



Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

HOMERA

Gesundheitliche Interaktion von Holz - Mensch -Raum

Abschlussbericht
DBU-Aktenzeichen 33277-25

Verfasser:

Dipl.-Ing. Eva Bodemer

Dipl.-Ing. Miriam Kleinhenz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

München, Oktober 2017



Projektmitarbeit:
Marco Krechel M.Sc.

Studentische Hilfskraft:
Linda Erhard B.Sc.

Bezugsmöglichkeit des Abschlussberichts:

Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Dipl.-Ing. Eva Bodemer
Dipl.-Ing. Miriam Kleinhenz
Arcisstraße 21
80333 München
Germany

Tel.: +49 (89) 289 – 22041
Web: <http://www.hb.bgu.tum.de>
E-Mail: e.bodemer@tum.de

Eine Kurzfassung des Berichts ist über die Webseite des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktion in elektronischer Form abrufbar.



Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

HOMERA

Gesundheitliche Interaktion von Holz - Mensch -Raum

Abschlussbericht
DBU-Aktenzeichen 33277-25

Verfasser:

Dipl.-Ing. Eva Bodemer

Dipl.-Ing. Miriam Kleinhenz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

München, Oktober 2017

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	33277/01-25	Referat	Architektur und Bau- wesen	Fördersumme	124.200 €
----	--------------------	---------	---	-------------	------------------

Antragstitel Homera – Gesundheitliche Interaktion Holz – Mensch - Raum

Stichworte Emissionen, Material, Konstruktion, Medizin, Wahrnehmung, Psychologie

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
12 Monate	01.03.2016	31.07.2017	1
Zwischenberichte	1	09.11.2016	

Bewilligungsempfänger

Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Arcisstraße 21
80333 München

Tel	089 289 - 22041
Fax	089 289 - 22041
Projektleitung	Dipl.-Ing. Eva Bodemer
Bearbeiter	Dipl.-Ing. Miriam Kleinhenz Marco Krechel M.Sc.

Kooperationspartner Lehrstuhl für Holzwissenschaft,
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
Zusammenarbeit mit TUM.wood Holz in Forschung und Lehre
Zusammenarbeit mit dem Cluster Forst und Holz in Bayern

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Das Forschungsvorhaben Homera stellt eine Vorstudie dar, in der die gesundheitlichen Auswirkungen von Holz und Holzwerkstoffen auf den Menschen untersucht werden.

Nutzer, Planer und Unternehmen sehen sich aktuell einer Diskussion ausgesetzt in deren Mittelpunkt die leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) stehen. Eine Vielzahl an Richtwerten, Orientierungswerten, Referenzwerten, Leitwerten und eine geringe Anzahl rechtlich festgelegter Grenzwerte bildet ein schwer zu überblickendes Themenfeld zur gesundheitlichen Bewertung des Emissionsgehalts im Innenraum. Die nationalen und europäischen rechtlichen Grundlagen sowie Bewertungssysteme für gesundheitliche Anforderungen an Gebäude und Bauprodukte werden aufgezeigt. Die verschiedenen Methoden für Prüfkammermessungen und für Innenraummessungen werden verglichen und ihre Anwendbarkeit beurteilt. Der aktuelle Stand der Forschung zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Holz auf das Innenraumklima und den Menschen wird aufgezeigt und analysiert. Einflussfaktoren aus den verschiedenen Disziplinen Materialwissenschaft, Medizin, Toxikologie, Umweltanalytik, Psychologie werden aufgezeigt. Schlüsselfaktoren werden identifiziert, die den größten Einfluss auf das Innenraumklima darstellen, um die Komplexität der Einflussfaktoren zu reduzieren. Die Vorstudie kanalisiert das Forschungsthema und bereitet zielgerichtete, umfassende Untersuchungen in einem Folgeprojekt vor. Erste Erkenntnisse werden für die Praxis aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig wird eine interdisziplinäre Handlungsstrategie für spätere Verbundprojekte entwickelt.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die nationalen und europäischen rechtlichen Grundlagen sowie Bewertungssysteme für gesundheitliche Anforderungen an Gebäude und Bauprodukte werden aufgezeigt. Die verschiedenen Methoden für Prüfkammermessungen und für Innenraummessungen werden verglichen und ihre Anwendbarkeit beurteilt.

Im Rahmen einer Metastudie werden 42 Studien aus den verschiedenen Disziplinen: Emissionen, Material und Konstruktion, Medizin und Psychologie verglichen und analysiert.

Um Schwachstellen aufzudecken und eine Harmonisierung für Folgeprojekte zu entwickeln, wurden Interviews mit Experten aus Materialwissenschaft, Medizin, Toxikologie, Umweltanalytik, Psychologie und mittelständischen Unternehmen durchgeführt. Im Rahmen eines Workshops wurden mit diesen Experten Schlüsselfaktoren identifiziert, die als Basis innerhalb von Folgeprojekten gemeinsam mit den verschiedenen Disziplinen untersucht werden müssen.

Eine Auswahl der untersuchten Studien aus den Disziplinen Emissionen, Material / Konstruktion, Medizin und Wahrnehmung / Psychologie wird in einer Broschüre aufbereitet und wird der Praxis zur Verfügung gestellt. Die Broschüre wird zusammen mit dem Cluster Forst und Holz herausgegeben. Ein Folgeprojekt gemeinsam mit der Disziplin Medizin wird vorbereitet, um noch nicht geklärte Fragestellungen für eine breit angelegte Verbundstudie zu untersuchen.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

Ergebnisse und Diskussion

Emissionsmessungen in Prüfkammern zur Messung von Emissionen aus Bauprodukten können nicht unmittelbar auf Innenraumlufmessungen (reale Verhältnisse) übertragen werden. Innerhalb der Beurteilung von Bauprodukten ist eine Verschärfung der gesetzlichen Rahmenbedingungen zu erkennen. Die Entwicklung Prüfmethode und Produktkennzeichnung normativ und gesetzlich innerhalb Europas zu standardisieren, stellt die Basis einer homogenen, gleichwertigen Diskussion dar. Die horizontale Prüfnorm für Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen als homogenisierte Messmethodik liegt bereits als Entwurf der EN 16516 vor und muss anschließend in der Produktnormung umgesetzt werden. Ein Entwurf für ein europäisches Bewertungssystem mit Emissionsklassen wird bearbeitet und vom Holzbausektor kritisch verfolgt. Gleichzeitig wurde auf nationaler Ebene das bisher zur Orientierung geltende AgBB-Bewertungssystem in die MVV TB und somit in den baurechtlichen Rahmen miteingeschlossen. Eine zwingende Deklaration von Bauprodukten aufgrund ihrer Emissionsanteile an VOC, Formaldehyd und SVOC wird eingeführt werden.

Der Vergleich der Studien zeigt, dass eine Harmonisierung der einzelnen Disziplinen und Studien erforderlich ist. Angaben über Holzart, Alter, Herkunft und Transportbedingungen sind in jedem Fall aufzulisten. Die klimatischen Randbedingungen wie Raum-, und Oberflächentemperatur, Raumluftheuchte und Luftwechsel sollten denen der Prüfkammernmessungen entsprechen und ebenfalls aufgeführt werden. Die Probandenwahl sollte einen repräsentativen Querschnitt darstellen. Da die Studien unterschiedliche Ergebnisse bei Frauen und Männern aufzeigten, sollte dies berücksichtigt werden. Zusätzlich sollte im Vorfeld der Biophiliebezug geklärt werden, um auch hier einen repräsentativen Querschnitt von Probanden auszuwählen. Um wissenschaftlich belastbare Aussagen treffen zu können, müssen Kreuzversuche durchgeführt werden, um auszuschließen, dass individuelle körperliche Voraussetzungen der Probanden die Ergebnisse beeinflusst haben. Fragen hinsichtlich Material / Konstruktion sind im Bereich des Systemaufbaus und der Wirkung der einzelnen Schichten noch unbeantwortet. Gemessene VOC-Emissionen wurden noch nicht bezüglich ihrer möglichen positiven, gesundheitlichen Auswirkung auf menschliche Zellkulturen bewertet. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage eines Folgeantrags, welche Ende des Jahres bei der DBU eingereicht wird.

Mithilfe der Interviews und dem Workshop wurde eine interdisziplinäre Forschungsgruppe geschaffen, um Kooperationen und eine Harmonisierung aller Disziplinen in Folgeprojekten zu gewährleisten.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Ein Zwischenbericht wurde im Rahmen eines Vortrages bei den Klimatagen 2017 in Rottal Inn vorgestellt. Im Rahmen des 18. Münchener Holzkolloquium der Holzforschung München werden die Ergebnisse in einem Vortrag präsentiert.

Eine Auswahl der untersuchten Studien aus den Disziplinen Emissionen, Material / Konstruktion, Medizin und Wahrnehmung / Psychologie wird in einer Broschüre aufbereitet. Die Broschüre wird zusammen mit dem Cluster Forst und Holz herausgegeben, da die Cluster-Initiative eine Vernetzung von Forschung, Praxis und Politik bietet und somit zu einer größeren Akzeptanz von Holz im gebauten Umfeld beitragen kann.

Fazit

Viele Informationen in Bezug auf Holzbauprodukte und ihren Emissionswerten sind bereits vorhanden. Die Frage jedoch nach ihrer gesundheitlichen Interaktion in Bezug auf den Menschen ist noch nicht geklärt. Auf der Basis des aktuellen wissenschaftlichen Forschungsstandes war sich die interdisziplinäre Forschungsgruppe einig, dass eine Klassifizierung von Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen derzeit noch nicht beantwortet bzw. möglich ist und Aufklärungsbedarf besteht.

Die bislang durchgeführten Studien zeigten bislang keine negativen Auswirkungen von Holz im Innenraum auf Menschen und deren Gesundheit. In realen Räumen wurde der Einsatz von Holz positiver bewertet als Referenzräume anderer Materialien. Dennoch wird immer wieder beanstandet, dass die Studien jeweils nur einzelne Aspekte untersuchten, Ausgangslage und genaue Materialangaben sehr unterschiedlich waren oder die Probandengruppen kein repräsentativer Querschnitt bildete. Um Gehör bei Nutzern, Planern und der Politik zu finden sind Kooperationsstudien, der verschiedenen Disziplinen notwendig.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

Inhaltsverzeichnis

1	Abbildungsverzeichnis.....	9
2	Tabellenverzeichnis.....	11
3	Abkürzungsverzeichnis.....	12
4	Glossar	18
5	Zusammenfassung	20
6	Einleitung und Ziele	21
7	Gesundheitliche Auswirkungen und Krankheitsbilder	24
7.1	Gesundheitliche Auswirkungen des Innenraumklimas auf den Menschen	24
7.2	Toxikologie und Krankheitsbilder	25
7.2.1	Allgemein	25
7.2.2	Krankheitsbilder im Zusammenhang mit Umwelttoxikologie / Umweltmedizin.....	25
7.2.3	Multiple Chemical Sensitivity.....	25
7.2.4	Sick Building Syndrom	26
7.2.5	Building Related Illness.....	26
7.2.6	Chronical Fatigue Syndrom.....	26
8	Rechtlich bindende Grundlagen	27
8.1	Allgemein	27
8.2	Baurechtliche Anforderungen an Gebäude.....	27
8.3	Rechtliche Anforderungen an Bauprodukte	28
8.4	Rechtlich auszuweisende Stoffe	30
8.5	Europäische Zusammenarbeit und Austausch	32
8.6	Zusammenfassung.....	34
9	Erfassung und Bewertung von Bauprodukten	35

9.1	Gesundheitliche Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten.....	35
9.1.1	Mengenbegrenzung von toxikologisch begründeten Einzelsubstanzen	35
9.1.2	Mengenbegrenzung von toxikologisch nicht begründeten Einzelsubstanzen	37
9.1.3	Summenkonzentrationen	37
9.2	Gesundheitliche Bewertungssysteme von Emissionen aus Bauprodukten.....	38
9.2.1	Nationales Bewertungssystem in Deutschland	38
9.2.2	Nationale Bewertungssysteme europäischer Staaten	40
9.2.3	Europäisches Bewertungssystem	42
9.3	Labels für Bauprodukte	43
9.4	Zusammenfassung.....	43
10	Bewertung der Innenraumlufthqualität.....	46
10.1	Rechtlich verbindliche Grenzwerte.....	46
10.2	Toxikologisch begründete Richtwerte	46
10.3	Statistisch erhobene Orientierungswerte	47
10.4	Leitwerte für Summenkonzentrationen	47
10.5	Bewertung der Innenraumlufthqualität gemäß AIR	49
10.6	Zusammenfassung.....	53
11	Messmethoden	56
11.1	Allgemeine Messziele	56
11.2	Messung von Emissionen aus Bauprodukten	58
11.2.1	Messung von Formaldehyd-Emissionen aus Holzwerkstoffen.....	58
11.2.2	Messung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten	60
11.2.3	Vergleich der Prüfkammer-Verfahren	64
11.3	Messung von Innenraumluftemissionen.....	65

11.3.1	Grundlage der Normungsarbeit.....	65
11.3.2	Probenahme einer Formaldehydprobe	66
11.3.3	Probenahme einer VOC-Probe	67
11.4	Nationale / Europäische / Internationale Normungsarbeit.....	68
11.5	Zusammenfassung.....	71
12	Auswertung aktueller Studien.....	74
12.1	Allgemein	74
12.2	Kategorie: Emissionen	77
12.3	Kategorie: Medizin	79
12.4	Kategorie: Material / Konstruktion	81
12.5	Kategorie: Wahrnehmung	83
12.6	Zusammenfassung Auswertung aktueller Studien.....	86
13	Forschungsbedarf.....	87
14	Fazit und Ausblick	90
15	Literaturverzeichnis	93
16	Normen, Richtlinien und Verordnungen	104
17	Anhang	108

1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6-1: Faktoren die das Innenraumklima beeinflussen.....	21
Abbildung 6-2: Emissionen aus Innenwandbekleidungs- und Konstruktionsbauteilen die das Innenraumklima beeinflussen	22
Abbildung 8-1: Der Weg von der Europäischen Kommission über das Europäische Normungskomitee auf das CE-Kennzeichen.....	29
Abbildung 8-2: Reduktion von Formaldehydemissionen aus Spanplatten (1978 -2006), erweiterte Grafik nach (Marutzky 2006; Schwab 2010).....	31
Abbildung 8-3: Zusammenhang zwischen Reportnummer, Titel der Expertengruppe, Leitkomitee und Finanzierung der ECA „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“	33
Abbildung 9-1: AgBB-Bewertungsschema für Emissionen aus Bauprodukten (AgBB 2015b)	39
Abbildung 9-2: Zeitliche Entwicklung nationaler Bewertungssysteme europäischer Staaten zur Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten - Jahr der offiziellen Einführung (Eurofins Scientific 2016)	41
Abbildung 9-3: Nationale Bewertungs-systeme europäischer Staaten zur Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten (Eurofins Scientific 2016)	41
Abbildung 10-1: Basisschema aus dem Jahr 1996 – Ableitung von Innenraum-Richtwerten (UBA 1996, S. 423).....	50
Abbildung 10-2: Gesundheitliche Bewertung der Innenraumluftqualität gemäß AIR (DGfH 1998, S. 37).....	51
Abbildung 11-1: Unterscheidung zwischen Prüfmethode zur Messung von Emissionen aus Bauprodukten und Messung von Innenraumluftemissionen; links: Prüfkammer-Verfahren gemäß DIN EN 717-1 (Schwab et al. 2004); rechts: Innenraumluftmessung gemäß ISO 16000-Reihe (TUM).....	56
Abbildung 11-2: Zeitschiene von Prüfnormen zur Ermittlung der Formaldehydabgabe von Bauprodukten	59
Abbildung 11-3: Zusammenhang und Übersicht der Teile der ISO 16000-Reihe	61
Abbildung 11-4: Grober Aufbau einer Prüfkammer sowie Ablauf einer Prüfkammermessung, ergänzt von (DIN EN ISO 16000-9:2008).....	62

Abbildung 11-5: Zusammenhang zwischen VDI 4300-Richtlinien und Teilen der ISO 16000-Reihe	66
Abbildung 11-6: Zusammenfassende Darstellung der in der Messtechnik von VOCs und Formaldehyd beteiligten Normengremien	70
Abbildung 12-1: Forschungseinrichtungen und Institute.....	74
Abbildung 12-2: Einteilung der Studien in Kategorien und die jeweils untersuchten Parameter ...	76
Abbildung 13-1: Auswahl der Schlüsselfaktoren unter allen Parametern	87
Abbildung 13-2: Erforderliche Harmonisierung der verschiedenen Themenbereiche / Disziplinen für eine Verbundstudie zur gesundheitlichen Interaktion von Holz, Mensch und Raum	88
Abbildung 17-1: Prüfkammer-Verfahren gemäß DIN EN 717-1 (Schwab et al. 2004).....	109
Abbildung 17-2: Standardisierte Labormethoden (Perforator, Gasanalyse, Flasche, Exsikkator) zur Bestimmung der Formaldehydfreisetzung aus Holzwerkstoffen (Salthammer et al. 2010)...	110
Abbildung 17-3: Vergleich der Prüfungsdauer der Prüfverfahren zur Messung von Formaldehyd aus Holzwerkstoffen (eigene Darstellung nach DIN-Normen) (DIN EN 717-1:2005) (DIN EN ISO 12460-5:2016) (DIN EN ISO 12460-3:2016) (DIN EN 717-3:1996) (DIN EN ISO 12460-4:2016)	111
Abbildung 17-4: Perforator-Verfahren gemäß DIN EN ISO 12460-5 (Schwab et al. 2004)	112
Abbildung 17-5: Gasanalyse-Verfahren gemäß DIN EN ISO 12460-3 (Schwab et al. 2004).....	113
Abbildung 17-6: Flaschen-Methode gemäß DIN EN 717-3 (Schwab et al. 2004)	113
Abbildung 17-7: Exsikkator-Verfahren DIN EN ISO 12460-4 (Schwab et al. 2004).....	114
Abbildung 17-8: Anwendungsbereich der Prüfnormen zur Messung von Formaldehyd aus Holzwerkstoffen (eigene Darstellung nach DIN-Normen) (DIN EN 717-1:2005) (DIN EN ISO 12460-5:2016) (DIN EN ISO 12460-3:2016) (DIN EN 717-3:1996) (DIN EN ISO 12460-4:2016)	115
Abbildung 17-9: Beschreibung einer Emissionsprüfzelle (DIN EN ISO 16000-10:2006) und Beispiel einer Emissionsprüfzelle (Landesamt für Umwelt Rheinlandpfalz o.J.)	116
Abbildung 17-10: Überblick europäischer Staaten - Nationale Initiativen zur Beurteilung der Innenraumlufthqualität (JRC 2013) sowie nationale Bewertungssysteme zur Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten (Eurofins Scientific 2016)	117

2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 7-1: Mögliche positive und negative Auswirkungen des Raumklimas auf den Menschen (IBN 2011).....	24
Tabelle 8-1: Reports der ECA „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“ (Building ecology 2017; AgBB 2015b).....	33
Tabelle 9-1: Gegenüberstellung toxikologisch begründeter Gewichtungswerte nach 28 Tagen: NIK-Werte des AgBB gegenüber LCI-Werte der SG EU-LCI (AgBB 2015b; EU-LCI 2016a)	44
Tabelle 9-2: Prüfbedingungen des AgBB-Bewertungsschemas für Konzentrationen C sowie Risikoindex R nach 3 und nach 28 Tagen (AgBB 2015b).....	45
Tabelle 10-1: Hygienische Bewertung der Innenraumluftqualität gemäß AIR (UBA 2007).....	53
Tabelle 10-2: Gegenüberstellung toxikologisch begründeter Richtwerte des AIR mit statistisch erhobenen Orientierungswerten der AGÖF (UBA 2016c; AGÖF 2013, 2013).....	54
Tabelle 11-1: Gründe einer Innenraumluftmessung (DIN EN ISO 16000-1:2006, DIN EN ISO-2:2006, DIN EN ISO 16000-5:2007).....	57
Tabelle 11-2: Einflussgrößen der Prüfnormen zur Bestimmung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten in Prüfkammern (DIN EN ISO 16000-9:2008; E DIN EN 16516:2015)	64
Tabelle 11-3: Angaben bezüglich eines Referenzraumes der Prüfnormen zur Bestimmung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten in Prüfkammern (DIN EN ISO 16000-9:2008; E DIN EN 16516:2015).....	65
Tabelle 11-4: Zusammenfassender Überblick der Normen für Prüfkammermessungen (DIN EN 717:2005; DIN EN ISO 16000-9:2008; E DIN EN 16516:2015).....	72
Tabelle 12-1: Forschungseinrichtungen und Institute sortiert nach Länder (von West nach Ost)..	74

3 Abkürzungsverzeichnis

AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten - angesiedelt beim Umweltbundesamt - <u>mit Vertretungen aus</u> Ländergesundheitsbehörden
UBA	Umweltbundesamt
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
ARGEBAU	Bauministerkonferenz – die Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
DIN-KOA 03	(siehe NA 005-53 FBR)
AGÖF	Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte (vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe) - angesiedelt beim Umweltbundesamt - mit Experten aus: AOLG Arbeitsgruppe Innenraumluft des Umwelthygieneausschusses der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden - früher Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamten und -beamtinnen der Länder (AGLMB)
IRK	Innenraumlufthygienekommission (Vorsitz: Herr Prof. Dr. Tunga Salthammer)
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert (vormals Maximale Arbeitsplatzkonzentration, kurz: MAK)
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (= Französische Agentur für Ernährung, Umwelt und Arbeitsschutz, vormals AFSSET)
BauPVO	Bauproduktenverordnung (= EU-Verordnung zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten)
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BGA	Ehemaliges deutsches Bundesgesundheitsamt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetzes

BlmSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnungen zur Durchführung des BImSchG
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BPR	Bauproduktenrichtlinie (= durch die BauPVO abgelöste EU-Richtlinie zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte)
BRI	Building Related Illness
CAS	Registriernummer des "Chemical Abstract Service" zur Identifizierung von Stoffen
CEN	Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization)
	CEN/TC 112 CEN Technical Committee for Wood-based panels
	CEN/TC 264 CEN Technical Committee for Air quality
	CEN/TC 351 CEN Technical Committee for Construction Products - Assessment of release of dangerous substances
CFS	Chronical Fatigue Syndrom
ChemVerbotsV	Chemikalien-Verbotsverordnung zur Beschränkungen beim Inverkehrbringen und für Verbote von bestimmten gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffe) für den allgemeinen deutschen Gesundheits- und Umweltschutz
CLP	Classification, Labelling and Packaging Regulation / Chemikalienverordnung (= EU-Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen)
COST	European Cooperation in Science and Technology
CPD	Construction Product Declaration (siehe BPR Bauproduktenrichtlinie)
CPR	Construction Product Regulation (siehe BauPVO Bauproduktenverordnung)
DGfH	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
KRdL	Fachbereich IV Umweltmesstechnik der Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN Normenausschuss
NABau	DIN Normenausschuss Bauwesen

NA 005-53 FBR DIN Koordinierungsausschuss für Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz des Normenausschusses Bauwesen

NA 005-53-02 GA DIN Gemeinschaftsarbeitsausschuss NABau / KRdL „Innenraumlufte“ im Normenausschuss Bauwesen (Spiegelausschuss zu CEN/TC 351/WG 2)

NA 042-02-15 AA DIN Spiegelausschuss „Holzwerkstoffe“ im Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (Spiegelausschuss zu CEN/TC 112 und ISO/TC 89)

NA 134-04-04 AA DIN Spiegelausschuss „Innenraumlufte“ innerhalb der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) (Spiegelausschuss zu CEN/TC 264 und ISO/TC 146/SC 6)

DNPH 2,4-Dinitrophenylhydrazin (= Probenahmemedium zur Konzentrationsbestimmung von Formaldehyd)

EC European Commission

DG COMM Directorate-General for Communication

DG CORDIS Community Research and Development Information Service

DG ENTR Directorate-General for Enterprise and Industry
(seit 2014 heutige DG GROW)

EGDS Expert Group on Dangerous Substances
(heutige DG GROW SGDS)
(2003 – 2014, (ECA 2005), (EC 2014))
(*ad hoc* Group on emission classes for dangerous compounds)

DG GROW Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (vormals DG ENTR) (DG/GROW/UNIT 2017a)

AGCP Advisory Group on Construction Products
(= to assist the Commission in issues related to the Construction Products Regulation, including for the preparation of Delegated Acts) (EC 2017)

SGDS Subgroup on Dangerous Substances
(vormals DG ENTR EGDS) (Dommaschk 2017)

SG EU-LCI Subgroup on European LCI Values (seit 2015)
in Verwaltungsvereinbarung mit DG SANCO
(vormals DG JRC's EU-LCI WG)
(DG/GROW/UNIT 2017b)

DG JRC Joint Research Centre

EU-LCI WG EU-LCI Working Group (heutige DG GROW SG EU-LCI)
(2011 – 2015) (DG/GROW/UNIT 2017b)

DG SANCO Directorate General for Health and Consumers

ECA	European Collaborative Action des European Commission's Joint Research Centre „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“ (ehemalig: Indoor Air Quality and its Impact on Man)
ECHA	European Chemicals Agency (= Europäische Chemikalienagentur)
EN	European Standard
ENV	Europäische Normvorschläge (Europäische Vornorm)
EPF	European Panel Federation (= Europäischer Verband der Plattenindustrie, gegründet 1999)
ETB	Ausschuss für Einheitliche Technische Baubestimmungen
EU	Europäische Union
FESYP	European federation of associations of the particleboard manufacturers (= Europäische Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie, 1958 - 1999) (heutige EPF)
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen im deutschen Arbeitsschutz
HCHO	Formaldehyd
IAQ	Indoor Air Quality
IARC	International Agency for Research on Cancer
ISO	International Organization for Standardization
	ISO/TC 89 ISO Technical Committee for Wood-based panels
	ISO/TC 146 ISO Technical Committee for Air quality

JCR	Joint Research Centre - European Commission's science and knowledge service
LCI	Lowest concentration of interest (siehe NIK Niedrigste Interessierende Konzentration)
LOAEC	Lowest Observed Adverse Effect Concentration
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level (= Niedrigste Dosis eines Stoffes, bei der im Tierexperiment noch Schädigungen beobachtet wurden)
LOEL	Lowest Observed Effect Level (= Niedrigste Dosis eines Stoffes, bei der im Tierexperiment noch Wirkungen beobachtet wurden)
M/366	Mandat als Normungsauftrag der Europäischen Kommission an CEN/TC 351: Horizontal complement to the mandates for the Development of horizontal standardized assessment methods for harmonized approaches relating to dangerous substances under the construction products directive (CPD)
MCS	Multiple Chemikaliensensibilität (engl. Multiple Chemical Sensitivity)
MBO	Musterbauordnung
MVV TB	Muster Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
NIK	Niedrigste Interessierende Konzentration (= Konzentrationsniveau zur toxikologischen Bewertung von emittierten Stoffen aus Bauprodukten, unterhalb derer keine nachteiligen Wirkungen zu befürchten sind)
NOAEC	No Observed Adverse Effect Concentration
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level (= Höchste Dosis eines Stoffes, die auch bei andauernder Aufnahme <u>keine</u> erkennbaren und messbaren <u>Schädigungen</u> hinterlässt)
NOEL	No Observed Effect Level (= Höchste Dosis eines Stoffes, die auch bei andauernder Aufnahme <u>keine</u> erkennbaren und messbaren <u>Wirkungen</u> hinterlässt)
OEL	Occupational Exposure Limits (siehe europäischer Arbeitsplatzgrenzwert)
PCP	Pentachlorphenol
PCB	Polychlorierte Biphenyle, in Bezug auf VOCs
REACH	Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals Regulation (= EU-Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)

RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (= Niederländisches nationales Institut für Gesundheit und Umwelt)
RW	Richtwert
SBS	Sick Building Syndrom
SC	Subcommittee
SME	Small and Medium-sized Enterprise
Spanplatte	RLRdErl Richtlinie über die Verwendung von Spanplatten hinsichtlich der Vermeidung unzumutbarer Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft
SVOC	Semi-Volatile Organic Compounds
TC	Technical Committee
TS	Technische Spezifikation
TSVOC	Total Semi-Volatile Organic Compounds
TVOC	Total Volatile Organic Compounds
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOC	Volatile Organic Compounds
VVOC	Very Volatile Organic Compounds
WG	Working Group
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
WKI	Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut

4 Glossar

- Acetylaceton-Verfahren:** Formaldehyd reagiert in wässriger Lösung nach Zugabe von Ammoniumionen und Acetylaceton zum Reaktionsprodukt Diacetyldihydrolutidin (DDL).
- Antioxidantien:** Chemische Verbindung, die eine Oxidation anderer Substanzen verlangsamt oder gänzlich verhindert. Der oxidative Abbau bestimmter Inhaltsstoffe oder Bestandteile wirkt sich wertmindernd aus, weil sich Geschmack oder Geruch unangenehm verändern die Wirkung nachlässt, schädliche Abbauprodukte entstehen oder physikalische Gebrauchseigenschaften nachlassen.
- Ausgleichskonzentration:** Zustand bei der die Formaldehydabgabe der Holzwerkstoffe unter den Prüfbedingungen quasi konstant ist, das heißt, die Formaldehydkonzentration in der Kammer bleibt konstant.
- Biophilie:** Affinität von Menschen zu den vielen Formen des Lebens und der Natur bzw. zu allen natürlichen Materialien
- COST Action:** COST wird durch das EU-Rahmenprogramm Horizont 2020 unterstützt und ist ein Netzwerkinstrument für Forscher, Ingenieure und Gelehrte zur Kooperation und Koordination national finanzierter Forschungsaktivitäten. (COST 2017)
- Desorption:** Trennung von organischen Verbindungen von ihrem Sorbens
- Epidemiologie:** Wissenschaft von der Entstehung, Verbreitung, Bekämpfung und den sozialen Folgen von Epidemien, zeittypischen Massenerkrankungen und Zivilisationsschäden
- Flächenspezifische Emissionsrate:** Masse der flüchtigen organischen Verbindung, die von der Fläche je Zeitdauer zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Beginn der Prüfung emittiert wird
- Harmonisierte Produktnorm:** Europäische für alle EU-Mitgliedstaaten geltende Produktnorm
- Hedonik:** Bewertung von Geruchsqualität von angenehm bis unangenehm
- Horizontale Prüfnorm:** Europäische für alle betroffenen Produktnormen geltende Prüfnorm
- Liaison:** Offizielle Kooperation zwischen Normungskomitees
- Luftwechselrate:** Verhältnis des Luftvolumens, das stündlich in die Prüfkammer eingebracht wird, zum freien Volumen der Prüfkammer [h^{-1}]

- Perforation: Methode in engem Raster Schlitz oder Löcher in der Holzoberfläche anzubringen
- Sorbens: Material zur Anreicherung eines gasförmigen oder flüssigen Stoffes (Probenahmemedium)
- Spektrometer: Ein Spektrometer ist ein Gerät zur Darstellung eines Spektrums.
- Systemische Schäden: die Auswirkung tritt nicht unbedingt nur am Ort der Aufnahme auf sondern kann auch an einem anderen Ort (oder Organ) auftreten
- Tenax TA®: Spezielles Produkt der Firma Buchem (= Probenahmemedium zur Konzentrationsermittlung von VOC)
- Umrechnung: $1\text{ppm} = 1,24\text{ mg/m}^3$, das Molvolumen wird auf eine Temperatur von 20°C und einen Druck von $101,3\text{ kPa}$ bezogen und beträgt dann $24,1\text{ Liter}$, $1\text{mg/m}^3 = 1000\text{mg/m}^3$
- Vagustonus: Der Nervus Vagus repräsentiert jenen Teil des vegetativen Nervensystems, der für Erholung, Entlastung und damit auch für die Gesunderhaltung zuständig ist

5 Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben HOMERA stellt eine Vorstudie dar, in der die gesundheitlichen Auswirkungen von Holz und Holzwerkstoffen auf den Menschen untersucht wurden.

Nutzer, Planer und Unternehmen sehen sich aktuell einer Diskussion ausgesetzt in deren Mittelpunkt die leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) stehen. Eine Vielzahl an Richtwerten, Orientierungswerten, Referenzwerten, Leitwerten und eine geringe Anzahl rechtlich festgelegter Grenzwerte bildet ein schwer zu überblickendes Themenfeld zur gesundheitlichen Bewertung des Emissionsgehalts im Innenraum. Innerhalb der Vorstudie werden die nationalen und europäischen rechtlichen Grundlagen sowie Bewertungssysteme für gesundheitliche Anforderungen an Gebäude und Bauprodukte aufgezeigt. Die verschiedenen Methoden für Prüfkammermessungen und für Innenraummessungen werden verglichen und ihre Anwendbarkeit beurteilt.

Im Rahmen einer Metastudie werden 44 Studien verglichen und analysiert. Trotz positiver Ergebnisse der Studien bzgl. der gesundheitlichen Auswirkungen von Holz auf das Innenraumklima und den Menschen fand bisher keine Harmonisierung der verschiedenen Studien und Disziplinen (Emissionen, Material und Konstruktion, Medizin und Psychologie) statt. Dadurch finden die einzelnen Studien wenig Gehör und bleiben angreifbar. Um wissenschaftlich belastbare Aussagen treffen zu können muss eine Harmonisierung und Zusammenarbeit der unterschiedlichen Disziplinen bei diesbezüglichen Untersuchungen stattfinden. Um Schwachstellen aufzudecken und eine Harmonisierung für Folgeprojekte zu entwickeln, wurden Interviews mit Experten aus Materialwissenschaft, Medizin, Toxikologie, Umweltanalytik, Psychologie und mittelständischen Unternehmen durchgeführt. Im Rahmen eines Workshops wurden mit diesen Experten Schlüsselfaktoren identifiziert, welche als Basis innerhalb einer Verbundstudie gemeinsam mit den verschiedenen Disziplinen untersucht werden müssen. Es wird die Grundlage für eine interdisziplinäre Forschungsgruppe geschaffen, um weitere Studien zu harmonisieren und den Austausch zwischen den Disziplinen zu verbessern.

Eine Auswahl der untersuchten Studien aus den Disziplinen Emissionen, Material / Konstruktion, Medizin und Wahrnehmung / Psychologie wird in einer Broschüre aufbereitet und der Praxis zur Verfügung gestellt. Die Broschüre wird zusammen mit dem Cluster Forst und Holz herausgegeben, da die Cluster-Initiative eine Vernetzung von Forschung, Praxis und Politik bietet und somit zu einer größeren Akzeptanz von Holz im gebauten Umfeld beitragen kann.

Als weiteres Vorgehen ist ein Folgeprojekt gemeinsam mit der Disziplin Medizin geplant, um noch nicht geklärte Fragestellungen für eine breit angelegte Verbundstudie zu untersuchen.

Das Forschungsvorhaben wurde in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Holzwissenschaft, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt und in Zusammenarbeit mit TUM.wood und dem Cluster Forst und Holz in Bayern durchgeführt und von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert (Förderkennzeichen DBU-AZ 33277-25).

6 Einleitung und Ziele

Einen Großteil seiner Zeit verbringt der Mensch innerhalb von Gebäuden und sieht sich dem Innenraumklima innerhalb dieser Gebäude ausgesetzt. Das Innenraumklima lässt sich nicht isoliert an Hand eines Parameters erfassen, da vielfältige Faktoren in Wechselbeziehungen zueinanderstehen. Einige dieser Faktoren, wie Raum- oder Oberflächentemperatur, Material- oder Luftfeuchte, lassen sich objektiv mit verschiedenen Messmethoden nachweisen, andere wie Ästhetik, Haptik oder Geruch sind eher subjektiv wahrnehmbar und lassen sich mit naturwissenschaftlichen Methoden schwerer erfassen. Gesundheitliche Auswirkungen lassen sich somit nur im Zusammenhang aller Faktoren betrachten.

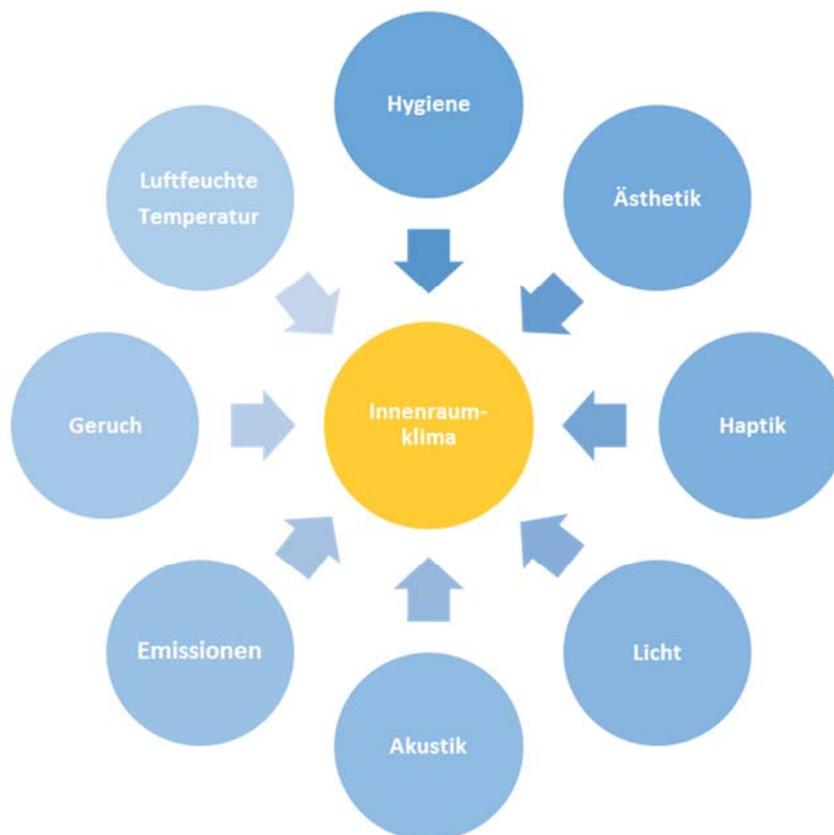


Abbildung 6-1: Faktoren die das Innenraumklima beeinflussen

Ein wesentliches Ziel bei der Errichtung von Gebäuden ist ein gesundes und das Wohlbefinden förderndes Innenraumklima. Die in der jüngsten Vergangenheit erfolgte Entwicklung luftdichter Bauweisen zur Steigerung der Energieeffizienz begünstigt die Anreicherung luftgetragener Stoffe aus den Baustoffen und mögliche Geruchsbeeinträchtigungen. Die Zusammensetzung der Innenraumluft rückt weiter in den Fokus. Daher sind wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse über die Auswirkungen der Innenraumluft auf Gesundheit, Wohlbefinden und Arbeitsproduktivität des Gebäudenutzers von erheblicher Bedeutung.

Holz als Baustoff enthält natürliche und ggf. durch zusätzliche Verklebung synthetische Inhaltsstoffe, die zumindest in Teilen flüchtig sind und in die Raumluft gelangen können und somit die Zusammensetzung der Innenraumluft positiv oder negativ beeinflussen. Diskutiert werden die von Holz und Holzwerkstoffen emittierenden VOCs (leichtflüchtige organische Substanzen, engl. volatile organic compounds) und VVOCs (sehr leichtflüchtige organische Substanzen, engl. very volatile organic compounds). Diese emittieren direkt aus angrenzenden Oberflächen und diffundieren teilweise durch Innenraumbekleidungen aus den darunterliegenden Konstruktionen in den Innenraum. Dabei handelt es sich in der Regel um Monoterpene wie α - und β -Pinen, Aldehyde, zu denen Pentanal und Hexanal gehören, und Essigsäure.

