere Erdbebenbeanspruchung auf sich zieht und somit auch die Schnittkräfte gering gehalten werden können.

Holz ist nicht nur leicht, sondern auch leicht und präzise bearbeitbar, sogar von Hand, mit millimetergenauer Verarbeitung. Derart geringe Bautoleranzen sind bei mehr als 30 Geschossen ein nicht zu unterschätzender Vorteil.

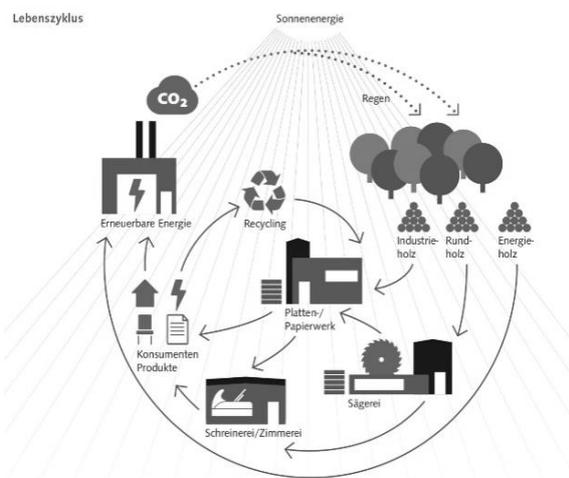


Pile up Giesshübel, 2013
(Quelle: burkhalter sumi architekten)

3.3. Nachhaltigkeit

Dazu kommen die vielfältigen nachhaltigen Eigenschaften, welche das Material zum eigentlichen Verdichtungs-Baustoff avancieren lassen. Holz ist als einziges Baumaterial nachwachsend; Holz ist eine Ressource, die in der Schweiz schneller nachwächst, als sie verbraucht wird. Die Menge an Holz, die für den Bau des 84m hohen HoHo Wien notwendig ist, wächst in 1 1/2h in den österreichischen Wäldern nach. Jedes Jahr wachsen allein in der Schweiz 10 Mio. m³ Holz nach!⁴

Während des gesamten Wachstums im Wald ist Holz eine CO₂-Senke und sobald verbaut, über die Lebensdauer des Bauwerkes (und dank downcycling meist darüber hinaus) ein CO₂-Speicher.



Holz als Kreislaufmaterial (Quelle: Lignum)

⁴ Quelle: HolzHochhaus Seestadt Aspern, Arch. Rüdiger Lainer, Fertigstellung 2018

Die Holzbauweise spart im HoHo Wien gegenüber einer Ausführung in Stahlbeton ca. 2'800t CO₂-Äquivalente ein!

Holz ist ein perfektes Kreislaufmaterial; Holz kann wieder rückgebaut und direkt oder indirekt wiederverwendet werden. Holz muss nie auf eine Inertdeponie, als letzter Akt dient Holz (auch verleimtes Brettschichtholz) bei der Verbrennung nochmals der Energiegewinnung.

3.4. Angenehmes Raumklima

Neben der Wirkung auf Optik und Stimmung in Räumlichkeiten kann durch Holz auch die Qualität der Innenraumluft sowie die Akustik verbessert werden. Holz hat die Eigenschaft, die Feuchtigkeit aufzunehmen und freizugeben und so die Schwankungen der Luftfeuchtigkeit in Innenräumen auszugleichen. Eine stabile Raumluftfeuchtigkeit verbessert die Qualität der Luftfeuchtigkeit und trägt gleichzeitig zum verminderten Lüftungsbedarf und zur erhöhten Energieeffizienz bei.

3.5. Sinnliche Dichte

Holz berührt... als einziges Baumaterial berührt Holz alle Sinne des Menschen. Laut Studien reagieren Menschen sowohl physiologisch als auch psychologisch positiv auf die Anwendung von Holz. Holz kann man riechen, im wahrsten Sinn des Wortes, was einem bei jedem Saunabesuch wieder in die Nase sticht. Das sichtbare Holz hilft, die Akzeptanz der Verdichtung in die Höhe zu erhöhen.



Visualisierung Casa di Ringhiera, Bellinzona
(Quelle: burkhalter sumi architekten)

3.6. Hohe Wertigkeit

Holz hat eine hohe Wertigkeit. Es strahlt Lebendigkeit aus, veredelt durch die Spuren der Zeit: es ist so robust, dass es uns lange begleitet. Holz erzählt uns seine Geschichte von der Natur und der Welt und von unserem Leben. Holzoberflächen in Innenräumen wirken auf Menschen warm, häuslich und beruhigend. Mit diesen Eigenschaften übertrifft Holz alle anderen Oberflächenmaterialien. Das Berühren einer Holzoberfläche gibt den Menschen das Gefühl der Geborgenheit und Natürlichkeit und ruft, im Gegensatz zu Stahl, Alu oder Plastik keine Stressreaktionen im Körper aus.⁵



Innenraum MFH Wannenholtz, 2016
(Quelle: burkhalter sumi architekten)

3.7. Statische Eigenschaften

Holz weist durch sein breites Spektrum an Rohdichte-, und Festigkeitswerten Eigenschaften auf, die dem Baustoff Holz je nach Holzart und Holzgüte eine grosse Bandbreite an Anwendungsmöglichkeiten bei der Erstellung von Bauwerken erschliessen. Holz als Vollholzprodukt ist grundsätzlich ein anisotropes Material. Die Zug- und Druckfestigkeiten sowie die Steifigkeiten längs zur Faser sind im Vergleich zum Gewicht des Holzes sehr hoch, quer zur Faser jedoch vergleichsweise gering. Technische Weiterentwicklungen im Bereich der Holzwerkstoffe wie beispielsweise BSH [Brettschichtholz] kompensieren etwaige Nachteile und erschliessen dem Baustoff neue Absatzmärkte.

⁵ Quelle: Ph. D. Marjut Wallenius, Dozentin Universität Tampere

4. Vorteil Holzbauweise

4.1. Vorfabrikation

Durch die massive Vorfabrikation beim Holzbau kann die Bauzeit kurz gehalten werden, was insbesondere in der dicht bewohnten Stadt die Nachbarn weniger lang und weniger laut belastet. Vorfabrikation bedeutet weniger lange Immissionen. Gleichzeitig findet die Montage der vorgefertigten Elemente in der geschützten Werkstatt bei idealen Bedingungen statt. Die Arbeitsabläufe können «lean»-mässig perfekt aufeinander abgestimmt werden bis die fertigen Elemente oder Module schliesslich «just in Time» auf die Baustelle kommen und eingebaut werden. Für das innerstädtische Hochhaus, welches auf einer kleinen Parzelle mit wenig Platz für die Baustelle und Lagerung steht und umgeben ist von Nachbarn, die nicht lang gestört werden wollen, die perfekte Lösung.



Montage vorfabr. Elemente Pile up Giesshübel, 2013
(Quelle: burkhalter sumi architekten)

4.2. Digitalisierte Wertschöpfungskette

BIM wurde im Holzbau erfunden. Seit Jahren planen die «Hölzigen» mit austauschbaren 3D CAD Dateien. Sowohl die Ausschreibung wie auch die Werk- und Produktionspläne werden direkt aus der «Mutter aller Pläne» gezogen. Schliesslich werden die Daten auf die CNC-Maschine und auf die Abbundanlage geschickt. Diese High-Tech Automatisierung der Elemente wird bei zunehmender Repetition immer interessanter und erlaubt beim Holzhochhaus, dass eine Wirtschaftlichkeit erreicht wird, die trotz des leicht teureren Baumaterials vergleichbar ausfällt.

4.3. Graue Energie/Treibhausgase

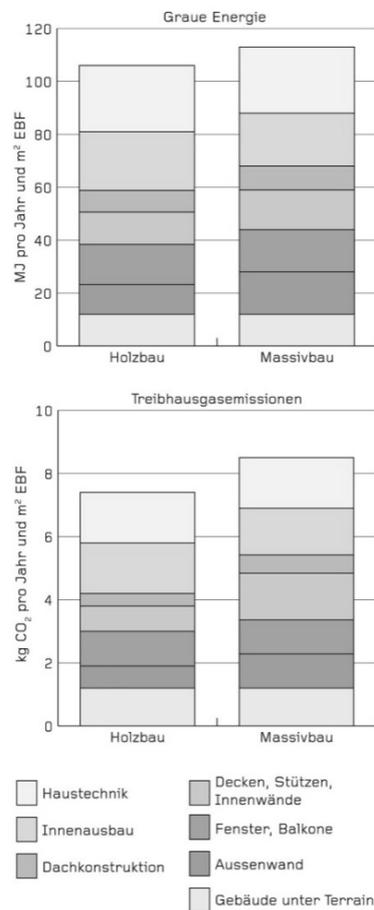
Die Graue Energie definiert die Summe der Primärenergie für alle Bauteile, deren Ersatzinvestitionen im Unterhalt und deren Rückbau; also der kumulierte Aufwand an nicht erneuerbarer Energie für Rohstoffabbau, Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und Entsorgung. Diese Graue Energie ist bei den heutigen hochgekämmten Bauten fast dreimal höher als die Heizenergie. Darum legt der Effizienzpfad Energie (SIA 2040) einen Zielwert für die 2000-Watt-Gesellschaft zur Grauen Energie fest (110MJ/m²a).

Studien (wie z.B. zum Holzhybridbau an der Badenerstrasse, 2012) haben gezeigt, dass die Holzbauweise den Richtwert für die Graue Energie von Effizienzpfad-kompatiblen Bauten im Gegensatz zur Massivbauweise unterschreiten.

Die Holzbauweise braucht keine energieintensiven Hochofenprozesse zur Herstellung des Baumaterials wie z.B. bei Zement oder Stahl. Vom Schlagen des Holzes bis zur Fügung der Elemente wird nur wenig Graue Energie benötigt. Auch die Befestigungen der Verkleidungen (z.B. Fassade) sind durch das weiche Material einfacher und weniger energieintensiv. Zudem sind die gefügten Elemente einfach trenn- und rückbaubar und können wieder gebraucht werden (siehe Kreislaufmaterial).

Die Holzbauweise im Hochhausbau bietet zudem weitere Potenziale zur Reduzierung der Grauen Energie: Das Hochhaus wird mit Sprinkleranlage ausgerüstet, dadurch entfallen alle Brandschutz-Kapselungen im Innenausbau und der Holzbau kann direkt gezeigt werden.