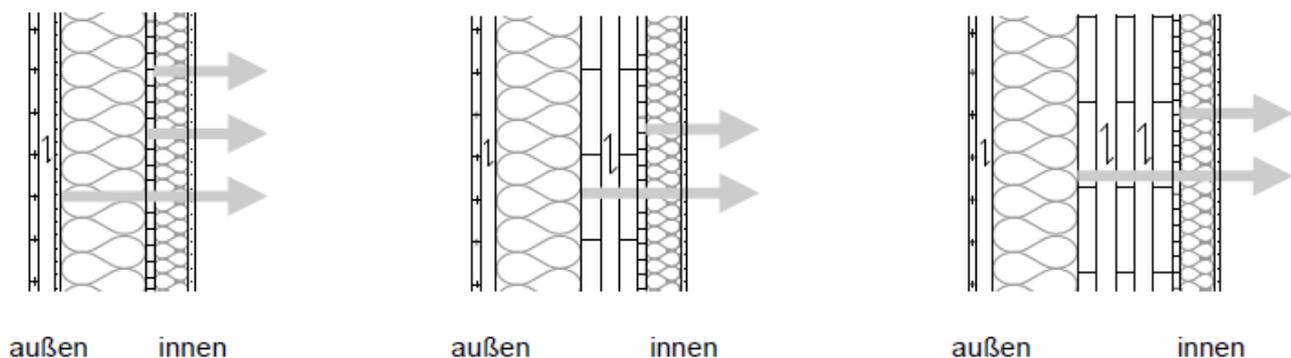


Abbildung 6-2: Emissionen aus Innenwandbekleidungs- und Konstruktionsbauteilen die das Innenraumklima beeinflussen

Die Musterbauordnung (MBO) fordert Gesundheits- und Umweltschutz von der Bauausführung. Bauprodukte sollen keine Gefahren oder unzumutbare Belästigungen durch chemische, physikalische oder biologische Einflüsse verursachen (MBO 2002, §3). Weitergehende und konkretere Vorgaben zur Gewährleistung des Gesundheitsschutzes waren bis August 2017 nicht festgeschrieben. Durch die Muster Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) wird erstmalig ein rechtlich bindender Rahmen zur gesundheitlichen Bewertung von Baustoffen und Bauteilen geschaffen, der Aussagen zu Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz verlangt. Die Vorstudie zeigt die Entwicklung der rechtlichen Grundlagen der Anforderungen an Gebäude und Bauprodukte auf (siehe Abschnitt 8).

Grundsätzlich gilt es zwischen Prüfkammermessungen für Bauprodukte und Innenraumluftmessungen zu unterscheiden. Bewertungssysteme dienen der Bewertung von Bauprodukten und der Innenraumluft und werden aufgrund der Unterscheidung von unterschiedlichen Ausschüssen und Institutionen erarbeitet. Dadurch liegt eine Vielzahl an Richtwerten, Orientierungswerten, Referenzwerten und Leitwerten und eine geringe Anzahl rechtlich festgelegter Grenzwerte zur gesundheitlichen Bewertung des Innenraumklimas vor. Dieses Themenfeld wird von HOMERA verständlich dargestellt werden und nimmt aufgrund der ausführlichen Rechercharbeit eine detaillierte Darstellung in Anspruch (siehe Abschnitt 9 - 10).

Unter den Volatile Organic Compounds (VOC) versteht man alle organischen Verbindungen, die bereits in einem niedrigen Temperaturbereich gasförmig sind, mit Ausnahme von Methan. Man unterscheidet die Stoffe abhängig vom Siedepunkt in sehr flüchtige (VVOC), flüchtige (VOC) und schwerflüchtige (SVOC) Verbindungen. Bei Formaldehyd handelt es sich ebenfalls um eine sehr flüchtige organische Verbindung. Es wird aber separat behandelt, da es aufgrund seines sehr hohen Dampfdruckes für die Messung chemisch gebunden werden muss. Die unterschiedlichen Messmethoden, die für VVOCs und VOCs existieren, werden in HOMERA verglichen und ihre Anwendbarkeit beurteilt, um eine Messstrategie für Folgeprojekte zu identifizieren (siehe Abschnitt 11).

Im Rahmen einer umfangreiche Literatur- und Studienrecherche wird der aktuelle Stand der Forschung zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Holz auf das Innenraumklima und den Menschen aufgezeigt und analysiert werden. Einflussfaktoren aus den verschiedenen Disziplinen Materialwissenschaft, Medizin, Toxikologie, Umweltanalytik, Psychologie werden identifiziert. Schwachstellen werden aufgezeigt, um festzustellen, warum die positiven Studienergebnisse bzgl. der Verwendung von Holz im Innenraum kein Gehör finden (siehe Abschnitt 12).

Interdisziplinäres Wissen wurde durch Interviews mit Experten aus Materialwissenschaft, Medizin, Toxikologie, Umweltanalytik, Psychologie und mittelständischen Unternehmen gesammelt, um Methoden anderer Disziplinen zu vergleichen und Schnittstellen zu identifizieren. Mit Hilfe dieser Experten und einer Nutzerbefragung werden Schlüsselfaktoren identifiziert, welche den größten Einfluss auf das Innenraumklima darstellen, um die Komplexität der Einflussfaktoren zu reduzieren. Eine Nutzerbefragung behandelt zusätzlich mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Verwendung von Holzbauteilen im Innenraum und subjektive Erfahrungen in einem Wohnumfeld in Holzbauweise (siehe Abschnitt 13).

Aufgrund der Komplexität der Fragestellung und der darin enthaltenen Interdisziplinarität soll diese Vorstudie das Forschungsthema kanalisieren und zielgerichtete, umfassende Untersuchungen in einem Folgeprojekt vorbereiten. Die Vorstudie analysiert sowohl die Schwachstellen als auch das Potenzial der gesundheitlichen Auswirkungen von Holz und holzbasierten Produkten im Wohn- und Arbeitsumfeld und liefert in diesem Spannungsfeld erste Erkenntnisse, die der Praxis aufbereitet zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig wird eine interdisziplinäre Handlungsstrategie entwickelt. Dazu trafen sich Teilnehmer verschiedener Disziplinen zu einem Expertenworkshop am 16.01.2017 an der TU München, um das weitere Vorgehen mit Forschern, Anbietern wie Nutzern abzustimmen und die Basis für ein breit angelegtes Forschungsprojekt zu schaffen (siehe Abschnitt 13).

7 Gesundheitliche Auswirkungen und Krankheitsbilder

7.1 Gesundheitliche Auswirkungen des Innenraumklimas auf den Menschen

Seit einigen Jahren leiden Menschen immer häufiger an unspezifischen Überempfindlichkeiten. Müdigkeit, Erschöpfung, Kopfschmerzen oder Hautreizungen werden oft als Symptome genannt. Das Maß der Symptome wird durch das Zusammenwirken von körperlichen und psychischen Beschwerden verstärkt. Die Ursachen lassen sich oft nicht eindeutig zuordnen. Diese können durch allergologische, psychosomatische oder toxische Reaktionen hervorgerufen werden. Es gibt daher eine Zuordnung von positiven und negativen Wirkungen sowie Krankheitsbilder, welche mit dem Innenraumklima in Verbindung gebracht werden.

Die Aufnahme von sowohl gesundheitsfördernden als auch gesundheitsschädlichen Stoffen in den Organismus erfolgt über: (Haumann 2011)

- Atmung = inhalative Aufnahme (Lunge)
- Kontakt = dermale Aufnahme (Haut, Schleimhaut)
- Nahrung = orale Aufnahme (Magen-Darm-Trakt)

Tabelle 7-1: Mögliche positive und negative Auswirkungen des Raumklimas auf den Menschen (IBN 2011)

Positive Wirkungen	Negative Wirkungen	
<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheit (physisch-psychisch) • Wohlbefinden • Geordneter Stoffwechsel • Gute Hautdurchblutung • Stärkung des Immunsystems • Leichte Atmung • Sauerstoffversorgung • Harmonische Atmosphäre • Gemütlichkeit • Leistungsbereitschaft • Konzentrationsfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Erkältungen • Rheuma • Asthma, Schweratmigkeit • Allergien • Kopfschmerzen • Schlafstörungen • Nervosität • Ermüdung, Reizbarkeit • Unbehagen, Depression • Blutdruck-/Kreislaufstörung • Nieren- und Blasenleiden • Schlechte körpereigene Temperaturregulierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Starkes Schwitzen • Augenentzündungen • Rissige Haut • Verringerte Lebenserwartung • Gestörte Fruchtbarkeit • Erhöhter Nahrungsverbrauch • Reduzierte (körperliche / geistige) Leistungsfähigkeit • Vergiftung • Vegetative Dystonie • Geruchsbelästigung

7.2 Toxikologie und Krankheitsbilder

7.2.1 Allgemein

Die Toxikologie untersucht die gesundheitsschädlichen Auswirkungen von einzelnen chemischen Substanzen oder Substanzgemischen auf Lebewesen, insbesondere auf den Menschen. Ihre Aufgabe ist es, die Art und das Ausmaß von Schadwirkungen zu erfassen, die zugrundeliegenden schädlichen Wechselwirkungen zwischen dem chemischen Stoff und dem Organismus (sog. Wirkmechanismen) aufzuklären, mögliche Gefährdungen vorherzusagen und das Risiko bei einer gegebenen oder angenommenen Exposition (d.h. Aufnahme bzw. Kontakt) gegenüber dem chemischen Stoff abzuschätzen. (Gesellschaft für Toxikologie 2017)

Es wird unterschieden zwischen akuten und chronischen Vergiftungen und systemischen Schäden, die die Organe, Nervensysteme und das Immunsystem betreffen. Daraus ergeben sich die folgenden Toxizitätstypen: (Haumann 2011)

- fruchtschädigend oder fortpflanzungsgefährdend (embryotoxisch, teratogen)
- erbgutverändernd (mutagen)
- krebserregend (kanzerogen)

7.2.2 Krankheitsbilder im Zusammenhang mit Umweltoxikologie / Umweltmedizin

Belastungen aus dem Innenraum können sehr individuell ausfallen. Dies ist von der Aufenthaltsdauer, Konstitution, Alter, individueller Veranlagung und Sensibilisierung abhängig. Dennoch gibt es Krankheitsbilder, die in direkten Zusammenhang mit Innenraumbelastungen gebracht werden.

- MCS (Multiple Chemical Sensitivity)
- SBS (Sick Building Syndrom)
- BRI (Building Related Illness)
- CFS (Chronical Fatigue Syndrom)

7.2.3 Multiple Chemical Sensitivity

Allgemeine Chemikalienunverträglichkeit (Multiple Chemical Sensitivity, MCS) bedeutet eine komplexe Sensibilisierung gegenüber unterschiedlichster Chemikalien. Die betroffenen Menschen zeigen unterschiedliche Symptome, welche an mehreren Organsystemen auftreten, am häufigsten ist das zentrale Nervensystem betroffen. Bei MCS-Patienten treten Störungen bereits bei geringsten Konzentrationen von Schadstoffen auf. Häufigste Symptome sind: Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit, Konzentrationsschwäche und Gedächtnisverlust, visuelle und feinmotorische Störungen, Depression, Übelkeit und Appetitmangel, Atemprobleme, Schleimhautreizungen der oberen Atemwege Hautprobleme sowie Muskel- und Gelenkschmerzen. Trotz mehrerer Studien konnten die genauen Mechanismen der Krankheitsentstehung bisher noch nicht geklärt werden. Psychosomatische und soziale Faktoren spielen bei der Entstehung eine große Rolle. (UBA 2016a; Haumann 2011)

7.2.4 Sick Building Syndrom

Als Sick Building Syndrom (SBS) wird ein Krankheitsbild beschrieben, bei dem es sich um unspezifische Beschwerden handelt, die beim Aufenthalt innerhalb von Gebäuden entstehen, wie tränende Augen, gereizte Schleimhäute, Kopfschmerzen oder juckende Haut. Innerhalb verschiedener Studien wurden die häufigsten Beschwerden im Zusammenhang mit Klimaanlage festgestellt, wobei die Schadstoffkonzentrationen in den klimatisierten Räumen häufig niedriger waren als in nichtklimatisierten. Daher wurde ein Unbehagen gegenüber Klimaanlage der meisten Befragten als Mitursache festgestellt. (UBA 2016d)

7.2.5 Building Related Illness

Unter Building Related Illness (BRI) versteht man sehr unterschiedliche, jedoch klar definierte Krankheitsbilder, die durch gebäudebezogene Ursachen gekennzeichnet sind. Es besteht ein eindeutiger Bezug zum Gebäude und der Quelle, zum Beispiel allergene Belastungen oder Krankheitsbilder, welche auf Legionellen oder Schimmelpilze zurückgeführt werden können. Auch durch Radon verursachter Lungenkrebs und durch Tabakrauch verursachte Lungenkrankheiten sind dem BRI zuzuordnen. Die Symptome werden verursacht und verschlimmert durch Belastung des Innenraumklimas und durch das Einatmen von chemischen und biologischen Verunreinigungen. Andere Faktoren wie physikalische, organisatorische, psychologische und psychosomatische werden auch hier als Mitursache vermutet. (Luftanalyse Zentrum 2017)

7.2.6 Chronical Fatigue Syndrom

Chronical Fatigue Syndrom (CFS) ist ein Krankheitsbild, bei dem chronische Müdigkeit beobachtet wird. Die Symptome sind neuroimmunologische Erschöpfung, Zustandsverschlechterung nach Belastung, Schlafstörungen, kognitive Beeinträchtigungen und orthostatische Intoleranz. Das Krankheitsbild wurde in Deutschland noch wenig untersucht. Auch hier werden Zusammenhänge mit Umweltgiften und toxischen Substanzen vermutet. (National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE) 2007; Haumann 2011)

8 Rechtlich bindende Grundlagen

8.1 Allgemein

Die tatsächlich rechtliche Grundlage und die damit verbundenen Anforderungen an Gebäude und Bauprodukte befinden sich in einem Wandel. Sie weisen Lücken zwischen Regelung und endgültiger Ausführung auf. Dies ruft Unsicherheit bei Planer und Nutzer hervor. Rechtlich auszuweisende Stoffe stellen dagegen ein unübersichtliches Feld dar; insbesondere da es zwischen nationalen und europäischen Anforderungen zu differenzieren gilt. In nachfolgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Ebenen auf einfache Weise erklärt.

8.2 Baurechtliche Anforderungen an Gebäude

Baurechtliche Anforderungen an Bauwerke und an die in ihnen verbauten Bauprodukte sind im nationalen Baurecht verankert. Der Gesundheits- und Umweltschutz ist in Deutschland sowohl als allgemeine Vorschrift als auch als allgemeine Anforderung an die Bauausführung in der Musterbauordnung (**MBO**) festgehalten. Anlagen sollen die Gesundheit nicht gefährden (MBO 2002, § 3) und Bauprodukte sollen keine Gefahren oder unzumutbare Belästigungen durch chemische, physikalische oder biologische Einflüsse verursachen (MBO 2002, § 13). Die aktuelle MBO liegt derzeit inklusive Änderung vom 13.05.2016 vor.

Weitergehende und konkretere Vorgaben zur Gewährleistung des Gesundheitsschutzes waren bis August 2017 nicht festgeschrieben. Auf nationaler Ebene wird ein rechtlich bindender Rahmen zum ersten Mal durch die Muster Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (**MVV TB**) zur gesundheitlichen Bewertung von Baustoffen und Bauteilen durch Mitaufnahme der Grundanforderungen „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ geschaffen (MVV TB 2017). Letzter Entwurf lag seit Mai zur Einsicht aus (Bauministerkonferenz 2017). Inhalte und Anforderungen an deutsche Bauprodukte bzw. Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (**ABG**) sind darin enthalten. Die ABG wurde auf Grundlage des Bewertungsschemas des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) erarbeitet (siehe Abschnitt 9.2.1). Ein bisher nationales Bewertungssystem wurde somit in den baurechtlichen Rahmen miteingeschlossen.

Genau sich daraus ergebende Konsequenzen scheinen dabei noch unklar zu sein. Im Vergleich zum Stand des Jahres 2016 beinhalten die ABG vom August 2017 eine Anlage 3, in welcher nur auf Produkte verwiesen wird, welche primär die Innenraumluftzusammensetzung in baulichen Anlagen beeinflussen; z.B. Bodenbeläge, Bodenbelagskleber, Wand- /Deckenbekleidungen, Brandschutzbeschichtungen. Dies stellen Schichten dar, welche im direkten Kontakt zum Innenraum stehen. Jedoch werden ebenfalls **Deckenkonstruktionen** mit aufgeführt, „(...) die nennenswerte Anteile organischer Natur enthalten und daher zur Freisetzung flüchtiger organischer Verbindungen führen können (...)“ (MVV TB 2017, S. 274).

8.3 Rechtliche Anforderungen an Bauprodukte

Im Jahr 2013 wurde die europäischen Bauproduktenverordnung, kurz BauPVO, (auf Englisch: Construction Product Regulation, kurz: **CPR**) durch die Europäische Kommission (EC) eingeführt und hatte als europäische Verordnung direkte Rechtswirksamkeit in allen EU-Mitgliedsländern (BauPVO 2011). Sie dient der Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und löste die dafür geltende Bauproduktenrichtlinie aus dem Jahre 1988 vollständig ab (BMUB 2011). Die abgelöste Bauproduktenrichtlinie, kurz BPR, (auf Englisch: Construction Product Declaration, kurz: CPD) verfolgte bereits das Ziel, Handelshemmnisse innerhalb von Europa aufzuheben (BPR 1988).

Die europäische Bauproduktenverordnung plädiert in erster Linie auf die Einhaltung bestimmter Grundanforderungen, im Englischen „Basic Requirements“ genannt. Diese Anforderungen richten sich an das Gebäude selbst sowie an die in einem Gebäude verbauten Bauprodukte. Im vorliegenden Zusammenhang hervorzuheben ist die Grundanforderung Nr. 3, „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“. Demnach sollen Gebäude so geplant und ausgeführt werden, dass Hygiene sowie Gesundheit von Bewohnern nicht gefährdet sind; u.a. wird die Vermeidung der „Freisetzung giftiger Gase“ aufgeführt. (BauPVO 2011, Anhang I) Die Rechtsvorschriften zielen auf die Sicherung gesunden Wohnens durch emissionsarme Bauprodukte, wobei noch keine Angaben auf dem CE-Kennzeichen zu finden sind.

Das **CE-Kennzeichen** sichert die Einhaltung dieser Grundanforderungen für das Inverkehrbringen von Bauprodukten in Europa. Es bedeutet nicht gleichzeitig, dass das Bauprodukt im Anwendungsland eingesetzt werden darf. Hierzu sind Konformitätsprüfungen durch den Anwender durchzuführen und eine Leistungserklärung des Bauprodukts zu erstellen. Allerdings werden in der Bauproduktenverordnung weitergehende und konkrete Vorgaben zur gesundheitlichen Bewertung nicht festgeschrieben. Die Grundanforderung „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ ist bislang in den Produktnormen nicht harmonisiert und ist daher nicht auf dem CE-Kennzeichen zu finden.

Einen solchen Rahmen schafft ein kommendes europäisches Bewertungssystem für Emissionen aus Bauprodukten. Das Ziel wird sein, den Emissionstest von Bauprodukten EU-Richtlinien-konform als Pflichtbestandteil in die CE-Kennzeichnung mit aufzunehmen und hierbei Bauprodukte aufgrund ihrer Emissionsanteile an VOC, Formaldehyd und SVOC zu klassifizieren (siehe Abschnitt 9.2.3). Bedingung hierfür ist eine Verknüpfung an eine europäische, für alle betroffenen Produktnormen geltende Prüfnorm (**horizontale Prüfmethode**) zur Bestimmung der Emissionen aus Bauprodukten (siehe Abschnitt 11.2.2).

Den Zusammenhang zwischen Europäischer Kommission, Europäischem Normungskomitee und dem CE-Kennzeichen der Industrie wird in Abbildung 8-1 schematisch dargestellt und verbildlicht die erläuterten Vorgänge und fehlenden Verknüpfungen..

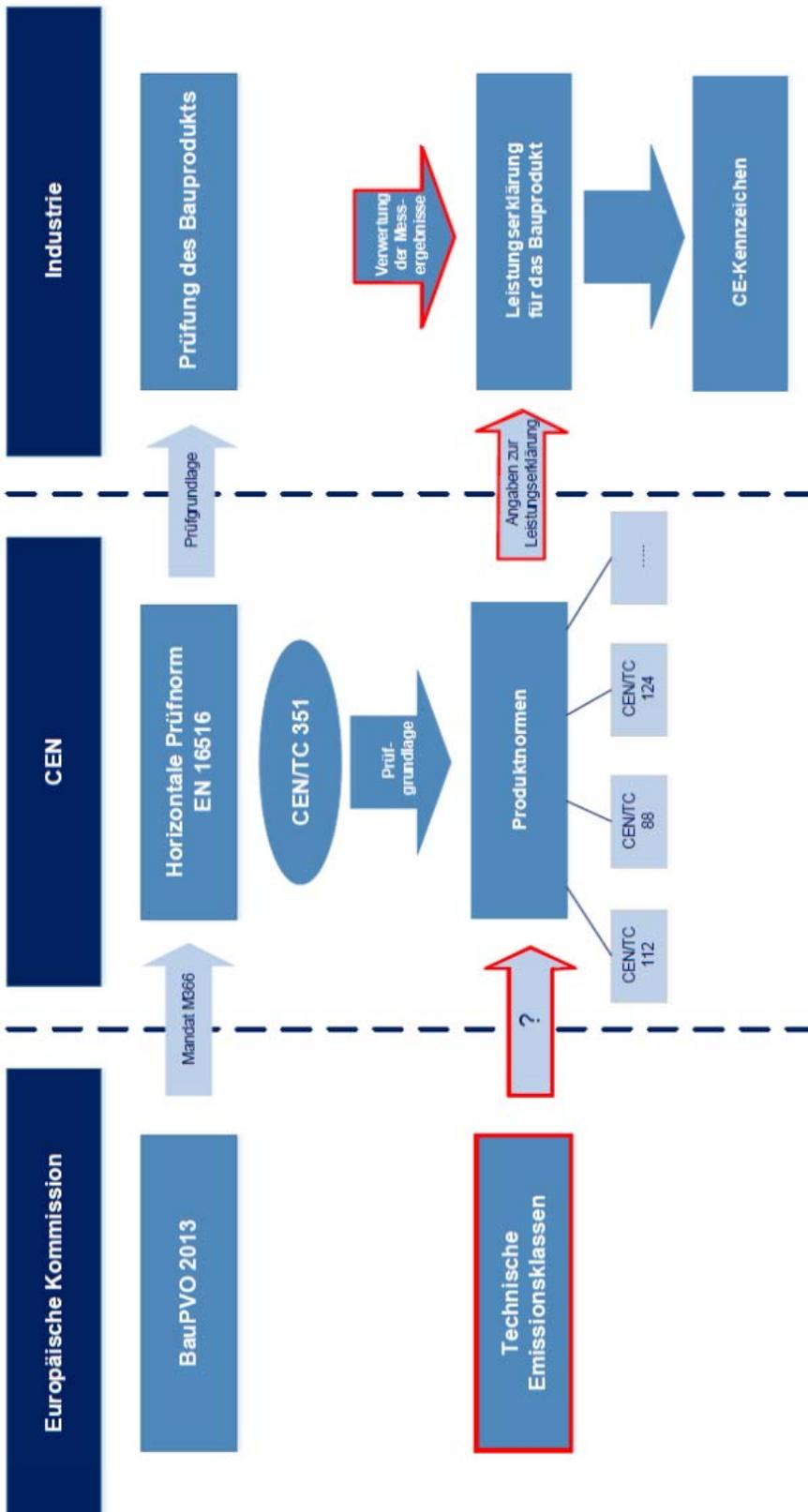


Abbildung 8-1: Der Weg von der Europäischen Kommission über das Europäische Normungskomitee auf das CE-Kennzeichen

8.4 Rechtlich auszuweisende Stoffe

Aufgrund der Empfehlung von 1977 des damaligen deutschen Bundesgesundheitsamts (BGA) wurde in Deutschland 1980 eine Verwaltungsvorschrift als „Richtlinie über die Verwendung von Spanplatten hinsichtlich der Vermeidung unzumutbarer Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft“ (SpanplatteRLRdErl 1981) vom Ausschuss für **Einheitliche Technische Baubestimmungen** (ETB) herausgegeben und veröffentlicht. Der Versuch wurde gestartet Gesundheitsgefahren infolge der Abgabe von Formaldehyd durch Spanplatten in Aufenthaltsräumen zu vermeiden. Spanplatten wurden aufgrund ihrer Ausgleichskonzentration an Formaldehyd in drei Klassen (E1 – E3) eingestuft. Der niedrigste Richtwert für Formaldehyd von $0,124 \text{ mg/m}^3$ wurde für Spanplatten als Emissionsklasse E1 festgelegt. (ECA 1990)

Die im Jahr 1986 folgende **Gefahrstoffverordnung** (GefStoffV 1986) wurde im Jahr 1993 durch die **Chemikalien-Verbotsverordnung** erweitert (ChemVerbotsV 2017). Zusammen verknüpfen sie auf deutscher Ebene für Holzwerkstoffe eine rechtlich einzuhaltende Ausgleichskonzentration für Formaldehyd von $0,1 \text{ ppm}$ ($= 0,124 \text{ mg/m}^3$) mit einer Produkthaftung. Holzwerkstoffe und deren Produkte dürfen in Deutschland nicht in den Handel gebracht werden, wenn die Ausgleichskonzentration des Formaldehyds in der Luft eines Prüfraums diesen Wert überschreitet. (Schwab 2010)

Um die Leistungseigenschaft der ChemVerbotsV zu erbringen, sollte diese an eine Erstprüfung, eine werkseigene Produktionskontrolle und eine Inspektion durch eine Inspektionsstelle verknüpft werden. Die SpanplatteRLRdErl-Verwaltungsvorschrift wurde auf deutscher Ebene durch die **DIBt-Richtlinie 100** für alle Holzwerkstoffe, welche zusätzlich die Klassifizierung und Überwachung von Holzwerkstoffplatten bezüglich der Formaldehydabgabe beschreibt (DIBt-Richtlinie 100 1994), abgelöst. Diese Richtlinie beschränkt sich nur noch auf die Emissionsklasse E1 und bestätigt somit die Konformität der Holzwerkstoffplatte mit der Chemikalien-Verbotsverordnung.

Dieses Chemikalienverbot sowie die Produkthaftung beschränken sich auf **Holzwerkstoffe innerhalb Deutschlands** und nur in Bezug auf **Formaldehyd**.

Auf europäischer Ebene erschien im Jahr 2000 die europäische Norm **EN 13986** „Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung“, welche die Klassen als Formaldehydklassen E1 ($\leq 0,124 \text{ mg/m}^3$) bis E2 ($> 0,124 \text{ mg/m}^3$) für Holzwerkstoffe für alle Holzwerkstoffe aufgriff und somit nationale Normen, wie z.B. DIN 68763 für Spanplatten (DIN 68763:1990), ersetzte. Der Vorschlag der Aufnahme einer zusätzlichen Formaldehydklasse E1plus ($\leq 0,080 \text{ mg/m}^3$) wurde bislang abgelehnt und in die Norm nicht mit aufgenommen (DIN EN 13986:2015). Die Holzwerkstoffe sind gemäß Prüfungen zur Ermittlung des Formaldehydgehalts zu prüfen und nach seiner Klasse zu klassifizieren (siehe Abschnitt 11.2.1).

Diese Klassifizierungen beschränken sich auf die Herstellung formaldehydhaltiger **Holzwerkstoffe** zur Verwendung im Bauwesen.

Als zentralisierendes Chemikalienrecht innerhalb Europas ist die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 oder auch **REACH-Verordnung** seit 2007 in Kraft getreten (REACH 2006). Chemikalien werden

bewertet und zugelassen; ähnlich der Chemikalien-Verbotsverordnung innerhalb Deutschlands. Durch eine Änderung im Jahre 2014 wurde Formaldehyd in Bezug auf seine Kanzerogenität von krebserzeugende Stoffe der Kategorie 2 auf krebserzeugende Stoffe der Kategorie 1B umgewertet (REACH 2014). Innerhalb der Bauproduktenverordnung ist festgehalten, dass in der Leistungserklärung des Bauprodukts Angaben über den Gehalt an gefährlichen Stoffen gemäß REACH hinzuzufügen sind. Eine Leistungserklärung ist eine Voraussetzung für eine CE-Kennzeichnung. Somit dient die REACH-Verordnung dem Darlegen aller chemischen Stoffe zum Inverkehrbringen von Produkten. Dieser Prozess wird von der Europäischen Chemikalienagentur ECHA und nationalen Behörden überwacht. (Bachmann und Lange 2013)

Mit der reinen Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung beschäftigt sich die seit dem 1. Dezember 2010 (für Stoffe) bzw. dem 1. Juni 2015 (für Gemische) verbindlich anzuwendende Verordnung (EU) Nr. 1272/2008 oder auch **CLP-Verordnung** (CLP 2008). Bestimmte sowie gefährliche Stoffe und Gemische werden hierbei nach ihrer CAS-Nummer sortiert einer Gefahrenklasse, Gefahrenkategorie und Gefahrenkodierung zugewiesen. Durch einen Erlass im Jahre 2014 wurde Formaldehyd mit der CAS-Nummer 50-00-0 in Bezug auf seine Kanzerogenität von Cat. 2 (Verdacht auf krebserregende Wirkung) in Cat. 1B (wahrscheinlich krebserregend beim Menschen) geändert und in Bezug auf seine Keimzellmutagenität neu als Muta. 2 (Möglichkeit vererbbarer Mutationen in Keimzellen von Menschen) gekennzeichnet (Verordnung (EU) 605/2014). Dieser Erlass trat verspätet Anfang 2016 in Kraft (Verordnung (EU) 2015/491).

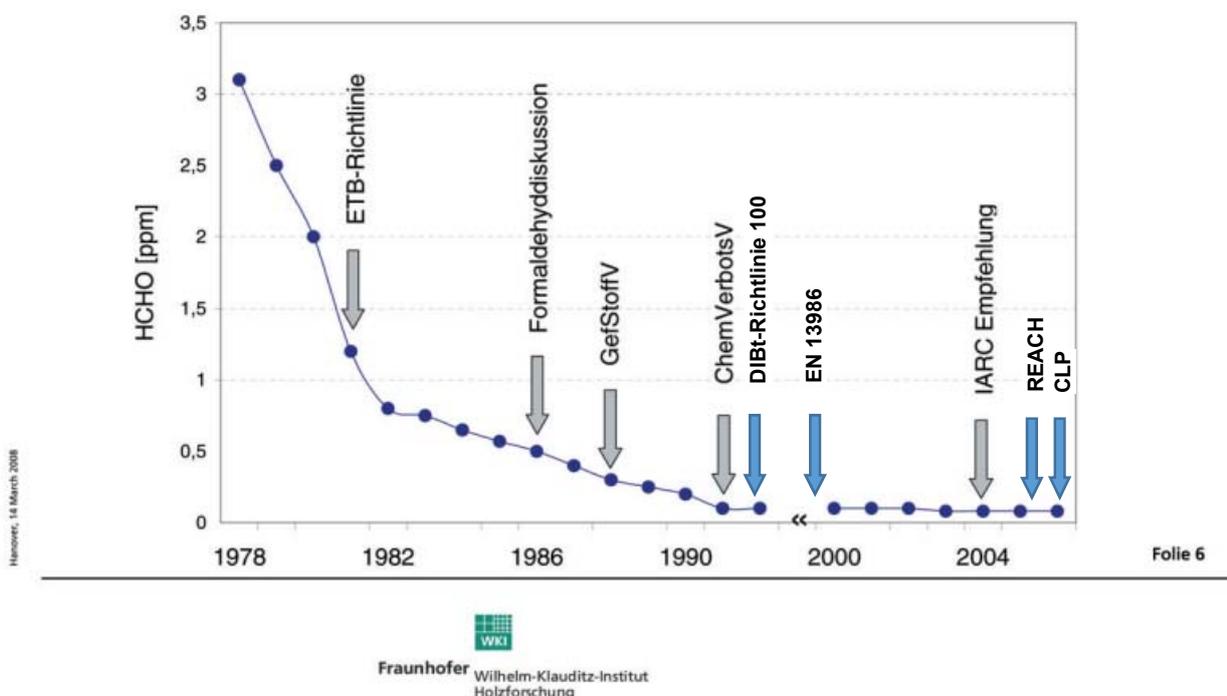


Abbildung 8-2: Reduktion von Formaldehydemissionen aus Spanplatten (1978 -2006), erweiterte Grafik nach (Marutzky 2006; Schwab 2010)

Die chronologische Darstellung von rechtlichen Änderungen legt dar, wie fokussiert die Diskussion in Bezug auf auszuweisende flüchtige organische Substanzen auf Formaldehyd lag. Abbildung 8-2

verknüpft diese Änderungen mit einer grafischen Darstellung der Reduktion der Formaldehydemissionen aus Spanplatten im Laufe der letzten 40 Jahre. Hierbei ist die Reduktion auf 0,1 ppm (= 0,124 mg/m³) gemäß E1-Klasse gut ersichtlich. Die grafische Darstellung von Schwab (2010) mit Orientierung an Marutzky (2006) wurde hierbei um Ereignisse (**blau markiert**) ergänzt.

Auf internationaler Ebene änderte bereits im Jahr 2004 eine Arbeitsgruppe der Internationalen Krebsforschungsagentur (International Agency for Research on Cancer, IARC) die **IARC-Einstufung** von Formaldehyd von Gruppe 2A („probably carcinogenic to humans“ = "Verdacht auf krebserregende Wirkung") aus dem Jahre 1994 in Gruppe 1 („carcinogenic to humans“, krebserregend für den Menschen). Hintergrund war eine epidemiologische Studie, die bei Arbeitern, die mehrere Jahre in der Industrie Formaldehyd ausgesetzt waren, eine erhöhte Sterblichkeit durch Tumore des Nasen-Rachenraumes aufgezeigt hat. (IARC 2006)

Es stand zur Diskussion innerhalb des internationalen technischen Komitees ISO/TC 89 ein Aufgabengebiet anzusiedeln zur Etablierung eines Konformitätssystems. Die angestrebte Norm sollte keine Anforderungen an die Formaldehydemission oder den Formaldehydgehalt enthalten, sondern allein die zugelassenen Prüfmethode und Eigen- und Fremdüberwachungssysteme sowie die Qualitätskontrollsysteme definieren (Schwab 2010). Dieses Unterfangen ist jedoch nicht weiterverfolgt worden und 2012 wieder fallengelassen worden.

8.5 Europäische Zusammenarbeit und Austausch

Seit Beginn der 80er Jahre wurden innenraumrelevante Themen und daran verknüpfte Fragen der Bewertung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten auf deutscher, europäischer und internationaler Ebene diskutiert. Seit Ende der 80er Jahre wurde ein spezielles COST project 613 gegründet, um das Thema „Indoor Air Quality And Its Impact on Man“ als offiziell finanzierte COST Action zu diskutieren (DG/CORDIS/UNIT 1992). Diese Expertengruppe der European Collaborative Action (ECA) wurde nach Ende der COST Action innerhalb der Europäischen Kommission weiter beauftragt und änderte seinen Titel in „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“ um (Building ecology 2017).

In der **ECA-Gruppe** sind Experten der Europäischen Union sowie der Schweiz und Norwegen vertreten. Ihr gesammeltes und erarbeitetes Fachwissen wurde in Berichten (Reports) zusammengefasst und stellt die Grundlage vieler Normen und Bewertungssysteme dar. Den Reports kann ein somit "pränormativer" Charakter zugesprochen werden (AgBB 2015b; DIBt 2010). Die Veröffentlichungen dieser Reports in Zusammenhang mit den Strukturveränderungen der europäischen Expertengruppe wird in Abbildung 8-3 verdeutlicht.

Report No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1988 - 2013	88	89	89	89	89	89	90	91	91	91	92	93	93	94	95	95	96	97	97	99	99	00	03	05	06	07	12	12	13
Herausgeber	Commission of the European Communities													European Commission															
Directorate	Joint Research Center JRC																												
Übertitel	Indoor Air Quality And Its Impact on Man																					Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure							
Finanzierung	COST project 613																												
Bezeichnung des Leitkomitees	Concertation Committee											Steering Committee																	
ECA	European Concerted Action ECA											European Collaborative Action ECA																	

Abbildung 8-3: Zusammenhang zwischen Reportnummer, Titel der Expertengruppe, Leitkomitee und Finanzierung der ECA „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“

Tabelle 8-1: Reports der ECA „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“ (Building ecology 2017; AgBB 2015b)

Report:	Grundlage für:	Bezug innerhalb:
Report 2	Prüfkammerverfahren zur Formaldehydmessungen (EN 717-1)	Abschnitt 11.2.1
Report 4 / 10	Auswirkungen durch Emissionen auf die Gesundheit	
Report 6 / 14	Probennahme-Strategien (ISO 16000-1 bis -6)	Abschnitt 11.3.1
Report 7	Bewertung von Emissionen im Innenraum inkl. Formaldehydeinzelbetrachtung	Abschnitt 11.3.1
Report 8 / 13 / 16 / 21	Prüfkammermessungen zur VOC-Bestimmung inkl. internationaler Ringversuche (ISO 16000-9 bis -11, CEN/TS 16516)	Abschnitt 11.3.1
Report 18 / 29	Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten sowie die Verwendung von EU-LCI-Werten in nationalen Bewertungssystemen (→ NIK-Werte)	Abschnitt 9.1
Report 19	TVOC-Definition	Abschnitt 10.4
Report 20	Sensorische Prüfung der Innenraumluftqualität (ISO 16000-28)	
Report 24 / 27	Europäische Labelssysteme / Bewertungssysteme für Emissionen aus Bauprodukten	Abschnitt 9.2.3

Wie in Abbildung 8-3 abgebildet, wurden insgesamt 29 Reports durch die Expertengruppe erarbeitet. Alle beschäftigen sich mit ganz verschiedenen Themen der Innenraumluftqualität. Gleichzeitig wurde durch die Titeländerung im Jahr 1999 ein größerer Schwerpunkt auf die Bewertung der Außenluft gelegt. Tabelle 8-1 schafft daher einen Überblick über diejenigen Reports, auf welche innerhalb der Abschnitte dieses Enderichts verwiesen wird sowie deren Inhalt Literaturliste von HOMERA darstellen.

8.6 Zusammenfassung

Rechtlich bindende Grundlagen werden auf nationaler, europäischer oder sogar internationaler Ebene festgelegt. Insgesamt geben baurechtliche Anforderungen an Gebäude und Bauprodukte keine konkreten Vorgaben zur Gewährleistung des Gesundheitsschutzes vor.

In Bezug auf die Ausweisung von Stoffen wird nur Formaldehyd gesondert betrachtet und dies auch nur für Holzwerkstoffe. Auf deutscher Ebene ist in der Chemikalienverbots-Verordnung eine einzuhaltende Ausgleichskonzentration für Formaldehyd von $0,124 \text{ mg/m}^3$ vorgeschrieben. Diese Konzentration ist seit 1993 mit einer Produkthaftung verbunden. In der europäischen Norm für Holzwerkstoffe EN 13986 wurden Formaldehydklassen mit einer Abgabe kleiner oder größer $0,124 \text{ mg/m}^3$ aufgegriffen. Seit 2016 ist Formaldehyd gemäß CLP-Verordnung als wahrscheinlich karzinogen beim Menschen eingestuft worden. Die REACH-Verordnung schreibt der Industrie zum ersten Mal das Darlegen aller chemischen Stoffe zum Inverkehrbringen ihrer Produkte vor. Informationen über gefährliche Stoffe sind somit offen dargelegt, sind aber nicht unbedingt verständlich aufbereitet einzusehen.