Ebenfalls deutlich besser schneidet der Holzbau bei den Treibhausgasemissionen ab. In der oben genannten Studie konnte der Holzbau vor allem in den Bereichen Aussenwand, Decken, Stützen, Innenausbau punkten.



Vergleich Graue Energie Holzbau-Massivbau (Quelle: Fallstudie Badenerstrasse, P. Jung)

4.4. Hightech Bauweise

Holzbauteile lassen sich im Rohzustand in Faserrichtung hervorragend auf Zug und Druck belasten. Neue Technologien wie beispielsweise Klebeverbindungen oder hybride Bauteile können die Nachteile bei Belastungen quer zur Faser kompensieren und eröffnen dem Baustoff Holz neue Einsatzbereiche auch im Bereich des industrialisierten Ingenieurbaus. Fachwerkträger, Rahmen- und weit gespannte Bogenkonstruktionen sowie unterspannte Tragsysteme sind die heute bevorzugten Tragwerksarten und bereichern den Ingenieur-Holzbau. Seinen Anfang fand der Ingenieurholzbau bereits Anfangs des 20. Jahrhunderts mit der Erfindung des Brettschichtholz.

Das Bauen mit Brettschichtholz bildete somit den Auftakt des modernen Ingenieur-Holzbaus welcher sich über die Jahrzehnte hin zur Hightech-Bauweise entwickelt hat, die uns heute zu Verfügung steht. Waren frühere Ingenieur-Holzkonstruktionen noch auf handwerkliche Verbindungen angewiesen trugen Nägel, Stabdübel, Sonderdübel, Stahlblechformteile sowie eingeklebte Gewindestangen oder die systematische Untersuchung von Keilzinkenverbindungen wesentlich zur Weiterentwicklung des Holzbaus bei.

In Kombination mit digitalen Planungs-, Berechnungs-, und Fabrikationsprozessen sind heute Grossstrukturen in Holz realisierbar, die so früher nicht denkbar waren. Holz, das als der älteste Hightech Baustoff der Welt gilt, wird so neue Absatzmärkte erschlossen und Spannweiten über 100m sind heute in Holzbauweise realisierbar.

5. System und Flexibilität

Das Denken in Holz bringt den Systemgedanken mit sich. Die systemische Bauweise wiederum trägt dazu bei, Konzepte zu entwickeln, welche durch die Wiederholung der Elemente und die Vorfabrikation eine gute Wirtschaftlichkeit erwarten lassen. Vor allem aber sollte die Systembauweise dazu führen, eine höchstmögliche Nutzungsflexibilität im Hochhaus zu erreichen. Das HolzHybridHochHaus widmet der Flexibilität viel Raum.

5.1. Flexibilität

«Flexibilität der Architektur bezeichnet die Fähigkeit eines Gebäudes, in kurzer Zeit, mit angemessenem Aufwand und zu vertretbaren Kosten auf neue Gegebenheiten reagieren zu können. Flexibilität ist somit ein Gradmesser der Anpassungsfähigkeit und einer langfristigen Werterhaltung.

Lebensstile und Lebensrealitäten der Menschen haben sich in den vergangenen Jahren grundlegend gewandelt. Die Grenzen zwischen Arbeits- und Berufsleben verschwinden genauso wie tradierte Vorstellungen vom Zusammenleben in der Familie. Aktuelle Wohnkonzepte wie das Mehrgenerationenwohnen und sich stetig wandelnde Bedürfnisse beim Zusammenleben führen dazu, dass sich die Anforderungen an Wohn-, und Grundrisskonzeption stetig verändern. Flexible Konzepte wie beispielsweise das der Clusterwohnungen reagieren auf diese neuen Anforderungen und tragen somit nachhaltig zu einem Werterhalt von Wohnimmobilien bei. Dieser stetig stattfindende Wandel lässt sich nicht nur bei Wohngebäuden beobachten. Im Jahr 2017 verzeichnete allein der Wirtschaftsraum Zürich einen Leerstand im Marktsegment Office-, und Gewerbeflächen von ca. 800.000 qm. Gleichzeitig wurden weiterhin neue Office Flächen projektiert und auch realisiert. Betrachtet man dieses Phänomen, so liegt der Schluss nahe, dass die leerstehenden Angebote nicht mehr dem State of the Art betreffend Image, Nutzung, Organisation und Grösse entsprechen und mangels Flexibilität nicht auf die neuen Anforderungen reagieren können.»⁶

Der SNBS (StandardNachhaltigesBauenSchweiz) führt im Themencluster Gesellschaft unter Nutzung und Raumgestaltung die Nutzungsflexibilität & -variabilität als Indikator für nachhaltiges Bauen ein und fordert von allen am Bau Beteiligten eine entsprechende Konzeption. Es muss das Ziel sein, dass wir Gebäude planen, welche mit einem vernünftigen Mass an Flexibilität auf Veränderung reagieren und somit nachhaltige Gebäude mit einer langen Lebenszeit schaffen.

Für den SNBS hängt der sinnvolle Grad an Nutzungsflexibilität und Nutzungsvariabilität von Gebäuden von den Zielgruppen, dem Angebot und den Entwicklungen im Umfeld ab.

Auch der DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen) formuliert mit dem Kriterium ECO2.1 Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit das Ziel Gebäude so flexibel wie möglich zu konzipieren und eine möglichst grosse Umnutzungsfähigkeit einzuplanen. Dadurch werden Leerstandrisiko und Lebenszykluskosten reduziert und die Nutzerakzeptanz sowie Erfolgsaussichten der Immobilie steigen.

Ein beispielhafter Bau für die gesuchte Flexibilität ist das Richards Medical Research Building in Philadelphia von L. I. Kahn von 1961;

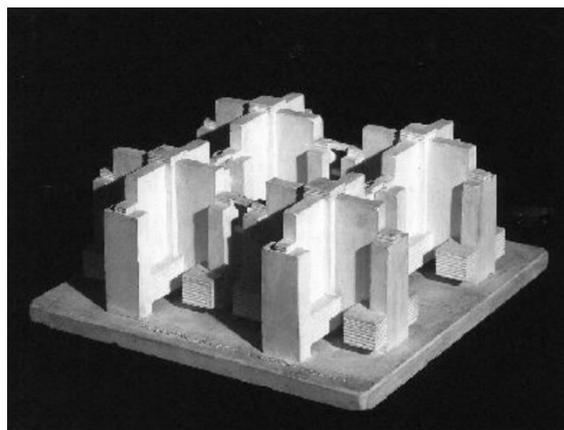


Tragwerkmodell Richards Medical Research Building (Quelle: MOMA)

⁶ Quelle: die Typologie der Flexibilität im Hochbau, Prof. Dr. Peter Schwehr, HSLU - CCTP

Im Forschungsprojekt verstehen wir das Haus als vertikale Stadt, als «Hochregallager» mit gestapelten, unterschiedlichen Nutzungen unter einem Dach.

Dieser Ansatz wurde schon 1931 von Raymond Hood, dem wohl charismatischsten Architekten des «Manhattismus» beschworen. In Hood's «Stadt unter einem Dach» (City under a single roof) werden stauproduzierende horizontale Bewegungen durch vertikale Bewegungen innerhalb des Gebäudes ersetzt und bilden ein vertikales Mega-Dorf. Die publikumswirksamen Nutzungen im überbreiten Sockel angeordnet, die Arbeitsplätze und Wohnungen darüber. Das Freispiel der Stadtebene für den Verkehr ist der Zeit geschuldet und in der heutigen Diskussion nicht mehr vertretbar.



Raymond Hood, Proposal for «City under a Single roof, 1931
(Quelle: University of Pennsylvania)

«Mischung macht Stadt; Zentral für eine lebendige und lebenswerte Stadt sind Nutzungsvielfalt und Nutzungsdichte. Erst wenn man verschiedene Nutzungen nebeneinander auf einem Raum mischt, wird dieser Raum für vielerlei Menschen und Aktivitäten attraktiv.»⁷

5.3. Beispiel New York

«Kontextuelle Distrikte» z. B. sind eine relativ neue Weiterentwicklung des traditionellen Zonings in New York um ein homogeneres Stadtbild zu erzielen. Andere Neuerungen der letzten Jahre sind das «Inclusionary Zoning», durch das versucht wird, mehr Sozialwohnungen zu bauen, indem Investoren erlaubt wird, höhere und größere Gebäude zu errichten, wenn sie einen bestimmten Anteil an Wohnungen für Einwohner mit niedrigem oder mittlerem Einkommen bereitstellen.

In «Mixed- Use Districts» wird versucht, verschiedene Flächennutzungen zu ermöglichen, um ein belebteres Stadtbild zu erhalten oder um den Übergang von einstigen Industriegebieten zu Wohngebieten, in denen immer mehr Lofts von Künstlern übernommen werden, zu erleichtern.

5.4. Beispiel Zug

Das neue Zuger Hochhausreglement von 2016 definiert folgendes: «Dem Sockelbereich und seinem Bezug zum Aussenraum kommt eine besondere Bedeutung zu.

Das Hochhaus muss sich im Kontext verankern können und trotzdem eine Eigenständigkeit entwickeln. Das Hochhaus hat sich auf Strassenniveau zum Stadtraum zu öffnen, es hat attraktiven Wohn- und Arbeitsraum zu generieren und sich natürlich in die Höhe zu entwickeln. Bei Hochhäusern mit reiner Wohnnutzung sind im Erdgeschoss nur gemeinschaftliche Anlagen oder publikumsorientierte Nutzungen zulässig. Wichtig ist, dass gemeinschaftliche Anlagen einen Bezug zum Aussenraum aufweisen. Dies bedeutet, dass die Anlagen direkt vom Aussenraum zugänglich sein müssen und demzufolge eine offene und attraktive Fassadengestaltung aufweisen. Bei publikumsattraktiven Nutzungen muss dies ohnehin der Fall sein.



Ausschnitt aus Hochhausreglement Zug, Ergänzungsplan zum Zonenplan, 2016
(Quelle: Stadtplanung Stadt Zug)

⁷ Quelle: Barbara Meyer, ehem. Stadtplanerin von Schlieren, Werk 1/2 2019

6. Höherentwicklung

6.1. Set back

Die Zoning Resolution für New York City von 1916 war die erste Zoning Resolution in den Vereinigten Staaten. Sie war wegweisend für die Städteplanung in den gesamten USA und prägte entscheidend die Skyline von Manhattan mit den charakteristischen Rückstufungen (setbacks) der Blocks. Die Gebäude werden mit zunehmender Höhe dünner, um in der Strasse noch genügend Licht zu haben.