VOCs im Allgemeinen sind erst in den 90er Jahren in die Diskussion aufgenommen worden. Eine europäische Expertengruppe der europäischen Kommission bearbeitet als ECA „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“ (ehemalig „Indoor Air Quality And Its Impact on Man“) innenraumrelevante sowie außenluftrelevante Themen und daran verknüpfte Fragen der Bewertung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten seit Ende der 80er Jahren. Sie veröffentlichten insgesamt 29 "pränormative" Reports, die die rechtlichen Grundlagen für die Bewertung von Bauprodukten und der Innenraumluftqualität bilden, siehe Überblick in Tabelle 8-1.

Ein rechtlich bindender Rahmen auf europäischer Ebene und / oder auf nationaler Ebene zur gesundheitlichen Bewertung von Baustoffen und Bauteilen liegt nicht vor. Jedoch ist eine Verschärfung der gesetzlichen Rahmenbedingungen zu erwarten. Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (AGB) wurden in die Muster Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) mit aufgenommen. Als Grundlage diente hierbei das deutsche Bewertungssystem des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) (siehe Abschnitt 9.2.1). Emissionstests von Bauprodukten sollen EU-Richtlinien-konform als Pflichtbestandteil in die CE-Kennzeichnung mit aufgenommen werden und Bauprodukte aufgrund ihrer Emissionsanteile an VOC, Formaldehyd und SVOC klassifiziert werden (siehe Abschnitt 9.2.3).

9 Erfassung und Bewertung von Bauprodukten

9.1 Gesundheitliche Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten

9.1.1 Mengengrenzung von toxikologisch begründeten Einzelsubstanzen

Sind Einzelsubstanzen aufgrund toxikologischer Grundlage für Bauprodukte mengengrenzt, so besitzen sie eine Niedrigste Interessierende Konzentration, kurz NIK (auf Englisch: Lowest Concentration of Interest, kurz: LCI). NIK-Werte geben an, bis zu welchen Konzentrationsniveaus bei Langzeitexposition keine negativen Wirkungen zu befürchten sind. Sie werden angewendet, um die Emissionen emittierender Einzelsubstanzen aus Bauprodukten nach einer **28-Tage-Messung** in einer Prüfkammer beurteilen zu können. (AgBB 2015b)

In Deutschland obliegt die Festlegung von **NIK-Werten** dem Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) (siehe Abschnitt 9.2.1). Dieser orientiert sich in seiner Arbeit insbesondere am europäischen Geschehen innerhalb der Europäischen Kommission. Sobald neue Informationen verfügbar sind bzw. neue Bewertungen vorliegen oder angefragt werden, wird die durch den AgBB autorisierte NIK-Liste laufend ergänzt und veröffentlicht. Diese Liste beinhaltet Werte für bewertbare Stoffe, **nicht** für gefährliche Stoffe.

Grundlage auch hierfür war das Konzept der Expertengruppe der European Collaborative Action (ECA) zusammengefasst im ECA-Report No.18. Bewertungskriterien für Emissionseinzelstoffe wurden auf der Basis „Lowest Concentration of Interest“ (LCI) als konzentrationsabhängige Einzelstoffberücksichtigung zur emissionsbezogenen Qualitätsbewertung von Bauprodukten zusammengefasst. Weiterentwickelt wurde das Konzept in einem aktuellen ECA-Report No.29. Dieser zeigte die Weiterentwicklung des Konzepts innerhalb nationalen Bewertungssystemen und der Entwicklung der LCI-Werte. Vorreiter nationaler Bewertungssysteme europäischer Staaten sind hierbei insbesondere das deutsche AgBB-Bewertungsschema sowie der französische ANSES-Leitfaden (siehe Abschnitt 9.2). (ECA 1997a, 2013)

Das Konzept wurde seit 2011 von einer offiziell eingerichteten Expertengruppe der Europäischen Kommission zur Erarbeitung harmonisierter europäischer **LCI-Werten** weiterverfolgt. Die Expertengruppe alias EU-LCI Working Group (EU-LCI WG) verfolgte die Harmonisierung inklusive Berücksichtigung der Kanzerogenität der Einzelsubstanzen gemäß den Vorgaben der REACH-Verordnung (siehe Abschnitt 8.4). Im Jahr 2015 wurde diese Expertengruppe in die Advisory Group on Construction Products, welche sich mit der Implementierung der Bauproduktenverordnung auseinandersetzt, umgesiedelt und besteht bis heute als Subgroup on EU-LCI Values (SG EU-LCI) fort (DG/GROW/UNIT 2017b; EU-LCI 2016c). Der Wechsel hing mit der Erteilung eines offiziellen Arbeitsauftrags (Mandat) der Europäischen Kommission zur Erstellung von EU-LCI-Werten im Zusammenhang mit der Bauproduktenverordnung zusammen. Die somit „neu gegründete“ SG EU-LCI wurde damit beauftragt (EC 2015).

Innerhalb der EU-LCI Masterliste sind zum aktuellen Stand 184 Substanzen enthalten. Es werden zum einen Substanzen aufgelistet, für welche man sich auf etablierte LCI-Werte einigen konnte - „ascribed“ oder „derived“ – und zum anderen Substanzen, für welche Werte erforderlich sind jedoch

aufgrund unzureichender Basisdaten noch nicht abgeleitet werden konnten. Jedes Jahr im Dezember werden Liste und Werte aktualisiert. (DG/GROW/UNIT 2017b; EU-LCI 2016a).

LCI-Werte sind auf der Grundlage fundierter toxikologischer Stoffbeurteilungen sowie nach Grundsätzen des Risikomanagements abzuleiten, die von etablierten internationalen und nationalen Ausschüssen und / oder anderen relevanten Studien veröffentlicht wurden.¹ Es werden ihnen Arbeitsplatzgrenzwerte, kurz AGW – (auf Englisch: Occupational Exposure Limits, kurz: OEL) oder auch Luftqualitätsrichtwerte zu Grunde gelegt. (DGfH 1998; Mücke 2004)

Die Vorgehensweise zur Ableitung der LCI-Werte wurde von der ECA-Gruppe ermittelt (ECA 1997) und wird von der SG EU-LCI in drei Hauptschritten fortgeführt: Zusammenstellung von toxikologischen Daten, Datenauswertung und Ableitung des EU-LCI-Wertes auf der Grundlage eines Gesamt- (kombinierten) Beurteilungsfaktors - total (combined) assessment factor -, die in einem standardisierten Summary Fact Sheet festgelegt sind. (Crump et al. 2016; EU-LCI 2016b; ECA 1997a) Die Fertigstellung der EU-LCI-Liste ist bis 2019 geplant (Dommaschk 2017).

Studiengrundlage für die Ableitung sind dieselben Studien wie im Fall von deutschen Innenraumrichtwerten (siehe Abschnitt 10), nur, dass es sich hier um europäische Werte handelt, wobei mehr bzw. andere Studien als Grundlage herangezogen werden. Eine detaillierte Darstellung der komplexen Herleitung von NIK bzw. LCI-Werten wird innerhalb der literaturbasierten Metastudie eines FNR-Projekts unter der Leitung des Universitätsklinikums Freiburg durchgeführt (Gminski 2017).

Zu beachten ist, dass NIK-Werte nicht als raumlufthygienische Richtwerte für Einzelstoffe herangezogen werden können (vergleiche Abschnitt 10). Sie werden als Rechengrößen zur Beurteilung der emittierenden Substanzen aus **einem** Bauprodukt herangezogen und dienen einer **toxikologischen Wichtung** untereinander.

¹ Beispiele maßgebender Quellen:

AgBB (Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten)

ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail)

RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu)

EU-RAR (European Union Risk Assessment Report)

SCOEL (Scientific Committee for Occupational Exposure Limits of the European Commission)

US-EPA (United States Environmental Protection Agency of the federal government of the United States)

ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry of the U.S. Department of Health & Human Services)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment of the California Environmental Protection Agency)

Health Canada (Department of the government of Canada with responsibility for national public health)

WHO (World Health Organization)

Im Falle des deutschen Bewertungssystems des AgBB werden die Einzelstoffkonzentrationen mithilfe ihrer NIK-Werte toxikologisch gewichtet aufsummiert und als Risikoindex „R“ diskutiert (siehe Abschnitt 9.2.1).

9.1.2 Mengenbegrenzung von toxikologisch nicht begründeten Einzelsubstanzen

Für manche Einzelsubstanzen liegen nicht genügend toxikologisch begründete Daten vor, sodass LCI-Werte nicht ableitbar sind. Sie werden jedoch der Vollständigkeit halber ebenfalls in der LCI-Liste mit aufgeführt.

Diese Stoffe gilt es ohne LCI-Werte zu bewerten. Ebenfalls gilt es nicht identifizierbare und somit noch nicht gelistete Stoffe zu berücksichtigen. Innerhalb des AgBB-Bewertungsschemas ist eine strenge Mengenbegrenzung über die Summenkonzentration ($\leq 0,1 \text{ mg/m}^3$) dieser nicht bewertbaren Stoffe vorgesehen (siehe Abschnitt 9.2.1).

9.1.3 Summenkonzentrationen

Die Publikation der ECA-Expertengruppe als ECA-Report No.18 diente sowohl als Grundlage zur Ableitung von LCI-Werten als auch zur Ausarbeitung von Bewertungssystemen. Es ergab sich jedoch keine verbindliche Vorgehensweise wie mit Stoffgemischen der Emissionen aus Bauprodukten umzugehen ist. Es wurden VOC-Summenkonzentrationen (TVOC) von 5 mg/m^3 nach 3 Tagen und $0,2 \text{ mg/m}^3$ nach 28 Tagen zur Orientierung – ursprünglich nur für Bodenbeläge - angegeben (ECA 1997a, Fig. 6.1). Einzelsubstanzen liegen in Summe als unterschiedliche Stoffgemische vor. Da noch nicht alle LCI-Werte ableitbar bzw. alle Stoffe identifizierbar sind, war wie im Falle der Bewertung der Innenraumluftqualität eine Maßnahme erforderlich, die Emissionen in Summe pragmatisch beurteilen zu können.

Die Verwendung von TVOC-Konzentrationen wurde von der Diskussion der Innenraumluftqualität auf die Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten übertragen. Entwicklung und aktueller Stand der Diskussion wird im Zusammenhang mit der Bewertung der Innenraumluftqualität dargestellt (siehe Abschnitt 10.4).

Auf der Grundlage der gegebenen Empfehlungen wurden Summenkonzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen ebenfalls in das deutsche AgBB-Bewertungssystem mit aufgenommen (siehe Abschnitt 9.2.1).

9.2 Gesundheitliche Bewertungssysteme von Emissionen aus Bauprodukten

9.2.1 Nationales Bewertungssystem in Deutschland

Auf deutscher Ebene enthält das Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) angesiedelt am Umweltbundesamtes (UBA) nationale Angaben in Bezug auf Prüfkriterien für flüchtige organische Emissionen (VOC, SVOC) aus innenraumrelevanten Bauprodukten (AgBB 2017). Eine aktuelle Fassung des AgBB-Bewertungsschemas vom Februar 2015 liegt auf der Internetseite des UBA zur Verfügung. (AgBB 2015b)

In der aktuellen Fassung wurde die Bewertung von leichtflüchtigen Verbindungen (VOC) in das Bewertungsschema und mehrere Einzelsubstanzen, wie Formaldehyd, in die aktuelle NIK-Liste von 2015 aufgenommen. Als Prüfmethode wird der aktuelle Stand der horizontalen europäischen Prüfnorm als technische Spezifikation CEN/TS 16516 herangezogen (siehe Abschnitt 11.2.2). (AgBB 2015a)

Der Entwurf für Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (AGB) wurde auf Grundlage des AgBB-Bewertungsschemas sowie Erfahrungen und Arbeitsgruppendifkussionen erarbeitet und liegt im derzeitigen Stand der Muster Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) als Anhang vor (siehe Abschnitt 8.1). (Dommaschk 2017)

Die Erfassung von Emissionen – aller flüchtigen und schwerflüchtigen organischen Verbindungen - aus Bauprodukten erfolgt in Prüfkammern (siehe Abschnitt 11.2.2). Im AgBB-Bewertungsschema ist geregelt, dass Bauprodukte insgesamt 28 Tage in der Prüfkammer verweilen und dass am 3. sowie am 28. Tag Messungen durchgeführt werden. Als Prüfbeginn wird der Zeitpunkt verstanden, an dem das zu prüfende Produkt entpackt und in die Prüfkammer gelegt wird. (AgBB 2015b) Abbildung 9-1 zeigt den Ablauf gemäß AgBB-Bewertungsschema von 2015 auf.

Prüfung nach 3 Tagen und 28 Tagen (AgBB 2015b)

Die Messungen am 3. sowie am 28. Tag werden auf ihre **TVOC**-Konzentrationen überprüft. Hierbei werden bei Messung der Aldehyde, die in die Klasse der VOC fallen, ebenfalls **VOC** wie Formaldehyd, Acetaldehyd, Butanal und Aceton quantitativ erfasst.

Ebenso wird im Hinblick auf eine langfristige Expositionssituation des Raumnutzers die Konzentration eines **kanzerogenen Stoffes**, der nach der Kategorie 1A und 1B gemäß der CLP-Verordnung eingestuft ist (siehe Abschnitt 8.4), eingeschränkt.

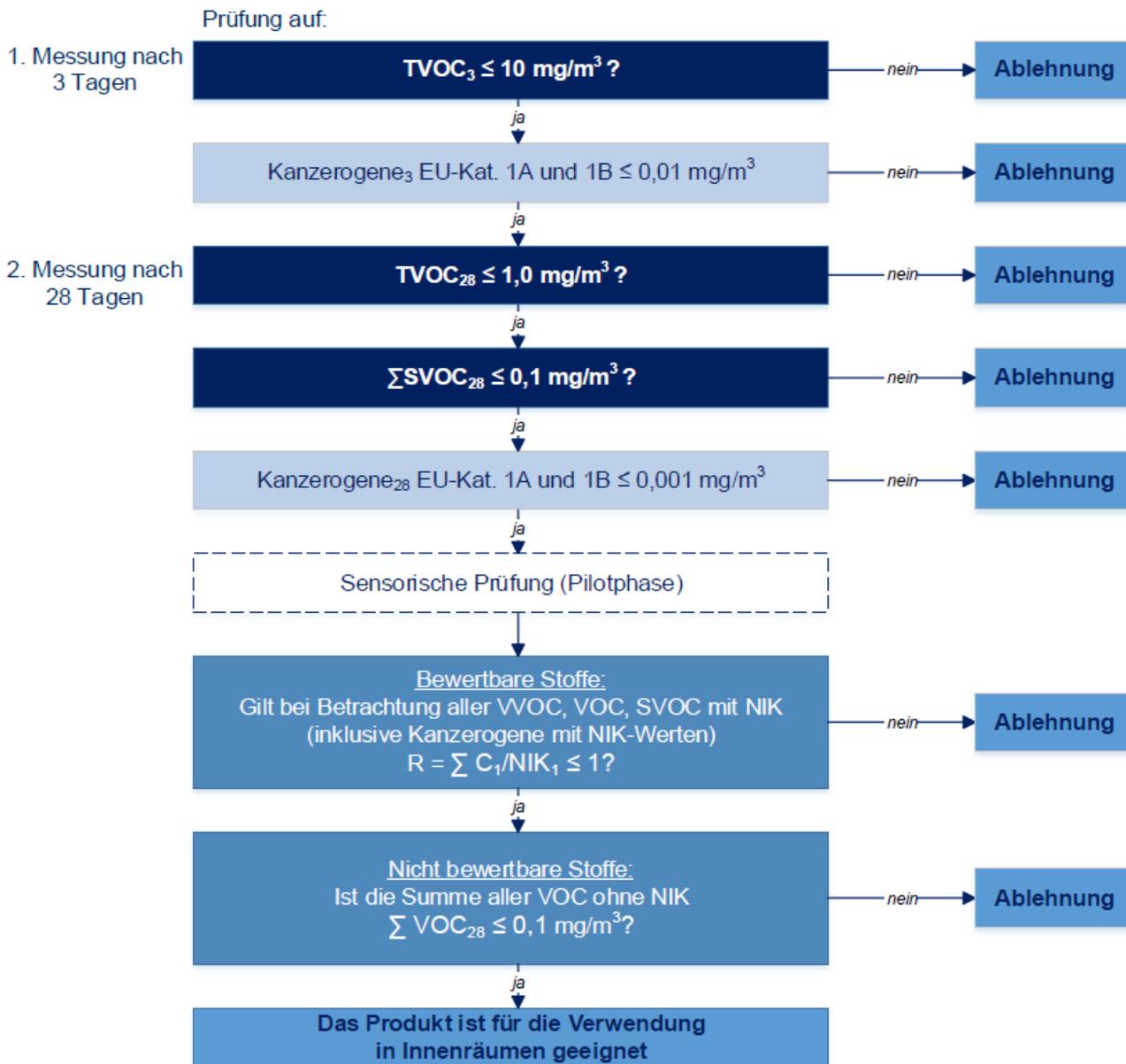


Abbildung 9-1: AgBB-Bewertungsschema für Emissionen aus Bauprodukten (AgBB 2015b)

Prüfung nach 28 Tagen (AgBB 2015b)

Die Messung am 28. Tag wird zusätzlich auf ihre SVOC-Summenkonzentration (ΣSVOC) geprüft. Der zusätzliche Beitrag an SVOC-Summenkonzentration darf 10 % der maximal zulässigen TVOC-Konzentration nicht übersteigen. Ausgeschlossen in ΣSVOC sind SVOC für die ein NIK-Wert abgeleitet wurde. Diese werden in der Summenkonzentrationsbetrachtung nach 28 Tagen dem Summenwert TVOC zugeschrieben.

Neben den Summenkonzentrationen werden ebenfalls toxikologisch begründeten Einzelsubstanzen als **bewertbare Stoffe** auf ihre Mengengrenzungen überprüft. In der Kammer wird für diese Einzelsubstanzen die Konzentration ermittelt. Übersteigen ihre Konzentrationen in der Prüfkammer

0,005 mg/m³ (= 5 µg/m³) werden sie durch Division mit ihrem NIK-Wert gewichtet. Durch Aufsummierung dieser toxikologischen Wichtungen wird der Summenquotient R gebildet. Eine gesundheitliche Beeinträchtigung kann ausgeschlossen werden, wenn der Summenquotient oder auch Risikoindex „R“ den Wert von 1,0 nicht überschreitet. Die Aufsummierung der bewerteten Einzelstoffkonzentrationen innerhalb des Risikoindex „R“ entspricht ebenfalls einer Berücksichtigung der vorliegenden Stoffgemische wie im Falle der Summenkonzentrationen. NIK-Werte liegen ebenfalls für holztypische Substanzgruppen mit Leitsubstanzen α-Pinen und δ-Limonen oder Einzelsubstanzen wie 3-Caren und β-Pinen vor.

Hierbei ist zu erwähnen, dass von der Prüfbedingung für **kanzerogene Stoffe** der EU-Kategorie 1A und 1B nach 28 Tagen diejenigen Stoffe ausgenommen sind, für die ein NIK-Wert abgeleitet wurde. Für diese konnte hinsichtlich des empfindlichsten Endpunktes ein Schwellenwert abgeleitet werden, bei dem die Annahme verknüpft ist, dass kein krebserzeugendes Potential mehr vorliegt und wird daher in der toxikologischen Wichtung der Einzelsubstanzen mit aufgenommen.

Ebenfalls ist zu beachten, dass in Einzelfällen für **SVOC bzw. VVOC** NIK-Werte abgeleitet wurden. Diese Einzelsubstanzen werden in den Risikoindex „R“ mit eingerechnet.

Nicht bewertbare Stoffe sind toxikologisch nicht begründete Einzelsubstanzen und werden ebenfalls in ihrer Menge begrenzt, jedoch nicht im Verhältnis mit einem NIK-Wert gewichtet – da kein NIK abgeleitet werden konnte -, sondern in ihrer Gesamtkonzentration. Die Summenkonzentration nicht bewertbarer bzw. identifizierbarer Stoffe, deren Einzelkonzentrationen in der Prüfkammer 0,005 mg/m³ (= 5 µg/m³) übersteigen, wird auf 10 % des zulässigen TVOC-Wertes begrenzt.

Der AgBB empfiehlt in dem Prüfverfahren ebenfalls eine Untersuchung auf sensorische Eigenschaften von Stoffen. Allerdings steht noch kein endgültig allgemein anerkanntes Verfahren zur Geruchsbewertung von Bauprodukten zur Verfügung. Momentan werden auf nationaler und internationaler Ebene entsprechende Methoden in Normungsverfahren entwickelt und abgestimmt. VOC-Messungen allein können keine Aussage bzgl. einer sensorischen Messung treffen, da es Emissionen gibt, die mit der menschlichen Nase nicht erfasst werden, aber toxische Auswirkungen haben und umgekehrt. Geruchsstoffemissionen von Innenraummaterialien und Geruchsstoffemissionen im Innenraum werden mit Hilfe der Parameter Akzeptanz, Intensität, Hedonik und Geruchsqualität (nach DIN ISO 16000-28 und -30) bestimmt.

9.2.2 Nationale Bewertungssysteme europäischer Staaten

Einige europäische Staaten haben nach Diskussion innerhalb der europäischen Expertengruppe der ECA (siehe Abschnitt 8.5) in den 1990er Jahren nationale Bewertungssysteme entwickelt, um die Innenraumluftqualität erfassen, bewerten und verbessern zu können. Eigene Mengengrenzungen von toxikologisch begründeten Einzelsubstanzen wurden verwendet bzw. die europäischen LCI-Werte wurden angewendet.



Abbildung 9-2: Zeitliche Entwicklung nationaler Bewertungssysteme europäischer Staaten zur Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten - Jahr der offiziellen Einführung (Eurofins Scientific 2016)

Abbildung 9-2 und Abbildung 9-3 veranschaulichen die steigende Anzahl nationaler Bewertungssysteme seit 1993 innerhalb Europas. Schweden bildet mit einer voraussichtlich offiziellen Einführung im Jahr 2018 das Schlusslicht.

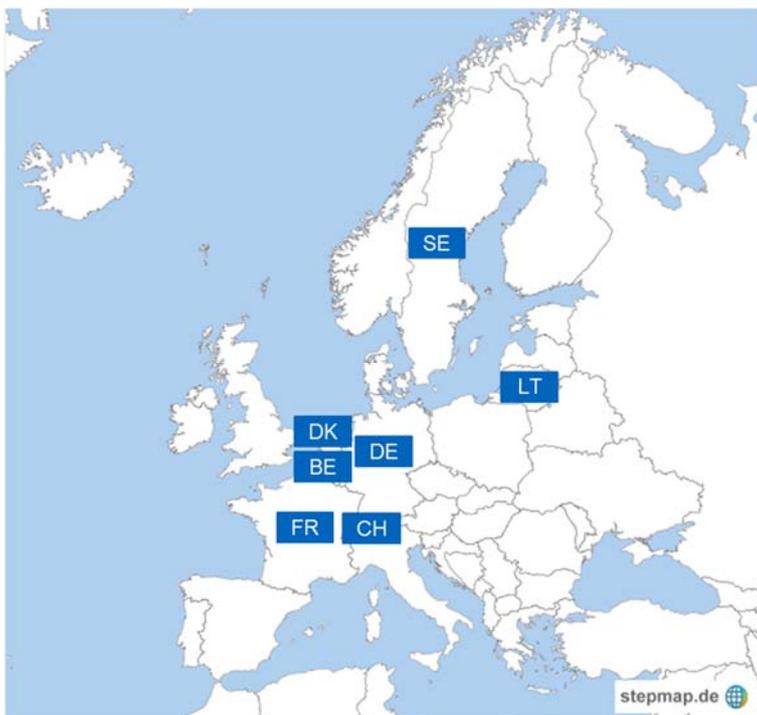


Abbildung 9-3: Nationale Bewertungssysteme europäischer Staaten zur Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten (Eurofins Scientific 2016)

Bewertungssysteme zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten liegen in einigen europäischen Staaten vor, jedoch weisen diese unterschiedlich detaillierte Konzepte in Bezug auf Prüfbedingungen, Bewertung und Ablauf auf. Detailliert ausgearbeitete Systeme liegen in Deutschland, Frankreich und Belgien vor. Viele Länder beziehen sich in ihren Aussagen auf das

Schema des deutschen AgBBs. Frankreich stellt einen Vorreiter innerhalb des Themas der Klassifizierung von Bauprodukten in Emissionsklassen dar.

9.2.3 Europäisches Bewertungssystem

Die Herausforderung eines allgemein gültigen Bewertungssystems besteht darin, bestehende nationale Systeme zu harmonisieren und weiterzuentwickeln. Den europäischen Rahmen hierfür bilden die Anforderungen der Bauproduktenverordnung (BauPVO) (EU 2011) an Hygiene und Gesundheit sowie die Vorarbeit der europäischen Expertengruppe ECA (siehe Abschnitt 8.5). Ihre Reports No.24 und insbesondere No.27 fassten den aktuellen Stand von 2005 und 2012 aller europäischer Staaten zusammen: Welche Labelssysteme vorlagen, welche Bewertungssysteme von Emissionen aus Bauprodukten verwendet wurden und worin sie sich unterschieden. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass eine Harmonisierung und ein weiterer Expertenaustausch erforderlich waren, wenn der Handel von Bauprodukten gemäß BauPVO und eine Sensibilisierung in Bezug auf Gesundheit und Hygiene gefördert werden sollten. (ECA 2005, 2012)

Die Bearbeitung sowie das Wissen gingen parallel in eine im November 2010 von der Europäischen Kommission ernannte Adhoc-Gruppe „Emissionsklassen für gefährliche Verbindungen“ über. Als spätere Sachverständigengruppe der Europäischen Kommission (Expert Group on Dangerous Substances, kurz EGDS) sollte sie Vorschläge für ein harmonisiertes Verfahren zur Einstufung von Emissionsleistung für Bauprodukte entwickeln. (ECA 2013)

Ziel und Zweck eines europäischen Bewertungssystems wäre - ähnlich wie im Fall der harmonisierten Brandschutzklassen – die Verwendung eines homogenisierten Systems mit Emissionsklassen. Die Kommission wünscht ein Vorgehen zur Deklaration von Bauprodukten aufgrund von Gesundheitsanforderungen wie im Falle harmonisierter Brandschutzklassen aufgrund von Brandschutzanforderungen. (Ilvonen und Kirchner 2010) (Draeger et al. 2012)

Das Ziel wird sein, Bauprodukte aufgrund ihrer Emissionsanteile an VOC, SVOC, Formaldehyd und krebserzeugender Stoffe zu klassifizieren und den Emissionstest von Bauprodukten EU-Richtlinienkonform als Pflichtbestandteil in die CE-Kennzeichnung mit aufzunehmen. Der Entwurf baut insbesondere auf den nationalen Bewertungssystemen Frankreichs und Deutschlands auf.

Für den Emissionstest wird von einem technischen Komitee des Europäischen Normungskomitees (CEN/TC 351) eine europäische Prüfnorm zur Bestimmung der Emissionen aus Bauprodukten erarbeitet (siehe Abschnitt 11.2.2). Sobald diese Norm zur Verfügung steht, sind harmonisierte Leistungsklassen notwendig, um die gemessenen Emissionen klassifizieren und um das Emissionsverhalten der Bauprodukte deklarieren zu können. (Harrison et al. 2011)

Die harmonisierten Leistungsklassen hätten vom technischen Komitee des Europäischen Normungskomitees (CEN/TC 351) als Anhang in den Entwurf seiner Prüfnorm mit aufgenommen werden können (Draeger et al. 2012). Solch ein Anhang ist im Normentwurf von 2015 nicht enthalten (E DIN EN 16516:2015). Im Moment enthalten harmonisierte Produktnormen einen Anhang ZA, welcher Bestimmungen in Anlehnung an die EU-Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) angibt und Angaben bezüglich der Freisetzung / Gehalt gefährlicher Stoffe enthalten kann.

Die Expertengruppe bestand bis 2014 fort (EC 2014). Anschließend wurde auch sie ähnlich wie die Subgroup on EU-LCI Values (SG EU-LCI) (siehe Abschnitt 9.1.1) in die Advisory Group on Construction Products umgesiedelt. Gemäß Experten dieser Gruppe übernimmt sie nun als Beratungsgruppe der Europäischen Kommission seit April 2017 die Aufgabe der Klassifizierung von Bauprodukten in Bezug auf ihre Emissionen von gefährlichen Stoffen in den Innenraum unter dem Namen Subgroup on Dangerous Substances (SGDS) (Dommaschk 2017). Sie hat im Vergleich zu ihrer Schwesterngruppe SG EU-LCI keinen offiziellen Arbeitsauftrag in Form eines Mandats erhalten. Überlegungen solch eine Klassifizierung in eine Prüfnorm zur Ermittlung der VOC-Emissionen aus Bauprodukten zu integrieren haben sich nicht bewahrheitet (Draeger et al. 2012). Viel wahrscheinlicher ist die Verabschiedung eines Rechtsaktes durch die Europäische Kommission.

Von Seiten des Holzbausektors wird innerhalb dieser Bearbeitung die fehlende Unterscheidung zwischen holznatürlichen und teilweise toxischen Emissionen innerhalb der großen Vielzahl an Emissionen stark kritisiert. TVOC-Summenkonzentrationen aus holzbasierenden Produkten sind im Hinblick auf ihrer Qualität und Quantität insbesondere in Bezug auf ihre gesundheitliche Wertigkeit noch nicht in das Klassifizierungssystem integrierbar.

9.3 Labels für Bauprodukte

Bauherren und Planer sind auf Grund der steigenden Anzahl an beispielhaften kostenintensiven Schadstoffsanierungen gezwungen sich mit gesundheitsverträglichen bzw. emissionsarmen Bauprodukten bereits in der Planung auseinanderzusetzen. Klare Zielformulierungen – auch in Bezug auf zu vermeidende Inhaltsstoffen - sind in den Ausschreibungen ratsam. Bestimmte Labels, Umweltzeichen und Gütesiegel, mit welchen die Bauprodukte gekennzeichnet sein sollen, werden vorgegeben, da das CE-Kennzeichen noch keine Deklaration von Bauprodukten aufgrund von Gesundheitsanforderungen abdeckt. Produktlabels entstanden daher aufgrund der unklaren, gesetzlichen Verbindlichkeiten und dienen als Zwischenlösungen zur Orientierung. Diese unvollständigen Vorschriften und Zwischenlösungen führen für Bauherren und Planer zu einer unübersichtlichen Handhabung von Labels, Umweltzeichen und Gütesiegel.

9.4 Zusammenfassung

Die Vielzahl an internationalen, europäischen und nationalen Ausschüssen und relevanten Studien erschweren es im Themenfeld der gesundheitlichen Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten den Überblick zu behalten. Getroffene Entscheidungen und Festlegungen insbesondere in Bezug auf Mengengrenzung von toxikologisch begründeten Einzelsubstanzen sind als Nicht-Experte schwer nachvollziehbar bzw. miteinander verknüpfbar. Diskussionen starteten hierzu in den 90er Jahren und wurden in den letzten Jahren unter anderem aufgrund der Bauproduktenverordnung von Seiten der Europäischen Kommission verstärkt.

Ein rechtlich bindender Rahmen liegt momentan weder auf nationaler, noch auf europäischer oder internationaler Ebene vor. Einige europäische Staaten haben nach Diskussion innerhalb der europäischen Expertengruppe der ECA in den 1990er Jahren nationale Bewertungssysteme entwickelt, um die Innenraumluftqualität erfassen, bewerten und verbessern zu können. Das

deutsche Bewertungssystem des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) dient auf nationaler Ebene zur Orientierung. Änderungen sind in Deutschland seit August 2017 aufgrund der MVV TB zu erwarten (siehe Abschnitt 8.2).

Innerhalb des deutschen AgBB-Bewertungssystems wird das Bauprodukt nach verschiedenen Kategorien auf seine Eignung zur Verwendung im Innenraum geprüft:

- TVOC- Konzentrationen werden am 3. sowie am 28. Tag überprüft.
- Kanzerogene Stoffe der Kategorie 1A und 1B werden ebenfalls am 3. sowie am 28. Tag überprüft.
- SVOC werden am 28. Tag auf ihre Summenkonzentration überprüft.
- Bewertbare Stoffe werden als toxikologisch begründete Einzelsubstanzen mithilfe ihres NIK-Wertes (Niedrigster Interessierender Konzentrations-Wert) gewichtet und zum Risikoindex „R“ aufsummiert. Dieser soll den Wert 1,0 nicht überschreiten.
- Nicht bewertbare Stoffe sind toxikologisch nicht begründete Einzelsubstanzen und werden in ihrer Gesamtsummenkonzentration überprüft.

Insgesamt ist es das in Zusammenarbeit mit der Subgroup on EU-LCI Values der Europäischen Kommission (SG EU-LCI) die Anzahl an ermittelten europäischen NIK-Werten (EU-LCI-Werten) zu erhöhen, statt Aussagen allein aus TVOC-Messungen ohne gesundheitlichen Hintergrund zu treffen.

Tabelle 9-1: Gegenüberstellung toxikologisch begründeter Gewichtungswerte nach 28 Tagen: NIK-Werte des AgBB gegenüber LCI-Werte der SG EU-LCI (AgBB 2015b; EU-LCI 2016a)

Einzelsubstanz / Substanzgruppe	NIK [mg/m ³]	LCI [mg/m ³]
Formaldehyd (VVOC)	0,1	0,1
Hexanal	0,9	0,9
Aldehyde C4 bis C11 (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	-	-
Essigsäure	1,25	1,2
Terpene, bicyclisch (Leitsubstanz α -Pinen)	2,5	2,5
Monozyklische Monoterpene (Leitsubstanz δ -Limonen)	5,0	5,0
3-Caren	1,5	1,5
β -Pinen	1,4	1,4

Tabelle 9-1 gibt einen Überblick über typisch in Holzprodukten vorkommende Einzelsubstanzen und ihrem gemäß AgBB bzw. SG EU-LCI begründeten NIK bzw- LIC-Wert. Außer im Falle der

Essigsäure (Acetic acid) stimmen die deutschen NIK-Werte mit den europäischen LCI-Werten überein. Tabelle 9-2 zeigt eine Übersicht aller Prüfbedingungen des aktuellen AgBB-Bewertungsschemas von Februar 2015. Die Erfüllung aller Prüfbedingungen ist die Voraussetzung für die Akzeptanz des Bauprodukts.

Tabelle 9-2: Prüfbedingungen des AgBB-Bewertungsschemas für Konzentrationen C sowie Risikoindex R nach 3 und nach 28 Tagen (AgBB 2015b)

Messung	Nach 3 Tagen	Nach 28 Tagen
TVOC	$\leq 10 \text{ mg/m}^3$	$C \leq 1 \text{ mg/m}^3$
Kanzerogene Stoffe	$\leq 0,01 \text{ mg/m}^3$	$C \leq 0,001 \text{ mg/m}^3$
Σ SVOC		$C \leq 0,1 \text{ mg/m}^3$
Bewertbare Stoffe		$R = \sum(C_i/\text{NIK}_i) \leq 1,0$
Nicht bewertbare Stoffe		$C \leq 0,1 \text{ mg/m}^3$

Bei Vergleich der beiden Tabellen ist auffallend, wie die Leitsubstanz α -Pinen der Terpene in ihrem NIK /LCI-Wert für eine Messung nach 28 Tagen bereits höher liegt als der angestrebte TVOC-Wert nach 28 Tagen. Die NIK-Werte sind als zu gewichtende Werte innerhalb des Risikoindex und nicht als direkter Richtwert zu verstehen. Jedoch deuten sie an, welche Einzelsubstanzen höhere Einzelkonzentrationen vorweisen können.

Ein europäisches, harmonisches Bewertungssystem in Form von Emissionsklassen wird derzeit durch die Beratungsgruppe Subgroup on Dangerous Substances (SGDS) erarbeitet. Solange eine europäische Harmonisierung fehlt, gelten die nationalen Regelungen und Leitfäden der Mitgliedsstaaten. Im Moment ist die CE-Kennzeichnung auf Bauprodukten nur bedingt ein Zeichen, für die Einhaltung von Anforderungen an Gesundheit und Umwelt. Eine Klassifizierung könnte jedoch nach dem derzeitigen Stand den Einsatz von Holzbauprodukten im Innenraum aufgrund der hohen Zusammensetzung an VOC-Emissionen erschweren. Informationen diesbezüglich sind auf der Homepage der Europäischen Kommission nicht zu finden. Aktueller Stand und Diskussionen wurden Experten des Holzbausektors sowie AgBB-Mitgliedern entnommen (siehe Abschnitt 13 Experteninterviews und Expertenworkshop). Nach Meinung des Holzbausektors sind VOC-Emissionen aus Holz und Holzbauprodukten im Hinblick auf ihre Qualität und Quantität derzeit nicht in ein Klassifizierungssystem in Bezug auf ihre gesundheitliche Wertigkeit integrierbar. Die notwendige Wichtung zwischen Emissionsvermeidung und gesundheitlicher Wirkung von Holzbauprodukten ist noch unbekannt.

Es ist zu beachten, dass Emissionsprüfungen von Bauprodukten noch keine Zusicherung einer gesunden Innenraumluft sind. Dies ist ein eigenes Diskussionsfeld mit eigenen Experten und Leitfäden und wird im nachfolgenden Kapitel aufgezeigt (siehe Abschnitt 10)

10 Bewertung der Innenraumluftqualität

10.1 Rechtlich verbindliche Grenzwerte

Zwischen rechtlich verbindlichen Grenzwerten und Richtwerten muss deutlich unterschieden werden. Die Bezeichnung von Grenzwerten wird in Verbindung mit einer **rechtlich bindenden Grundlage** verwendet. Rechtliche Anforderungen an Gebäude und Bauprodukten bilden hierbei den Rahmen für die Aufstellung eines Grenzwertes an die Innenraumluftqualität.

Im Außenluftbereich gibt es Emissionsgrenzwerte sowie es für Trinkwasser und Lebensmittel Grenzwerte gibt (Bachmann 2013). Eine aktive Koordinierung der Schnittstelle zwischen Außenraum und Innenraum gibt es dagegen nicht. Es ist anzumerken, dass die Innenraumluft in ihrer Qualität mit der Qualität der Außenluft im Zusammenhang steht.

Durchführungsverordnungen des deutschen Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG 1974) - kurz BImSchV - laufen momentan bis Nummer 36 und regeln unterschiedliche Themenfelder zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge in Anlagen sowie der Außenluft. Die Innenraumluft wird innerhalb dieses Gesetzes nicht eingeschlossen. Allein für Tetrachlorethen (oder auch Perchlorethylen) wird ein Grenzwert von $0,1 \text{ mg/m}^3$ innerhalb der Verordnung geltender Anlagen genannt (BImSchV 1990).

Bauordnungsrechtliche Richtlinien - Asbest-Richtlinie, PCP-Richtlinie, PCB-Richtlinie - regeln die Bewertung, die Sanierung und den Abriss schadstoffbelasteter Bauteile und Gebäude. Aufgrund der eindeutig krebserregenden Wirkung sind Verwendung und das Inverkehrbringen dieser Schadstoffe in Deutschland gemäß Gefahrstoffverordnung (GefStoffV 2010) verboten. Für Formaldehyd ist eine einzuhaltende Ausgleichskonzentration für Formaldehyd von $0,1 \text{ ppm}$ (= $0,124 \text{ mg/m}^3$) gemäß Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV 2017) einzuhalten (siehe Abschnitt 8.4).

10.2 Toxikologisch begründete Richtwerte

Richtwerte lassen sich dadurch kennzeichnen, dass sie auf keiner rechtlichen Grundlage angewendet werden können (kein Grenzwert), jedoch auf **toxischen Dosis-Wirkungs-Beziehungen** für einzelne Substanzen oder Substanzgruppen basieren. Mit den Richtwerten können Messergebnisse der Innenraumluft in Bezug auf ihre gesundheitliche Relevanz bewertet werden.

In Deutschland obliegt die Festlegung von Richtwerten für die Innenraumluft dem Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) der Innenraumluftthygienekommission (IRK) (Siehe Abschnitt 10.5). Andere Organisationen geben ebenfalls toxikologisch abgeleitete Richtwerte für eine Anzahl an Substanzen an. Teilweise werden diese Angaben als Hinweise zur Beurteilung gesundheitlicher Risiken von Luftverunreinigungen vom AIR mit aufgegriffen. Beispiele hierfür sind Ministerien oder Ausschüsse anderer (europäischer) Länder und insbesondere die Serie an Veröffentlichungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Besonders in Bezug auf Formaldehyd wurden Angaben den Air Quality Guidelines der WHO entnommen (WHO 1983, 1986, 1987, 2000, 2010).

Um für bestimmte Konzentrationswerte Richtwerte ableiten zu können, muss eine Auswahl an Daten zu Grunde gelegt werden. Diese toxikologischen Daten werden Tierstudien oder Humanuntersuchungen entnommen. Es werden gesundheitlich unbedenkliche Schwellenwerte **mit** ersten gesundheitlich schädigenden Wirkungen gesucht (**LOAEC** = Lowest Observed Adverse Effect Concentration). Prinzipiell beim Fehlen einer belastbaren LOAEC werden auch gesundheitlich unbedenkliche Schwellenwerte **ohne** gesundheitlich negative Wirkung (**NOAEC** = **Non** Observed Adverse Effect Concentration) verwendet, jedoch sind dies weniger justitiable Eingangswerte bzw. bilden nicht die Grundlage für einen Gefahrenwert. Unter Zuhilfenahme von Sicherheits- und Extrapolationsfaktoren werden die Konzentrationen auf für den Menschen unbedenkliche Konzentrationen heruntergebrochen. Humandaten als Eingangswerte sind einfacher zu beurteilen und werden bevorzugt, liegen jedoch in den wenigsten Fällen vor. (UBA 1996, 2012)

Im Falle des AIR-Basisschemas wird eine Konzentration **mit** ersten gesundheitlich schädigenden Wirkungen mithilfe festgelegter Sicherheits- und Extrapolationsfaktoren auf den Richtwert II und **ohne** gesundheitlich negative Wirkung auf den Richtwert I abgeleitet (siehe Abschnitt 10.5).

10.3 Statistisch erhobene Orientierungswerte

Um Einzelsubstanzen bewerten zu können, die nicht toxikologisch begründet sind, werden Orientierungs- bzw. Referenzwerte herangezogen. Diese Werte basieren auf Messungen und Erfahrungswerten und sind rein **statistische Werte**. Sie beziehen sich nicht auf eine direkte gesundheitliche Wirkung. Sie geben keine Angabe bezüglich der tatsächlichen Gesundheitsgefährdung. Sie sind daher als Werte zu interpretieren, die eine übliche Verteilung dieses Stoffes darstellen. Sie werden insbesondere dann herangezogen, wenn toxikologisch begründete Richtwerte fehlen.

Ein Beispiel hierfür sind die Orientierungswerte der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsprojekte (AGÖF). Eine erste Sammlung an Orientierungswerten veröffentlichte AGÖF im Jahr 2004; eine überarbeitete Fassung erschien 2007 für mehr als 150 flüchtig organische Substanzen. Im Jahr 2013 wurde eine Auflage an Orientierungswerten aktualisiert herausgegeben und auf der Grundlage eines durch das Umweltbundesamt finanzierte Forschungsprojekt auf eine Anzahl über 300 Substanzen erweitert. Mit ihrer Hilfe können Messergebnisse bezüglich einer statistischen Wahrscheinlichkeit eingestuft werden und Ursachen gesundheitlicher Beschwerden gefunden werden, da für den größten Teil der in der Innenraumluft messbaren Stoffe weiterhin eine Bewertungsunsicherheit besteht, sprich keine Richtwerte vorliegen. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass ein konkretes gesundheitliches Risiko nicht mithilfe der Orientierungswerte bewertet werden kann. (AGÖF 2013)

10.4 Leitwerte für Summenkonzentrationen

Leitwerte für Summenkonzentrationen sind ebenfalls **statistisch erhobene Referenzwerte**, welche keine Konzentrationsangaben für Einzelsubstanzen zur Orientierung geben, sondern sich an allgemein vorliegende Stoffgemische richten. Einzelsubstanzen liegen in Summe als unterschiedliche Stoffgemische im Innenraum vor. Da Richtwerte nur für relativ wenige

Einzelsubstanzen zur Verfügung standen, war eine Maßnahme erforderlich, die gesamte Innenraumluftqualität pragmatisch beurteilen zu können.

Ein entsprechender Vorschlag kam auf deutscher Seite von einem Mitglied des zuständigen deutschen Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) (siehe Abschnitt 10.5) (Seifert 1999). Als Grundlage dienten die Untersuchungen des dänischen Wohnhygienikers Mølhave (Mølhave et al. 1986; Mølhave et al. 1991). Anfang der 80er Jahre wurden in Dänemark Probanden in großen Versuchskammern unter kontrollierten Bedingungen auf ihre **Reaktionen** auf zusammengesetzte, nicht-kanzerogene VOC-Gemische getestet. Um diese Reaktionen (keine gesundheitlichen Auswirkungen) festzuhalten, wurden sie Leistungs- und Konzentrationstests unterzogen und beantworteten Fragen über subjektive Wahrnehmungen. In der ersten Studie wurden unterschiedliche Konzentrationen eingesetzt und in der zweiten Studie wurden die Konzentrationen zur Ermittlung einer Art „Dosis-Wirkung-Beziehung“ gesteigert. Die Untersuchungen wurden in eigenen Studien in der USA wiederholt und überprüft. (Seifert 1999)

In einer Studie von Seifert wurden eigene Daten aus Repräsentativ-Untersuchungen deutscher Haushalte ermittelt (Seifert et al. 1989). Hier wurden somit keine künstlich zusammengesetzten VOC-Gemische eingesetzt. Es wurde ein Durchschnittswert von $0,3 \text{ mg/m}^3$ als realistischer „Zielwert“ bezeichnet, der nicht überschritten werden sollte. (Seifert 1999)

Innerhalb einer Empfehlung des AIR wird aufgezeigt, wie die Bewertung anhand von TVOC-Summenkonzentrationen (Total Volatile Organic Compounds) erfolgen **kann** (Seifert 1999). Die Studienergebnisse von Mølhave und Seifert wurden zuvor auf europäischer Ebene innerhalb einer Expertengruppe diskutiert. In einem Bericht wurden Grundlagen und Probleme bei Verwendung des TVOC-Ansatzes durchleuchtet (ECA 1997b).

In dieser Empfehlung werden ebenfalls Felduntersuchungen erwähnt, bei denen **keine oder sogar positive Zusammenhänge** zwischen Symptomen und TVOC-Konzentrationen festgestellt werden konnten. Somit lassen sich keine abgesicherten Dosis-Wirkung-Beziehungen angeben. Jedoch wird aus der Summe der Ergebnisse das Fazit gezogen, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Beschwerden mit zunehmender VOC-Konzentration steigt. (Seifert 1999)

All diese Daten sowie Daten eines Umweltsurveys (UBA 2007) führten im Falle des AIR zu der Ermittlung eines fünfstufigen Schemas mit fünf Konzentrationsbereichen, wobei die Bereiche niedriger Konzentrationsbereiche aus den Felduntersuchungen und die Bereiche hoher Konzentrationsbereiche aus den kontrollierten Studien ermittelt wurden. Sie sollen als Indikatoren für die Gesamtsituation verstanden werden und ab welchen Konzentrationen möglicherweise ein Gesundheitsrisiko bestehen könnte. Diese rein hygienische Bewertung gibt je Stufe Handlungsempfehlungen an, welche in höhere Stufen gehend additiv anzuwenden sind. (UBA 2007) Im Abschnitt 10.5 werden die Stufen zur hygienischen Beurteilung innerhalb des Vorgehens gemäß AIR aufgezeigt.

Die Ermittlung der Richtwerte für bicyclische Terpene wie α - und β -Pinen sowie 3- δ -Caren wurde der Liste der Richtwerte I und II für Stoffe der Innenraumluft des AIR erst im Jahre 2003 hinzugefügt

(siehe Abschnitt 10.5). In dieser Bekanntmachung zeigt das AIR auf, dass innerhalb des letzten Jahrzehnts sich die Konzentrationen der bicyclischen Terpene um etwa eine Größenordnung erhöht haben (Sagunski und Heinzow 2003). Interessant wäre die Entwicklung dieses Trends innerhalb des anschließenden Jahrzehnts bis heute und was dies auf aktualisierte Daten aus Repräsentativ-Untersuchungen deutscher Haushalte für Auswirkungen hätte. Letztendlich kommentierte das AIR innerhalb seiner Bekanntmachung für die Bewertung von Summenkonzentrationen selbst, dass „(...) Referenzwerte möglichst zeitnah aktualisiert werden“ sollten (UBA 2007).

10.5 Bewertung der Innenraumluftqualität gemäß AIR

Der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) - ehemalige Ad-hoc Arbeitsgruppe – wurde 1993 im Auftrag der Gesundheitsministerkonferenz gegründet und beim Umweltbundesamt (UBA) angesiedelt. Der Ausschuss besteht unter anderem aus Fachleuten der höherrangigen Innenraumlufthygienekommission (IRK). Diese bearbeitet mit der Hilfe des Ausschusses das Thema der Innenraumlufthygiene.

Gesundheitliche Bewertung anhand von Richtwerten

Veröffentlichungen des AIR geben Leitfäden und Empfehlungen zur Beurteilung der Innenraumluftzusammensetzung (UBA 2017). Diese Veröffentlichungen in Form von Bekanntmachungen haben das Ziel eines einheitlichen nationalen Vorgehens bei der Messung und der Bewertung der Innenraumluftqualität. Auf diesem Wege wurde ein Basisschema „Richtwerte für die Innenraumluft“ zur Ableitung von Richtwerten für Innenraumverunreinigungen veröffentlicht (UBA 1996), welches bereits fortgeschrieben und ergänzt wurde (UBA 2012, 2015). Richtwerte für Einzelsubstanzen werden auf diese Weise abgeleitet und in einer Liste geführt (UBA 2016c). Die aufgeführten Einzelsubstanzen werden vom AIR in ihrer Anzahl stetig ergänzt und um ihre Werte aktualisiert; siehe (UBA 2010, 2012, 2015, 2016b, 2007, 2016e).

In der Fortschreibung von 2012 wurden die Extrapolationsfaktoren des Basisschemas von 1996 zur Ableitung der Richtwerte neu geprüft und dem aktuellen Kenntnisstand angepasst (UBA 2012). Informationen in Bezug auf Datengrundlage von Richtwerten sind Abschnitt 10.2 zu entnehmen. Faktoren zur Abbildung der Studiendauer, der Interspezies- als auch der Interspezies-Unterschiede werden in der neuen Fassung mitberücksichtigt bzw. differenzierter betrachtet. Sie wurden jedoch nicht in einer aktualisierten grafischen Darstellung integriert. Abbildung 10-1 zeigt daher das Basisschema aus dem Jahr 1996 ohne Anpassungen von 2012.

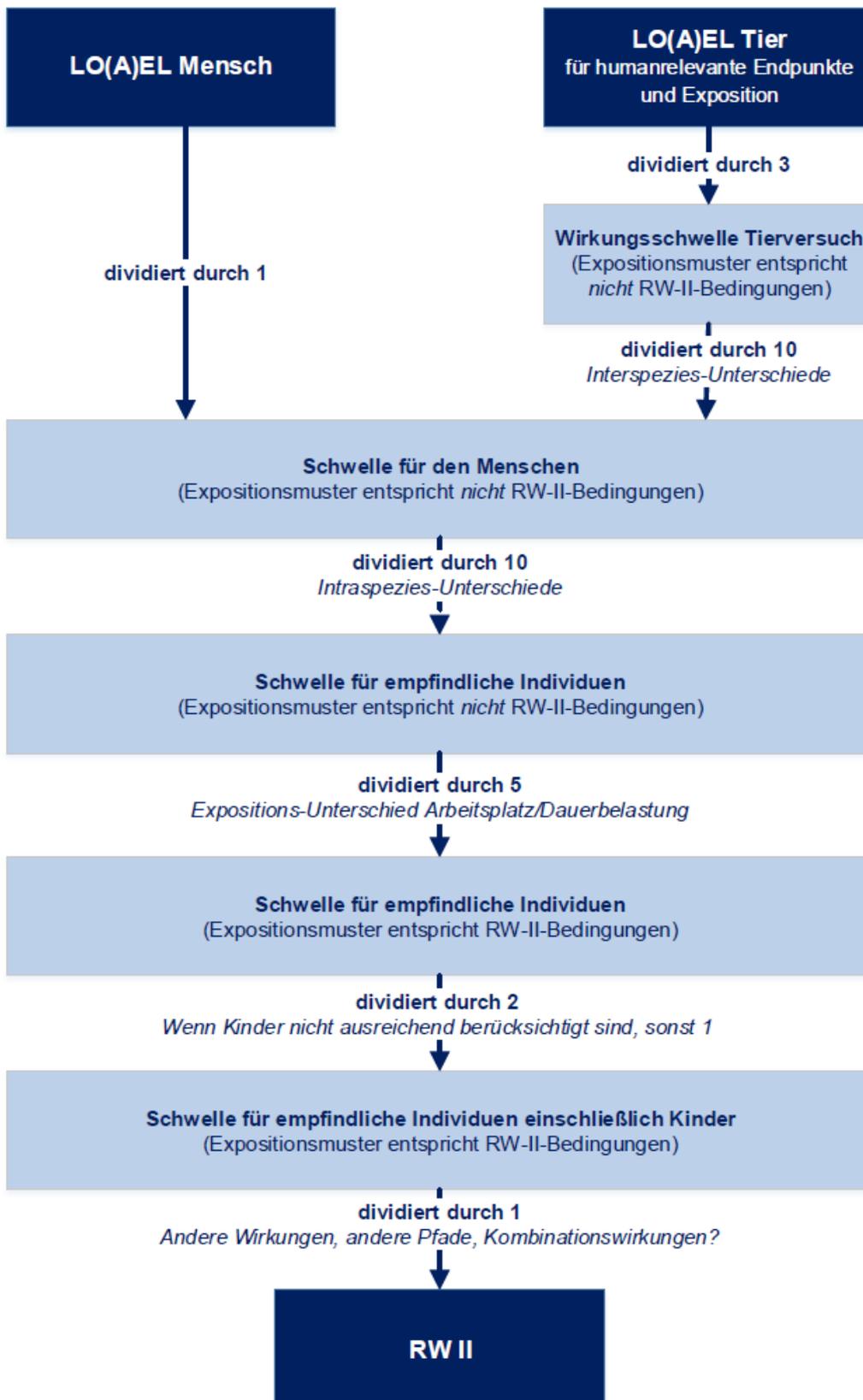


Abbildung 10-1: Basisschema aus dem Jahr 1996 – Ableitung von Innenraum-Richtwerten (UBA 1996, S. 423)

Die Liste abgeleiteter Richtwerte gemäß Basisschema ist auf der Seite des UBA zu finden (UBA 2016c). Viele Bekanntmachungen folgten und ergänzten die Liste der Richtwerte auf den aktuellen Stand. Dennoch ist zu beachten, dass die Liste nur für 47 Substanzen und Substanzgruppen Richtwerte gemäß dem Basisschema angibt. Im Vergleich hierzu wurden Orientierungswerte von AGÖF für über 300 Substanzen statistisch erhoben und auch hierbei wurden noch viele hunderte Substanzen noch nicht identifiziert (siehe Abschnitt 10.3).

Die Richtwerte für **bicyclische Terpene** – mit der Leitsubstanz α -Pinen – wurden im Jahr 2003 aufgrund einer Empfehlung nach (Sagunski und Heinzow 2003) in das Basisschema aufgenommen. Humanuntersuchungen lagen als Basis vor, jedoch wurden keine gesundheitlichen Auswirkungen im geringen Dosis-Bereich untersucht und Untersuchungen zur Kanzerogenität einzelner bicyclischer Terpene lagen nicht vor. Die Ableitung des Richtwerts I mit dem Faktor 10 aus dem Richtwert II wurde beibehalten.

Für **Formaldehyd** wurde nur ein einfacher Wert als Vorsorgewert aufgestellt (UBA 2006) bzw. (UBA 2016 a). Selbst nach einer Neubewertung im Jahr 2016 wurde die Bewertung von Formaldehyd nicht mithilfe von Richtwerten I und II analog zu anderen Innenraumverunreinigungen an das Basisschema angepasst und behält seine Sonderstellung bei. Es lagen für einen Schwellenwert LOAEC keine belastbaren Angaben vor. Ausgehend von einem Schwellenwert NOAEC wurde direkt ein Vorsorgewert, jedoch kein Gefahrenwert abgeleitet (siehe Abschnitt 10.2).

Hygienische Bewertung anhand von TVOC-Werten

Die Anzahl an Richtwerten für Einzelsubstanzen und Substanzgruppen war insbesondere vor 20 Jahren stark beschränkt. Außerdem liegen Substanzen als Stoffgemische im Innenraum vor. Daher wird vom AIR angegeben, dass die Vielzahl an unterschiedlichen Substanzen mithilfe von Leitwerten für Summenkonzentration der TVOC nach (Seifert 1999) beurteilt werden **kann**. (UBA 2007).

Tabelle 10-1 zeigt die stufenweise, hygienische Bewertung der TVOC-Konzentrationen. **Voraussetzung** für die Anwendung des TVOC-Konzepts ist, dass die Richtwerte von Einzelsubstanzen und Substanzgruppen nicht überschritten werden. Das fünfstufige TVOC-Konzept stellt einen stark vereinfachten und pragmatischen Ansatz dar, um die Summe aller VOCs beurteilen zu können. Stufe 1 stellt den Zielwert der Summenkonzentration dar. Mit höherer Stufe nehmen die erforderlichen Maßnahmen zur Erhaltung der Innenraumlufthygiene zu.

Innerhalb der letzten 20 Jahre ist die Anzahl an Richtwerten stark gestiegen. Die gesundheitliche Bewertung anhand von Richtwerten hat Vorrang vor der Bewertung über das TVOC-Konzept. Die fünf TVOC-Stufen – insbesondere Stufen 4 und 5 - sollten allenfalls zur groben Orientierung herangezogen werden. Eine Beurteilung über das TVOC-Konzept rückt somit in den Hintergrund.

Tabelle 10-1: Hygienische Bewertung der Innenraumluftqualität gemäß AIR (UBA 2007)

TVOC-Konzept	TVOC [mg/m ³]	Hygienische Bewertung der Innenraumluft
Ablehnung	> 10 - 25	keine Nutzung des Raumes
Stufe 5 Hygienisch inakzeptabel	> 10	Raumnutzung vermeiden (Aufenthalt nur stundenweise) Binnen 1 Monat TVOC Rückgang < 3 mg/m ³ Lüften, Kontrollmessung, Quellensuche, ggf. Sanierung etc.
Stufe 4 Hygienisch bedenklich	> 3 - 10	Raumnutzung nur befristet < 1 Monat Binnen 1 Monat TVOC Rückgang < 3 mg/m ³ Lüften, Kontrollmessung, Quellensuche, ggf. Sanierung etc.
Stufe 3 Hygienisch auffällig	> 1-3	Raumnutzung nur befristet < 12 Monate Binnen 6 Monaten TVOC Rückgang < 1-3 mg/m ³ Lüften, Kontrollmessung, Quellensuche etc.
Stufe 2 Hygienisch noch unbedenklich	> 0,3 - 1	Lüften, Kontrollmessung etc.
Stufe 1 Hygienisch unbedenklich	≤ 0,3	Zielwert

Europäischer Staaten mit nationalen Initiativen zur Beurteilung der Innenraumluftqualität werden in Anhang 3 im Überblick dargestellt und europäischen Staaten mit nationalen Bewertungssystemen zur Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten gegenübergestellt. Ein rechtlich bindender Rahmen liegt weder auf europäischer noch internationaler Ebene vor.

10.6 Zusammenfassung

Die Vielzahl an Richtwerten, Orientierungswerte, Referenzwerten und Leitwerten und eine geringe Anzahl rechtlich festgelegter Grenzwerte bildet ein schwer zu überblickendes Themenfeld zur gesundheitlichen Bewertung des Emissionsgehalts im Innenraum. Diskussionen starteten hierzu bereits Anfang der 80er Jahre und blieben eher auf nationalem Niveau.

Grenzwerte für die Innenraumluft liegen nicht vor. Eine Beurteilung erfolgt daher aufgrund von Richtwerten mit toxischen Dosis-Wirkungs-Beziehungen. Der AIR gibt auf nationaler Ebene vereinheitlichende Leitfäden zur Bewertung der Innenraumluftqualität und entwickelte ein Basisschema zur Ableitung von Richtwerten für Einzelstoffe.

- Der wirkungsbezogene Richtwert II (RW II) sollte bestenfalls auf Humandaten und einem gesundheitlich unbedenklichen Schwellenwert **mit** ersten gesundheitlich schädigenden Wirkungen (LOAEC) basieren.
- Der Vorsorgewert bzw. Richtwert I (RW I) wird als Messziel angesehen. Dieser sollte gemäß Fortschreibung von 2012 grundsätzlich auf einem gesundheitlich unbedenklichen

Schwellenwert **ohne** gesundheitlich negative Wirkung (NOAEC) basieren. Ansonsten wird er durch einfache Division des Gefahrenwerts RW II mit dem Faktor 10 ermittelt.

- Es werden nur Einzelstoffe und keine Kombination von Stoffen betrachtet.

Statistisch erhobene Referenz- oder Orientierungswerte geben keine Angaben bezüglich der tatsächlichen Gesundheitsgefährdung. Dennoch werden diese Werte oftmals von Entscheidungsträgern herangezogen. Für viele Stoffe können aufgrund fehlender belegbarer Studien Richtwerte nicht abgeleitet werden, weshalb die Zuhilfenahme von Referenzwerten plausibel erscheint. Bis zum Jahre 2007 lagen kaum mehr als 10 Richtwerte vor und auch bis heute wurden nur um die 40 Richtwerte vom AIR herausgegeben. Zur Orientierung können beispielsweise die Referenzwerte der AGÖF herangezogen werden.

Tabelle 10-2 gibt einen Überblick über typisch in Holzprodukten vorkommende Einzelsubstanzen und ihren gemäß AIR begründeten Richtwerten bzw. von AGÖF erhobenen Orientierungswerten. Sie zeigt zum einen auf, wie Orientierungswerte als statistisch erhobene Daten stets unterhalb der Richtwerte liegen und dass für manche Substanzen Richtwerte noch abgeleitet werden müssen.

Tabelle 10-2: Gegenüberstellung toxikologisch begründeter Richtwerte des AIR mit statistisch erhobenen Orientierungswerten der AGÖF (UBA 2016c; AGÖF 2013, 2013)

Einzelsubstanz / Substanzgruppe	RW II [mg/m ³]	RW I [mg/m ³]	AGÖF [mg/m ³]
Formaldehyd (VVOc)	Nicht abgeleitet	0,1	0,03
Hexanal	-	-	0,055
Aldehyde C4 bis C11 (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	2	0,1	Einzelwerte
Essigsäure	-	-	0,088
Terpene, bicyclisch (Leitsubstanz α -Pinen)	2	0,2	0,068
Monozyklische Monoterpene (Leitsubstanz δ -Limonen)	10	1	0,023
3-Caren	-	-	0,026
β -Pinen	-	-	0,0087
TVOC	Hygienische Bewertung anhand von <u>Leitwerten</u> (Zielwert: 0,3 mg/m ³)		-

Die Vielzahl an im Innenraum vorliegender flüchtiger organischer Verbindungen führte innerhalb europäischer Diskussionen und somit innerhalb des AIR zu der Entscheidung sich neben der Bewertung von Einzelstoffen mit der Bewertung einer Summenkonzentration (TVOC) zu behelfen. wie in Tabelle 10-2 angedeutet. Leitwerte für Summenkonzentrationen innerhalb eines fünfstufigen

Schemas brachten den Vorteil einer vereinheitlichten Bewertung der gesamten Innenraumluftqualität. Sie sind nicht toxikologisch begründet, sondern stellen eine vereinfachte Empfehlung dar, um Befindlichkeitsstörungen ausschließen zu können. Die Leitwerte sagen lediglich aus, dass „(...) der überwiegende Teil der Bevölkerung in einer vergleichbaren Größenordnung exponiert ist“ (UBA 2007). Vergleicht man die in Tabelle 10-2 beispielhaften Richtwerte sowie Orientierungswerte mit dem TVOC-Zielwert der hygienischen Bewertung des AIR (siehe Tabelle 10-1) von $0,3 \text{ mg/m}^3$ lässt sich erahnen, dass dieser Zielwert im Holzbau aufgrund der Vielzahl an VOCs im Innenraum schnell überschritten wird.

Auch wenn Leitwerte als Handlungsindikatoren zur Sicherung der Hygiene zu verstehen sind, wurden sie aufgrund fehlender Richtwerte und Alternativen oftmals als Indikatoren gesundheitlicher Risiken herangezogen. Die Betrachtung von Summenkonzentrationen gibt jedoch keinen Aufschluss auf Art und Anteile einzelner Verbindungen und deren toxikologischen Charakter. Trendentwicklungen der letzten Jahrzehnte einer häufigeren Verwendung von Holz werden in Daten aus Repräsentativ-Untersuchungen deutscher Haushalte der 80er Jahre nicht wiedergespiegelt. Dem entgegenwirkend ist es weiterhin das Ziel des AIR die Anzahl an Richtwerten für Einzelsubstanzen und Substanzgruppen zu erhöhen und eine Beurteilung über das TVOC-Konzept in den Hintergrund zu drängen. Die gesundheitliche Bewertung anhand von Richtwerten hat bereits Vorrang und sollte weiterhin zukünftig Vorrang vor der Bewertung über das TVOC-Konzept haben.

Im Vergleich zu Bewertungskonzepten für Emissionen aus Bauprodukten zielt die Diskussion der Raumluftqualität nicht auf harmonisierte Bedingungen für den Handel von Bauprodukten innerhalb des europäischen Markts, sondern bezieht sich auf Raumluftqualitäten insbesondere privat genutzter Räume. Das Innenraumklima stellt kein Marktgut dar.

11 Messmethoden

11.1 Allgemeine Messziele

Um Emissionen aus Baustoffen, -produkten und -elementen bewerten zu können, müssen sie vorab alleine im Labor oder vor Ort in Kombination zueinander als Bewertung geprüft werden. Generell wird zwischen Messungen von Emissionen, welche von Bauprodukten emittiert werden bzw. in Bauprodukten enthalten sind, und Messungen von generell in der Innenraumluft enthaltenen Emissionen unterschieden.

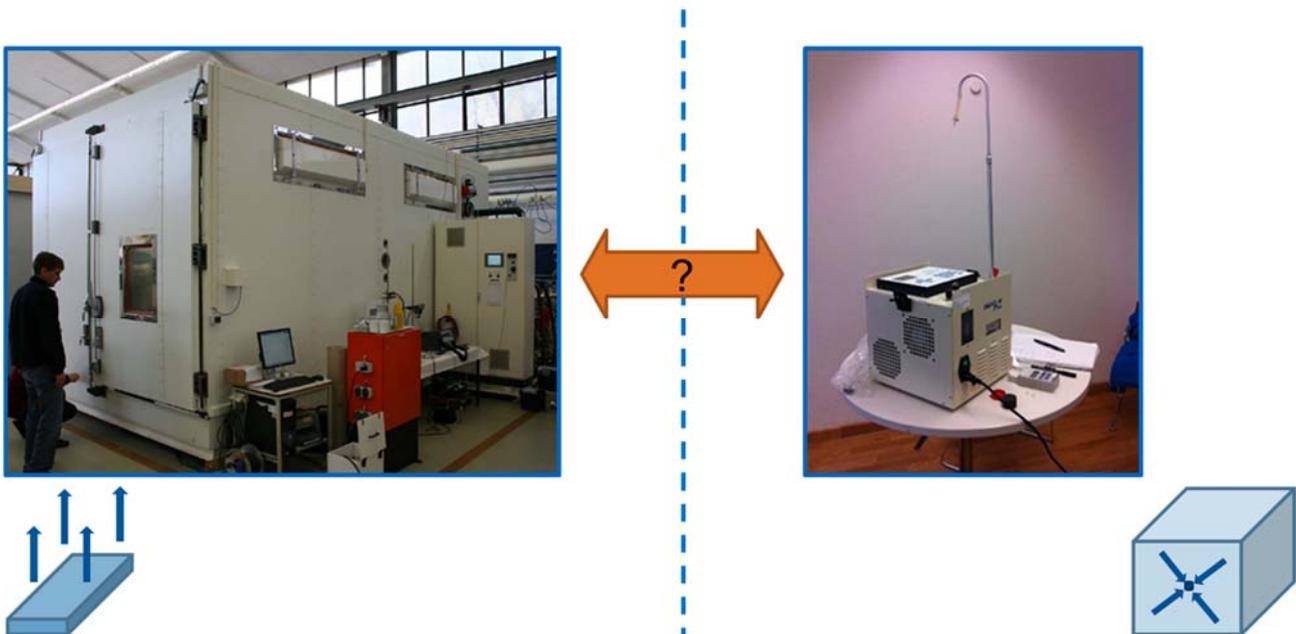


Abbildung 11-1: Unterscheidung zwischen Prüfmethode zur Messung von Emissionen aus Bauprodukten und Messung von Innenraumluftemissionen; links: Prüfkammer-Verfahren gemäß DIN EN 717-1 (Schwab et al. 2004); rechts: Innenraumluftmessung gemäß ISO 16000-Reihe (TUM)

Bauproduktmessungen können nicht als Messergebnisse der Innenraumluftqualität herangezogen werden, sondern untersuchen die Emissionen von einzelnen Bauprodukten, die später im Innenraum kombiniert verwendet werden und dort organische Verbindungen emittieren. Die Konzentration von Verbindungen im Innenraum stellt eine Mischung aus vielen verschiedenen Bauprodukten dar, die vor einer Raummessung in der Regel schon in Prüfkammern geprüft wurden. Im Innenraum tragen zusätzlich noch die Außenluftqualität, die eingesetzten Inneneinrichtungsgegenstände, sowie das allgemeine Nutzerverhalten wesentlich zur aktuellen Raumluftqualität bei (Stratev D. und Weigl 2015).

Prüfmethode für Emissionen aus Bauprodukte dienen der gesundheitlichen Bewertung der Bauprodukte. Prüfmethode zur Innenraumluftmessung dienen der Bewertung der Innenraumluftqualität, können aber ein kurz- oder auch ein langfristiges Ziel haben und somit eine Kurzzeit- oder eine Langzeitmessung erforderlich machen. Allgemein lässt sich sagen, dass Kurzzeitmessungen von weniger als einer Stunde helfen, Maximalbelastungen abschätzen zu

können. Langzeitmessungen dagegen werden meist unter üblichen Nutzungsbedingungen eingesetzt, um den Belastungszustand der Raumnutzer zu ermitteln. Langzeitmessung bedeutet hierbei nicht, dass eine kontinuierliche Messung mit mehreren Messpunkten über einen längeren Zeitraum erfolgt, sondern dass die Messung in der Regel über einen Zeitraum von mehreren Stunden bis zu mehreren Tagen andauert. Nachfolgende Tabelle zeigt verschiedene Gründe einer Innenraumluftmessung auf sowie die zu bevorzugenden Messverfahren.

Tabelle 11-1: Gründe einer Innenraumluftmessung (DIN EN ISO 16000-1:2006, DIN EN ISO-2:2006, DIN EN ISO 16000-5:2007)

Grund einer Innenraummessung	Messverfahren
Ermittlung der unter speziellen Bedingungen auftretenden Konzentrationen („worst-case“-Szenario)	Kurzzeitmessung
Beschwerdefälle / Prüfung auf Einhaltung von Richtwerten	Kurzzeitmessung
Identifizierung von Quellen	Vergleich von Kurzzeitmessungen
Prüfung eines Sanierungserfolges	Gleiches Messverfahren vorher und nachher
Durchschnittliche Konzentrationen über einen längeren Zeitpunkt (Expositionsstudien)	Langzeitmessung

Für Untersuchungen der Innenraumluftqualität sind bei Stoffen mit schnell wahrnehmbarer Wirkung Kurzzeitmessungen und bei langfristig emittierenden Quellen, wie beispielsweise Formaldehyd, Langzeitmessungen zu bevorzugen (DIN EN ISO 16000-1:2006). Auf die Unterscheidung zwischen Messungen sehr flüchtigem Formaldehyds und allgemeiner VOCs wird in den kommenden Abschnitten jeweils eingegangen.

Normen und technische Spezifikationen geben nationale, europäische oder sogar internationale Angaben wie, womit und wofür Prüfmessungen für Emissionen aus Bauprodukten oder von der Innenraumluft zu erfolgen haben. Hintergründe dieser Normen sind oftmals Leitfäden von Expertengruppen oder abgelöste Richtlinien und werden in den nachfolgenden Abschnitten in Messungen von Emissionen aus Bauprodukten und Messungen der Innenraumluft sowie jeweils Formaldehyd und VOCs unterteilt.

11.2 Messung von Emissionen aus Bauprodukten

11.2.1 Messung von Formaldehyd-Emissionen aus Holzwerkstoffen

Wie die Darstellung der zeitlichen Entwicklung in Abschnitt 8.4 verdeutlicht, sind sehr flüchtige Gase insbesondere Formaldehyd als erste Problematik in Bezug auf Emissionen und ihre gesundheitliche Wirkung erkannt worden. Diese Problematik ist aufgrund von Verklebungsprozessen primär mit **Holzwerkstoffen** in Verbindung gesetzt worden. Prüfmethode waren erforderlich um Emissionen als Konzentrationsgehalte in bzw. Konzentrationsfreisetzungen aus Holzwerkstoffen bestimmen zu können.

Innerhalb des europäischen technischen Komitees für Holzwerkstoffe CEN/TC 112 sind seit Beginn der 80er Jahre erste Prüfnormen verfasst worden, welche die Messung von Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen regeln (DIN EN-Normen). Anschließend wurden innerhalb des technischen Komitees für Holzwerkstoffe auf internationaler Ebene auf diesen Normen aufbauend internationale Normen verfasst, welche die europäischen Normen ablösten (DIN EN ISO-Normen). Auf einen zusammenfassenden Überblick involvierter Normungskomitees wird im Abschnitt 11.3.3 eingegangen.

Abbildung 11-2 zeigt die zeitliche Entwicklung ab Ende der 70er Jahre und den Übergang der europäischen in internationale Normen auf. Unkompliziertere Standardmethoden im Labor sind neben der heute bekanntesten Prüfmethode – der Prüfkammer – ebenfalls als gültige Normen festgehalten worden. Wie in den Vorworten einiger Normenversionen aus frühen Entwicklungsstadien vermerkt wurde, übte die Arbeitsgruppe für Holzforschung am WKI Fraunhofer in den 70er und 80er Jahren einen starken Einfluss auf die Entwicklung, den Inhalt oder sogar die Grundlage der Normen aus.

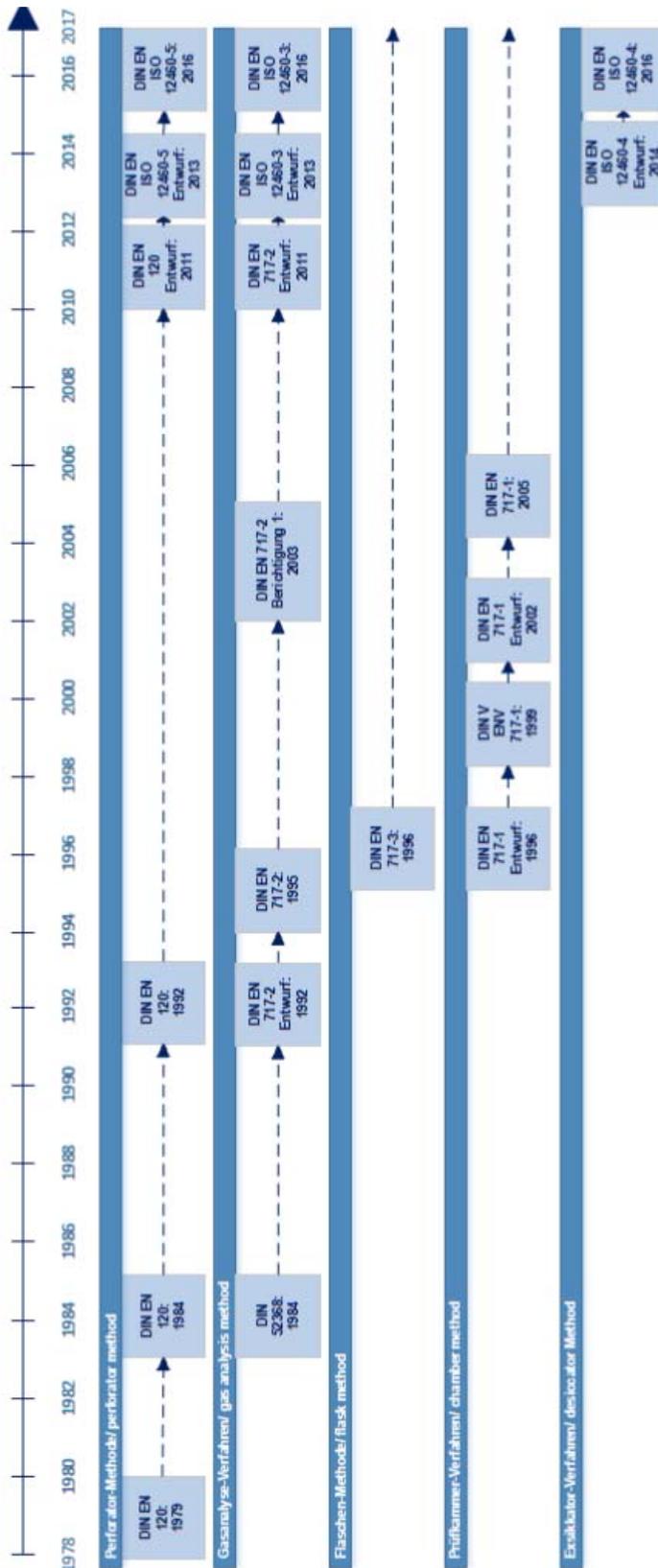


Abbildung 11-2: Zeitschiene von Prüfnormen zur Ermittlung der Formaldehydabgabe von Bauprodukten

Da das Referenzverfahren - das Prüfkammer-Verfahren (DIN EN 717-1:2005) - viele Tage für die Prüfung veranschlagt, werden abgeleitete Prüfverfahren mit einfacheren Labormethoden und kürzeren Prüfdauern weiterhin herangezogen. Das Perforator- (DIN EN 12460-5:2016), Gasanalyse- (DIN EN ISO 12460-3:2016), Flaschen- (DIN EN 717-3:1996) und Exsikkator-Verfahren (DIN EN ISO 12460-4:2016) werden äquivalent zu dem Prüfkammer-Verfahren verwendet. Diese unterscheiden sich jedoch vom Referenzverfahren sowohl im Versuchsaufbau als auch in den Prüfparametern. Daher ist eine direkte Vergleichbarkeit oder Skalierung der Ergebnisse oft nicht möglich. (Himmel 2015) Eine differenziertere Gegenüberstellung dieser Prüfverfahren ist im Anhang 1 zu finden.