Hugh Ferriss, Architekt und Künstler, war im New York der 1920er Jahre als Delineator tätig. Er bildete auf seinen Bildern die zulässige Raumhüllen der Law Regulation von 1916 ab und illustrierte in seinem Buch «The Metropolis of Tomorrow» 1929 die baulichen Möglichkeiten der mathematisch gefassten Abtreppungsvorschrift.

Hugh Ferriss' Zeichnungen dienen dem Forschungsprojekt als Inspirationsquelle: Auch die Höhenentwicklung des Forschungsprojektes entwickelt sich parabelförmig; auf Stadtebene wird ein möglichst grosser Fussabdruck geschaffen. Einerseits um die Flächen für die öffentlichkeitswirksamen Nutzungen im Sockelbereich zu erhöhen, andererseits um den für die Statik und Windaussteifung wichtigen grossen Fuss zu generieren. Da die horizontalen Lasten im Hochhaus ab ca. 30m Höhe entscheidend sind, nimmt die Masse gegen oben kontinuierlich ab und bietet immer weniger Windangriffsfläche.



Hugh Ferriss, zulässige Raumhülle in der Law Regulation NY, 1916 (Quelle: Avery Library, Columbia Universität)

Die Idee des «Set back» wird auch im Kulturpalast in Warschau deutlich. Das städtebauliche Potential, welches damit eingelöst werden könnte, wird verständlich, wenn wir die Studienarbeiten der ZHAW von 2015 zu diesem Thema anschauen.

Der Zweite Weltkrieg und der Bau des Kulturpalastes hinterliessen mitten in Warschau eine grosse Leere. In ihrer Bachelor-Abschlussarbeit entwarfen die Studierenden der Architekturabteilung der ZHAW ein Stück Stadt um den Kulturpalast. Dieses basiert auf der Tradition der europäischen Stadt, nimmt aber auch die Tradition des Warschauer Wiederaufbaus der Nachkriegszeit auf.

Dabei fällt auf, wie gut sich die ausladende Sockelpartie mit den öffentlichen Nutzungen mit dem Stadtboden verzahnen und gleichzeitig die halbprivaten Nutzungen in den oberen Geschossen von Aussicht und Licht profitieren. Diesen Anspruch stellt auch das Forschungsprojekt.



Modell 1:200 des Areals um den Kulturpalast, Mit Arbeiten der Studierenden der ZHAW (Quelle: Hochparterre)

7. Projektteam

Das Projektteam, welches das Forschungsprojekt HolzHybridHochHaus im Rahmen einer KTI-Forschung plant, ist interdisziplinär aufgestellt und besitzt eine hohe Expertise im Holzbau. Ähnlich wie bei der Planung des Rockefeller Centers in New York ist die Konzeption des Forschungsprojektes ein raffinierter interdisziplinärer Kompromiss, eine eigentliche «Architektur per Komitee».

Projektdaten

Projekttaufzeit: 2017-2019

Team

Forschung

Hochschule Luzern Technik & Architektur,
Kompetenzzentrum Typologie & Planung
in Architektur (CCTP) (Projektleitung)
Kompetenzzentrum Konstruktiver
Ingenieurbau (CCKI)

Wirtschaft

burkhalter sumi architekten GmbH, Zürich
Künzli Holz AG, Davos
Makiol Wiederkehr AG, Beinwil a.S.
b+p baurealisation ag, Zürich
Vadea AG, Wallisellen
Lignum Holzwirtschaft, Zürich
Holzbau Schweiz, Zürich
Vereinigung kantonaler
Feuerversicherungen VKF, Zürich
Graubündner Kantonalbank, Chur

Das Forschungsprojekt

HolzHybridHochHaus wird durch
Innosuisse- Schweizerische Agentur
für Innovationsförderung gefördert.

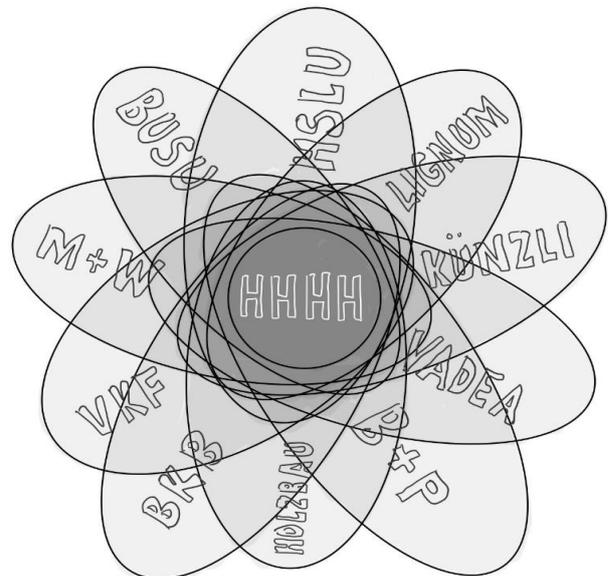
Kontakt

Yves Schihin
burkhalter sumi architekten
yschihin@burkhalter-sumi.ch
T +41 44 258 90 10

Frank Keikut
HSLU, CCTP
frank.keikut@hslu.ch
T +41 41 349 349 5



Corbett's Zug,
Das Kollegium beim Spiel mit Miniaturmodellen
des Rockefeller Centers, NY, 1928
(Quelle: Delirious New York, Rem Koolhaas)



Sponsoren – Aussteller



MASSIVHOLZHANDBUCH 2.0

Technische Systemlösungen für den Massivholz- und Trockenbau in perfekter Kombination

Die zweite Auflage des Massivholzhandbuchs stellt ein detailliert ausgearbeitetes Nachschlagewerk für Architekten, Planer, Bauherren sowie Ausführende und im Allgemeinen an Massivholzbau Lösungen Interessierte dar. Durch neue Testergebnisse, die optimierte Online-Plattform sowie vielen weiteren Neuerungen, erhalten Sie die optimale Unterstützung für den Massivholzbau mit den Produkten von binderholz und Saint-Gobain Rigips Austria. Durch die fundierten Testergebnisse und Vergleiche sowie umfangreichen Zusatzinformationen verfügen Sie über das nötige Know-how für einen modernen Holzbau der Zukunft.



Aufbauten auch mit zusätzlichen Details online verfügbar

In diesem Online-Tool stehen alle Aufbauten sowie ergänzende bauphysikalische Details und Bauteilknoten zur Verfügung.

www.massivholzhandbuch.com

JETZT BESTELLEN: bbs@binderholz.com | rigips.austria@saint-gobain.com

Perfekter Innenausbau und dauerhaft schöne Fassade

Ein schönes Gebäude verdient es,
schön zu bleiben – von innen und aussen



MODERNER INNENAUSBAU
MIT FERMACELL®



PERFEKTER BAD-AUSBAU
MIT FERMACELL®



STYLISCHE FASSADENLÖSUNGEN
MIT JAMESHARDIE®

Innenausbau

- fermacell® Gipsfaser- und fermacell® greenline Platten – für den perfekten Innenausbau für Decke, Wand und Boden
- fermacell® Powerpanel H₂O und fermacell® Powerpanel TE – für Nassräume und robuste Nassraum-Böden

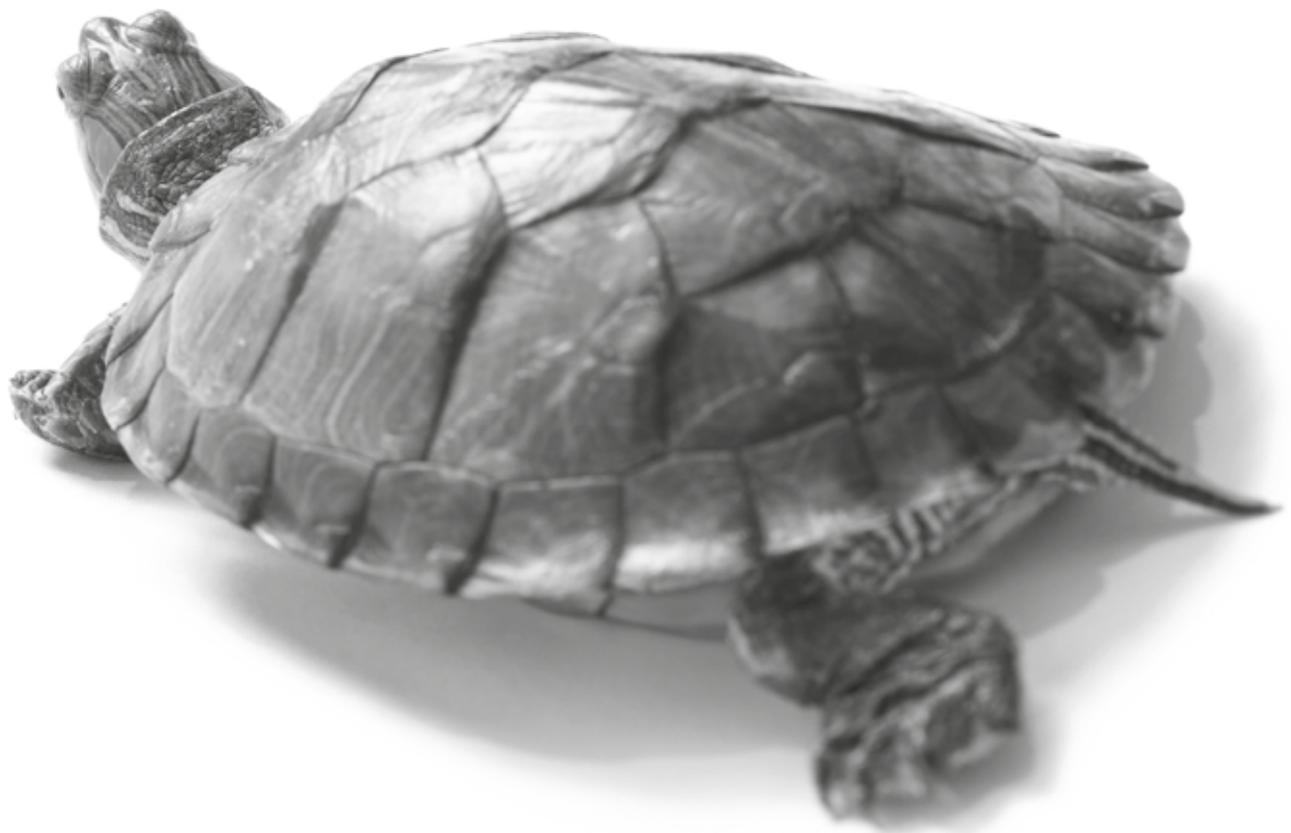
Fassade

- fermacell® Powerpanel HD – für verputzte und hinterlüftete Aussenwände
- HardiePlank® und HardiePanel® Paneele – für eine langlebige und zeitlose Fassadenbekleidung

© 2019 James Hardie Europe GmbH. TM und [®] bezeichnen registrierte und eingetragene Marken der James Hardie Technology Limited und James Hardie Europe GmbH. James Hardie Europe GmbH · Bennigsen-Platz 1 · 40474 Düsseldorf · fermacell@jameshardie.de

Der Panzer Ihrer Konstruktion: Egger OSB 4 TOP für eine sichere und stabile Gebäudehülle.

www.egger.com/dieholzbauplatte



EGGER OSB 4 TOP: die Platte mit geprüfter Holzbauqualität.

Die speziell für den Holzbau optimierte Platte ist auf Langlebigkeit von Bauvorhaben ausgelegt. Als einziger Hersteller garantieren wir alle für den Holzbau essentiellen Eigenschaften mit unserer CE-Leistungserklärung. Damit bieten wir Nachweissicherheit bei Ihrer Planung und die Basis für beständige Konstruktionen über Generationen hinweg.

MEHR AUS HOLZ.

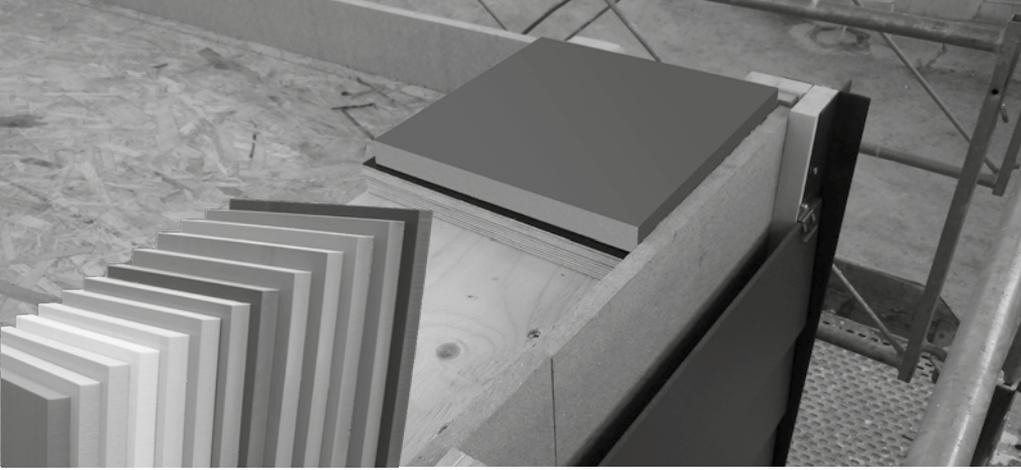
E EGGER

**HASSLACHER
NORICA TIMBER**

From **wood** to **wonders**.

Qualität & Innovation

hasslacher.com



Schall- und Schwingungsisolierung im Holzbau mit PURASYS vibrafoam/vibradyn

ISOCELL GmbH

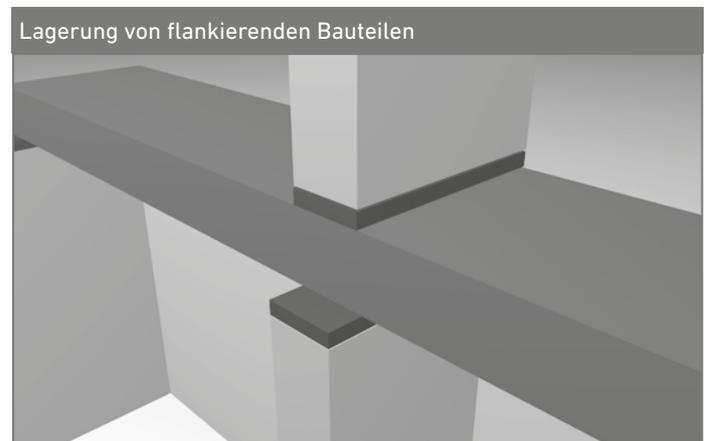
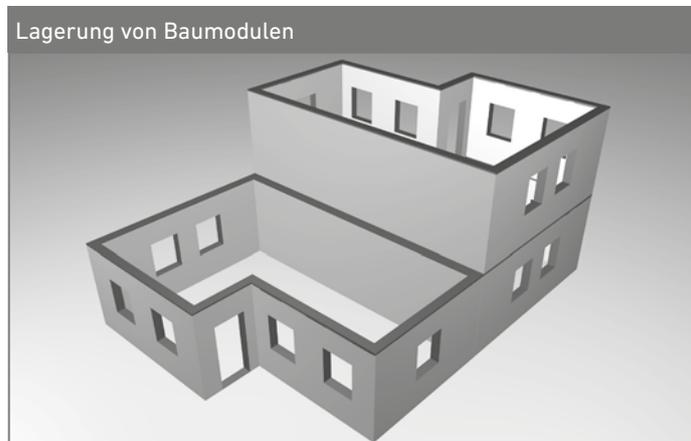
Gewerbestraße 9
5202 Neumarkt am Wallersee | Österreich
Tel.: +43 6216 4108 | Fax: +43 6216 7979
office@isocell.at

Im modernen Holzbau ist hoher Wohnkomfort problemlos umsetzbar. Ob Ziegelmassiv oder Holzbau – alle Bauweisen unterliegen gleichen Anforderungen. Als Beispiel wird hier der Schallschutz genannt. Statt auf pure Masse setzt der Holzbau auf eine intelligente Konstruktion. Hierzu tragen auch High-Tech Materialien wie **vibrafoam/vibradyn** Lager aus hochwertigem Polyurethan bei und sind ein wirksamer Schutz vor Schwingungen und Erschütterungen.

Diese High-Tech PUR Elastomere können als flächige Matte zur Entkoppelung zwischen den Bauteilen eingesetzt werden, als Zuschnitt entsprechend der jeweiligen Bauteilgeometrie oder auch als individuell gefertigtes Formteil.

PURASYS **vibradyn** ist aufgrund seiner hervorragenden dynamischen Eigenschaften auch für höchst anspruchsvolle Anwendungen geeignet. Dank seiner Struktur nimmt dieser Werkstoff nahezu keine Flüssigkeiten auf und kann somit auch im drückenden Grundwasser eingesetzt werden.

Verwendung von **vibrafoam/vibradyn** im Holzbau



Wirkung von **vibrafoam/vibradyn**

Die physikalischen Eigenschaften von Holz, insbesondere dessen Schallleitfähigkeit erfordern allerdings auch geeignete Maßnahmen um Schwingungs- und Schallübertragung zu minimieren.

Gerade an Knotenpunkten, an denen unterschiedliche Materialien aufeinander treffen, kann eine erhöhte Übertragung von Schall beobachtet werden. Mit **vibrafoam/vibradyn** ist es ohne größeren Aufwand möglich einen hohen Schallschutz zu erreichen.

Hierzu werden die einzelnen Wohneinheiten dadurch getrennt, indem man Streifen aus **vibrafoam/vibradyn** zunächst auf der Holzdecke plaziert und anschließend die Wände auf die Lagerhölzer stellt.

In zahlreichen Projekten konnte so gezeigt werden, dass durch die Lagerung der Systemkomponenten mit **vibrafoam/vibradyn** nicht nur der Eindruck einer geringeren Schallübertragung entsteht, sondern die Verbesserung auch physikalisch messbar ist.





FÜR JEDE ANFORDERUNG DIE PASSENDE LÖSUNG

- VERBINDUNGSTECHNIK
- LUFTDICHTHEIT UND BAUABDICHTUNG
- SCHALLDÄMMUNG
- ABSTURZSICHERUNG
- WERKZEUGE UND MASCHINEN

Rothoblaas hat sich als multinationales Unternehmen der technologischen Innovation verpflichtet und entwickelte sich innerhalb weniger Jahre zum weltweiten Bezugspunkt im Bereich Holzbau und Sicherheitssysteme. Dank unserem umfassenden Sortiment und einem engmaschigen und technisch kompetenten Vertriebsnetz sind wir in der Lage, unseren Kunden unser Know-how im Bereich Holzbau zur Verfügung zu stellen und Ihnen als starker Partner zur Seite zu stehen.



STEICO – Das Naturbausystem

Holzbau in der Gebäudeklasse 5

Erweiterung der STEICO Konzernzentrale



Bei der Erweiterung der STEICO Firmenzentrale in Feldkirchen bei München kommt erneut das hauseigene Naturbausystem aus Furnierschichtholz, Stegträgern und Holzfaser-Dämmstoffen zum Einsatz. Im viergeschossigen Neubau schafft das Unternehmen neue Schulungs- und Lagerräume, 50 Arbeitsplätze sowie einen Pausenraum. Durch die überdachten Parkplätze wird das Erdgeschoss in Stahlbeton-, die drei auskragenden Obergeschosse in Holzbauweise errichtet.

Die Größe der Nutzungseinheiten erbrachte eine Einstufung des Gebäudekomplexes in die Gebäudeklasse 5. Brandschutzvorgaben setzen in dieser Gebäudeklasse feuerbeständige Bauteile voraus, was dem Holzbau zunächst entgegensteht. Die Erweiterung in Holzbauweise kann jedoch durch vorhandene Brandschutznachweise und deren Beurteilung in einem Brandschutzkonzept ausgeführt werden, ohne das hohe brandschutztechnische Sicherheitsniveau zu schwächen

F90-B Brandschutz mit STEICO GLVL R

Die Deckenkonstruktionen des neuen Gebäudes werden in Holzmassivelementen aus verklebtem Furnierschichtholz STEICO GLVL (Glued Laminated Veneer Lumber) ausgeführt, welche durch höchste Beanspruchbarkeit und Dimensionsstabilität überzeugen. Auffällig sind die sichtbaren Deckenelemente in Finline-Optik mit bis zu 7,25 m Spannweite, 24 cm Höhe und knapp 12 m Länge.