11.2.2 Messung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten

Die Diskussion in Bezug auf Emissionen und ihre gesundheitliche Wirkung kann nicht allein auf Formaldehyd beschränkt werden. Flüchtige organische Einzelsubstanzen emittieren als VOC-Gemische aus den Bauprodukten. Für eine Bewertung und Identifizierung von Einzelsubstanzen waren Prüfmethoden erforderlich um ebenfalls VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen bestimmen zu können.

Das 1993 gegründete, europäisch technische Komitee für Innenraumluft CEN/TC 264 hat sich zur Aufgabe gestellt Methoden zur Messung und Veröffentlichungen von VOC-Emissionen aus **Bauprodukten bzw. Einrichtungsgegenständen** und aus der Innenraumluft zu standardisieren (Zellweger et al. 1997). Sie veröffentlichte die **ISO 16000-Reihe**, eine Reihe an internationalen Normen, welche das Thema der Innenraumluftverunreinigungen umschließen. Die Reihe besteht aus 32 Teilen, von denen sich etwa die ersten 11 Teile auf Innenraumluftuntersuchungen bzw. Prüfkammermessungen in Bezug auf flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Formaldehyd beziehen. Die Unterteilung dieser 11 Teile in Bauprodukt / Innenraum sowie VOC / Formaldehyd ist in Abbildung 11-3 aufgezeigt.

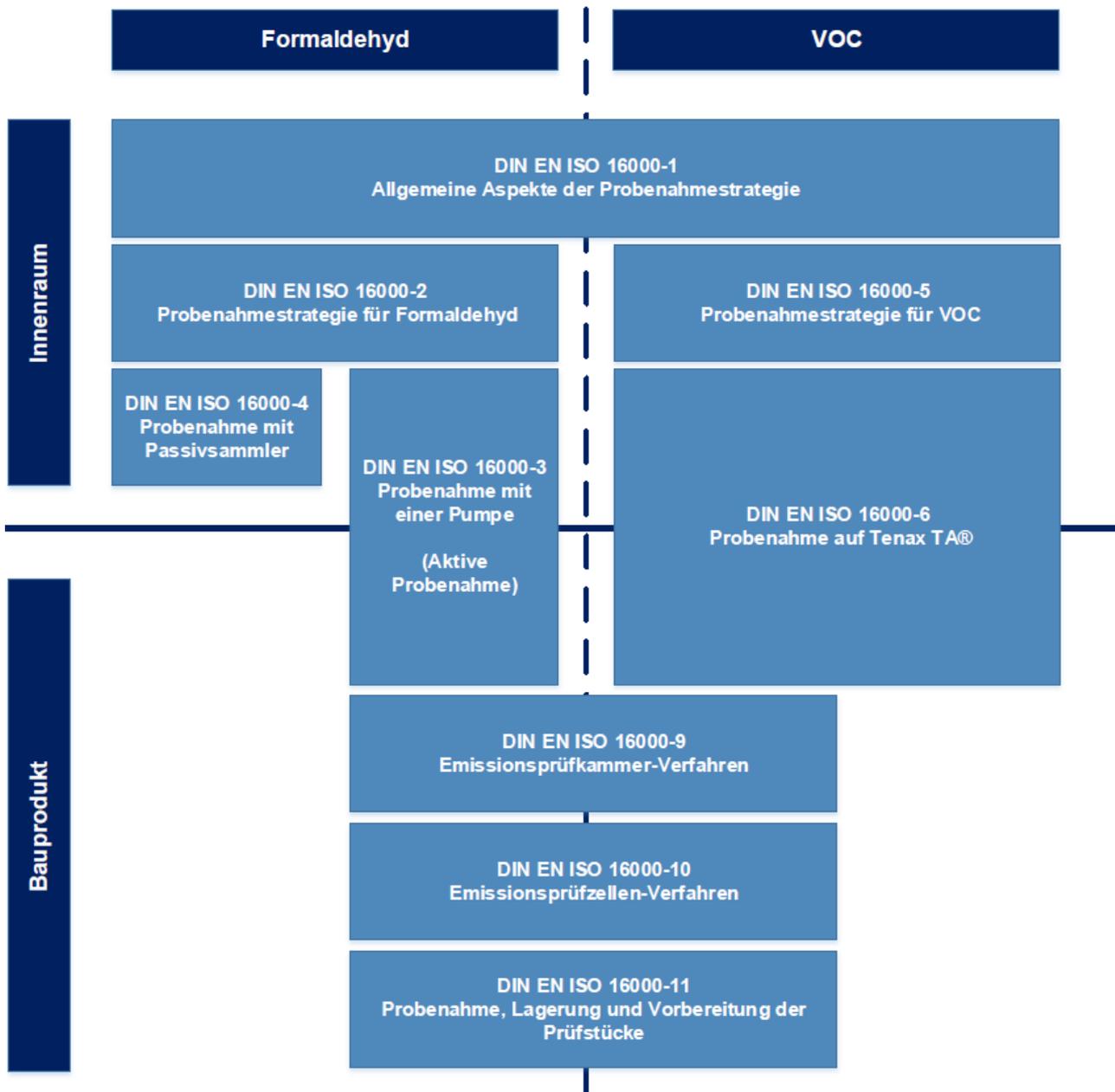


Abbildung 11-3: Zusammenhang und Übersicht der Teile der ISO 16000-Reihe

Zur Messung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten wird in diesem Bericht insbesondere Bezug auf die Normenteile 9 bis 11 mit Verweise auf Normenteile 3 und 6 genommen. Grundlage der Normen bildeten auch hierfür Reports der europäischen ECA-Expertengruppe, welche sich mit dem Vergleich verschiedener Prüfkammernmessungen und Ringversuchen beschäftigen (siehe Tabelle 8-1). In den Anwendungsbereichen der Normen ist vermerkt, dass für die Bestimmung der Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen auf die EN 717-1 verwiesen wird (siehe Abschnitt 11.2.1). Trotz allem seien die Teile 9 bis 11 der ISO 16000-Reihe in Kombination einer Probenahme

gemäß ISO 16000-3 ebenfalls anwendbar. Die Probenahme entspricht hierbei der Probenahme einer Innenraumluftmessung und ist Abschnitt 11.3.2 zu entnehmen.

Im Gegensatz zu Formaldehydmessungen werden nur Prüfverfahren innerhalb einer **Prüfkammer** bzw. mithilfe einer Prüfzelle verwiesen. In Teil 9 der ISO 16000-Reihe wird auf den Aufbau einer Prüfkammer, die Vorbereitung einer Probenahme und auf das Ergebnis einer Prüfkammermessung eingegangen (DIN EN ISO 16000-9:2008). Generelle Angaben in Bezug auf Vorbereitung und Lagerung werden Teil 11 entnommen. Hierbei gilt es zu beachten, dass zwischen Auspacken und Vorbereitung des Prüfstückes so wenig Zeit wie möglich vergeht, um eine chemische oder physikalische Kontamination zu verhindern (DIN EN ISO 16000-11:2006). Die Probenahme innerhalb der Prüfkammer wird mit einer Pumpe gezogen und entspricht der Probenahme einer Innenraumluftmessung. Die Probenahme sowie die Probenanalyse wird Teil 6 entnommen und im Abschnitt 11.3.3 näher beschrieben. Das Prüfverfahren mithilfe einer **Prüfzelle** wird in Anhang 2 erläutert.

Abbildung 11-4 zeigt den skizzierten Aufbau einer Prüfkammer sowie den Prüfungsablauf einer Messung. Unter festgelegten Prüfbedingungen erfolgt die Luftprobenahme mithilfe eines speziellen Abluftauslasses der Prüfkammer.

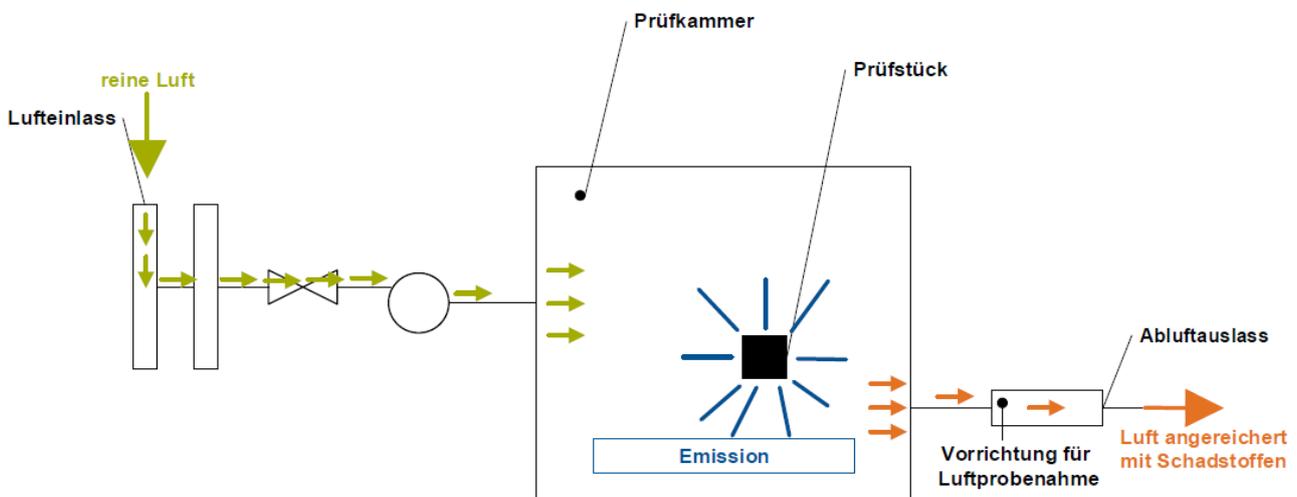


Abbildung 11-4: Grober Aufbau einer Prüfkammer sowie Ablauf einer Prüfkammermessung, ergänzt von (DIN EN ISO 16000-9:2008)

Ziel der internationalen Norm ist nicht die Bestimmung von Emissionskonzentrationen, sondern von flächenspezifischen Emissionsraten. Die Emission wird über das Kammervolumen in Verbindung mit der gemessenen Konzentration berechnet (Himmel 2015). Weiterhin werden Bestimmungen und Anforderungen beschrieben, die für alle Arten von Emissionsprüfkammern gelten. Es wird keine Prüfkammergröße definiert. Die ermittelten Emissionsdaten können zur Konzentrationsberechnung in einem Modellraum genutzt werden. Dieser Modellraum wird im Anhang des Teils 9 genannt, jedoch nicht im Detail beschrieben (DIN EN ISO 16000-9:2008)

Das Fehlen spezifischer Angaben in Bezug auf Prüfkammergrößen und Randbedingungen führte innerhalb europäischer Staaten zu nationalen Zusatzregelungen und zu unterschiedlichen Prüfbedingungen. Die Verknüpfung einer horizontalen, europäischen Prüfnorm im Sinne der Bauproduktenverordnung war somit erforderlich. (Ilvonen und Kirchner 2010)

Zur Umsetzung der Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz der Bauproduktenverordnung hat die Europäische Kommission im Jahr 2005 das Mandat M/366 an das Europäische Komitee für Normung (CEN) erteilt. Inhalt des Mandats ist die Einführung von horizontalen bzw. harmonisierten Prüfmethode hinsichtlich der aus Bauprodukten emittierenden Schadstoffe. Hierfür wurde das europäisch technische Komitee CEN/TC 351 gegründet, welches sich mit den technischen Belangen beschäftigt, die mit der Entwicklung einer einheitlichen Prüfmethode zur Messung von Raumluftkonzentrationen in einem Referenzraum unter Standardbedingungen (Dauer, Klima, Beladung und Luftwechsel) einhergehen. Als Ergebnis dieses Mandats soll die Norm **EN 13651** zur Bewertung der Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten erscheinen. Sie ist seit Oktober 2013 als eine europäische, technische Spezifikation (CEN/TS) erschienen und soll im Laufe des Jahres 2017 als europäische Norm (EN) veröffentlicht werden (DIN CEN/TS 16516:2013). Der aktuelle Stand hierzu ist die Diskussion des Normentwurfs (E DIN EN 16516:2015). (CEN 2017)

Anschließend soll die Implementierung der Prüfnorm in harmonisierte Produktnormen in Zusammenarbeit mit den einzelnen Produktkomitees erfolgen. Eine fehlende horizontale Prüfmethode hinderte die Produktkomitees bisher daran, die Freisetzung und den Gehalt von Emissionen in den harmonisierten Produktnormen homogen aufzugreifen. (Draeger et al. 2012)

Die technische Spezifikation sowie der Normentwurf beinhalten Ergänzungen und Modifizierungen bereits vorhandener Normen. Somit wird auf die Teile 3, 6, 9 und 11 der ISO 16000-Reihe verwiesen, statt den Inhalt neu aufzugreifen. Das Ziel ist die Harmonisierung der Prüfkammermethode innerhalb Europas. Im Zuge der Entwicklung der horizontalen Prüfnorm wurde das Ziel angestrebt, dass die Ergebnisse der Prüfkammermessungen reproduzierbar sein sollen und jedes qualifizierte Prüflabor die Messungen durchführen kann. Die Bauprodukte können unter homogenen Bedingungen bezüglich ihrer Emissionen bewertet werden (CEN/TS 16516:2013).

Maßgebende Ergänzungen sind die im Vergleich zur ISO 16000-9 detailliertere Angaben in Bezug auf einen Modellraum bzw. einen Referenzraum. Hintergrund des Referenzraumkonzepts ist die Übertragbarkeit der Prüfkammerergebnisse auf die vorherrschenden Verhältnisse in einem echten Wohnraum. Ein europäischer Referenzraum mit definierten Maßen und Volumen wurde als Bezugsgröße zur Berechnung der Messergebnisse auf ihren Beitrag zur Raumluftkonzentration eingeführt. Die dank der Prüfkammer ermittelten flächenspezifischen Emissionsraten können somit auf Emissionskonzentrationen umgerechnet werden, die innerhalb des Referenzraumes vorliegen würden. Der Referenzraum und die Umrechnung auf eine Emissionskonzentration wird für den Vergleich mit Niedrigsten Interessierenden Konzentrationen (NIK- bzw. LCI-Wert) benötigt (siehe Abschnitt 9.1.1).

11.2.3 Vergleich der Prüfkammer-Verfahren

Im Allgemeinen beschreibt eine Prüfkammer eine Prüfvorrichtung mit geregelten Betriebsparametern zur Bestimmung von aus Bauprodukten abgegebenen Emissionen.

Bei der Prüfung nach DIN EN 717-1 wird die Ausgleichskonzentration von Formaldehyd aus Holzwerkstoffen bestimmt, während mit DIN EN ISO 16000-9 bzw. EN 16516 die flächenspezifische Emissionsrate aus jeglichem Bauprodukt angegeben wird. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind damit zu erklären, dass Formaldehyd ein spezielles Emissionsverhalten aufweist und es im Gegensatz zu VOC leichter ist, die organische Verbindung bis zur Ausgleichskonzentration zu bestimmen. Die Prüfnorm DIN EN 717-1 wurde speziell für Holzwerkstoffe erstellt.

In der kommenden europäischen, horizontalen Prüfnorm EN 16516 sollen für die Bestimmung von Formaldehyd die Parameter so gewählt werden, dass eine Kompatibilität mit DIN EN 717-1:2005 besteht. Auch ist bereits in DIN EN ISO 16000-9 vermerkt, dass die entsprechenden Teile der ISO 16000-Reihe ebenfalls für Holzwerkstoffe anwendbar seien. Im Moment wird die Prüfnorm DIN EN 717-1 zur Bestimmung von Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen jedoch beibehalten.

Wichtigste Einflussgrößen, welche es zu harmonisieren gilt, sind: Temperatur, Luftwechsel, relative Feuchte, Luftgeschwindigkeit, Menge und Fläche des Materials in der Kammer und Art der Vorbereitung des Prüfgutes. Tabelle 11-2 stellt die konkreteren Angaben von EN 16516 dar.

Tabelle 11-2: Einflussgrößen der Prüfnormen zur Bestimmung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten in Prüfkammern (DIN EN ISO 16000-9:2008; E DIN EN 16516:2015)

Prüfkammer	DIN EN ISO 16000-9	E DIN EN 16516
Temperatur	23 ± 2 °C	23 ± 1 °C
Luftfeuchte	50 ± 5%	50 ± 5%
Luftwechselrate	-	0,25 – 2,00 /h
Luftgeschwindigkeit	0,1 - 0,3 m/s	0,1 - 0,3 m/s
Kammervolumen	-	> 0,02 m ³
Raumbeladung	-	< 50 bis 200 %
Dauer	Messung nach 3 und 28± 2 Tagen	Messung nach 3 und 28± 2 Tagen

Auf europäischer Ebene war insbesondere die Angabe eines theoretischen Referenzraumes erforderlich, um flächenspezifische Emissionsraten auf Emissionskonzentrationen umzurechnen und diese mit Mengengrenzungen bzw. Niedrigsten Interessierenden Konzentrationen

vergleichen zu können. Tabelle 11-3 gibt den durch die neue horizontale Prüfnorm festgelegten Referenzraum an und vergleicht ihn mit dem eher grob festgelegten Modellraum der ISO 16000-Reihe. Weitere Angaben und Abmessungen – wie in Bezug auf Türen- und Fensteranteil – werden der Einfachheit halber nicht mit angegeben.

Tabelle 11-3: Angaben bezüglich eines Referenzraumes der Prüfnormen zur Bestimmung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten in Prüfkammern (DIN EN ISO 16000-9:2008; E DIN EN 16516:2015)

Referenzraum	DIN EN ISO 16000-9	E DIN EN 16516
Luftwechselrate	0,5/h	0,5/h
Raumvolumen	17,4 m ³	3 x 4 x 2,5 = 30 m ³
Raumbeladung	-	< 2,0 m ² /m ³

11.3 Messung von Innenraumluftemissionen

11.3.1 Grundlage der Normungsarbeit

Zur Messung von Innenraumluftemissionen wird in diesem Abschnitt Bezug auf die Normenteile 1 bis 6 der ISO 16000-Reihe (vergleiche Abschnitt 11.2.2) genommen. Während sich Teile 3,4 und 6 mit der Probenahme von Emissionen im Innenraum beschäftigen, werden in den Teilen 1,2 und 5 allgemeine Messstrategien zusammengefasst.

Zur Vorbereitung der Messverfahren werden **Probenahmestrategien** formuliert, da eine ungeeignete Messstrategie stärker zu der Gesamtunsicherheit der Messergebnisse beitragen kann als das Messverfahren selbst. Es wird zwischen der Probenahmestrategie im Allgemeinen, für Formaldehyd und für VOC unterschieden und Messtechniken sowie die Messplanung zur Ermittlung der einzelnen Stoffverbindungen angesprochen. Es wird gefordert, vor einer Prüfung Ziel einer Messung festzulegen, da je nach Prüfverfahren verschiedene Ergebnisse erzielt werden können. (DIN EN ISO 16000-1:2006; DIN EN ISO 16000-2:2006; DIN EN ISO 16000-5:2007)

Ursprüngliche Basisdokumente stellen Reports der europäischen ECA-Expertengruppe dar, welche sich mit den allgemeinen Messstrategien für Innenraumluftemissionen beschäftigen (siehe Tabelle 8-1). In Deutschland wurden die entsprechenden Strategien zur Messung der Innenraumluftemissionen auf nationaler Ebene als technische Regeln festgeschrieben. Diese wurden in den VDI 4300-Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure festgehalten. Im Allgemeinen enthalten die Richtlinien Empfehlungen und Regeln im Bereich der Ingenieurwissenschaft und zum Stand der Technik und werden verlässlich auf dem aktuellen Stand gehalten (siehe Abschnitt 11.3.3).



Abbildung 11-5: Zusammenhang zwischen VDI 4300-Richtlinien und Teilen der ISO 16000-Reihe

In Deutschland haben Normen einen höheren Stellenwert als eine VDI-Richtlinie. Daher wurden mit Erscheinen der ISO-Normen die inhaltlich weitestgehend gleichen VDI-Richtlinien zurückgezogen und im Regelwerk durch die entsprechenden Normen der ISO 16000-Reihe ersetzt. Abbildung 11-5 gibt einen Überblick der durch die Teile 1, 2 und 5 der ISO 16000-Reihe ersetzten VDI 4300-Richtlinien.

Im Fall der DIN EN ISO 16000-1:2006 ist das VDI 4300 Blatt 1 zwar das alleinige Basisdokument, jedoch wurden nicht alle Aspekte aus dem deutschen Dokument auf internationaler Ebene übernommen. Daher bleibt es parallel bestehen, um spezielle nationale Anforderungen abzudecken. Für die ISO 16000 Teil 2 und 5 hat die deutsche Vorlage volle Zustimmung auf internationaler Ebene gefunden, sodass die entsprechenden nationalen Richtlinien zurückgezogen wurden. (VDI 4300 Blatt 1:1995; VDI 4300 Blatt 3:1997; VDI 4300 Blatt 3:2000)

11.3.2 Probenahme einer Formaldehydprobe

Im Folgenden werden drei unterschiedliche Messmethoden (Vorprüfung, aktive Probenahme mit einer Pumpe und Probenahme mit einem Passivsammler) für den Innenraum behandelt, welche in der ISO 16000-Reihe beschrieben werden. Dabei wird von einer Formaldehyd-Messung ausgegangen. Zusätzlich werden für Innenraumluftmessungen in der Regel kontinuierliche Emissionsquellen untersucht, da diese auf längere Zeit organische Verbindungen in den Innenraum abgeben. (DIN EN ISO 16000-2:2006)

Bei einer **Vorprüfung** für Formaldehyd handelt es sich um eine Probenahme und Analyse direkt vor Ort mithilfe eines direkt ablesbaren Messgeräts. Die direkte Analyse zeigt anhand einer Farbskala an, ob bestimmte Schadstoffkonzentrationsbereiche vorliegen. Dieses schnelle und kostengünstige Verfahren gibt ausreichende Orientierung darüber, ob weitere – wahrscheinlich aufwendigere –

Messungen in dem zu untersuchenden Raum erforderlich sind. Die aufwendigeren Messmethoden werden im Folgenden beschrieben. Teil 2 der ISO 16000-Reihe beschreibt Ablauf und Randbedingungen einer Vorprüfung. (DIN EN ISO 16000-2:2006)

Die **aktive Probenahme** mit einer Pumpe wird für Formaldehyd im Teil 3 der ISO 16000-Reihe beschrieben. Sie wird in der Regel für **Kurzzeitmessungen** eingesetzt und dies sowohl für Messungen im **Innenraum** als auch für Messungen in einer **Prüfkammer** – sollte eine Messung gemäß ISO 16000 und nicht nach EN 717-1 erwünscht sein (siehe Abschnitt 11.2.2). Eine Probe von mit Formaldehyd angereicherter Luft wird aktiv gezogen. Die Luft wird in der Kartusche durch ein reaktives Medium geführt, sodass ein Sorbens (Probenahmemedium) mit Formaldehyd angereichert wird. Anschließend wird das Medium im Labor analysiert. Im Falle von Formaldehyd wird als Probenahmemedium 2,4-Dinitrophenylhydrazin (DNPH) verwendet. Wenn Probenahmedauern zwei Stunden überschreiten, erfolgt eine zusätzliche Messung. Die Temperatur muss für die Messung größer als 10°C sein. (DIN ISO 16000-3:2013)

Die **passive Probenahme** mit einem Passivsammler wird für Formaldehyd im Teil 4 der ISO 16000-Reihe beschrieben. Passivsammler liefern einen Mittelwert über den gewählten Expositionszeitraum und werden vor allem dann eingesetzt, wenn die Stoffkonzentrationsmessung im **Innenraum** über einen längeren Zeitraum stattfinden soll (**Langzeitmessung**). Prinzipiell funktioniert das Verfahren, indem die mit Formaldehyd angereicherte Luft durch Diffusion in den Passivsammler gelangt. Formaldehyd wird erneut auf einem Sorbens (DNPH) angereichert. Anschließend kann das gebundene Formaldehyd im Labor analysiert werden. Die Probenahmezeit beträgt zwischen 24 und 72 Stunden. Voraussetzung ist eine ausreichende Luftbewegung von mindestens 0,02 m/s im Raum. (DIN ISO 16000-4:2012)

Für die Analyse wird Formaldehyd generell vom Probenahmemedium DNPH getrennt (Desorption), um anschließend in einem passenden Chromatographie-Verfahren die Formaldehydkonzentration zu trennen und zu bestimmen. (DIN ISO 16000-3:2013; DIN ISO 16000-4:2012)

11.3.3 Probenahme einer VOC-Probe

Im Folgenden werden zwei unterschiedliche Messmethoden (aktive Probenahme mit einer Pumpe und Probenahme mit einem Passivsammler) für den Innenraum behandelt, welche in der ISO 16000-Reihe beschrieben werden. Dabei wird von einer VOC-Messung ausgegangen. Zusätzlich werden für Innenraumluftmessungen in der Regel kontinuierliche Emissionsquellen untersucht, da diese auf längere Zeit organische Verbindungen in den Innenraum abgeben. Für die Konzentrationsbestimmung von VOC ist kein Beispiel einer Vorprüfung gegeben. (DIN EN ISO 16000-5:2007)

Die **aktive Probenahme** mit einer Pumpe wird für VOCs im Teil 6 der ISO 16000-Reihe erwähnt. Sie wird in der Regel für **Kurzzeitmessungen** eingesetzt und dies sowohl für Messungen im **Innenraum** als auch für Messungen in einer **Prüfkammer** (siehe Abschnitt 11.2.2). Eine Probe von mit VOCs angereicherter Luft wird aktiv gezogen. Die Luft wird in der Kartusche durch ein reaktives Medium geführt, sodass ein Sorbens (Probenahmemedium) mit VOCs angereichert wird. Anschließend wird das Medium im Labor analysiert. Im Falle von VOC wird als Probenahmemedium

Tenax TA® der Firma Buchem verwendet. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass gleichwertige Produkte ebenfalls verwendet werden dürfen. (DIN ISO 16000-6:2012)

Die **passive Probenahme** mit einem Passivsammler kann für VOC wie für Formaldehyd eingesetzt werden, nur, dass als Sorbens Tenax TA® zu verwenden wäre. In keinem Teil der ISO 16000-Reihe werden exakte Angaben zu der Konzentrationsermittlung von VOC mithilfe eines Passivsammlers gemacht. Einzige Angabe ist in Teil 5 bezüglich Probenahmestrategien für VOC zu finden und bezieht sich auf eine Probenahmezeit von 24 Stunden bis zu einem Monat. (DIN EN ISO 16000-5:2007).

Da sich Teil 6 der ISO 16000-Reihe primär mit der Probenahme auf Tenax TA® beschäftigt, werden Art und Weise der Probenahme-Verfahren (aktiv oder passiv) eher erwähnt. Ausführlicher ausgeführt wird das Analyseverfahren für flüchtige organische Verbindungen. Für die Analyse werden die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) vom Probenahmemedium Tenax TA® getrennt (Desorption), um anschließend in einem passenden Chromatographie-Verfahren die Verbindungen voneinander zu trennen und die VOC-Konzentrationen zu identifizieren und zu quantifizieren. (DIN ISO 16000-6:2012)

11.4 Nationale / Europäische / Internationale Normungsarbeit

Vor allem auf europäischer Ebene wird angestrebt hinsichtlich des Gesundheits- und Umweltschutzes einheitliche Prüfmethode und objektive Bewertungsgrundlagen für Messungen von Emissionen aus Bauprodukten und Innenraumlufmessungen zu schaffen. Viele Normen wurden auf der Grundlage der europäischen Arbeit und Diskussion innerhalb der Expertengruppe der European Collaborative Action (ECA) „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“ mit Inhalten gefüllt (siehe Abschnitt 8.5). Normen wurden und werden auf europäischer Ebene vom Normungskomitee CEN sowie auf internationaler Ebene vom Normungskomitee ISO erarbeitet. (Bachmann und Lange 2013)

Auf deutscher Ebene haben Forschungsinstitute wie das WKI Fraunhofer einen starken Einfluss auf die Entwicklung, den Inhalt oder sogar die Grundlage von Normen. Inhalte werden somit in das deutsche Normungsinstitut (DIN) hineingetragen und mithilfe verschiedener Ausschüsse weiterverfolgt. Der Ausschuss "Innenraumluftverunreinigungen" der Kommission Reinhaltung der Luft im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und Deutschen Institut für Normung (DIN) ist verantwortlich für die Veröffentlichung der VDI 4300-Richtlinien, die sich mit den Messstrategien zur Bestimmung verschiedener Innenraumluftverunreinigungen sowie mit den Randbedingungen für die Untersuchung der Schadstoffe auseinandersetzt. Ebenso ist dieser Ausschuss auch maßgebend an der Erarbeitung der ISO Reihe-16000 beteiligt, wofür manche der VDI Richtlinien als alleinige Basisdokumente dienen. Diese Normen und Richtlinien sorgen für eine Vereinheitlichung der Messmethoden und finden in der Praxis immer mehr Anwendung. (DIN EN ISO 16000-1:2006; DIN EN ISO 16000-2:2006; DIN EN ISO 16000-5:2007)

Die VDI 4300-Richtlinien waren lange Zeit die einzige Anleitung für Schadstoffmessungen im Innenraum, ohne dabei gesetzlich verbindlich zu sein. Sie wurden anschließend direkt auf internationaler Normungsebene vorgestellt, um sie in die ISO 16000-Reihe zu integrieren. Eine

Mehrheit der dortigen Mitgliedsstaaten befand, dass eine Anwendung dieser Richtlinie durchaus sinnvoll wäre. Manche der neuen ISO-Projekte wurden dabei gleich vom europäischen Normungsgremium (CEN) übernommen. Somit wurde aus einer VDI-Richtlinie eine EN ISO Norm. Da alle europäischen Normen von allen CEN-Mitgliedstaaten übernommen werden müssen, tragen die vom Deutschen Institut für Normung (DIN) eingeführten Normen den Titel DIN EN ISO. Die Teile 3, 4 und 6 wurden nicht vom CEN jedoch vom DIN übernommen. Somit tragen diese Normen in der deutschen Version den Titel DIN ISO.

Zur besseren Veranschaulichung der verschiedenen Gremien, die für die Erarbeitung der unterschiedlichen Normen (DIN EN 717 bzw. ISO 12460-Reihe, ISO 16000-Reihe und CEN/TS 16516) verantwortlich sind, wird in Abbildung 11-6 ein Überblick geschaffen. Zusätzlich werden Zusammenhänge zwischen einzelnen Normen (DIN, EN, ISO) dargestellt. Differenziert wird die Arbeit in die Bereiche Holzwerkstoffe, Innenraumluft und gefährliche Stoffe aus Baustoffen (in Verbindung mit der Bauproduktenverordnung).

In den vorangegangenen Abschnitten wurden Zusammenhänge zwischen den Bereichen und genaue Normungsinhalte bereits aufgezeigt. Die Aufgabenbereiche der Holzwerkstoffkomitees (CEN/TC 112, ISO/TC 89) sind von den Komitees für Luftbeschaffenheit und Innenraumluft (CEN/TC 246, ISO/TC 146) zu unterscheiden. Während erstere sich gänzlich mit der Messung von Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen beschäftigen, befassen sich letztere mit dem allgemeinen Begriff der Innenraumluft und somit mit Messverfahren sowohl für Bauprodukte als auch für Innenräume und ebenso für Formaldehydemissionen als auch für VOC-Emissionen.

Das Mandat M/366 aus dem Jahr 2005 wurde an ein neu gegründetes CEN-Komitee (CEN/TC 351) vergeben. CEN/TC 112 beschäftigt sich nur mit Holzprodukten und schied daher aus. Die horizontale Prüfnorm soll für alle Bauprodukte geeignet und eine Lösung für die europäische CE-Kennzeichnung sein. Die neue Norm soll nicht nur Formaldehyd- und VOC-Emissionen, sondern auch die Abgabe von Schadstoffen aus Baustoffen in Grund- und Oberflächenwasser abdecken. Daher schied CEN/TC 264 als zu spezialisiert aus. Ein ISO-Komitee kann einen europäischen Arbeitsauftrag nicht übernehmen. Eine Zusammenarbeit und ein Austausch sind jedoch zugesichert. Die betroffenen CEN/TCs sind mit dem CEN/TC 351 durch sogenannte Liaisons verbunden und ernennen hierfür eigene Liaison-Officer.

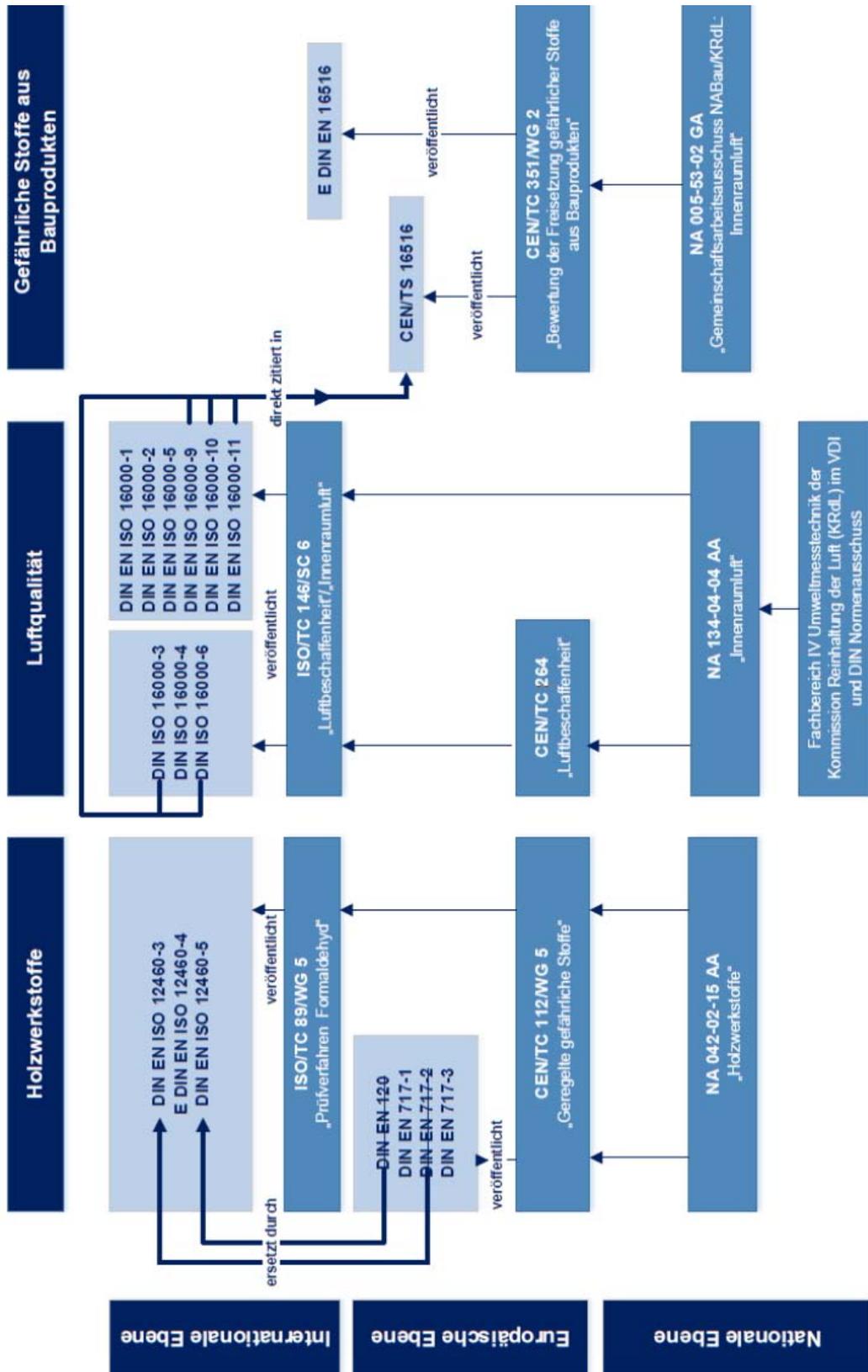


Abbildung 11-6: Zusammenfassende Darstellung der in der Messtechnik von VOCs und Formaldehyd beteiligten Normengremien

11.5 Zusammenfassung

Generell wird zwischen Messungen von Emissionen, welche von Bauprodukten emittiert werden bzw. in Bauprodukten enthalten sind, und Messungen von generell in der Innenraumluft enthaltenden Emissionen unterschieden. Bauproduktmessungen können nicht zur Beurteilung der Innenraumluftqualität herangezogen werden, sondern untersuchen die Emissionen von einzelnen Bauprodukten, die später im Innenraum kombiniert verwendet werden und dort in Kombination organische Verbindungen emittieren. Auf die Unterscheidung zwischen Messungen des sehr flüchtigen Formaldehyds und allgemeiner VOCs wird im Kapitel 11 eingegangen, da aufgrund ihrer unterschiedlichen Siedepunkte mit unterschiedlichen Methoden gemessen werden muss.

Für die VOC-Messung aus Bauprodukten wird nur das Prüfkammer-Verfahren (bzw. Prüfkammern-Verfahren) als Messmethode angewendet. Kammerprüfungen von Formaldehyd und von VOCs geben prinzipiell gleiche Randbedingungen für Prüfverfahren. Im Falle der Kammermethode für Formaldehydmessungen der Norm DIN EN 717-1 werden im Gegensatz zur ISO 16000-Reihe für VOC-Messungen genauere Angaben bezüglich der Kammergrößen gemacht und Ausgleichskonzentrationen von Formaldehyd bestimmt. Sie wird nur auf europäischer Ebene angewendet und erleichtert somit eine Homogenisierung. Auf dem internationalen Markt gibt es generell eine größere Auswahl an verschiedenen Produkten und dies wird in der ISO 16000-Reihe beachtet. Das Prüfkammer-Verfahren der ISO 16000-Reihe bleibt in seinen Angaben unvollständig und berechnet die ermittelten flächenspezifischen Emissionsraten nicht auf Emissionskonzentrationen für eine Gegenüberstellung mit Mengenbegrenzungen für Einzelsubstanzen um.

Innerhalb Europas sind nicht nur homogene Prüfbedingungen zur Bauproduktenprüfung, sondern auch die Verknüpfung mit den Anforderungen der Bauproduktenverordnung erforderlich, um die Freisetzung und den Gehalt von Emissionen in den harmonisierten Produktnormen homogen aufzugreifen. Dies war mit der internationalen ISO 16000-Reihe nicht möglich. Derzeit liegt der Entwurf einer horizontalen Prüfnorm E DIN EN 16516 vor. Anforderungen insbesondere an Luftfeuchtigkeit, Raumlufttemperatur, Luftwechsel und Nutzung sind Randbedingungen, welche Messungen miteinander vergleichbar machen und erforderlich sind, um Prüfstandards zu harmonisieren. Tabelle 11-4 gibt einen allgemeinen Überblick der drei Prüfkammernormen.