Die hohe Tragfähigkeit von STEICO GLVL kommt ebenso bei den Stützen und Unterzügen, bei Bereichen mit höchster Belastungsanforderung, zum Einsatz.

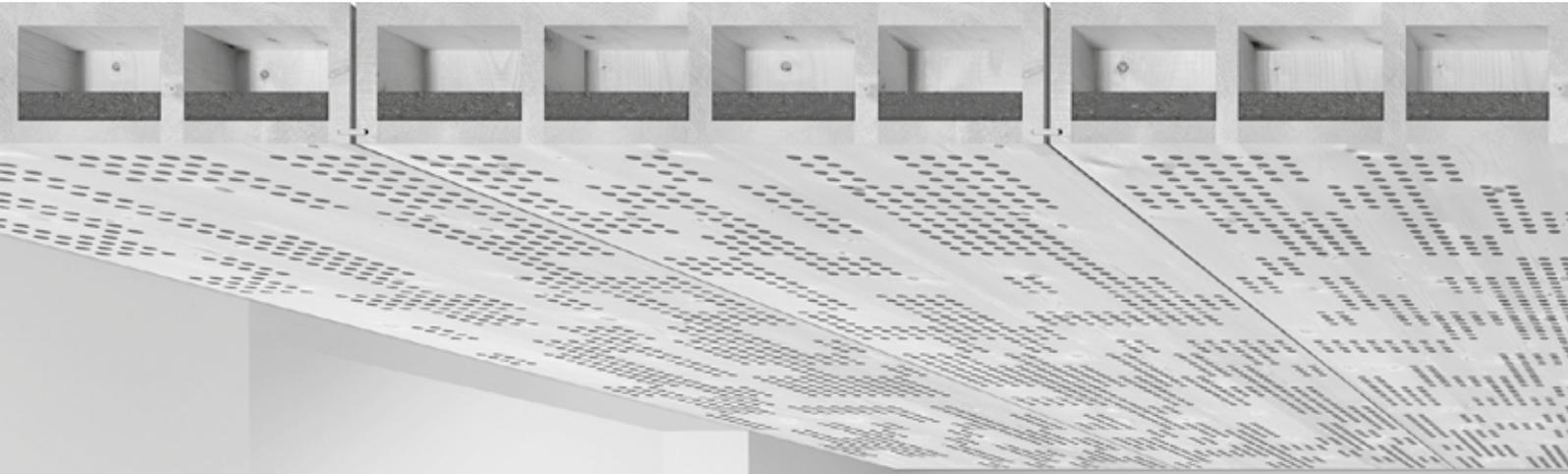
Für die Decken- und Dachkonstruktionen im STEICO Neubau wird ein Feuerwiderstand von 90 Minuten (REI 90) gefordert. Schon allein über die Bemessung des Abbrandes wird auch nach einer Brandeinwirkung von 90 Minuten ein ausreichender Restquerschnitt erreicht, welcher die Tragfähigkeit gewährleistet.

Fassadendämmung mit Holzfaser in Gebäudeklasse 5

Als Fassade kommt das STEICOsecure WDV-System zum Einsatz. Trotz der Abweichung zur Anforderung der Schwerentflammbarkeit erfolgte die Zustimmung, da Prüfnachweise nach DIN 4102, Teil 20 für die Beurteilung des Brandverhaltens der Außenwandbekleidung vorgelegt werden konnten. Der Untersuchungsbericht der MFPA Leipzig belegt, dass das System im Brandversuch nicht aktiv brennt, sondern lediglich mit einer geringen Schwelgeschwindigkeit glimmt.

Mit der Kompensationsmaßnahme einer 18 mm dicken Gipsfaserplatte, die das Holztragwerk und den Gefachbereich kapselt, wurde dieser Eigenschaft Rechnung getragen, um das Sicherheits- und Rettungskonzept in allen Belangen zu erfüllen.

Der STEICO Erweiterungsbau ist somit ein weiteres gelungenes Referenzprojekt für den Holzbau in der Gebäudeklasse 5 – die Fertigstellung ist für das zweite Halbjahr 2019 geplant.



Alles in einem Element:

- | | |
|--|--|
|  Statik - tragend |  Schallschutz |
|  Feuerwiderstand 90 min |  Raumakustik |
|  Ästhetik |  Wärmeschutz |
|  Ökologie |  Top-Beratung |

Interessiert?

Kontaktieren Sie unser
Beratungsteam:

+41 71 353 04 10
info@lignatur.ch



Erfahren Sie mehr unter:

www.lignatur.ch

VOLLKOMMENEN AKUSTISCHEN KOMFORT



NOVATOP ACOUSIC

Akustische Paneele Aus
Massivholz

Sie vervollkommen die
akustischen Eigenschaften
des Raumes.

Sie bieten mannigfaltige
Kombinationen der Profile
und der Absorber.

Für Sport- und Turnhallen
geprüft.



FLEXIBILITÄT UND INDIVIDUALITÄT



KONTAKT MIT DER NATUR





INNOVATIVER HOLZBAU MIT SYSTEM

Nachhaltig hochwertig

Knauf bietet ganzheitliche, perfekt aufeinander abgestimmte Lösungen für den Holzbau, die höchste Anforderungen an Schall-, Brand- und Wärmeschutz in Boden, Wand, Decke und Dach erfüllen.

Auf unserem Ausstellungsstand beraten Sie unsere Experten umfassend zu neuen und bewährten Systemlösungen aus dem Hause Knauf. Dabei stehen folgende Themen im Fokus:

- › Außenwand-Systeme für den innovativen und auch mehrgeschossigen Holzbau
- › Holzbalkendecken mit außergewöhnlichem Schallschutz – auch im tieffrequenten Bereich
- › Wirtschaftliche und effiziente Dämmsysteme

www.knauf.de

www.knaufinsulation.de

KNAUF

Aussteller BAYERNenergie e.V. Unabhängige Energieberater

mit Partnern SIGA und Staudenschreiner GmbH



BAYERNenergie e.V. ist erster Ansprechpartner vor Ort, wenn es um Energieeffizienzmaßnahmen und Energieberatung geht. BAYERNenergie e.V. versteht sich als Interessensverband der Gebäudeenergieberater in Bayern. Er vertritt seit 1999 erfolgreich die Anliegen seiner über 400 Mitglieder und steht als erster Fachverband für Gebäudeenergieberater in Deutschland überhaupt sowie als zweit mitgliederstärkster Einzelverband bundesweit für einen jungen, aufstrebenden Berufsstand. Alle Mitglieder des GIH haben neben ihrer Berufsausbildung als Handwerksmeister, Bautechniker, Ingenieure oder Architekten eine anerkannte Zusatzqualifikation zum Gebäudeenergieberater erfolgreich durch Prüfung abgeschlossen. BAYERNenergie e.V. fördert und sichert über seine Informationspolitik und seine Weiterbildungsveranstaltungen die neutrale und kompetente Qualität von Energieberatungen seiner Mitglieder. www.bayernenergie.de



Partner von BAYERNenergie e.V.

„Wir streben nach einer Welt, in der Gebäude keine Energie verlieren“. Das ist die Vision von SIGA. Rund 50 Prozent des weltweiten Energiebedarfs wird für's Heizen und Kühlen von Gebäuden verbraucht. Mit einer dichten Gebäudehülle kann dieser Energiebedarf massiv reduziert werden und damit ein bedeutender Beitrag zum Aufhalten der Klimaerwärmung geleistet werden. Die Vision von SIGA – eine Welt, in der Gebäude keine Energie verlieren – ist der Grundstein für die Geschäftstätigkeit, aber vor allem auch für die Forschungstätigkeit von SIGA. Dank firmeneigenem Innovationszentrum ist SIGA führend in der Forschung, Entwicklung und Produktion von Hochleistungsklebebänder und Membrane für luft- und winddichte Gebäudehüllen. www.siga.swiss



Partner von BAYERNenergie e.V.

Ökologisch bauen: Seit über 30 Jahren baut die **Staudenschreiner GmbH** aus Schwabmünchen ökologische Niedrigstenergiehäuser. Vom Handwerksbetrieb für Holzhäuser haben wir uns im Lauf der Jahre zum Komplettanbieter für energie-effiziente Holzhäuser entwickelt. Vom Sanitär über Elektrik bis hin zum regenerativen Heizkonzept bieten wir Ihnen die optimal abgestimmte Technik aus einer Hand. Staudenschreiner-Häuser zeichnen sich aber besonders durch ihre hohe Wohnqualität und ein gesundes Raumklima aus. Unsere jahrzehntelange Erfahrung ist zudem ein Garant für Kostensicherheit, Qualität, Nachhaltigkeit und Ökologie in Punkto Bauen. Als erfahrener und zuverlässiger Partner begleiten wir Sie durch das Erlebnis Holzhausbau – von der Grundstücksbewertung über die Planung und den Bau Ihres Objektes bis hin zum Einzug in Ihr neues Traumhaus. www.staudenschreiner.de