Tabelle 11-4: Zusammenfassender Überblick der Normen für Prüfkammermessungen (DIN EN 717:2005; DIN EN ISO 16000-9:2008; E DIN EN 16516:2015)

DIN EN 717	Prüfkammermethode zur Bestimmung von Formaldehyd
	<ul style="list-style-type: none"> Definierte Kammergrößen (groß, mittel, klein) mit Kantenabdichtung der Proben Probenahme in Gaswaschflaschen und Analyse nach Acetylaceton-Verfahren Ermittlung einer Ausgleichskonzentration
DIN EN ISO 16000-9	Prüfkammermethode zur Messung von VOC
	<p>In Kombination mit ISO 16000-3, -6 und -11</p> <ul style="list-style-type: none"> Verschiedene Kammergrößen möglich Probenahme mit Pumpe und anschließende Analyse (wie bei Innenraummessung) Ermittlung einer reinen flächenspezifischen Emissionsrate Probenahme einer Formaldehydprobe mit Pumpe ebenfalls möglich (ISO 16000-3)
E DIN EN 16516	Prüfkammermethode zur Messung von VOC
	<p>Hauptbestand: Verweise auf ISO 16000-3, -6, -9 und -11</p> <p>Ergänzungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Einführung eines europäischen Referenzraums Umrechnung der flächenspezifischen Emissionsrate auf die Emissionskonzentration Konkrete Angaben bezüglich Lagerung, Prüfkammerbetrieb und Kammerluftanalyse

Eine wichtige Ergänzung der kommenden E DIN EN 16516 sind Rahmenbedingungen zur Umrechnung der ermittelten flächenspezifischen Emissionsdaten auf einen festgelegten europäischen Referenzraum. Die Abmessungen des Referenzraums sowie die daraus resultierenden Produktbeladungsfaktoren und Randbedingungen wurden so festgelegt, dass sie den durchschnittlichen Zustand eines europäischen Innenraumes wiedergeben (DIN EN ISO 16000-9:2008). Dank der Umrechnung ist eine Gegenüberstellung mit Mengengrenzungen für Einzelsubstanzen innerhalb von Bewertungssystemen möglich.

Für Messungen von Innenraumluftemissionen werden in Normenteile der ISO 16000-Reihe allgemeine Messstrategien und Probenahme-Verfahren für Emissionen im Innenraum zusammengefasst. Unterschieden wird auch hierbei zwischen Messungen von Formaldehyd- und von VOC-Konzentrationen. Es werden die wichtigsten Punkte angegeben, welche die Dauer beeinflussen können. Darunter fallen die Art und die Wirkungseigenschaften der betrachteten Stoffe, der Emissionscharakter der Quelle, die Nachweisgrenze des Analyseverfahrens sowie das Ziel der Messung.

Für Innenraummessungen wird zwischen aktiven Probenahmen mit einer Pumpe sowie passiven Probenahmen mit einem Passivsammler unterschieden. Die Probenahme mithilfe einer Pumpe wird ebenfalls als Probenahme-Verfahren innerhalb der Prüfkammer nach DIN EN ISO 16000-9 bzw. E DIN EN 16516 verwendet (siehe Tabelle 11-4). Für Probenahmen von Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen wird auf DIN EN 717-1 verwiesen, jedoch ebenfalls erwähnt, dass Probenahmen gemäß ISO 16000 möglich sind. Für die Analyse werden Verbindungen vom Probenahmemedium getrennt (Desorption), um anschließend in einem passenden Chromatographie-Verfahren die Verbindungen voneinander zu trennen und die Konzentrationen zu identifizieren und zu quantifizieren.

12 Auswertung aktueller Studien

12.1 Allgemein

In einer Metastudie wurden Studien aus Europa, Asien und Nordamerika verglichen und ausgewertet. Abbildung 12-1 zeigt die Forschungseinrichtungen die sich bereits mit den gesundheitlichen Auswirkungen von Holz auf den Innenraum und Menschen beschäftigt haben.

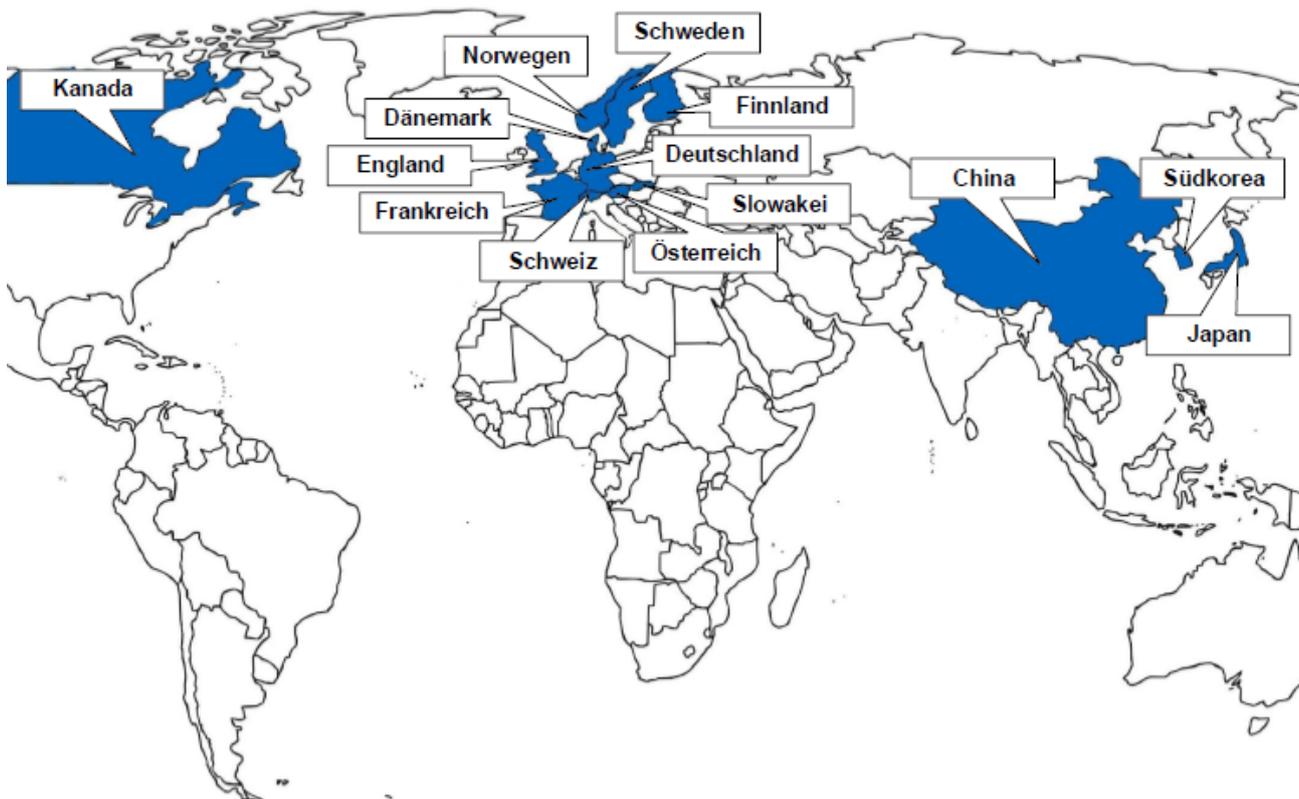


Abbildung 12-1: Forschungseinrichtungen und Institute

Tabelle 12-1: Forschungseinrichtungen und Institute sortiert nach Länder (von West nach Ost)

Kanada	<ul style="list-style-type: none"> • University of British Columbia, Vancouver
England	<ul style="list-style-type: none"> • International Society of the Built Environment ISBE, Milton Keynes
Frankreich	<ul style="list-style-type: none"> • University of Bordeaux • University of Savoy, Chambéry
Schweiz	<ul style="list-style-type: none"> • Professur Holzwissenschaften, ETH Zürich • Qualis Laboratorium für Qualitätsuntersuchungen von Lebens- und Heilmitteln, Rubingen
Norwegen	<ul style="list-style-type: none"> • Norwegian Institute of Wood Technology Nti, Oslo • Norwegian University of Life Sciences, Ås

Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene Universitätsklinikum Freiburg • Institut für Medizinische Biometrie und Medizinische Informatik, Universitätsklinikum Freiburg • Landesamt für soziale Dienste, Schleswig-Holstein • Zentrum für Allergie und Umwelt München, TU München • Johann Heinrich von Thünen-Institut, Hamburg • Fraunhofer Institut für Holzforschung WKI, Braunschweig • Leibniz-Institut für Arbeitsforschung, TU Dortmund • Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Leipzig • Bundesamt für Materialforschung und -prüfung, Berlin • Umweltbundesamt, Dessau • Institute and Out-patient Clinic of Occupational and Social Medicine, University of Heidelberg • Wissenschaftszentrum Weihenstephan, TU München • Institut für Holzforschung, TU München • Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München
Dänemark	<ul style="list-style-type: none"> • Aarhus University Hospital
Österreich	<ul style="list-style-type: none"> • Holzforschung Austria, Wien • Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Universität Innsbruck • Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, TU Wien • University of Applied Sciences, FH Salzburg • Forschungsforum der Österreicher Fachhochschulen • Wood K Plus, Wien • Human Research Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung GmbH, Weiz • Medizinische Universität Graz • Arte.med Gesundheitsbildung und -entwicklung GmbH, Klagenfurt • University of Natural Resources and Applied Life Sciences, BOKU, Wien • Technisches Büro für Chemie Karl Dobianer, Wien • Zentrum für Public Health, Medizinische Universität, Wien
Schweden	<ul style="list-style-type: none"> • Medical Microbiology, Lund University • Karolinska Institute, Stockholm Institution for Clinical Science, Hospital Huddinge • Medical Centre Hospital, Örebro
Slowakei	<ul style="list-style-type: none"> • Slovak University of Technology, Bratislava
Finnland	<ul style="list-style-type: none"> • University of Eastern Finland UEF, Kuopio • VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, Espoo • VTT Expert Service Ltd, Espoo • Aalto University, Helsinki • University of Helsinki
China	<ul style="list-style-type: none"> • Department of Thermal Science and Energy Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei • Department of Building Science, Tsinghua University, Beijing
Südkorea	<ul style="list-style-type: none"> • Center for Sustainable Healthy Buildings, Kyung Hee University

Japan	<ul style="list-style-type: none"> • Tokyo Toy Museum, Tokyo • Gifu Academy of Forest Science and Culture, Gifu • Saitama University • Forestry and Forest Products Research Institute, University of Tsukuba, Ibaraki • Tsukuba Research Institute, Sumitomo Forestry Co. Ltd., Ibaraki • Okayama University Graduate School of Education, Tsushimanaka, Kita-ku • Hokuryo Junior High School, Oda, Tsuyama • University of Tokyo • Industrial Research Institute of Shizuoka Prefecture, Shizuoka
--------------	--

Es wurden 44 Studien untersucht, die sich mit der Fragestellung der Interaktion von Holz auf den Innenraum und den damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen beschäftigt haben. Ziel war es die Studien zu vergleichen und fehlende Informationen zu identifizieren um eine Harmonisierung für Folgeprojekte zu erreichen. Um eine sinnvolle Vergleichbarkeit möglich zu machen und die Komplexität der vielfältigen Studien zu reduzieren, wurden die Studien in vier Kategorien „Emissionen, Medizin, Material/Konstruktion und Wahrnehmung“ eingeteilt. Die in den vier verschiedenen Kategorien untersuchten Parameter der einzelnen Studien sind in Abbildung 12-2 zu sehen.



Abbildung 12-2: Einteilung der Studien in Kategorien und die jeweils untersuchten Parameter

Einige Studien untersuchten mehrere Parameter und sind daher in mehreren Kategorien eingeordnet. Verglichen wurden die Studien bzgl. Aussagen des Materials betreffend: Holzart, Herkunft, Alter, Lagerung, Transport, Formaldehyd; bzgl. Aussagen über die klimatischen Bedingungen: Raumtemperatur, Raumluftfeuchte, relativer Luftwechsel; bzgl. Aussagen über Teilnehmer und der Proben: Alter, Geschlecht und Anzahl, sowie Aussagen über den Zeitraum und die Versuchsanordnung (siehe Anhang 4).

12.2 Kategorie: Emissionen

In der Kategorie Emissionen wurden innerhalb der Studien folgende Parameter untersucht:

- Formaldehyd
- VOC
- Geruch
- Sorption

Formaldehyd

Da die rechtlich einzuhaltenden Ausgleichskonzentrationen für Formaldehyd von 0,1 ppm (= 0,124 mg/m³) in der Praxis nicht (mehr) überschritten werden, waren sich die Teilnehmer des Expertenworkshops am 16.01.2017 an der TU München (siehe Kapitel 13) einig, dass Studien, die sich mit Formaldehydemissionen aus Holz- und Holzwerkstoffen beschäftigen im Moment keine Relevanz haben. Daher sind Studien, die sich nur mit der Fragestellung Formaldehydemissionen aus Holz- oder Holzwerkstoffen beschäftigen hier nicht Bestandteil. Formaldehydmessungen sind jedoch obligatorisch in Studien mit aufzunehmen, um gesundheitliche Auswirkungen auf Grund von überhöhten Formaldehydkonzentrationen auszuschließen.

VOC

Holz und Holzprodukte können hohe VOC-Konzentrationen emittieren. Besonders Kiefernprodukte weisen häufig hohe Terpen- und Aldehydkonzentrationen auf (Ohlmeyer, et al. 2006). Laubhölzer, insbesondere Buche und Eiche emittieren Essigsäure (Risholm-Sundman et al. 1998). Die kritische Substanz bzgl. der VOC-Konzentrationen bei OSB-Platten sind ungesättigte Aldehyde wie Hexan. Diese bilden sich durch Oxidation von Fettsäuren, welche in Kiefernholz im Vergleich zu anderen Holzarten in höheren Konzentrationen enthalten sind (Wilke et al. 2012). Wilke untersuchte die Emissionsmengen von Leimholz- und OSB-Platten und die Möglichkeiten einer Emissionsminderung bei diesen. Hierfür wurden fünf OSB-Platten von verschiedenen Herstellern und fünf Kiefer- sowie zwei Fichtenleimholzplatten untersucht. Zusätzlich wurden aus einer frisch gefällten Kiefer OSB-Platten unter verschiedenen Herstellungsbedingungen hergestellt. Die Ergebnisse zeigten unterschiedliche Emissionskonzentrationen bei Kern- und Splintholz. So waren die Terpenemissionen bei frischem Splintholz geringer als bei frischem Kernholz, Hexanalemissionen waren hingegen bei frischem Splintholz deutlich höher als bei frischem Kernholz. Nach 14 monatiger Lagerung nahmen die Terpene bei beiden ab, die Hexanalkonzentrationen waren bei Kernholz deutlich höher als bei frischem Kernholz. Der Ansatz Platten nur aus Kernholz oder nur aus Splintholz herzustellen ist jedoch für die Praxis kaum umsetzbar. Unterschiedliche Presstemperaturen bei der Herstellung ergaben keine deutlichen Unterschiede der Emissionskonzentrationen. Der Einsatz von Antioxidantien zeigte das beste Reduktionspotenzial der Aldehydemissionen allerdings stieg die Menge an Terpenemissionen in diesem Fall an. Die Ursache für diesen Effekt ist bislang nicht geklärt (Wilke et al. 2012).

Markowicz untersuchte an der Universität Lund den Einfluss von relativer Luftfeuchte auf die VOC-Konzentrationen im Innenraum. Proben eines imprägnierten Holzbodens wurden erst für zwei Stunden einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40% bei 30° C ausgesetzt und nach 24 Stunden einer relativen Luftfeuchtigkeit von 85% bei 30° C. Die Studie ergab eine signifikante Erhöhung der TVOC-Werte bei einer Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit von 40 % auf 85 %. (Markowicz und Larsson 2015) Angaben über Holzart und -alter wurden leider nicht gemacht.

Im Projekt Wood2New wurden zwölf neu errichtete und bewohnte Häuser in Holzbauweise (6 Massivbau und 6 Holzrahmenbau) und als Referenzobjekt ein Gebäude aus mineralischen Baustoffen über einen Zeitraum von einem Jahr untersucht. Gegenstand der Untersuchung war es den Verlauf von VOC-Konzentrationen zu analysieren. Zu Beginn des Untersuchungszeitraumes waren die VOC-Konzentrationen in den Holzbauten unabhängig vom Konstruktions- und Lüftungstyp deutlich erhöht. Innerhalb eines Zeitraumes von 6-8 Monaten sanken die Emissionen jedoch auf ein sehr niedriges Niveau, welches mit dem mineralischen Referenzgebäude vergleichbar war. Zusätzlich wurde festgestellt, dass Gebäude mit kontrollierter Wohnraumlüftung grundsätzlich niedrigere Emissionen aufwiesen. (Fürhapper et al. 2017)

Höllbacher untersuchte an der TU Wien, ob die VOC-Messungen aus einer Prüfkammer mit den Messungen im realen Raum vergleichbar sind. Hierfür wurden zwei Modellräume aus Holzprodukten in realistischer Größe errichtet und unter Normbedingungen klimatisiert. Die Ergebnisse zeigten, dass die in der Prüfkammer gemessenen Konzentrationen deutlich höher waren als im Modellraum, Materialkombinationen nicht berücksichtigt werden und die im Rahmen von Nutzertätigkeiten emittierten VOC den Einfluss der Konstruktions- und Ausstattungsmaterialien stark in den Hintergrund treten lassen. (Höllbacher 2014)

Geruch

Neben den VOCs sind Gerüche die aus Bauprodukten emittieren, für die Gesundheit und das Wohlbefinden verantwortlich. VOC-Messungen können keine Aussage bzgl. einer sensorischen Messung treffen, da es Emissionen gibt, die mit der menschlichen Nase nicht erfasst werden, aber toxische Auswirkungen haben und umgekehrt. Geruchsstoffemissionen von Innenraummaterialien und Geruchsstoffimmissionen im Innenraum werden mit Hilfe der Parameter Akzeptanz, Intensität, Geruchseindruck (Hedonik) und Geruchsqualität (nach DIN ISO 16000-28 und -30) bestimmt. In dem unter VOC bereits erwähnten Vorhaben von Wilke an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung wurden parallel zur Bestimmung des Abklingverhaltens der VOC-Emissionen aus OSB- und Leimholzplatten, sowie aus unterschiedlichen Stammabschnitten einer frisch gefällten Kiefer auch der Geruch untersucht. Dazu wurden die empfundene Geruchsintensität sowie die Hedonik der Proben bestimmt. An den VOC-Messtagen wurde die Probenluft innerhalb von 2 Stunden auch sensorisch bewertet. Auffällig war, dass eine Abnahme der VOC-Konzentrationen am 3. Tag, über den 10. Tag bis zum 28. Tag stattfand, die Geruchsintensitäten aber konstant blieben und teilweise sogar erhöht waren. Ein Abklingen der Geruchsintensität konnte erst nach dem 28. Tag festgestellt werden. (Wilke et al. 2012)

Sorption und Diffusion

In einer Studie der Holzforschung Austria wurden 25 Baumaterialien hinsichtlich ihres Adsorptions,- Desorptions,- und Diffusionsverhaltens gegenüber VOCs untersucht. Die Materialien wurden VOC-Konzentrationen ausgesetzt, die häufig in der Innenraumluft vorkommen. Die Ergebnisse zeigten, dass Holzwerkstoffe durch Ihre Sorptionseigenschaften zur Reduktion von 50 % der VOCs in der Innenraumluft beitragen konnten. (Niedermayer et al. 2013)

Zusammenfassung Emissionen

Bei weiteren Studien bzgl. der Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen sollte jeweils Angaben über Alter, Transport und Herkunft der Materialien gemacht werden. Eine sensorische Prüfung sollte ebenfalls parallel durchgeführt werden, da Geruch Auswirkungen auf Wohlbefinden und die Gesundheit hat. Zusätzlich wirkt sich eine Geruchsbelästigung auf das Lüftungsverhalten der Nutzer aus und hat damit Einfluss auf das energetische Verhalten. Der Zusammenhang zwischen VOC-Konzentration und Geruchintensität muss geklärt werden. Die Summe an VOCs und Geruchsstoffen, die aufgrund unterschiedlicher Konstruktionsaufbauten in den Raum diffundieren, ist bislang noch nicht vorhersagbar ebenso wenig die VOC- und Geruchskombinationen die durch verschiedene Konstruktionsaufbauten mit verschiedenen Bauprodukten entstehen. Dadurch wird eine vorausschauende Planung hinsichtlich Material und Konstruktion erschwert.

12.3 Kategorie: Medizin

In der Kategorie Medizin wurden folgende Parameter bei Probanden untersucht, um Auswirkungen von Holz auf die Gesundheit zu beurteilen:

- Herz / Kreislauf
- Cortisol / Blut
- Chemosensorik
- Sensorische Effekte
- Hautleitfähigkeit
- Aktiviertheit
- Erholungsfähigkeit (Vagus-Aktivierung)

Herz / Kreislauf

Von Grote wurde untersucht, wie sich Herzfrequenz und Herzratenvariabilität (als Indikator für Erholungsfähigkeit) teilweise unter Belastung in einer Umgebung aus Zirbenholz verhalten. Es wurde eine bessere Erholungsqualität durch eine niedrigere Herzrate, im Raum mit Zirbenholzeinrichtung als im mineralischen Alternativraum festgestellt. (Grote et al. 2003)

In einer weiteren Studie des Johanneum Research Institut (heute Human Research Institut) wurden Probanden sowohl in einem Naturholzbüro aus Bergfichte als auch in einem Holzimitatzimmer während eines mentalen Tests auf ihre Konzentrationsfähigkeit, sowie auf Herzfrequenz und Vagustonus untersucht. Herz und Kreislauf zeigten hier ebenfalls eine geringere Belastung im

Bergfichtenzimmer als im Holzimitatzimmer. (JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH o.J.)

Cortisol / Blutdruck

In der Studie am Shizuoka Industrial Research Institute von Sakuragawa wurde untersucht, wie sich die Berührung von verschiedenen Materialien auf den Blutdruck als Indikator für Stress auswirkt. Hierbei zeigte sich, dass der Kontakt mit Holzoberflächen als sicher, angenehm und natürlich empfunden wurde und keine Reaktion verursacht, die den Blutdruck im Gegensatz zu Materialien aus Metall oder Kunststoff unabhängig von der Oberflächentemperatur der Materialien ansteigen ließ. (Sakuragawa et al. 2008)

Chemosensorik

In der aktuellen Studie des IFBO bzgl. der Chemosensorik wird an Hand von zellbiologischen Experimenten (im Tiermodell) untersucht, wie VOC-Emissionen aus Holz (α -Pinen, Hexanal, Essigsäure u.a.) lokal mit dem Nervensystem interagieren und wie dabei unterschiedliche Wahrnehmungen entstehen, welche sensorischen Fasern daran beteiligt sind und durch welche Emissionskonzentrationen gesundheitsrelevante Veränderungen wie allergische oder entzündliche Effekte ausgelöst werden. (Manthey 2016) Die Studie wird erst 2019 abgeschlossen sein, daher gibt es bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.

Hautleitfähigkeit

Die Hautleitfähigkeit als Indikator für Stress wurde von Fell an der University of British Columbia in Vancouver zusammen mit der Herzfrequenzvariabilität von Probanden in unterschiedlich ausgestatteten Räumen während eines mentalen Tests gemessen. Vier Varianten wurden in Bezug auf die Ausstattung der Räume getestet:

- Kein Holz und keine Pflanzen
- Holz und keine Pflanzen
- Kein Holz und Pflanzen
- Holz und Pflanzen

Die Hautleitfähigkeit war im Raum mit Holzausstattung bei den Probanden geringer was weniger Belastung durch Stress bedeutet, Pflanzen zeigten keinen Einfluss auf das Stressempfinden. Die Auswertung der mentalen Tests ergab eine geringere Fehlerquote in den Räumen mit Holzausstattung. (Fell 2010)

Sensorische Effekte

Unter sensorischen Effekten oder Irritationen werden alle Auswirkungen auf Schleimhaut,- und Atemwegerscheinungen zusammengefasst. Von Gminski wurden Reizungen auf Augen, Nasen und Rachen in einer Studie am Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene in Freiburg untersucht, in der Probanden Emissionen aus Kiefernholz und OSB-Platten ausgesetzt wurden. Die

Teilnehmer wurden unter geringer körperlicher Belastung (Fahrradergometer) fünfmal über jeweils 2 Stunden hohen VOC-Konzentrationen ausgesetzt. Es zeigten sich keine Auffälligkeiten bei Augen-, Nasen- und Rachenreizungen. Lungenfunktion und Lidschlagfrequenz zeigten ebenfalls keine bedeutsamen Veränderungen. Lediglich der wahrgenommene Geruch zeigte eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens. (Gminski et al. 2011)

Aktiviertheit

Aktiviertheit fasst Parameter bezüglich der Leistungsfähigkeit, Konzentration und Reaktion zusammen. In der Studie BIGCONAIR der Holzforschung Austria wurde in einem Vergleich von (zur Büronutzung) unterschiedlich ausgestatteten Containern, subjektives Wohlbefinden und Aktiviertheit untersucht. Es wurden zwei Stahlcontainer und zwei Holzcontainer, einer in Massivholzbauweise und einer in Holz-Lehmbauweise, gefertigt. Mittels eines Inferenztests wurden die Probanden auf ihre Leistungs- und Erholungsfähigkeit getestet. Parallel wurde die Herzfrequenz der Probanden überwacht. Natürliche Baumaterialien in den Containern aus Massivholz und Holz-Lehm trugen zu einer besseren Aufmerksamkeit und Reaktionszeit bei. Versuchsteilnehmer beurteilten ihr Wohlbefinden und die Luftqualität in den Massivholz- und Holz-Lehm-Containern besser als in den Stahlcontainern. (Stratev D. und Weigl 2015)

Zusammenfassung Medizin

Nach Vergleich der Studien (siehe Tabelle im Anhang 4) wird ersichtlich, dass umfassende Angaben bzgl. Holzart, Herkunft, Alter, Lagerung und Transportbedingungen bei weiteren Studien unbedingt mitberücksichtigt werden müssen. Die klimatischen Bedingungen sollten an die Prüfkammermethoden angepasst werden. Wenn Sie von diesen abweichen, müssen Angaben über die Abweichungen gemacht werden. Bei Anzahl und Auswahl der Teilnehmer sollte auf weibliche und männliche Probanden zurückgegriffen werden. Das Alter muss angegeben werden und eine Einordnung bzgl. Biophilie (Bezug zur Natur und natürlichen Baustoffen) sollte im Vorfeld bei den Probanden stattfinden. Es sollten Probanden mit einem niedrigen als auch mit einem hohen Biophiliegrad ausgewählt werden. Bei der Versuchsanordnung sollte in jedem Fall ein Kreuzversuch geplant werden. Parallel zu allen Untersuchungen sollte jeweils die VOC-Konzentration gemessen werden.

12.4 Kategorie: Material / Konstruktion

In der Kategorie Material / Konstruktion wurden folgende Parameter bzgl. ihrer Auswirkungen auf das Innenraumklima und die gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen untersucht:

- Hygiene
- Hygroskopizität
- Diffusion
- Systemaufbau

Hygiene

Auf Grund von Befürchtungen Holz in der Lebensmittelverarbeitung zu verwenden wurden in einer Studie am Departement Umweltsystemwissenschaften an der ETH Zürich von Gehrig Holzbretter und PE-Bretter mit E. coli-Bakterien kontaminiert und die Koloniebildung beobachtet. Die Ergebnisse zeigten bei feuchten Brettern einen gleich hohen Anteil an Bakterien, der auch durch maschinelles Waschen kaum reduziert werden konnte. Bei trockenen Brettern wurden auf den Holzbrettern deutlich weniger Bakterien gezählt als auf den PE-Brettern. Bei Brettern die einen Monat in Gebrauch waren und deutliche Schnittspuren aufwiesen verringerte sich diese Anzahl sogar noch, da die poröse Oberfläche des Holzmaterials den Keimen schlechtere Wachstumsbedingungen bietet. (Gehrig et al. 2000)

Eine weitere Studie an der Holzforschung der TU München (Schulte et al. 2006a) untersuchte die Eindringtiefe von Bakterien bei unterschiedlichen Holzarten, sowie quer- und längsgeschnittenen Brettern. Die Ergebnisse zeigten, dass mikrobicide Holzinhaltsstoffe bestimmter Holzarten eingedrungene Bakterien abtöten konnten. Hier erwies sich Eiche am resistentesten gegen Bakterien im Vergleich zu Ahorn, Teak, Buche und Hainbuche. Die Eindringtiefe war bei Querschnitten erheblich tiefer als bei Längsschnitten. (Prechter et al. 2002)

Die Studie von Schulte untersuchte am Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene in Freiburg unbehandelte Holzoberflächen in Patientenzimmern von Krankenhäusern. Da die meist verwendeten Oberflächen in Krankenhäusern oft kalt, spiegelnd und abweisend wirken und akustisch zu hohen Geräuschpegeln führen. Hier zeigte sich ein schnelleres Absterben von krankenhaustypischen Keimen bei der Verwendung von Kiefernkerneholz als Oberflächenmaterial gegenüber Kunststoff-Oberflächen. Sinnvollerweise werden allerdings Oberflächen nur in Bereichen mit geringem Verschmutzungsrisiko eingesetzt, da die Desinfektion unbehalteter Holzoberflächen gegenüber versiegelten Flächen deutlich schwieriger ist (Schulte et al. 2006b). Die Ergebnisse zeigten allerdings auch, dass nur dem Kiefernkerneholz und der Eiche antibakterielle Eigenschaften zugewiesen werden können (Fürst D. 2007).

Hygroskopizität

Bei den oben genannten Studien war die Hygroskopizität von Holz jeweils die ausschlaggebende Eigenschaft um die positiven Ergebnisse zu erzielen. Teischinger untersuchte bereits 1989 die kurzfristige Pufferwirkung von Holzoberflächen bzgl. Schwankungen der Raumlufffeuchte. Die Ergebnisse zeigten, dass unbehandelte Holzoberflächen aufgrund ihrer Sorptionsfähigkeit die Feuchtebelastungen in Innenräumen senken können und somit zur Behaglichkeit beitragen. Allerdings wurde auch aufgezeigt, dass nur die oberflächennahen Schichten hinsichtlich einer solchen Pufferung wirksam werden, sofern keine Perforation der Oberfläche stattfindet. (Teischinger 1989)

Diffusion

Das Diffusionsverhalten von 25 verschiedenen Baumaterialien wurde von der Holzforschung Austria getestet (siehe Abschnitt 12.2 Sorption/Diffusion). Es wurde untersucht wie durchlässig die

Materialien hinsichtlich typischer VOC-Konzentrationen sind. Es wird vermutet, dass eine Barrierewirkung von Materialien höchstwahrscheinlich von Eigenschaften wie Dicke, Dichte und Porosität sowie über die Verarbeitung (Partikel und Größe) abhängig ist (Niedermayer et al. 2013). Weitere Untersuchungen darüber wieviel der VOC-Konzentrationen aus verschiedenen Konstruktionsaufbauten in den Innenraum gelangt und wie die genauen Abhängigkeiten der Materialeigenschaften und der Emissionsmengen sich verhalten soll im Folgeantrag zu HOMERA untersucht werden.

Systemaufbau

Der Systemaufbau spielt eine Rolle bezüglich der Auswirkungen von Holz und Holzwerkstoffen auf den Innenraum, da man sehr unterschiedliche Konstruktionen im Holzbau verwendet und viele unterschiedliche Schichten auf den Innenraum eine Auswirkung haben (im Gegensatz zum monolithischen Massivbau). Zum einen entstehen aus verschiedenen einzelnen Emissionen Kombinationen, die noch nicht berücksichtigt werden können. Zum anderen können die in der Prüfkammer gemessenen Emissionen der verschiedenen Materialien in allen Konstruktionsschichten nicht einfach addiert werden, um damit die tatsächlich vorhandene Konzentration vorherzusagen, die im fertiggestellten Raum dann gemessen wird. Ebenso können nicht die direkt an den Innenraum angrenzenden Materialien als Grundlage genommen werden. (Auhuber 2016) Die Barrierefunktion der einzelnen Schichten soll im Folgeantrag zu HOMERA untersucht werden.

Zusammenfassung Material / Konstruktion

Die bisherigen Studien zeigen, dass Holz aufgrund seiner hygroskopischen Eigenschaften und seiner Inhaltstoffe (bei Kiefernkernholz und Eiche) gute Voraussetzungen für ein gesundes Raumklima schaffen kann und keine Bedenken hinsichtlich Hygiene bestehen, sofern der Einsatz in Bereichen stattfindet, die ein geringes Verschmutzungsrisiko darstellen. Die Möglichkeit VOC-Konzentrationen bereits durch den Herstellungsprozess von Brettsperrholz zu reduzieren wird aktuell in einer Studie der TU Wien untersucht. Die Barrierefunktion in Bezug auf Diffusion der VOC-Konzentration und Gerüche der einzelnen Konstruktionsschichten ist bislang nicht geklärt und soll im Folgeantrag zu HOMERA untersucht werden.

12.5 Kategorie: Wahrnehmung

In der Kategorie Wahrnehmung wurden folgende Parameter bzgl. ihrer Auswirkungen auf das Innenraumklima und die gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen untersucht:

- Ästhetik
- Haptik
- Behaglichkeit
- Sichtbarer Holzanteil
- Materialpräferenz

Ästhetik

In der Studie an der BOKU Wien wurde die ästhetische Wirkung von Holzoberflächen untersucht. Hierfür wurden von Ahorn, Buche, Esche, Fichte, Kirsche und Nussbaum Holzfarbe und Textur getrennt voneinander beurteilt. Bei Farbe wurde Kirsche am positivsten beurteilt, bei Farbe und Textur war es die regelmäßige Fichte. Es zeigte sich allerdings auch, dass die Wechselwirkung von beidem ausschlaggebend ist. Die Textur stellt das wichtigste Kriterium dar, da die Holzfarbe alleine als künstlich empfunden wird. Es bedarf der richtigen Ausgewogenheit von Unregelmäßigkeiten (wie z.B. Ästen) um als ästhetisch empfunden zu werden. Es muss ein gewisses Maß an Harmonie und Aktivität vorhanden sein. (Ebner 2011)

Haptik

In der Studie am Shizuoka Industrial Research Institute von Sakuragawa wurde die Haptik von verschiedenen Holzoberflächen, Kunststoff und Aluminium untersucht, in dem die Probanden ohne Blickkontakt die Oberflächen mit verschiedenen Temperaturen berührten. Der Kontakt mit Holz wurde als „sicher/angenehm“ und „grob/natürlich“, der mit den anderen Werkstoffen als „kalt/unnatürlich“ empfunden (siehe auch Abschnitt 12.3. Medizin Cortisol /Blutdruck) (Sakuragawa et al. 2008)

Kotradyova untersuchte an der STU Bratislava die haptische Behaglichkeit mit Hilfe eines Stuhltyps, der mit unterschiedlichen Materialien für Sitzfläche und Rückenlehne ausgestattet wurde. Getestet wurde Fichte, Buche, Kunststoff und Aluminium. Probanden sollten den Kontaktkomfort beurteilen. Die Materialien wurden mit Materialkennwerten wie Wärmeleitfähigkeit, Rohdichte und Härtegrad hinterlegt und es zeigte sich, dass auch hier durch die geringe Wärmeleitfähigkeit von Holz die Holzoberflächen als warm, weich und mit gutem Sitzkomfort eingestuft wurden. Nadelholz wurde bei den behandelten Holzarten besser bewertet als Laubholz, was auf den Härtegrad zurückgeführt werden könnte. Ebenfalls besser wurden unbehandelte Oberflächen als behandelte eingestuft. Unbehandelte Oberflächen wirkten authentischer als behandelte was zu einer besseren Bewertung führte. (Kotradyova 2013)

Behaglichkeit

Unter dem Begriff Behaglichkeit ist hier nicht allein die hygrothermische Behaglichkeit gemeint. In verschiedenen Studien wurde parallel zu jeweils anderen Faktoren mit Hilfe von Fragebögen subjektives Wohlbefinden, Behaglichkeit und empfundene Luftqualität bei den Probanden abgefragt. (Zingerle et al. 2015; Fell 2010; JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH o.J.)

In der Studie des Joanneum Research Institut (heute Human Research Institut) wurden Probanden in einem Versuchsraum mit Naturholzausstattung aus Fichte und einem Referenzraum mit Fichtenimitatausstattung einem mentalen Test unterzogen. Die Probanden fühlten sich im Naturholzraum subjektiv weniger mental beansprucht als im Imitatraum (siehe auch Abschnitt 12.3 Medizin Herz /Kreislauf). (JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH o.J.)

In der Studie BIGCONAIR der Holzforschung Austria beurteilten Probanden ebenfalls ihr subjektives Wohlbefinden und die Luftqualität in den Massivholz- und Holz-Lehm-Containern besser als in den Stahlcontainern (siehe auch Abschnitt 8.3 Medizin Aktiviertheit). (Stratev D. und Weigl 2015)

In der Studie von Fell an der University of British Columbia in Vancouver war das Stressempfinden von Studenten in Räumen mit Holz Ausstattung geringer als in Räumen ohne Holz oder in Räumen, die ohne Holz aber mit Pflanzen ausgestattet waren (siehe Abschnitt 12.3 Medizin Hautleitfähigkeit). (Fell 2010)

In der Studie von Boulet an der University of Savoy in Bordeaux wurde die subjektiv empfundene hygrothermische Behaglichkeit von Holzhausbewohnern abgefragt und parallel dazu die Raumlufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Oberflächentemperatur der Wände und Böden gemessen. Es zeigte sich, dass auch die Bewertung der thermischen Behaglichkeit von den Probanden bei Räumen mit Holzoberflächen positiver war als bei anderen Materialien. (Boulet, S., Achard, G. o.J.)

Sichtbarer Holzanteil / Materialpräferenz

Tsunetsugu untersuchte am Department of Wood, Forestry and Forest Products Research Institute in Ibaraki, ob der Anteil von Holzoberflächen in Räumen sich auf das Wohlbefinden von Probanden auswirkt. Die Ergebnisse zeigten, dass Räume in denen kein Holz verwendet wurde, als „künstlich“ beurteilt wurden. Dagegen wurden Räume mit einem Anteil von ca. 45 % Holz als „angenehm“ und „natürlich“ bewertet. Ein Raum mit zu großem Holzanteil führte jedoch dazu, dass die Personen müde wurden und nach einer bestimmten Zeit aufhörten Informationen zu sammeln. (Tsunetsugu et al. 2002)

In einer weiteren Studie am Norwegian Institute of Wood Technology wurde der sichtbare Holzanteil in Patientenzimmern abgefragt. Auch hier zeigte sich die Bevorzugung eines mittleren Anteils von Holz als Oberflächenmaterial. Keine Holzoberflächen wurden weniger favorisiert. Eine komplette Ausstattung mit Holz wurde am schlechtesten bewertet. (Nyrud et al. 2010)

Zusammenfassung Wahrnehmung / Psychologie

Trotz der insgesamt sehr positiven Ergebnisse für mit Holz ausgestatteten Innenräumen ist bei den Studien nicht sichergestellt, ob ein repräsentativer Querschnitt an Probanden ausgewählt wurde. Alter, Geschlecht und Anzahl waren sehr unterschiedlich in den einzelnen Studien. Es wurde in keiner Studie bislang ein Biophiliegrad hinterlegt, um Ergebnisse objektiv zu bewerten, ob die Probanden einen großen Bezug zu Naturbaustoffen zu haben oder nicht. In weiteren Studien muss ebenfalls eine Aussage über Holzart, Alter und über VOC-Emissionen und Geruch stattfinden, damit zwischen visuellen, taktilen und sensorischen Beeinflussungen unterschieden werden kann.

12.6 Zusammenfassung Auswertung aktueller Studien

Der Vergleich der Studien innerhalb der einzelnen Kategorien und im Gesamtüberblick zeigt, dass eine Harmonisierung der einzelnen Disziplinen und Studien erforderlich ist. Angaben über Holzart, Alter, Herkunft und Transportbedingungen sind in jedem Fall aufzulisten. Die klimatischen Randbedingungen wie Raum-, und Oberflächentemperatur, Raumlufffeuchte und Luftwechsel sollten denen der Prüfkammernmessungen nach DIN EN 717:2005, DIN EN ISO 16000-9:2008 und E DIN EN 16516:2015 entsprechen und ebenfalls aufgeführt werden. Die Probandenwahl sollte einen repräsentativen Querschnitt darstellen. Da die Studien unterschiedliche Ergebnisse bei Frauen und Männern aufzeigten, sollte dies berücksichtigt werden. Zusätzlich sollte im Vorfeld der Biophiliebezug geklärt werden, um auch hier einen repräsentativen Querschnitt von Probanden auszuwählen. Um wissenschaftlich belastbare Aussagen treffen zu können, müssen Kreuzversuche durchgeführt werden, um auszuschließen, dass individuelle körperliche Voraussetzungen der Probanden die Ergebnisse beeinflusst haben. Die Metastudie stellt eine Zusammenfassung von Studien dar, die bis Juli 2017 abgeschlossen und veröffentlicht wurden.

13 Forschungsbedarf

Um weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren und eine Akzeptanzerhöhung der Forschungsergebnisse aktuell und in Zukunft zu erreichen wurden einzelne Interviews mit Vertretern aus Materialwissenschaft, Medizin, Toxikologie, Umweltanalytik, Psychologie und mittelständischen Unternehmen durchgeführt (siehe Anhang 5 Forschungsgruppe). Im Rahmen eines Workshops am 16.01.2016 wurden mit diesen Vertretern Schlüsselfaktoren aller Parameter (siehe Abbildung 13-1), welche in Abschnitt 12 erläutert wurden, identifiziert. Die mit orange markierten Faktoren wurden als Schlüsselfaktoren und somit wichtigste Untersuchungsparameter für zukünftige Studien identifiziert.

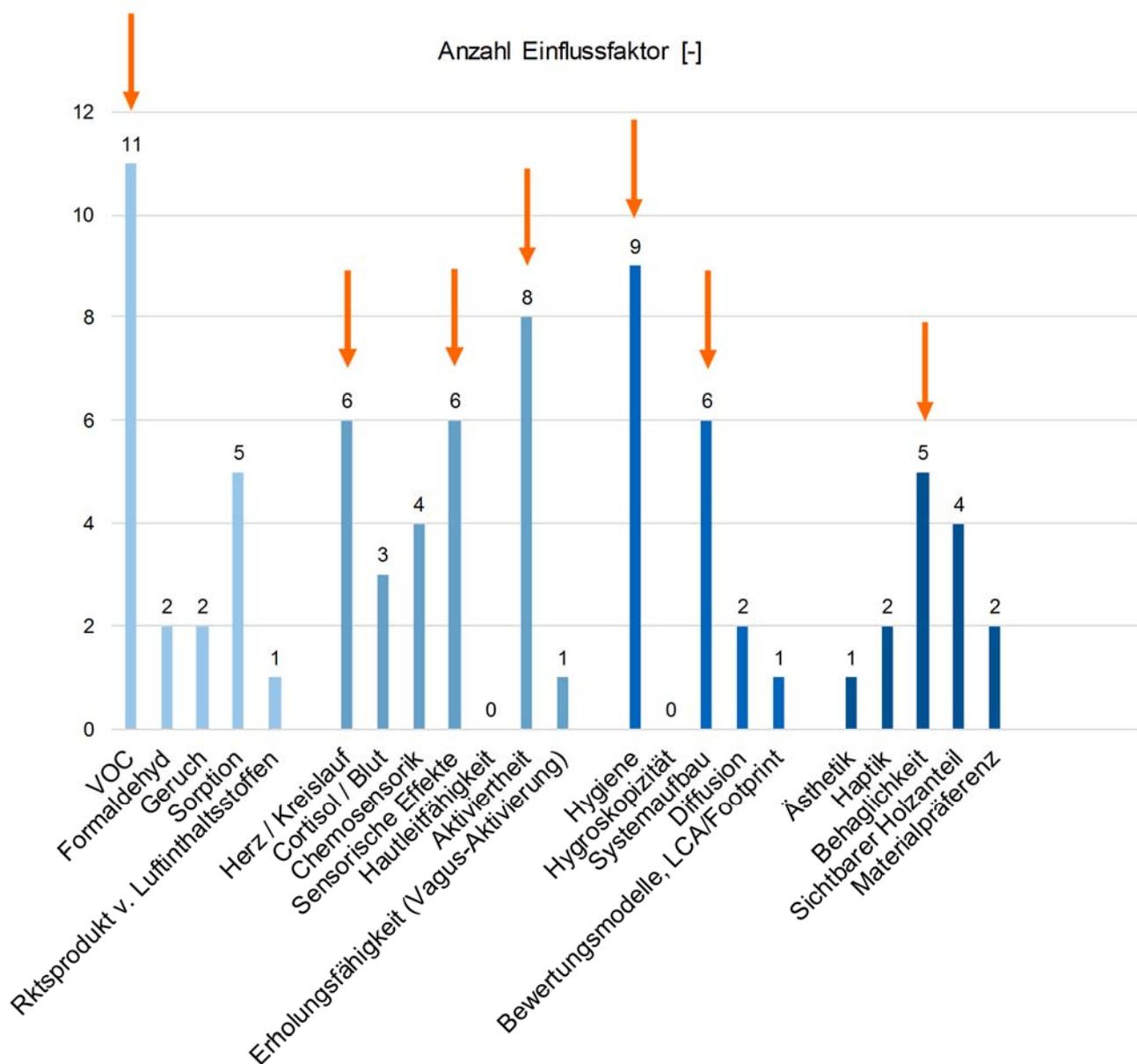


Abbildung 13-1: Auswahl der Schlüsselfaktoren unter allen Parametern

Trotz positiver Ergebnisse bzgl. der gesundheitlichen Auswirkungen von Holz auf das Innenraumklima und den Menschen fand bisher keine Harmonisierung der verschiedenen Studien und Disziplinen (Material, Konstruktion, Medizin und Psychologie) statt. Dadurch finden die einzelnen Studien wenig Gehör und bleiben angreifbar. Um wissenschaftlich belastbare Aussagen treffen zu können muss eine Harmonisierung und Zusammenarbeit der unterschiedlichen Disziplinen bei diesbezüglichen Untersuchungen stattfinden.

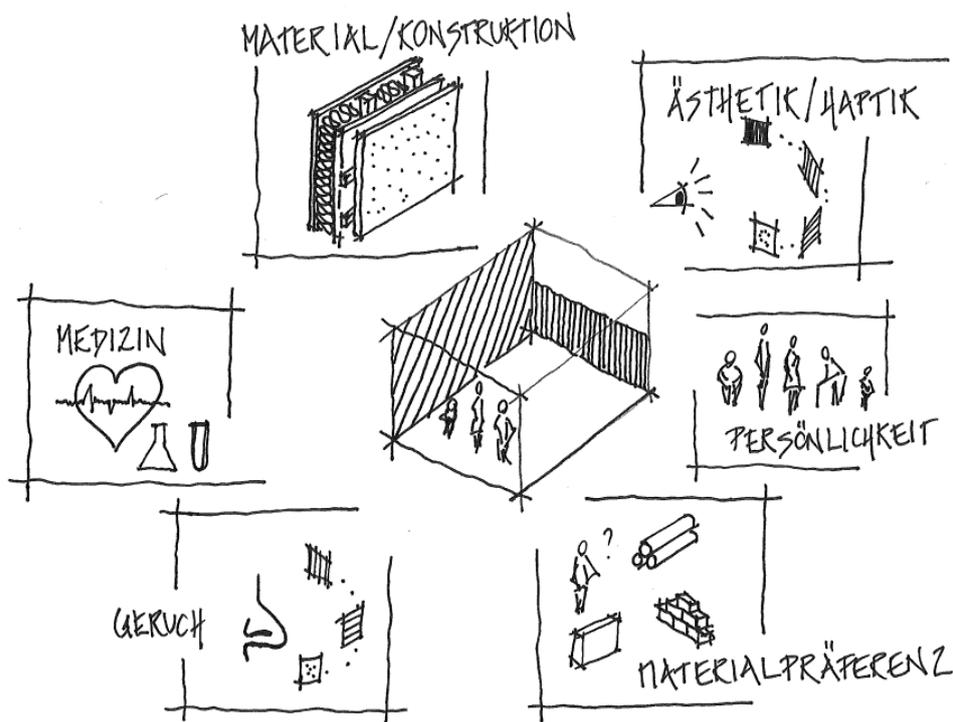


Abbildung 13-2: Erforderliche Harmonisierung der verschiedenen Themenbereiche / Disziplinen für eine Verbundstudie zur gesundheitlichen Interaktion von Holz, Mensch und Raum

Zusammen mit der Disziplin Medizin wurde ein Folgeantrag ausgearbeitet. Noch nicht geklärte Fragen sollen hinsichtlich Material / Konstruktion im Bereich des Systemaufbaus beantwortet werden. Aussagen bzgl. Filter- oder Barrierefunktionen unterschiedlicher Materialabfolgen innerhalb eines mehrschichtigen Aufbaus liegen noch nicht vor. Gemessene VOC-Emissionen sollen parallel hierzu bezüglich der gesundheitlichen Auswirkung der Emissionen auf menschliche Zellkulturen bewertet werden.

In Form einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe aus den verschiedenen Disziplinen und sowohl aus Forschung als auch Praxis soll die Forschungsgruppe aus den verschiedenen Disziplinen weiterhin im Austausch bleiben, um die gesundheitlichen Auswirkungen der Verwendung von Holz im Innenraum hinsichtlich aller Faktoren, die für die Gesundheit und das Wohlbefinden ausschlaggebend sind, zu untersuchen. Im Folgeantrag zu HOMERA sollen zusammen mit den

einzelnen Disziplinen der projektbegleitenden Arbeitsgruppe die Voraussetzungen für eine interdisziplinäre Verbundstudie geschaffen werden.

Die Verknüpfung von Praxis und Forschung muss weiter aufrechterhalten werden. Im Rahmen einer Bachelorarbeit an der TU München wurde eine Nutzerbefragung durchgeführt, um mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Verwendung von Holzbauteilen im Innenraum und subjektive Erfahrungen in einem Wohnumfeld in Holzbauweise abzufragen. Hierfür wurden 748 Haushalte aus Gebäuden in Holzbauweise befragt, 282 Antworten konnten erfolgreich eingeordnet und ausgewertet werden (Meyer 2016). Diese Arbeit fand in Zusammenarbeit mit der Firma Baufritz GmbH & Co.KG statt, die Wohngesundheit als festen Bestandteil ihrer Firmenphilosophie ansehen. Mit der Arbeit wird ein Feedback geschaffen, ob Bewohner der Gebäude nach einer Nutzungsdauer von bis zu 10 Jahren die Erfahrung mit der Wohngesundheit in ihren Häusern positiv bewerten. Die Befragung zeigte bei 23% eine Verbesserung ihrer Beschwerden und bei 72% eine Verbesserung der empfundenen Raumluftqualität im Vergleich zu ihrem Arbeitsplatz oder dem bisherigen Wohnumfeld.

14 Fazit und Ausblick

Die Vorstudie HOMERA lässt sich folgt zusammenfassen:

Emissionsmessungen in Prüfkammern zur Messung von Emissionen aus Bauprodukten können nicht unmittelbar auf zu erwartende Ergebnisse aus Innenraumluftmessungen (reale Verhältnisse) übertragen werden. Messungen von Emissionen aus Bauprodukten dienen der Orientierung und dem Vergleich untereinander, jedoch können sie kein zu erwartendes Messergebnis liefern. Für eine Einschätzung der Innenraumluftqualität ist eine Innenraumluftmessung vor Ort aussagekräftiger als Einzelmessungen der einzusetzenden Bauprodukte. Die Schadstoffbelastung im Innenraum ist sehr vom Emissionsabklingverhalten der Werkstoffe abhängig. Dieses wird wesentlich durch äußere Faktoren, wie etwa das Raumklima und den Luftwechsel, beeinflusst. Diese zwei Parameter werden in einer Kammer so gut wie möglich nachgeahmt. Jedoch tragen zusätzlich noch die Außenluftqualität, die eingesetzten Inneneinrichtungsgegenstände, sowie das allgemeine Nutzerverhalten wesentlich zur aktuellen Raumluftqualität bei, was bei einer Prüfkammermessung vernachlässigt wird.

Bewertungsschemata dienen als Leitfäden und als Empfehlungen, können jedoch aufgrund fehlender rechtlicher Grundlage nicht zu einer justiziablen Verbindlichkeit führen. Die hierbei zur Orientierung ausgerichteten Leitwerte von Summenkonzentrationen werden ohne weitere Hinterfragung auf den Wert genau herangezogen. Richtwerte einzelner Substanzen werden als Grenzwerte definiert und verstanden. Bauherren und Planer sind gezwungen sich mit gesundheitsverträglichen bzw. emissionsarmen Bauprodukten bereits in der Planung auseinanderzusetzen. Klare Zielformulierungen können bereits in den Ausschreibungen festgehalten werden.

Innerhalb der Beurteilung von Bauprodukten ist derzeit eine Verschärfung der gesetzlichen Rahmenbedingungen zu erkennen. Die Entwicklung Prüfmethode und Produktkennzeichnung normativ und gesetzlich innerhalb Europas zu standardisieren, stellt die Basis einer homogenen, gleichwertigen Diskussion dar. Die horizontale Prüfnorm für Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen als homogenisierte Messmethodik liegt bereits als Entwurf der EN 16516 vor und muss anschließend in der Produktnormung umgesetzt werden. Ein Entwurf für ein europäisches Bewertungssystem mit Emissionsklassen wird bearbeitet und vom Holzbausektor kritisch verfolgt. Gleichzeitig wurde auf nationaler Ebene das bisher zur Orientierung geltende AgBB-Bewertungssystem in die MVV TB und somit in den baurechtlichen Rahmen miteingeschlossen. Die sich daraus ergebende Konsequenzen sind selbst unter den Experten noch unklar. Eine zwingende Deklaration von Bauprodukten bezüglich ihrer Emissionsanteile an VOC, Formaldehyd und SVOC kommt.

Viele Informationen in Bezug auf Holzbauprodukte und ihren Emissionswerten sind bereits vorhanden. Die Frage nach ihrer gesundheitlichen Interaktion in Bezug auf den Menschen ist noch nicht geklärt. Auf der Basis des aktuellen wissenschaftlichen Forschungsstandes ist sich die interdisziplinäre Forschungsgruppe einig, dass eine Bewertung und Klassifizierung von Emissionen

aus Holz und Holzwerkstoffen derzeit noch nicht beantwortet bzw. möglich ist und Aufklärungsbedarf besteht.

Bewertungen beinhalten reine Einzelwert- und Summenbetrachtungen und berücksichtigen keine kombinatorischen Wirkungen und Wirkungen im Niedrig-Dosisbereich. Die Betrachtung von Summenkonzentrationen kann helfen, in einem ersten Schritt festzustellen, ob erhöhte Einzelsubstanzkonzentrationen vorliegen können. Sie gibt jedoch keinen Aufschluss auf Art und Anteile einzelner Verbindungen und deren toxikologischen Charakter. Qualität und Quantität holznatürlicher Emissionen insbesondere in Bezug auf ihre gesundheitliche Wertigkeit und ihre Differenzierung von wesentlich kritischeren Substanzen muss berücksichtigt werden.

Die bislang durchgeführten Studien zeigten keine negativen Auswirkungen von Holz im Innenraum auf Menschen und deren Gesundheit. In realen Räumen wurde der Einsatz von Holz positiver bewertet als Referenzräume anderer Materialien. Die Verwendung von Holz und Holzoberflächen wurde jeweils mit den Begriffen behaglich, angenehm, warm und guter Raumluftqualität beschrieben. Mentale und körperliche Tests zeigten bessere Ergebnisse in Räumen, die mit Holz ausgestattet waren. Dennoch wurde immer wieder beanstandet, dass die Studien jeweils nur einzelne Aspekte untersuchten, Ausgangslage und genaue Materialangaben sehr unterschiedlich waren oder die Probandengruppen keinen repräsentativen Querschnitt bilden. Um Gehör bei Nutzern, Planern und der Politik zu finden sind Verbundstudien der verschiedenen Disziplinen notwendig.

Zusammen mit der Forschungsgruppe und dem Folgeantrag zu HOMERA soll hier ein erster Grundstein gelegt werden.

Im Bereich Material / Konstruktion soll der Parameter des Systemaufbaus an der TU München (TUM) untersucht werden. Filter- und Barrierefunktionen der verschiedenen Materialschichten der Konstruktionsaufbauten sollen bzgl. ihrer Wirkung auf VOC-Emissionen untersucht werden. Die zahlreichen Materialkombinationen des Holzbaus bedürfen einer Kategorisierung bzgl. der jeweils zu erwartenden Zusammensetzung und Konzentrationen an VOC-Emissionen. Das Folgevorhaben soll einerseits ermöglichen, die tatsächlich aus mehrschichtigen Aufbauten in die Innenraumluft emittierenden Stoffe zu charakterisieren und zu quantifizieren und andererseits konstruktive Lösungen / Stellschrauben für die Menge an Emissionen, die in den Raum gelangen, zu finden.

Da luftgetragene Stoffe i.d.R. primär mit dem Geruchssinn wahrgenommen werden, soll darüber hinaus die olfaktorische Detektierbarkeit verschiedener VOCs in Abhängigkeit ihrer Konzentration geprüft werden. Bislang ist nicht geklärt, ob eine Korrelation zwischen VOC-Emissionen unterschiedlicher Holzprodukte (z.B. aufgrund ihrer Herkunft) und der Intensität der Geruchswahrnehmung besteht. In Bezug auf biologischen Fragestellungen sollen am Universitätsklinikum Freiburg (UKLFR) und am Helmholtz Zentrum München (HMGU-MEX) Schlüsse auf mögliche adverse und / oder chemopräventive Effekte der aus den Holzaufbauten freigesetzten Emissionen gezogen werden.

Im Folgevorhaben zu HOMERA - einem Kooperationsprojekt mit Universitätsklinikum Freiburg (UKLFR) und Helmholtz Zentrum München (HMGU-MEX) - sollen mit der projektbegleitenden Arbeitsgruppe die Voraussetzungen für eine europäische Verbundstudie mit weiteren Themenbereichen geschaffen werden. Es soll eine Auswahl und Eingrenzung der zahlreichen Materialien und Kombinationsmöglichkeiten erfolgen. In einer europäischen Verbundstudie können daraufhin an einer repräsentativen Probandengruppe unter realen Raum- und Lebensbedingungen mehrere Messreihen durchgeführt werden.

15 Literaturverzeichnis

AgBB (2015a): AgBB Schema 2015 Änderungen und Ergänzungen. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/aenderungen_und_ergaenzungen_im_agbb-schema_2015.pdf, zuletzt geprüft am 29.11.2016.

AgBB (2015b): Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VVOG, VOG und SVOC) aus Bauprodukten. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/agbb-bewertungsschema_2015_2.pdf, zuletzt geprüft am 13.04.2017.

AgBB (2017): Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. Hg. v. UBA. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-zur-gesundheitlichen-bewertung-von>, zuletzt aktualisiert am 03.01.2017, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

AGÖF (2013): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Fassung 28.11.2013. Hg. v. Energie- und Umweltzentrum. Springe-Eldagsen. Online verfügbar unter www.agoef.de.

Auhuber, M. (2016): Prüfung der Anwendbarkeit von Planungsinstrumenten zur Abschätzung der Emissionen aus verwendeten Baumaterialien und deren Einfluss auf die Raumluftqualität. nicht veröffentlichte Masterarbeit, zitiert mit Einverständniserklärung des Studierenden. Technische Universität München, München. Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion.

Bachmann, P.; Lange, M. (Hrsg.) (2013): Mit Sicherheit gesund bauen. Fakten, Argumente und Strategien für das gesunde Bauen, Modernisieren und Wohnen. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Bauministerkonferenz (2016): Entwurf Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. E MVV TB, vom 20.07.2016. Online verfügbar unter <https://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>, zuletzt geprüft am 19.04.2017.

Bauministerkonferenz (2017): Entwurf Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. E MVV TB, vom 31.05.2017. Online verfügbar unter <https://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>, zuletzt geprüft am 10.07.2017.

BMUB (2011): EU-Bauproduktenverordnung - Verordnung zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten. EU-BauPVO. BMUB. Online verfügbar unter <http://www.bmub.bund.de/themen/bauen/bauwesen/gesetzgebung-und->

leitfaeden/bauproduktenrecht/eu-bauproduktenverordnung/, zuletzt aktualisiert am 09.03.2011, zuletzt geprüft am 25.04.2017.

Boulet, S., Achard, G. (o.J.): Study of the impact of wood material on hygrothermal comfort via an objective and subjective evaluation of indoor environment. FCBA, Department of Study and Research, Bordeaux; Laboratory of LOCIE, University of Savoy. Bordeaux.

Building ecology (2017): European Collaborative Action on Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure Reports. Hg. v. Building ecology. Online verfügbar unter <http://www.buildingecology.com/iaq/useful-publications/european-collaborative-action-on-urban-air-indoor-environment-and-human-exposure-reports-1/>, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

CEN (2017): CEN/TC 351 - Construction Products - Assessment of release of dangerous substances. Work Programm. EN 16516:2017. Online verfügbar unter https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_LANG_ID:41188,25&cs=1E9A5B2966D127EB68BAB064FA6486AC7, zuletzt geprüft am 12.07.2017.

COST (2017): COST Actions. EU. Online verfügbar unter http://www.cost.eu/COST_Actions, zuletzt aktualisiert am 02.07.2017, zuletzt geprüft am 07.07.2017.

Crump, D.; Däumling, C.; Brouwere, K.; Harrison, P.; Scutaru, A. M.; Wolkoff, P. (2016): Health-based evaluation of chemical emissions to indoor air from construction products. Development and application of the EU-LCI harmonisation framework. In: *Indoor Air*.

DG/CORDIS/UNIT (1992): Environmental Chemicals; Indoor Air Pollution, 1988-1991. Publication Office/CORDIS. Online verfügbar unter http://cordis.europa.eu/project/rcn/19271_en.html, zuletzt aktualisiert am 13.04.1992, zuletzt geprüft am 18.05.2016.

DG/GROW/UNIT (2017a): About us - Growth - European Commission. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/growth/about-us_en, zuletzt aktualisiert am 17.07.2017, zuletzt geprüft am 17.07.2017.

DG/GROW/UNIT (2017b): EU-LCI Working Group. Welcome to the EC Subgroup on EU-LCI Values web pages. Hg. v. DG/COMM/UNIT. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci_de, zuletzt aktualisiert am 29.06.2017, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

DGfH (Hg.) (1998): Wohngesundheit im Holzbau. Bonn: Informationsdienst Holz.

DIBt (2010): Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen, vom Oktober 2010 41 (5), S. 209–248.

Dommaschk, N. (2017): Ableitung und Harmonisierung von NIK/LCI Werten und ihre Bedeutung im bauaufsichtlichen Verfahren. WKI Workshop "Emissionsarme Bauprodukte und Wohngesundheit". Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). Fraunhofer WKI, 23.02.2017.

Draeger, U.; Kirchner, D.; Wurbs, J.; Glöckner, M.; Wiens, U.; Ilvonen, O. (2012): Prüfnormen zur Bestimmung der Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten. Europäische Harmonisierung erreicht die Zielgerade. Bauproduktenormen. In: *DIN-Mitteilungen* 91 (02), S. 19–27.

Ebner, G. (2011): Ästhetische Wirkung von Holzoberflächen. Bachelorarbeit. BOKU, Wien. Wood Science and Technology.

EC (2014): Dangerous substances in construction products. Register of Commission expert groups and other similar entities. Hg. v. DG/COMM/UNIT. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetail&groupID=1328>, zuletzt aktualisiert am 15.05.2014, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

EC (2015): Draft Mandate. Subgroup of the Advisory Group European LCI-Values, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

EC (2017): Advisory Group on Construction Products. Hg. v. DG/COMM/UNIT. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetail&groupID=1329>, zuletzt aktualisiert am 03.05.2017, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

ECA (1989): Indoor Air Quality & its Impact on Man. Report No.2, Formaldehyde emission from wood based materials - Guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers. Hg. v. Office for Publications of the European Communities. Joint Research Centre (JRC). Luxembourg (EUR 12196 EN).

ECA (1990): Indoor Air Quality & its Impact on Man. Report No.7, Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries. Hg. v. Office for Publications of the European Communities. Joint Research Centre (JRC). Luxembourg (EUR 13216 EN).

ECA (1997a): Indoor Air Quality & its Impact on Man. Report No.18, Evaluation of VOC Emissions from Building Products - Solid Flooring Materials. Hg. v. Office for Official Publications of the European Communities. Joint Research Centre (JRC). Luxembourg (EUR 17334 EN).

ECA (1997b): Indoor Air Quality & its Impact on Man. Report No.19, Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. Hg. v. Office for Official Publications of the European Communities. Joint Research Centre (JRC). Luxembourg (EUR 17675 EN).

ECA (2005): Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure. Report No 24, Harmonisation of indoor material emissions labelling systems in the EU. Inventory of existing schemes. Hg. v.

Office for Official Publications of the European Communities. Joint Research Centre (JRC). Luxembourg (EUR 21891 EN).

ECA (2012): Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure. Report No 27, Harmonisation framework for indoor products labelling schemes in the EU. Hg. v. Publications Office of the European Union. Joint Research Centre (JRC). Luxembourg (EUR 25276 EN), zuletzt geprüft am 28.06.2016.

ECA (2013): Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure. Report No 29, Harmonisation framework for health based evaluation of indoor emissions from construction products in the European Union using the EU-LCI concept. Hg. v. Publications Office of the European Union. Joint Research Centre (JRC). Luxembourg (EUR 26168 EN). Online verfügbar unter http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83683/eca%20report%2029_final.pdf, zuletzt geprüft am 28.06.2016.

EU (2011): Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates - vom 9. März 2011 - zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. BauPVO; CPR. In: *Amtsblatt der Europäischen Union*.

EU-LCI (2016a): EU-LCI Master list, zuletzt aktualisiert am Dezember 2016, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

EU-LCI (2016b): EU-LCI value facts and information. Background of the values, how they're derived and applied. Hg. v. DG/GROW/UNIT. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values_en, zuletzt geprüft am 04.07.2017.

EU-LCI (2016c): The EU-LCI Working Group. Online verfügbar unter http://www.eu-lci.org/EU-LCI_Website/Home.html, zuletzt aktualisiert am 15.12.2016, zuletzt geprüft am 28.06.2017.

Eurofins Scientific (Hg.) (2016): eurofins. National Legislation in Europe. Online verfügbar unter <http://www.eurofins.com/consumer-product-testing/information/compliance-with-law/european-national-legislation/-with-law/european-national-legislation//french-regulation-on-voc-emissions/french-voc-regulation-german-version/>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2016, zuletzt geprüft am 13.07.2017.

Fell, D. (2010): Wood in the human environment. Restorative properties of wood in the built indoor environment. University of British Columbia, Vancouver.

Fischer, M.; Böhm, E.; Brenske, K. R. (1994): Erkennung und Bewertung von Schadstoffemissionen aus Möbellacken. Berlin: Schmidt (Schadstoffe und Umwelt, 12).

Fürhapper, C.; Habla, E.; Stratev, D.; Weigl, M. (2017): Konkurrenzfähige Materialien aus Holz für den Innenbereich und Systeme für moderne Holzkonstruktionen. Endbericht. Wien.

- Fürst D. (2007): Vergleichende Untersuchung der antimikrobiellen Wirksamkeit von sieben verschiedenen Hölzern. Dissertation. Albert-Ludwig-Universität, Freiburg. Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene. Online verfügbar unter [freidok.uni-freiburg.de › dnb/download/5156](http://freidok.uni-freiburg.de/dnb/download/5156).
- Gehrig, M.; Schnell, G.; Zürcher, E.; Kucera, L. J. (2000): Hygienische Eigenschaften von Holz- und Kunststoffbrettern in der Nahrungsmittelverarbeitung und -präsentation. Ein Vergleich. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* 58 (4), S. 265–269.
- Gesellschaft für Toxikologie (Hg.) (2017): Toxikologie. Was ist Toxikologie? Online verfügbar unter <http://www.toxikologie.de/toxikologie.html>, zuletzt geprüft am 09.10.2017.
- Gminski, R. (2017): Verbundvorhaben (FSP-Emissionen): Gesundheitliche Bewertung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten in Innenräumen mittels experimenteller toxikologischer Untersuchungen und humanbasierter Beobachtungen (GesundHOLZ). Projektkoordination und humantoxikologische Untersuchungen (2016-2019). Unter Mitarbeit von T. Tang. Institut für Umweltmedizin am Universitätsklinikum Freiburg, Fraunhofer-Institut für Holzforschung Braunschweig. Freiburg. Online verfügbar unter <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=22008714>, zuletzt geprüft am 04.10.2017.
- Gminski, R.; Kevekordes, S.; Marutzky, R.; Bürger, W.; Hauschke, D.; Mersch-Sundermann, S. (2011): Sensorische und irritative Effekte durch Emissionen aus Holz- und Holzwerkstoffen: eine kontrollierte Expositionsstudie. In: *Arbeitsmed.Sozialmed.Umweltmed.* (46), S. 459–468.
- Grote, V.; Lackner, H.; Muhry, F.; Trapp, M.; Moser, M. (2003): Evaluation der Auswirkungen eines Zirbenholzumfeldes auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation. Hg. v. JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH.
- Harrison, P.; Crump, D.; Kephelopoulos, S.; Yu, C.; Daumling, C.; Rousselle, C. (2011): Harmonised Regulation and Labelling of Product Emissions - A New Initiative by the European Commission. In: *Indoor and Built Environment* 20 (6), S. 581–583.
- Haumann, T. (2011): Fernlehrgang Baubiologie. Luft und Schadstoffe. Lehrheft 13. Hg. v. IBN Institut für Baubiologie und Nachhaltigkeit.
- Himmel, S. (2015): Formaldehyd in Holz und Holzwerkstoffen. Wirkmechanismen, Nachweis- und Vorhersagemethoden. Dissertation. Georg-August-Universität, Göttingen. Wood Biology and Wood Technology.
- Höllbacher, E. (2014): VOC aus Holzprodukten und deren Einfluss auf die Innenraumluftqualität. Projekt Fachverband der Holzindustrie. Hg. v. TU Wien. Online verfügbar unter http://www.vt.tuwien.ac.at/fileadmin/t/schulung/Srebotnik/Projekt_Fachverband_4_9_TU.pdf, zuletzt geprüft am 24.04.2017.

IARC (2006): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 88 Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Lyon, France, Geneva: International Agency for Research on Cancer; Distributed by WHO Press (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, v. 88). Online verfügbar unter <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/PDFs/>, zuletzt geprüft am 24.05.2016.

Ilvonen, O.; Kirchner, D. (2010): Europäische Harmonisierung der Prüfnormen für die Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten. Auf dem Weg zu einer CE-Kennzeichnung mit Emissionsklassen. In: *DIBt Mitteilungen* 41 (04), S. 151–158.

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH (Hg.) (o.J.): Naturholzbüro aus Südtiroler Bergfichte. Auswirkungen auf Konzentrationsleistung, Befinden und Beanspruchung sowie auf das vegetative Nervensystem. Unter Mitarbeit von M. Moser. Weiz.

JRC (2013): Indoor Air Quality - European Commission. National initiatives. Hg. v. DG/COMM/UNIT. Online verfügbar unter <http://indoor-air-quality.jrc.ec.europa.eu/eu-in-action/national-initiatives>, zuletzt aktualisiert am 22.02.2013, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

Kotradyova, V. (2013): Visuelle und haptische Authentizität der Holzoberfläche. Hg. v. 11. Internationales Branchenforum für Frauen IBF 2013. Meran.

Landesamt für Umwelt Rheinlandpfalz (o.J.): Schadstoffbelastungen in Innenräumen. Online verfügbar unter <https://lfu.rlp.de/de/arbeits-und-immissionsschutz/chemische-stoffe-in-der-raumluft/schadstoffbelastungen-in-innenraeumen/>, zuletzt geprüft am 24.07.2017.

Luftanalyse Zentrum (Hg.) (2017): Building Related Sickness. Online verfügbar unter <http://www.luftanalyse-zentrum.de/building-related-sickness>, zuletzt geprüft am 09.10.2017.

Manthey, A. (2016): Luftqualität im Innenraum - gut dank Holz? Start zweier Verbundvorhaben zu Emissionen von Holzprodukten. Unter Mitarbeit von M. Ohlmeyer, J. Gunschera, R. Gminski, C. van Thriel, T. Polte und F. Alessandrini. Forst - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Online verfügbar unter http://forst.fnr.de/service/presse/pressemitteilungen/aktuelle-nachricht/?tx_ttnews%5Byear%5D=2016&tx_ttnews%5Bmonth%5D=07&tx_ttnews%5Bday%5D=19&tx_ttnews%5Btt_news%5D=9236&cHash=82f6a20591ebbb3d51f29aab9867e43b, zuletzt aktualisiert am 19.07.2016, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

Markowicz, P.; Larsson, L. (2015): Influence of relative humidity on VOC concentrations in indoor air. In: *Environmental science and pollution research international* 22 (8), S. 5772–5779.

Marutzky, Rainer (2006): Formaldehyd - chemischer Grund- und Gefahrstoff. Sachstand und kritische Anmerkungen zur aktuellen Diskussion um die Einstufung als krebserzeugender Arbeitsstoff. In: *Holz-Zentralblatt*, 14.07.2006 (Nummer 28), S. 818.

- Meyer, P. (2016): Innenraumklima Holz - Auswirkungen von Bauprodukten aus Holz auf das Innenraumklima und die Gesundheit der Nutzer. nicht veröffentlichte Bachelorarbeit, zitiert mit Einverständniserklärung des Studierenden. Technische Universität München, München. Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion.
- Møhlhave, L.; Bach, B.; Pedersen, O. F. (1986): Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. In: *Environment International* 12 (1-4), S. 167–175.
- Møhlhave, L.; Grønkjær, J.; Larsen, S. (1991): Subjective reactions to volatile organic compounds as air pollutants. In: *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 25 (7), S. 1283–1293.
- Mücke, W. (Hrsg.) (2004): Innenraumbelastung durch flüchtige organische Verbindungen VOC. Projekt "Ermittlung und Vermittlung von Basisdaten zum umweltbezogenen Gesundheitsschutz" ; Tagung 15.10.03, Redoutensaal Erlangen. München: Herbert Utz Verlag (Toxikologie und Umwelthygiene).
- National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE) (Hg.) (2007): Chronic fatigue syndrome/myalgic encephalomyelitis (or encephalopathy): diagnosis and management diagnosis and management. Manchester (NICE Guideline).
- Niedermayer, S.; Fühapper, C.; Nagl, S.; Polleres, S.; Schober, K. P. (2013): VOC sorption and diffusion behavior of building materials. In: *Eur. J. Wood Prod.* 71 (5), S. 563–571.
- Nyrud, A.; Bysheim, K.; Bringslimark, T. (2010): Health Benefits from Wood Interior in a Hospital Room. Hg. v. Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee. Geneva.
- Ohlmeyer, M., Makowski M., Schöler M., Hasch J., Ulrich C. (2006): Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses, Grundlagenuntersuchung. Abschlussbericht des FNR-Verbundvorhabens. Hg. v. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft und Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg. Hamburg (2006/01). Online verfügbar unter <http://d-nb.info/1002176115/34>.
- Prechter, S.; Betz, M.; Cerny, G.; Wegener, G.; Windeisen, E. (2002): Hygienische Aspekte von Schneidebrettern aus Holz bzw. Kunststoff. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* 60 (4), S. 239–248.
- Risholm-Sundman, M.; Lundgren, M.; Vestin, E.; Herder, P. (1998): Emissions of acetic acid and other volatile organic compounds from different species of solid wood (Holz als Roh- und Werkstoff, 56).
- Sagunski, H.; Heinzow, B. (2003): Richtwerte für die Innenraumluft. Bicyclische Terpene (Leitsubstanz alpha-Pinen). Empfehlung. In: *Bundesgesundheitsblatt* 46 (4), S. 346–352.

Sakuragawa, S.; Kaneko, T.; Miyazaki, Y. (2008): Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. In: *J Wood Sci* 54 (2), S. 107–113.

Salthammer, T.; Mentese, S.; Marutzky, R. (2010): Formaldehyde in the indoor environment. In: *Chemical reviews* 110 (4), S. 2536–2572.

Schulte, A.; Bernauer, U.; Madle, S.; Mielke, H.; Herbst, U.; Richter-Reichhelm, H. B. et al. (Hg.) (2006a): Assessment of the carcinogenicity of Formaldehyde (CAS No. 50-00-5). Bericht zur Bewertung der Karzinogenität von Formaldehyd. Bundesinstitut für Risikobewertung. Berlin: BfR, Pressestelle (BfR-Wissenschaft, 2006,2).

Schulte, A.; Schmidt-Eisenlohr, E.; Daschner, F. (2006b): Wie hygienisch und sinnvoll ist Holz in Patientenzimmern? In: *Krh.-Hyg. + Inf.verh.* (4), S. 131–137.

Schwab, H. (2010): Konformitätssysteme für Holzwerkstoffe auf dem Gebiet der Formaldehydemission – Entwicklung und neue Denkansätze. In: *holztechnologie* (51), S. 51–53.

Schwab, H. (2012): Entwicklung eines ISO-Normentwurfs zur Bewertung von Konformitätssystemen für die Formaldehydemission von Holzwerkstoffen. Abschlussbericht 109460; 30.11.2012. Unter Mitarbeit von B. Meyer. Hg. v. Fraunhofer WKI. Innovation mit Normen und Standards (INS).

Schwab, H.; Marutzky, R.; Meyer, B. (2004): European Regulations for Formaldehyd. Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut Holzforschung, 2004.

Seifert, B. (1999): Richtwerte für die Innenraumlufte. Die Beurteilung der Innenraumluftequalität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Empfehlungen. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*.

Seifert, B.; Mailahn, W.; Schulz, C.; Ullrich, D. (1989): Seasonal variation of concentrations of volatile organic compounds in selected German homes. In: *Environment International* 15 (1-6), S. 397–408.

Stratev D.; Weigl, M. (2015): BIGCONAIR Baubiologische Containerentwicklung. Endbericht FFG-Forschungsprojekt. Projektteil: Raumluftemessungen. Unter Mitarbeit von C. Fürhapper, E. Habla und M. Nohava. Hg. v. Holzforschung Austria. Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (F464).

Teischinger, A. (1989): Wechselwirkung zwischen Sorptionsaktivität von Holz und relativer Luftfeuchtigkeit in Innenräumen. Institut für Holzforschung der Universität für Bodenkultur. Wien (Holzforschung und Holzverwertung, 2).

Thünen-Institut (2017): Gas-Analyse für Holzwerkstoffe. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/hf/projekt/gas-analyse-fuer-holzwerkstoffe/>, zuletzt geprüft am 19.07.2017.

Tsunetsugu, Y.; Miyazaki, Y.; Hiroshi, S. (2002): The Visual Effects of Wodden Interiors in Actual-Size Living Rooms on the Autonomic Nervous Activities. In: *J Physiol Anthropol* (21), S. 297–300.

UBA (1996): Richtwerte für die Innenraumlufthygiene: Basisschema. Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Bundesgesundheitsblatt* (39), S. 422–426.