INNOVATION IM HOLZVERBUND

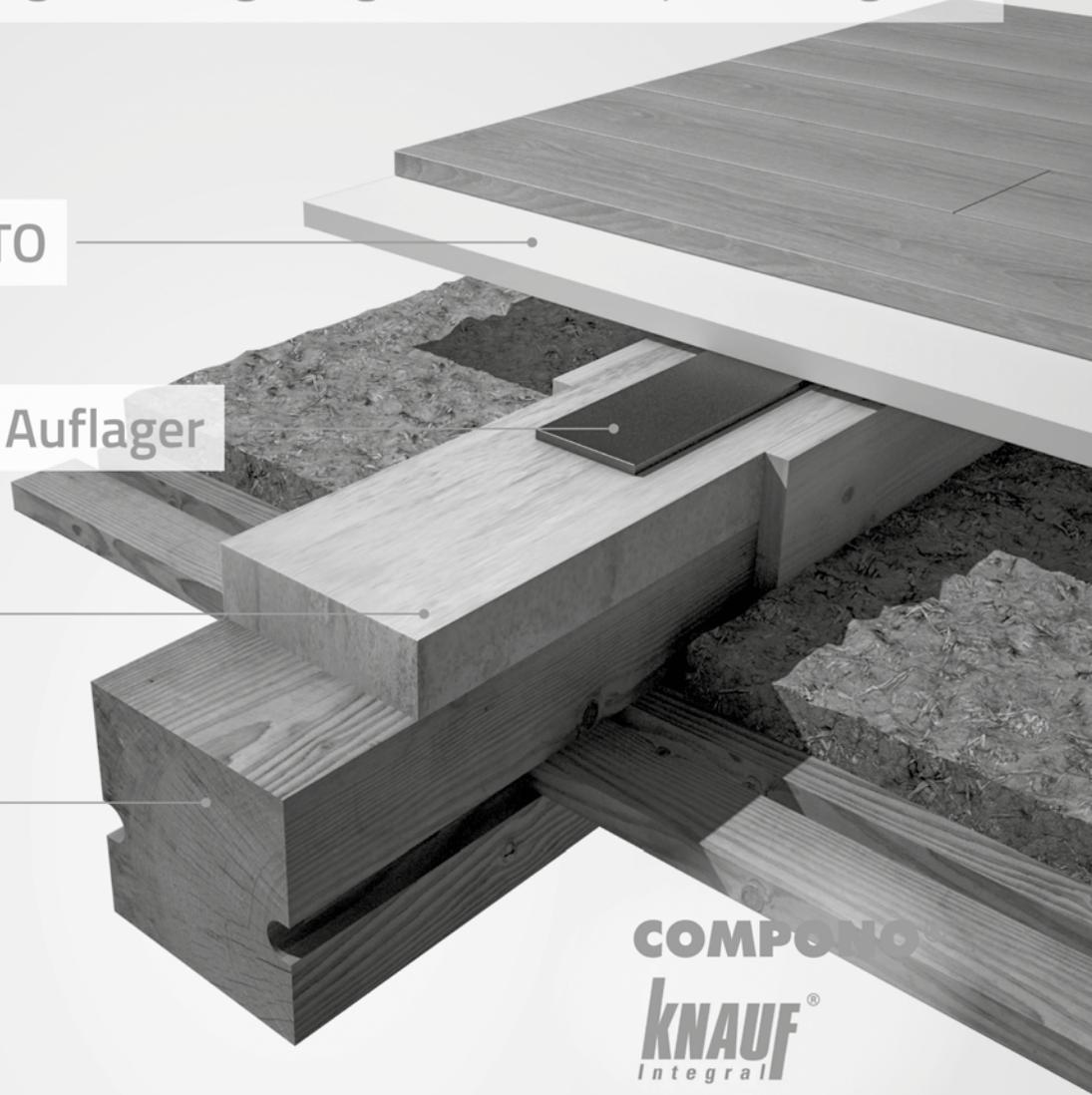
Erhöhung der Tragfähigkeit mit Polymerverguss

GIFAfloor PRESTO

schwimmendes Auflager

COMONO®

Holzbalken



COMONO
kNAUF
Integral

Alte und geschädigte Holzbalkendecken unter fast vollständigem Erhalt der Originalsubstanz sanieren mit modifiziertem Polymerverguss in Kombination mit der Gipsfaserplatte „GIFAfloor PRESTO“

ZIELE

- Statische Ertüchtigung mit dem Polymervergussystem „Compono®“
- Schallschutz und Brandschutz mit den Gipsfaserdeckenplatten „GIFAfloor PRESTO“

VORTEILE

- Geringer Eingriff in den Bestand
- Erhalt der historischen Deckenbalkenuntersicht
- Geringe Aufbauhöhe
- Einfache Verarbeitung
- Querstöße ohne Hinterfüterung
- Höhenausgleich
- Kleine Baustelleneinrichtung

www.compono.de
www.balkendecke.de

MASSIVHOLZDECKEN

AUS **BRETTSPERRHOLZ** UND **BRETTSCHICHTHOLZ**

IN EDLEM DESIGN

- werksseitig lasiert
- geschliffen oder sägerau
- in 8 verschiedenen Farben
- UV-stabil und lichtecht
- diffusionsoffen
- mineralische Lasur

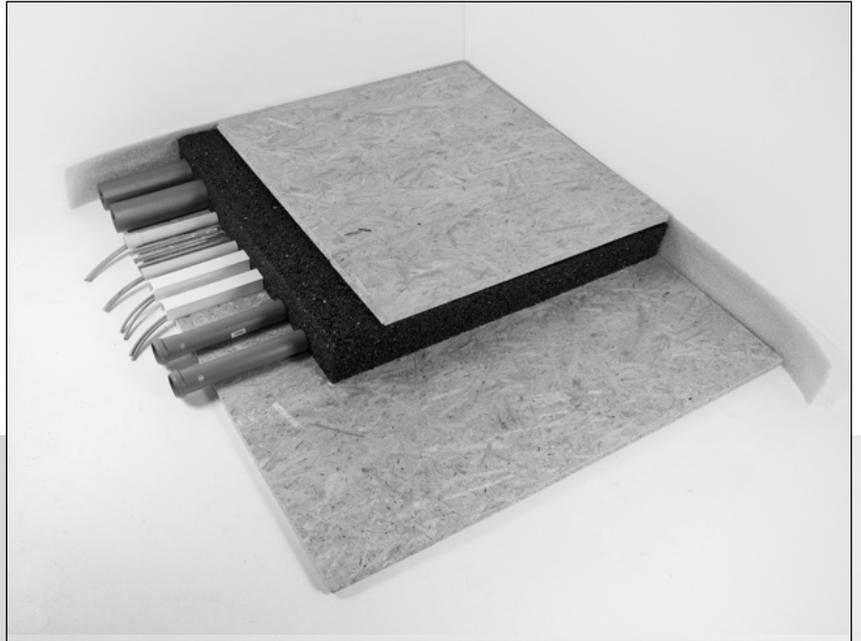


Regupur®

REGUPUR® AUSGLEICHSSCHÜTTUNG

Regupur® comfort S1

- » wasserfreier Einbau
- » nachhaltig
- » gesundheitlich unbedenklich
- » schnell und kostensparend
- » trittschalldämmend





Bauen
mit Holz:

Deutscher
Holzfertigbau-
Verband e.V.

**Gemeinsam
MEHR erreichen.**

► Werden Sie jetzt
Mitglied im DHV
www.d-h-v.de



WMUFAT

Vorteile

- Effizienter, langlebiger Schallschutz
- TimberCalc für die einfache Materialauswahl
- Geprüfte Lager mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Sicheres Berechnungsmodell für den Standsicherheitsnachweis

Für TimberCalc registrieren Sie sich gleich auf:
apps.getzner.com



Schallschutzlösung die auch Statiker überzeugt

Seit Jahren hat Getzner die Lösung zur Entkopplung von flankierenden Bauteilen – zum Schutz vor Schall in Massivholzbauten – am Markt etabliert. Mit dem neuen Bemessungskonzept nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist nun die statische Nachweisführung der Schallschutzlösung verlässlich berechenbar.

www.getzner.com

getzner[®]
engineering a quiet future

ERLEBE DEN GUTEX EFFEKT

*Ökologische Dämmstoffe aus
Schwarzwaldholz.*

Erfahren Sie mehr über Holzfaserdämmung
unter www.gutex.de



DER
**GUTEX
EFFEKT**

 **GUTEX**®

DÄMPLATTEN AUS SCHWARZWALDHOLZ

Unsere Lösungen:

- Mischnutzung Wohnen/Einkaufen
- Mischnutzung Wohnen/Gewerbe
- Haustechnische Anlagen
- Sanitär/Whirlpool/Nasszellen

Unsere Leistungen:

- Beratungen und Auslegungen
- Projektleitungen
- Montagen und Montageberatung
- Qualitätssicherungen

Beispiel Mischnutzung:

Im unteren Gebäudeteil wurde ein Verkaufsladen in Massivbauweise und im oberen Gebäudeteil die Aufstockung für den Wohnungsbau in Holzleichtbauweise ausgeführt.

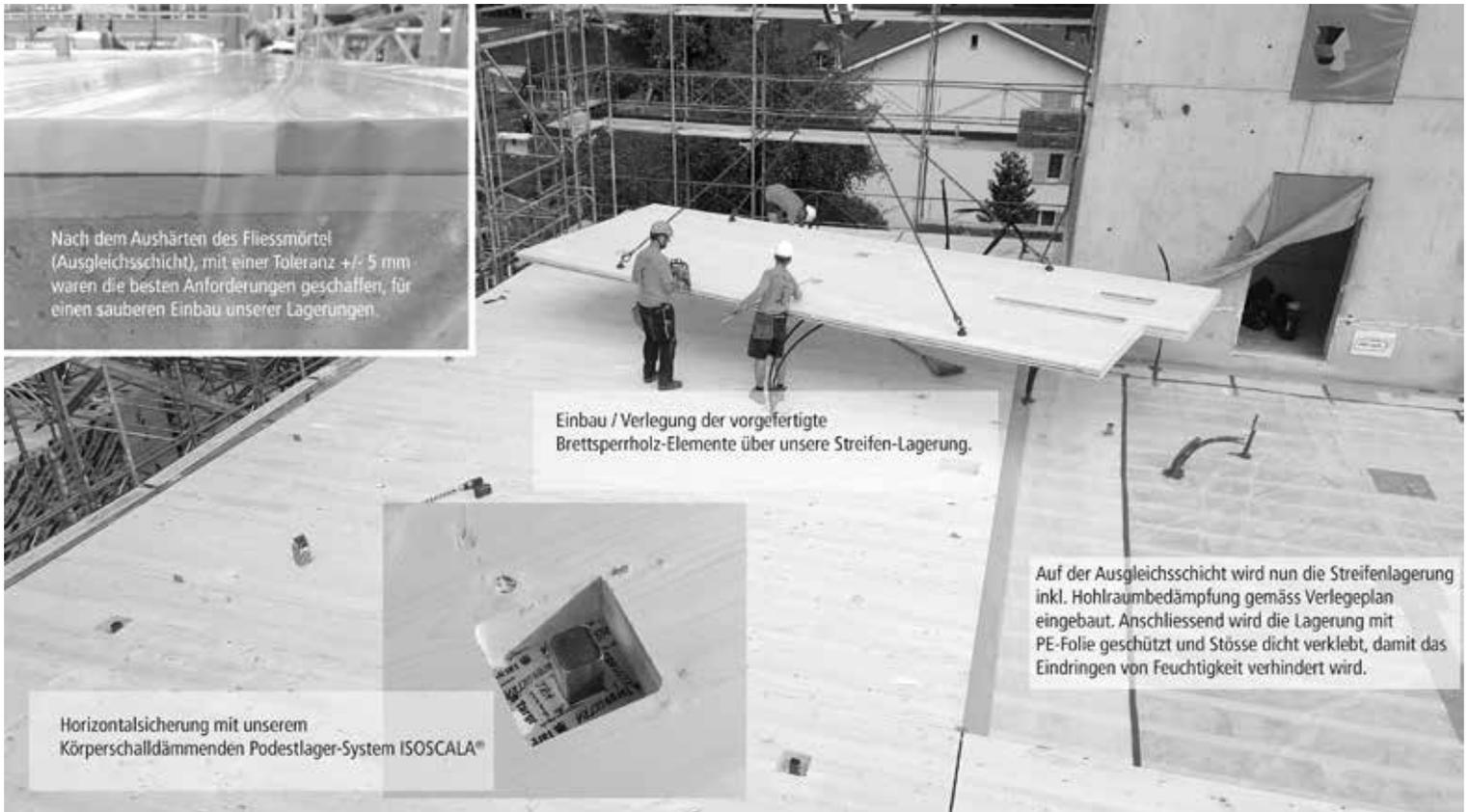
Die Besonderheit: Gebaut wurde mit Lastverteilplatten aus vorgefertigten Brettsperrholz-Elementen.

Ausgangslage:

Bei diesem Mischbau wurden im oben liegenden Gebäudeteil 22 Mietwohnungen und im unten liegenden Gebäudeteil eine 980 m² große Verkaufsfläche gebaut. Unter dem Erdgeschoss wurde zudem noch eine Tiefgarage realisiert. Beim Anliefern und Rangieren der Materialien, bei der Nutzung der Tiefgarage, sowie durch diverse Kühlgeräte werden Vibrationen in das Gebäude eingeleitet. Diese Immissionen können, ohne geeignete Maßnahmen, über die Schallnebenwege in die darüber liegenden Wohnungen gelangen. Dort werden sie in Form von sekundärem Luftschall abgestrahlt und als störender Lärm wahrgenommen.

Lösung:

Aufgrund der Anforderungen und der Gebäude-Charakteristik, wurde eine hochwertige Streifen-Lagerung mit Polyurethanschaum-Platten ISOLMER® inkl. Hohlraumbedämpfung unter die Holzverbunddecken, dauerelastisch und tieffrequent eingebaut.





BRANDSCHUTZ IM HOLZBAU

Geprüfte Anwendungen
mit Hilti



FORUM
HOLZBAU
BAUPHYSIK &
GEBÄUDETECHNIK
12./13. März 2019

Erhöhte Produktivität in der Planung und Vorfertigung.

Hilti bringt seine 30 Jahre Brandschutzerfahrung in den Holzbau. Europaweit zugelassene Brandschutzprodukte für Holzanwendungen vereinfachen die Planungs- und Genehmigungsschritte in jedem Holzbauprojekt.

Ob mehrgeschossiger Wohnbau, Hotelbauten oder Bürogebäude, Hilti bietet Lösungen für die Abschottung der Gebäudetechnik. Die trockenen Brandschutzlösungen ermöglichen einen schnelleren Einbau auf der Baustelle. Kein Warten auf Mörtelaushärten. Kein Einbringen von Baufeuchte. Vorgefertigte Brandschutzlösungen unterstützen den Holzbauer bei der industriellen Vorfertigung und eröffnen Möglichkeiten zur Steigerung seiner Wertschöpfung.

Kommunikation für das Bauen mit Holz

Der INFORMATIONSDIENST HOLZ ist seit vielen Jahren eine verlässliche Größe, wenn es um die fachgerechte Planung und Anwendung des Baustoffes Holz geht. Seine technische Kompetenz und Neutralität macht ihn bei Architekten, Bauingenieuren sowie Handwerkern und Studierenden hochgeschätzt. Drei Serviceleistungen stehen zur Verfügung:

1. Die Website

www.informationsdienst-holz.de
Aktuelles zum Holzbau. Veranstaltungen, Newsletter, Downloads aller Publikationen, Dokumentationen beispielhafter Holzbauten.

2. Die Publikationen

Mehr als 70 Schriften zu Entwurf und Konstruktion, Tragwerksplanung, Baustoffen und Bauphysik oder über preisgekrönte Holzbau-Architektur.

3. Die Fachberatung Holzbau

Individuelle Hilfestellung beim Planen und Bauen mit Holz, neutral und kostenfrei.
Werktags von 9 bis 16 Uhr
Tel. 030 577 019 95
fachberatung@informationsdienst-holz.de



Bestimmen Sie mit!

Der INFORMATIONSDIENST HOLZ wird vom Informationsverein Holz getragen. Als Mitglied erhalten Sie alle neuen Veröffentlichungen in gedruckter Form per Post zugestellt. Sie sind interessiert?

Hier gibt es nähere Auskunft:

Informationsverein Holz e.V. – Tel. 0211 966 55 80
info@informationsvereinholz.de

Die Fachberatung Holzbau übernimmt
das Holzbau Deutschland-Institut e.V.
www.institut-holzbau.de



Einfach CAD

hbscad – CAD/CAM für den
Holzbau auf der Basis von
AutoCAD Architecture ©

hbscad ist die intelligente 3D-CAD-Lösung für alle Bereiche des Holzbaus. hbscad basiert auf AutoCAD Architecture® - der mit über 9 Millionen Installationen weltweit führenden CAD-Plattform. Auf der Grundlage von AutoCAD Architecture® vereint **hbscad** den **gesamten Planungsprozess** im Holzbau und HolzFertighausbau **in einer Lösung** und in einem einzigen dynamischen und durchgängigen Konzept: **BIM** (Building Information Modeling). BIM unterstützt Sie dabei, Ihr 3D-Modell intelligent, konsequent und produktiv zu nutzen. Denn hbscad bietet **Datenfluss** von der Architektur über den Verkauf bis hin zur Arbeitsvorbereitung und CNC-Fertigung – **eine Lösung für alles!**

1 Lösung für alle Bereiche

hbscad bietet innerhalb einer
Oberfläche für alle Bereiche des
Holzbaus eine einheitliche Lösung



wir sind wieder für SIE da

beim 10. HolzBauSpezial
in Bad Wörishofen

Besuchen Sie unseren Stand in der Ausstellung.
Wir freuen uns auf ein Gespräch mit Ihnen!





LIGNO® Brettsperrholz.

Konfigurierbar,
für qualitätsvolle
Holzbau-Architektur
made of LIGNO®.



Linke Spalte, von oben nach unten:
Stadthäuser in Lauchringen (obere 3 Bilder) – LIGNO Decken, Wände –
Architektur: Jörg Kaiser, Lauchringen // Festhalle in Kressbronn – LIGNO Akustikpaneele /
Architektur: Spreen Architekten, München

Mittlere Spalte:
Schwimmhalle in Euskirchen – LIGNO Dachbauteile – Architektur: 3pass, Köln /
Foto: Jens Kirchner, Düsseldorf

Rechte Spalte:
Stadthäuser in Lauchringen (im Bau) – LIGNO Decken, Wände – Architektur: Jörg Kaiser, Lauchringen

LIGNOTREND Produktions GmbH
Landstrasse 25 D-79809 Weilheim
Tel.: +49 (0)7755 9200-0
www.lignotrend.com

LIGNO ■ TREND®

Für eine nachhaltige Holz-Baukultur.

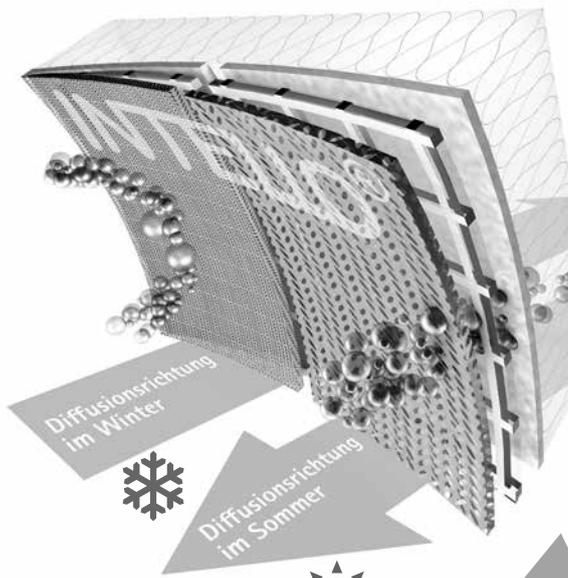
INTELLIGENTE LUFTDICHTUNG

INTELLO macht Ihre Bauteile besonders sicher.

Hydrosafe Hochleistungs-Dampfbrems-System

100-fach feuchtevariabel s_d 0,25 bis >25 m

DIBt-Zulassung für normgerechtes Bauen



FEUCHTEAKTIVE AUSSENDICHTUNG

SOLITEX schützt vor Wind und hält das Bauteil trocken.

Hochdiffusionsoffenes Unterdecksystem mit monolithischer Funktionsmembran mit aktivem Feuchtetransport nach außen.



DAUERHAFTE VERKLEBUNG

Allround-Klebeband TESCON VANA

- Klebt sicher innen und außen – sogar bei Feuchtigkeit: wasserfester SOLID Kleber
- Einfacher weiter arbeiten: Vliesträger direkt überputzbar
- Flexibler weiter arbeiten: 6 Monate UV stabil
- 100 Jahre Klebkraft unabhängig bestätigt



pro clima – und die Dämmung ist perfekt

Das komplette Profi-System für die sichere Gebäudedichtung. Über 30 Jahre Erfahrung in Forschung und Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Service. Für besten Schutz gegen Bauschäden und Schimmel.



Kostenfrei bestellen:

Planungshandbuch pro clima »WISSEN«

mit über 400 Seiten Konstruktionen, Details, Bauphysik, Systemen, Produkten, Service u. v. m.

Fon +49 (0) 62 02 - 27 82.0

info@proclima.de

proclima.de/wissen

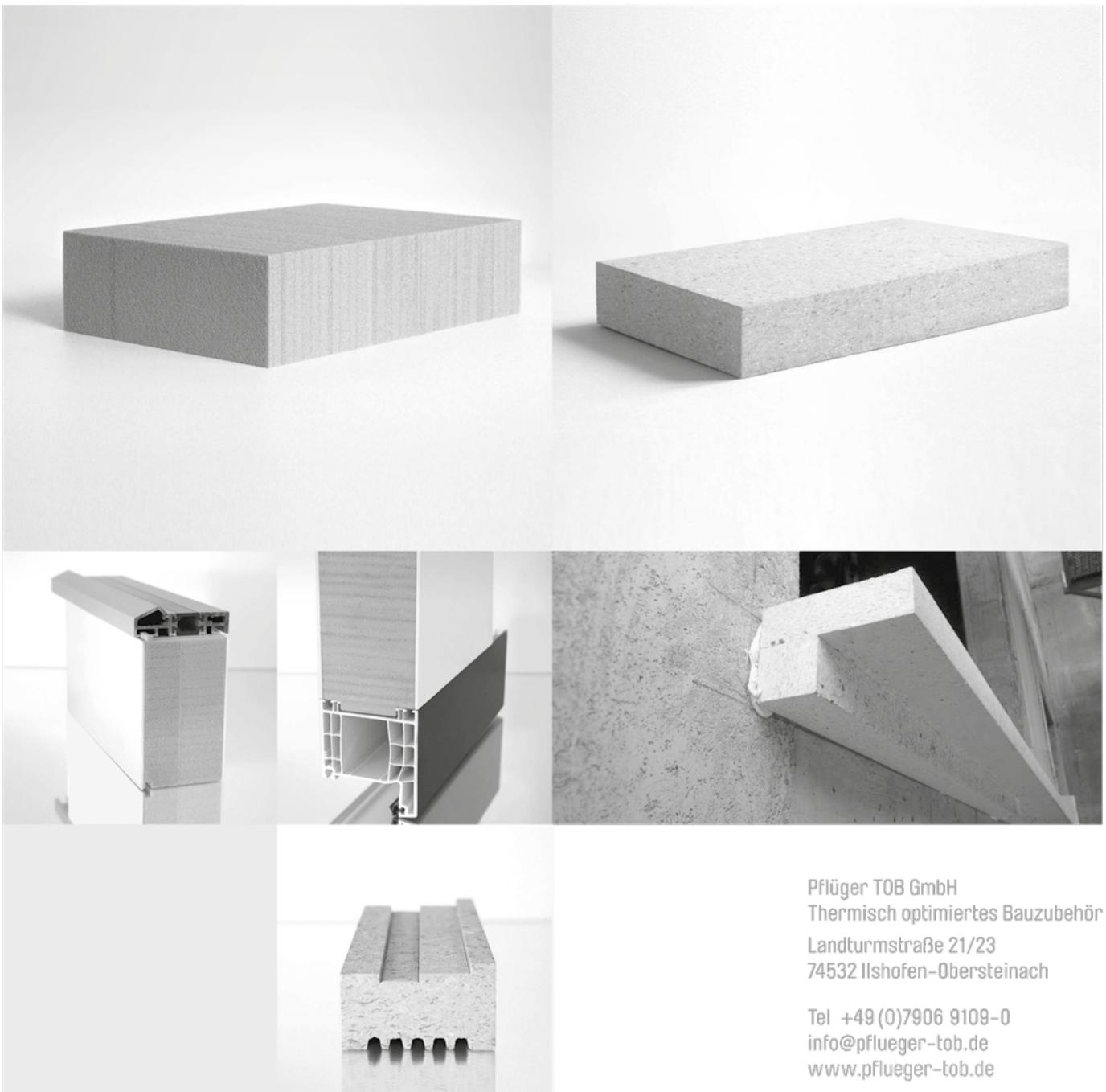
www.proclima.de



Unsere Werkstoffe zur thermischen Trennung

DRUCKFEST / WASSERFEST / WÄRMEDÄMMEND

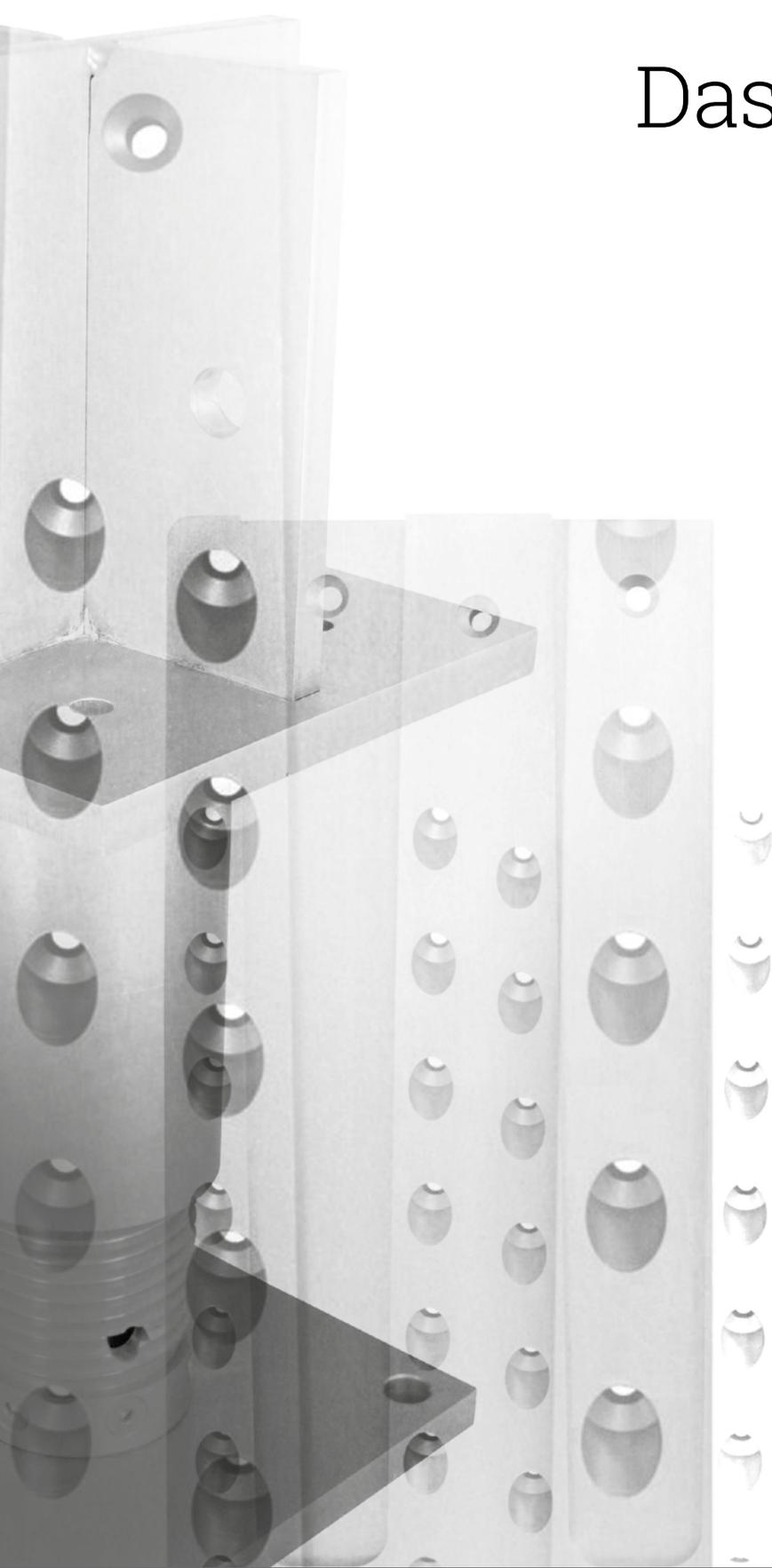
Eingesetzt als Fensterbankanschlussprofile, Unterbaudämmprofile,
Rahmenverbreiterungen und vieles mehr.



Pflüger TOB GmbH
Thermisch optimiertes Baubehör
Landturmstraße 21/23
74532 Ilshofen-Obersteinach

Tel +49 (0) 7906 9109-0
info@pflueger-tob.de
www.pflueger-tob.de

Das Holzverbinder Programm mit dem Extra an Genauigkeit und Qualität



Innovative Holzverbindungssysteme für höchste Ansprüche.

Pfostenträger | Verbinder | Balkensäulen | Zaunsäulen | Werkzeuge | Schallschutz

Pitzl Metallbau GmbH & Co. KG
Siemensstraße 26, 84051 Altheim
Telefon: +49 8703 93460
www.pitzl-connectors.com



HOLZBAU

3 MARKEN = 3X LÖSUNGSKOMPETENZ
AUS EINER HAND

ISOVER
SAINT-GOBAIN

 **Rigips**
SAINT-GOBAIN

 **weber**
SAINT-GOBAIN

Stora Enso Division Wood Products

Als Teil der Bioökonomie zählt Stora Enso weltweit zu den führenden Anbietern nachhaltiger Lösungen für die Bereiche Verpackung, Biomaterialien, Holzbau und Papier. Wir sind der festen Überzeugung, dass alles, was heute noch aus Materialien auf fossiler Basis hergestellt wird, morgen aus Holz hergestellt werden kann. Das Unternehmen beschäftigt rund 26 000 Mitarbeiter/innen in mehr als 30 Ländern. Im Jahr 2017 erwirtschaftete Stora Enso einen Umsatz von 10 Milliarden Euro und ein operatives Betriebsergebnis (EBIT) von 1 Milliarde Euro. Die Stora Enso-Aktien werden an den Börsen von Helsinki und Stockholm gehandelt.

Der Bereich Wood Products bietet vielseitige Lösungen auf Holzbasis für Bauen und Wohnen. Unsere Produktpalette deckt alle Bereiche des Bauwesens ab, inklusive Massivholzelemente, Holzbauteile und Schnittholz. Für nachhaltiges Heizen bieten wir auch Pellets an. Unsere Kunden sind vor allem Groß- und Einzelhändler, Tischlerei- und Bauunternehmen.



Foto: MHD Arkitekter

Kontaktieren Sie uns für mehr Informationen:

Stora Enso, Division Wood Products
Werk Pfarrkirchen
Tel. +49 8561 30050
Email: office.pfarrkirchen@storaenso.com
www.storaenso.com

THE RENEWABLE MATERIALS COMPANY



B1 Hochdiffusionsoffene Dachfolien - Dampfsperren/ -bremsen

B2 Wasser- Luft- Winddichtigkeit / **Klebertechnik**

B3 Fensterdichtbänder für die RAL-Montage

B4 Entlüftungssysteme fürs Dach

Innovation für Dach und Wand

 **Synwer**

www.synwer.com