UBA (2006): Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd - Änderung des Richtwertes für die Innenraumlufthygiene von 0,1 ppm nicht erforderlich. Empfehlung des Umweltbundesamtes. Ad-hoc-AG aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und Vertretern der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz* 49 (11), S. 1169.

UBA (2007): Beurteilung von Innenraumlufthygiene-Kontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz* 50 (7), S. 990–1005.

UBA (2010): Richtwerte für monocyclische Monoterpene (Leitsubstanz d-Limonen) in der Innenraumlufthygiene. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Bundesgesundheitsblatt* 53 (11), S. 1206–1215.

UBA (2012): Richtwerte für die Innenraumlufthygiene - Erste Fortschreibung des Basisschemas. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Bundesgesundheitsblatt* 55 (2), S. 279–290. Online verfügbar unter <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00103-011-1420-0.pdf>.

UBA (2015): Gesundheitliche Bewertung krebserzeugender Verunreinigungen der Innenraumlufthygiene - erste Ergänzung zum Basisschema. Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforsch, Gesundheitsschutz* 58 (7), S. 769–773.

UBA (2016a): Multiple Chemikaliensensibilität. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umweltmedizin/multiple-chemikaliensensibilitaet>, zuletzt aktualisiert am 09.10.2017, zuletzt geprüft am 09.10.2017.

UBA (2016b): Richtwert für Formaldehyd in der Innenraumlufthygiene. Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. In: *Bundesgesundheitsblatt* 59 (8), S. 1040–1044.

UBA (2016c): Richtwerte I und II für Stoffe der Innenraumluft. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

Online verfügbar unter

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/bilder/dateien/0_ausschuss_fuer_innenraumrichtwerte_empfehlungen_und_richtwerte20161202.pdf, zuletzt geprüft am 19.12.2016.

UBA (2016d): Sick Building Syndrom. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umweltmedizin/sick-building-syndrom>, zuletzt aktualisiert am 09.10.2017, zuletzt geprüft am 09.10.2017.

UBA (2016e): Zur Frage eines Asthma auslösenden bzw. verschlechternden Potenzials von Formaldehyd in der Innenraumluft bei Kindern. Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR). In: *Bundesgesundheitsblatt* 59 (8), S. 1028–1039.

UBA (2017): Ausschuss für Innenraumrichtwerte (vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#textpart-1>, zuletzt aktualisiert am 23.03.2017, zuletzt geprüft am 19.04.2017.

WHO (1983): Indoor air pollutants: exposure and health effects. Exposure and health effects : report on a WHO meeting, Nördlingen, 8 - 11 June, 1982. Weltgesundheitsorganisation; WHO Meeting on Indoor Air Pollutants. Copenhagen.

WHO (1986): Indoor Air Quality: Radon and Formaldehyde. Environmental Health Series 13, Dubrovnik, Yugoslavia, 26-30 August 1985. Hg. v. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen. Online verfügbar unter http://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_2831.pdf, zuletzt geprüft am 18.05.2016.

WHO (1987): WHO regional publications. Air quality guidelines for Europe. WHO regional publications. European series: No. 23. Copenhagen (WHO regional publications / European series, 23).

WHO (2000): WHO regional publications. Air quality guidelines for Europe. WHO regional publications. European series: No. 91. second edition. Copenhagen (WHO regional publications / European series, 91).

WHO (2010): WHO Guidelines for Indoor Air Quality. Selected Pollutants. Geneva: World Health Organization.

Wilke, O.; Wiegner, K.; Jann, O.; Brödner, D.; Scheffer, H. (2012): Emissionsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen. UBA-FB 001580. Hg. v. UBA. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Dessau-Roßlau.

Zellweger, C.; Hili, M.; Gehring, R.; Hofer, P. (1997): Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen. Methodik und Resultate. Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden". 2.Auflage. Hg. v. Bundesamt für Energie. Empa. Dübendorf.

Zingerle, P.; Beikircher, W.; Bodner M. (2015): BIGCONAIR - Endbericht. Projektteil: Containereinrichtung. Unter Mitarbeit von M. Flach. Hg. v. FFG. Universität Innsbruck. Innsbruck.

16 Normen, Richtlinien und Verordnungen

BlmSchG (1974): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BlmSchG). Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 29. Mai 2017 (BGBl. I S. 1298) geändert worden ist. Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 17.05.2013.

BlmSchV (1990): Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen - 2. BlmSchV). Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen vom 10. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2694), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 24. März 2017 (BGBl. I S. 656) geändert worden ist. Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 31.08.2015.

ChemVerbotsV (2017): Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens und über die Abgabe bestimmter Stoffe, Gemische und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung - ChemVerbotsV). Chemikalien-Verbotsverordnung vom 20. Januar 2017 (BGBl. I S. 94), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 20. Januar 2017 (BGBl. I S. 94) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, 27.1.2017.

CLP (2008): Verordnung (EU) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. Amtsblatt der Europäische Union, 31.12.2008.

CPD (1988): Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG). Europäische Gemeinschaft, 20.11.2003.

CPR (2011): Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. Amtsblatt der Europäische Union, 04.04.2011.

DIBt-Richtlinie 100 (1994): Richtlinie über die Klassifizierung und Überwachung von Holzwerkstoffplatten bezüglich der Formaldehydabgabe. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt).

DIN 68763 (1990): Spanplatten - Flachpressplatten für das Bauwesen - Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Überwachung. Berlin: Beuth Verlag.

DIN CEN/TS 16516 (2013): Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN 120 (1992): Holzwerkstoffe - Bestimmung des Formaldehydgehaltes - Extraktionsverfahren genannt Perforatormethode. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN 13986 (2015): Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung. Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 12460-5 (2016): Holzwerkstoffe- Bestimmung des Formaldehydgehaltes - Teil 5: Extraktionsverfahren (genannt Perforatormethode). Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 16000-1 (2006): Innenraumlufprüfungen. Innenraumverunreinigungen - Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 16000-10 (2006): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 10: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen. Emissionsprüfzellen-Verfahren. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 16000-11 (2006): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 11: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen. Verfahren zur Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 16000-2 (2006): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 16000-5 (2007): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC). Berlin: Beuth- Verlag.

DIN EN ISO 16000-9 (2008): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen. Emissionsprüfkammer- Verfahren. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN ISO 16000-3 (2013): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen. Probenahme mit einer Pumpe. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN ISO 16000-30 (2015): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 30: Sensorische Prüfung der Innenraumluft. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN ISO 16000-4 (2012): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 4: Bestimmung von Formaldehyd, Probenahme mit Passivsammlern. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN ISO 16000-6 (2012): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern. Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN 717-1 (2005): Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammermethode. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN 717-2 (1995): Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 2: Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN 717-3 (1996): Holzwerkstoffe - Bestimmung des Formaldehydabgabe - Teil 3: Formaldehydabgabe nach der Flaschen-Methode. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 12460-3 (2016): Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 3: Gasanalyse-Verfahren. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 12460-4 (2016): Holzwerkstoffe - Bestimmung des Formaldehydabgabe - Teil 4: Exsikkator-Verfahren. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN ISO 16000-28 (2012): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer. Berlin: Beuth-Verlag.

E DIN EN 16516 (2015): Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft. Berlin: Beuth Verlag.

GefStoffV (1986): Verordnung über gefährliche Stoffe (Gefahrstoffverordnung). Bundesgesetzblatt, 26.08.1986.

GefStoffV (2010): Verordnung über gefährliche Stoffe (Gefahrstoffverordnung). Gefahrstoffverordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), die zuletzt durch Artikel 148 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, 29.03.2010.

MBO (2002): Musterbauordnung (MBO). Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016.

MVV TB (2017): Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Ausgabe 2017/1, vom 31.08.2017. Hg. v. Deutsches Institut für Bautechnik. Berlin.

REACH (2006): Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission. Amtsblatt der Europäische Union, 30.12.2006

REACH (2014): Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission (Fassung inkl. Änderungen und Berichtigungen). Amtsblatt der Europäische Union, 10.04.2014.

SpanplatteRLRdErl (1981): Richtlinie über die Verwendung von Spanplatten hinsichtlich der Vermeidung unzumutbarer Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft. Berlin: Beuth Verlag.

VDI 4300 Blatt 1 (1995): Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Allgemeine Aspekte der Messstrategie. Düsseldorf: VDI.

VDI 4300 Blatt 3 (1997): Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Probenahmestrategie zur Bestimmung von Formaldehyd. Düsseldorf: VDI.

VDI 4300 Blatt 6 (2000): Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC). Düsseldorf: VDI.

Verordnung (EU) 2015/491 (2015): Verordnung (EU) 2015/491 der Kommission vom 23. März 2015 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 605/2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Einfügung von Gefahren- und Sicherheitshinweisen in kroatischer Sprache und zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt. Amtsblatt der Europäische Union, 24.03.2015.

Verordnung (EU) 605/2014 (2014): Verordnung (EU) Nr. 605/2014 der Kommission vom 5. Juni 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Einfügung von Gefahren- und Sicherheitshinweisen in kroatischer Sprache und zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt. Amtsblatt der Europäische Union, 06.06.2014.

17 Anhang

Anhang 1: Messmethoden - Messung von Formaldehyd-Emissionen aus Holzwerkstoffen

Anhang 2: Messmethoden - Messung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten mithilfe einer Prüfzelle

Anhang 3: Bewertungssysteme europäischer Staaten im Überblick

Anhang 4: Metastudie Vergleich von 44 Studien innerhalb der Kategorien

Anhang 5: Forschungsgruppe

Anhang 1: Messmethoden - Messung von Formaldehyd-Emissionen aus Holzwerkstoffen

Die Prüfkammer ist aufwendig in Bezug auf Prüfzeit, Platz und Kosten. Ein Zeitraum von mehreren Tagen ist für die Bestimmung erforderlich. Es können jedoch bereits sehr geringe Formaldehydabgaben von Materialien erfasst werden. Daher wird sie als Referenzmethode für Prüfung eines Bauprodukts innerhalb eines Bewertungssystems herangezogen. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt exemplarisch eine Prüfkammer am WKI Fraunhofer für Holzforschung.



Abbildung 17-1: Prüfkammer-Verfahren gemäß DIN EN 717-1 (Schwab et al. 2004)

Die Referenzmethode hat genau wie im Fall der Kammerprüfung für VOC-Emissionen (siehe Abschnitt 11.2.2) ihren Ursprung innerhalb der europäischen ECA-Expertengruppe, deren Austausch und Ergebnisse innerhalb des Reports No.2 festgehalten wurden (ECA 1989). Im Jahr 1999 erschien das Prüfkammer-Verfahren zunächst als europäische Vornorm (DIN V ENV 717-1:1999) und wurde 2005 als bis heute geltende Norm übernommen. Das Verfahren beschreibt die Messung der Formaldehydabgabe mittels der Ausgleichskonzentration in einer Klimakammer unter definierten, praxisnahen Bedingungen. Mittels der Ausgleichskonzentration wird die Formaldehydkonzentration gesucht, ab der in der Kammer eine konstante Konzentration nachgewiesen wird. Die Messung erfolgt in einer Prüfkammer (12 m³, 1 m³ oder 0,225 m³) für Materialien hauptsächlich der Gruppe der Holzwerkstoffe. (DIN EN 717-1:2005)

Die emittierte Formaldehydmenge wird in Gaswaschflaschen mit Wasser analysenreiner Qualität absorbiert. Anschließend lässt man das Formaldehyd der wässrigen Lösung mithilfe des Acetylaceton-Verfahren zu einem Reaktionsprodukt reagieren und in einem Spektrometer wird auf den Formaldehydgehalt der wässrigen Lösung rückgeschlossen. (DIN EN 717-1:2005)

In Abbildung 17-2 sind die standardisierten Labormethoden, welche als abgeleiteten Prüfverfahren als Alternative zum Prüfkammer-Verfahren herangezogen werden, abgebildet. Sie liefern innerhalb weniger Stunden Ergebnisse und werden daher als Methoden für Qualitätskontrollen herangezogen.

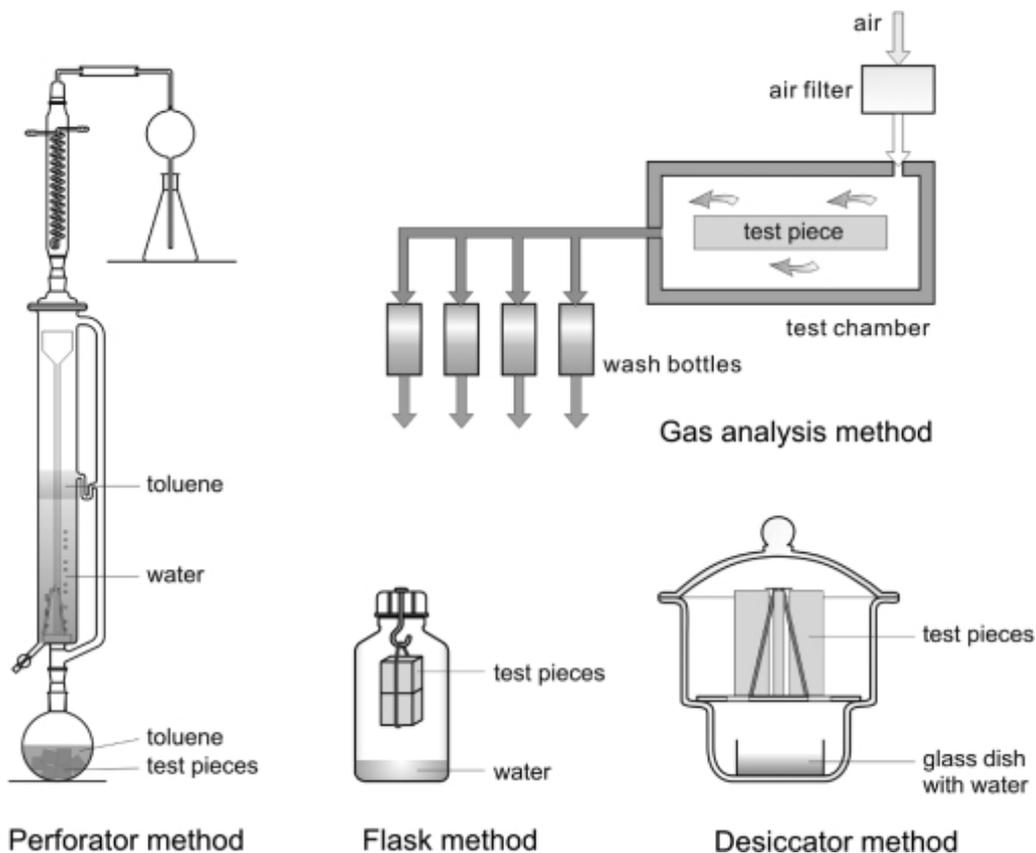


Abbildung 17-2: Standardisierte Labormethoden (Perforator, Gasanalyse, Flasche, Exsikkator) zur Bestimmung der Formaldehydfreisetzung aus Holzwerkstoffen (Salthammer et al. 2010)

Abbildung 17-3 stellt diese kurzen Prüfungsdauern der Labormethoden als abgeleitete Prüfverfahren dem Referenzverfahren der Prüfkammer gegenüber. Innerhalb der Labormethoden liegen die Prüfungsdauern zwischen zwei Stunden und einem Tag.

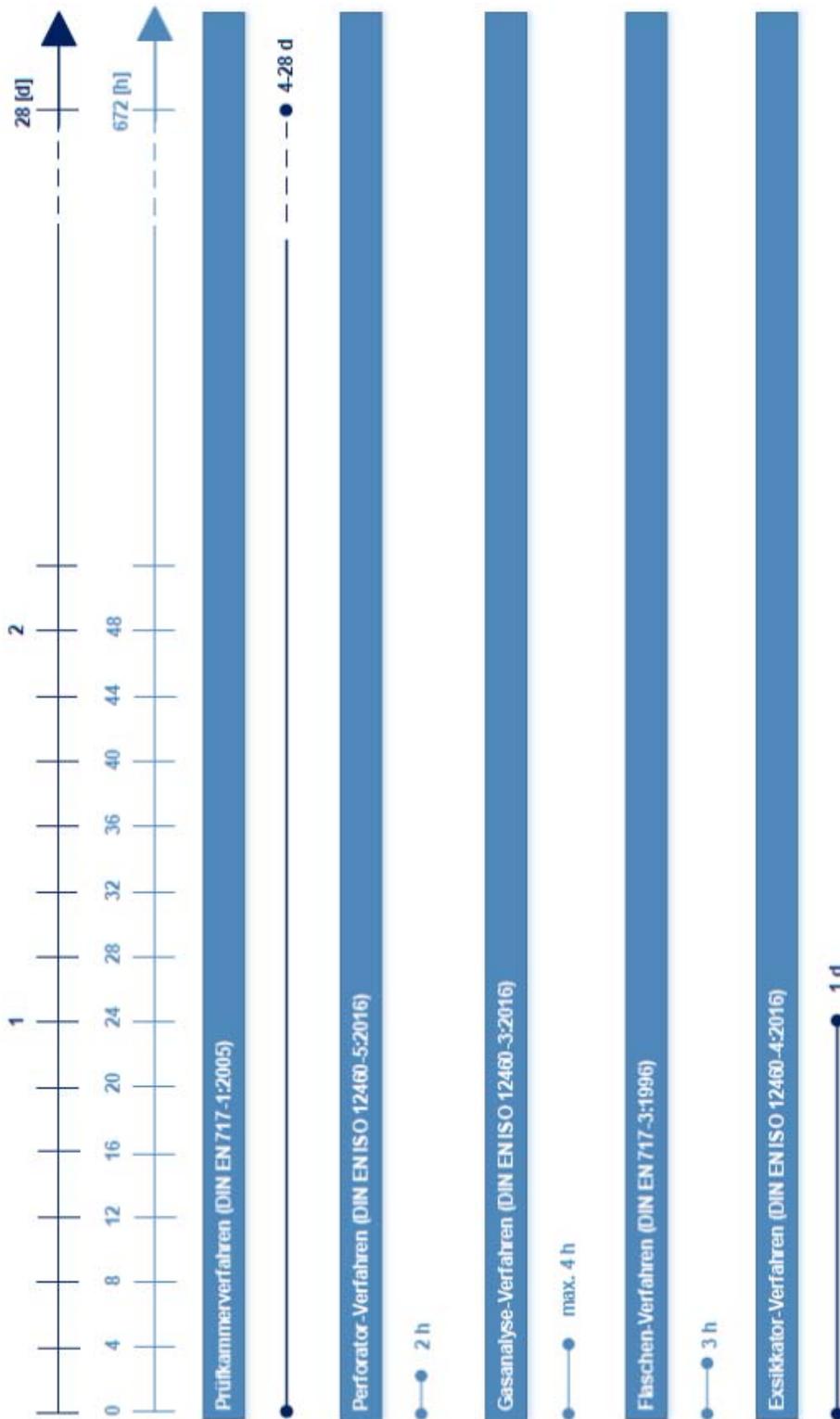


Abbildung 17-3: Vergleich der Prüfungsdauer der Prüfverfahren zur Messung von Formaldehyd aus Holzwerkstoffen (eigene Darstellung nach DIN-Normen) (DIN EN 717-1:2005) (DIN EN ISO 12460-5:2016) (DIN EN ISO 12460-3:2016) (DIN EN 717-3:1996) (DIN EN ISO 12460-4:2016)

Das Perforator-Verfahren oder auch Extraktionsverfahren, das als einziges Verfahren den Formaldehydgehalt in den Holzwerkstoffen anstatt der emittierten Formaldehydkonzentration aus diesen ermittelt, unterscheidet sich in diesem Punkt signifikant von den anderen Prüfverfahren. Bei diesem Verfahren werden Prüfkörper in einen mit Toluol gefüllten Rundkolben gegeben, der aufgeheizt wird und folglich extrahiert Formaldehyd aus den Prüfkörpern in die Lösung. (DIN EN ISO 12460-5:2016)

Abbildung 17-4 zeigt exemplarisch das Perforator-Verfahren am WKI Fraunhofer für Holzforschung. Aufgrund der Bemühungen Holzwerkstoffe mit immer geringeren Formaldehydemissionen herzustellen, erwies sich diese Standardmethode der 70er Jahre in der Messgenauigkeit und Variabilität der Produkte nicht hinreichend genau (Thünen-Institut 2017). Nach den Normenänderungen des Perforator-Verfahrens in den Jahren 1984 und 1992 wurde der europäische Standard (DIN EN 120:1992) im Jahr 2016 durch die internationale Norm DIN EN ISO 12460-5 abgelöst. Parallel dazu haben sich jedoch weitere Labormethoden etabliert.



Abbildung 17-4: Perforator-Verfahren gemäß DIN EN ISO 12460-5 (Schwab et al. 2004)

Das Gasanalyse-Verfahren, das als einzige Norm wie das Prüfkammer-Verfahren auch mittels einer Luftzirkulation unter dynamischen Bedingungen prüft, ist in diesem Punkt sowie im Prüfaufbau dem Referenzverfahren am ähnlichsten. In den Temperatur- und Feuchtebedingungen sind jedoch Diskrepanzen vorzufinden, die zwar eine Formaldehydabgabe beschleunigen, aber vermutlich durch die deutlich kürzere Prüfzeit kompensiert werden können. (DIN EN ISO 12460-3:2016)



Abbildung 17-5: Gasanalyse-Verfahren gemäß DIN EN ISO 12460-3 (Schwab et al. 2004)

Das Gasanalyse-Verfahren wurde - ebenso wie das standardisierten Perforator-Verfahren - ursprünglich von der Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie (FESYP) Anfang der 70er Jahren entwickelt (DIN EN 717-2:1995) (DIN EN 120:1992). Im Jahr 1984 erschien das Gasanalyse-Verfahren zunächst als deutsche Norm DIN 52368 (DIN 52368:1984). Nach Beurteilung des Verfahrens wurde die nationale Norm im Jahr 1995 als europäische (DIN EN 717-2:1995) und im Jahr 2016 als internationale Norm (DIN EN ISO 12460-3:2016) veröffentlicht. Abbildung 17-5 zeigt exemplarisch das Gasanalyse-Verfahren am WKI Fraunhofer für Holzforschung.

Die Flaschen-Methode stellt ein weiteres in Europa anerkanntes Prüfverfahren dar, welches in seiner Fassung von 1996 bis heute vorliegt. In einer Kunststoffflasche werden Prüfkörper, von dem Behälterdeckel herabhängend, innerhalb eines Wärmeschrank bei 40 °C geprüft. Das emittierte Formaldehyd absorbiert in destilliertes Wasser am Boden der Flasche. (DIN EN 717-3:1996) Abbildung 17-6 zeigt exemplarisch die Flaschen-Methode am WKI Fraunhofer für Holzforschung.



Abbildung 17-6: Flaschen-Methode gemäß DIN EN 717-3 (Schwab et al. 2004)

Das Exsikkator-Verfahren, das wie das Perforator- und Flaschen-Verfahren auch unter stationären Luftbedingungen testet, kann aufgrund der deutlich längeren Prüfdauer (siehe Abbildung 17-3) und gleicher Temperaturbedingungen wie im Fall der Prüfkammer eine gute Korrelation mit dieser erzielt werden. Signifikante Unterschiede sind in Lagerungsdauer sowie das nicht beachten der relativen Feuchte vorzuweisen. Prüfkörper in Summe mit einer Gesamtoberfläche von 0,18 m² werden in einem Probehälter in einen Exsikkator von etwa 11-l-Volumen gestellt. Das emittierte Formaldehyd

wird an die Umgebungsluft abgegeben und absorbiert in destilliertes Wasser unterhalb des Drahtgitters. (DIN EN ISO 12460-4:2016)



Abbildung 17-7: Exsikkator-Verfahren DIN EN ISO 12460-4 (Schwab et al. 2004)

International wird dieses Verfahren bereits in Australien, Japan und Neuseeland angewendet und liegt nun nach seinem Entwurf als erste internationale Fassung vor (E DIN EN ISO 12460-4:2014). Abbildung 17-7 zeigt exemplarisch das Exsikkator-Verfahren am WKI Fraunhofer für Holzforschung.

Alle Prüfverfahren zur Bestimmung der Formaldehyd-Konzentrationsgehalte in bzw. Konzentrationsfreisetzungen aus Holzwerkstoffen geben unterschiedliche Anwendungsbereiche an. Nachfolgende Tabelle listet diese, wie in den einzelnen Normen angegeben, auf.

		Prüfkammer- Verfahren DIN EN 717-1:2005	Perforator- Verfahren DIN EN ISO 12460-5:2016	Gasanalyse- Verfahren DIN EN ISO 12460-3:2016	Flaschen- Methode DIN EN 717-3:1996	Exsikkator- Verfahren DIN EN ISO 12460-4:2016
Holz- werkstoffe	unlackiert	X	X			
	unbeschichtet	X	X	X		
	beschichtet	X		X	X	
	schichtverklebt	X		X		
	furniert	X		X		
Platten	Span	X				X
	Faser	X				X
	Sperrholz	X				X
	OSB	X				X
Andere Werkstoffe	Kantenstreifen	X		X		
	Fußbodenbeläge					
	- Alle - schichtverklebt, aus Holz	X X		X X		X
	Schäume	X		X		
	Folien	X		X		

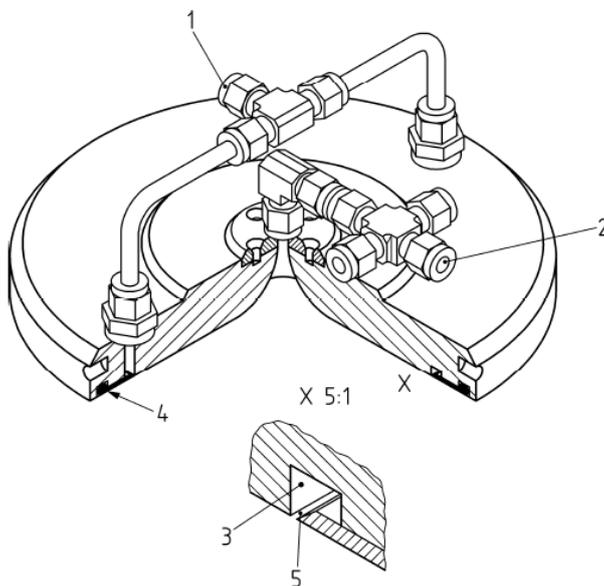
Abbildung 17-8: Anwendungsbereich der Prüfnormen zur Messung von Formaldehyd aus Holzwerkstoffen (eigene Darstellung nach DIN-Normen) (DIN EN 717-1:2005) (DIN EN ISO 12460-5:2016) (DIN EN ISO 12460-3:2016) (DIN EN 717-3:1996) (DIN EN ISO 12460-4:2016)

Aus Abbildung 17-8 ist ersichtlich, dass das Prüfkammer-Verfahren für alle Holzwerkstoffe und andere Werkstoffe herangezogen werden kann (DIN EN 717-1:2005). Die Anwendungsbereiche der abgeleiteten Prüfverfahren sind dagegen teilweise stark eingeschränkt. Während die Normen europäischen Ursprungs sich auf Holzwerkstoffe beziehen, wird in der internationalen Norm für das Exsikkator-Verfahren auf Plattenwerkstoffe verwiesen.

Die Möglichkeit einer internationalen vergleichbaren Konformitätsbewertung in Form eines ISO-Normentwurfs sollte mithilfe eines INS-Projektes bis 2012 etabliert werden. Insbesondere wäre es erforderlich, eine Korrelation zwischen Referenzverfahren (Prüfkammer-Methode) und den in der werkseigenen Produktionskontrolle angewandten Perforator- oder Gasanalyse-Methoden zu ermitteln. Ziel der Norm war es nicht, Anforderungen an die Formaldehydemission zu stellen, sondern die zugelassenen Prüfmethode und Eigen- und Fremdüberwachungs- sowie Qualitätskontrollsysteme zu definieren. (Schwab 2012) Leider ist das Unterfangen aufgrund fehlender Unterstützung nicht weiterverfolgt, sondern fallen gelassen worden.

Anhang 2: Messmethoden – Messung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten mithilfe einer Prüfzelle

In Teil 10 der ISO 16000-Reihe wird auf die Prüfung mithilfe einer **Prüfzelle** eingegangen. Die Prüfzelle wird auf der Oberfläche des Prüfstückes positioniert, sodass diese zugleich einen Teil der Emissionsprüfzelle darstellt. Sie wird zur direkten Bestimmung von VOC-Emissionen verwendet und kann daher zum Aufspüren einer Belastungsquelle herangezogen werden. Die Prüfzellenmethode kann theoretisch auch vor Ort angewendet werden und als zerstörungsfreie Emissionsmessung der Bauprodukte zum Einsatz kommen. Der im Teil 10 behandelte Anwendungsbereich erstreckt sich jedoch nur auf die Messung in einem Labor. (DIN EN ISO 16000-10:2006)



Legende

- 1 Lufteinlass
- 2 Luftauslass
- 3 Kanal
- 4 Dichtungsmaterial
- 5 Schlitz

Abbildung 17-9: Beschreibung einer Emissionsprüfzelle (DIN EN ISO 16000-10:2006) und Beispiel einer Emissionsprüfzelle (Landesamt für Umwelt Rheinlandpfalz o.J.)

Abbildung 17-9 zeigt den Aufbau einer Prüfzelle. Generelle Angaben in Bezug auf Vorbereitung und Lagerung werden wiederum Teil 11 (DIN EN ISO 16000-11:2006) sowie die Probenahme Teil 6 entnommen. Letztere wird in Abschnitt 11.3.3 näher beschrieben.

Anhang 3: Bewertungssysteme europäischer Staaten im Überblick

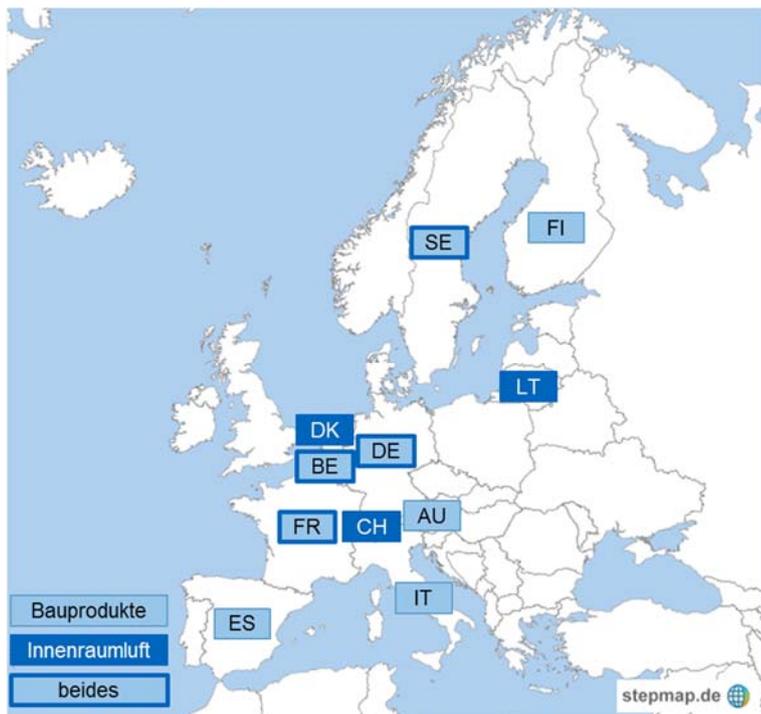


Abbildung 17-10: Überblick europäischer Staaten - Nationale Initiativen zur Beurteilung der Innenraumluftqualität (JRC 2013) sowie nationale Bewertungssysteme zur Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten (Eurofins Scientific 2016)

Anhang 4
Tabelle 17- 1: Metastudie Vergleich von 44 Studien innerhalb der 4 Kategorien

	Material							Klimatische Bedingungen			Teilnehmer / Proben			Zeitraum		Referenzen	
	Holzart	Herkunft	Alter	Lagerung	Transport	Formaldehyd	Raumtemp.	RLF in %	Luftwechsel/h	Anzahl	Prüfgegenstand	Alter/ Art	Geschlecht	Dauer	Jahr		
Emissionen	S1	X Fichte, OSB				X	23°C/ 40°C	50%	0,5/h	1	Neubau			19 Wochen	2013	Schulte-Hubbert et al.	
	S2	X Fichte, OSB				X	23°C	50%	0,5/h	2	Raum			19 Wochen	2014	Fürhapper et al.	
	S3					X	20°C/ 24°C			7	Kindergarten			mehrere Tage	2015	Ostendorf et al.	
	S4	X Fichte				X	20-33°C			2	Container			2 Jahre	2016/ 2017	Weigl et al	
	S5	X Fichte				X	20-33°C			2	Räume			2 Jahre	2016/ 2017	Höllbacher	
	S6	X OSB, Kiefer	X				23°C	50%	1/h	15	8 OSB-Platten, 7 Leimholzplatten			20 Stunden	2012	Wilke et al.	
	S7	X Gips, Kiefer, Mineralwolle						50-100%	1/h	8	2 Gipskartonplatten, 5 Kiefer-Latten, Mineralwolle			4-6 Wochen	2015	Lappalainen et al.	
	S8						30°C	21-75%	0,38/h	2	Räume			16h	2015	Markowicz et al.	
	S9	X Gips, Holz					30°C	40, 85%	0,14/h	10	Probekörper			4 Wochen			
	S10					X	23°C	30%	0,4/h	4	Häuser			7 Jahre	2012	Yu et al	
	S11	X Paraformaldehyd				X	22 ± 3°C	50±10%		21	gesunde Probanden	18-40	w,m	10 Wochen	2007	Lang et al.	
	S12						X noch nicht bekannt	X noch nicht bekannt	X noch nicht bekannt	mind. 4	Außenwand- konstruktionen			mehrere Monate	2016- 2019	Ohlmeyer et al. (Verbundstudie 1)	
	S13	X Gips, OSB, Mineralwolle					23°C	50%	1/h	25	Probekörper			168 Stunden	2013	Niedermayer	
	S14	X Gips, Carbon					28°C	50%	0,08/h	8	Probekörper			7 Tage	2008	Seo et al	
	S15	X Gips, Teppich, Holz					24-25°C	0%	0,5, 2,1, 3,2/h	14	Probekörper			18 Stunden	1999	Won et al	
	S16	X Zellulosefaser, Glasfaser	X				23°C	0%, 35%, 75%		14	Deckenplatten			48 Stunden	2006	Huang et al.	
Medizin	S17	X Kiefer, OSB			X		21°C	50%	1/h	39	gesunde Probanden	20-31	w,m	2 Stunden	2011	Gminski et al.	
	S18	X Fichte				X	19-23°C		8/h	13	Studenten		w,m	39-89 Tage	2015	Zingerle et al	
	S19	X Zirbe, Holzdekor	X Österreich				18-26°C	23-36%		31	gesunde Probanden	17-49	w,m	90 Minuten	2003	Grote et al	
	S20									15	gesunde Probanden	17-44	w,m	3-4 Wochen			
	S21	X Eiche, Tanne, Fichte, Zirbe/ Buche								52	gesunde Probanden	13-15	w,m	7 Monate	2008/ 2009	Grote et al	
	S22	X Fichte	X Südtirol	X 180						50	gesunde Probanden		w,m	30 Minuten	2009	Joanneum	
	S23	Terpene, n-butanol					22 ± 1°C	30-60%	11,3/h	12	gesunde Probanden		w,m	3 Stunden	2000	Molhave et al	
	S24	X Hinoki- Scheinzypresse					21-23°C	50-60%		14	Studenten		m	90 Sekunden	2005	Sakuragawa et al.	
	S25	X Kiefer, Fichte, Buche, OSB												3-4 Wochen, 12 Wochen	2016-2019	Polte et al. (Verbundstudie 3)	
	Psychologie/Wahrnehmung	S26									119	Probanden	20-65	w,m		2004	Rice et al
S27		X Fichte, Buche, Esche								130	Studenten/ Mitarbeiter		w,m	6 Monate	2011	Ebner	
S28		X Birke, Linde								119	Studenten	18-30	w,m	1 Stunde	2010	Fell	
S29										108	Mitarbeiter, Patienten		w,m		2010	Bringslimark et al.	
S30		X Sicheltanne, Eiche Hinoki- Scheinzypresse					20-25°C	50-60%		14	Studenten		m	90 Sekunden	2007	Sakuragawa et al.	
S31		X Eiche					21-23°C	50-60%		15	Studenten		m	90 Sekunden	2007	Tsunetsugu et al.	
S32							21-23°C	50-60%		10	Studenten	19-25	m	90 Sekunden	2002	Tsunetsugu et al.	
S33										44	Senioren	71-96	m,w	5 Wochen	2012	Anme et al.	
S34		X Kiefer, OSB								50-100	Studenten, Architekten, Ingenieure, Unternehmer		m,w		2016	Nyrud et al.	
S35										58	Teilnehmer	ab 16	m,w		2016	Verma et al.	
S36		X Esche								30	Studenten	22-25	m,w	30 Minuten	2017	Hirata et al.	
S37		X Kiefer, Eiche								20	gesunde Probanden	19-26	m,w	90 Minuten	2017	Bhatta et al	
S38										93	Probanden aus Österreich	Mittelwert 38	m,w		2015	Jimenez et al	
Material/ Konstruktion	S39	X Kiefer	X				30°C/ 37°C			3	Probekörper			2 Monate	2006	Schuster et al.	
	S40	X Lärche	X Europa	X 100-130	X		24-27°C	47-67%			Probewürfel, Holzspäne			24 Stunden	2016	Kavian-Jahromi et al.	
	S41	X Ahorn, Balsa, Teak, Eiche, Buche					21°C	40%		5	Holzbretter			24 Stunden	2002	Prechter et al.	
	S42	X Ahorn, Eiche, Buche					21°C			120	60 gebrauchte Probewürfel , 60 ungebrauchte Probewürfel			15 Stunden	2000	Gehrig et al.	
	S43	X Birke, Esche, Ulme, Ahorn, Eiche, Lärche, Kiefer, Fichte					23°C	33-75%		3	Testhäuser			48 Stunden	2016	Vahtikari et al.	
	S44	X Kiefer, Lärche								1	Wartezimmer			7 Monate	2017	Kotradzova et al	
	S45	X Kiefer, Eiche					37°C			7	Probekörper			48 Stunden	2016	Kotradzova et al	

Anhang 5: interdisziplinäre Forschungsgruppe

Kooperationsgemeinschaft:



Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter (Dipl.-Ing. Eva Bodemer, Dipl.-Ing. Miriam
Kleinhenz)
Arcisstr. 21, 80333 München



in Zusammenarbeit mit TUM.wood
Holz in Forschung und Lehre



in Zusammenarbeit mit dem Cluster Forst und Holz in Bayern, Herr Blenk,
inklusive seiner Mitgliedsunternehmen

Projektbegleitende Arbeitsgruppe:

- Forschung: Lehrstuhl für Holzwissenschaft, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für
Ernährung, Landnutzung und Umwelt (Prof. Dr. Klaus Richter)
Helmholtz Zentrum München (Prof. Dr. Dr. Karl-Werner Schramm)
Universitätsklinikum Freiburg (Univ.-Prof. Dr. Volker Mersch-Sundermann,
Dr. rer. nat. Richard Gminski)
Human Research Institut (Univ. Prof. Dr. phil. Maximilian Moser,
DI Matthias Frühwirth)
Wood K plus, TU Wien (Dr. techn. Eva Höllbacher)
Holzforschung Austria (HFA) (Dr. Martin Weigl)
STU Bratislava (Assoc. Prof. Veronika Kotradyová)
Dr.-Ing. Jörn von Grabe, Ingenieurbüro von Grabe, Bauklimatik & Bauphysik
Prof. Dr. Rainer Marutzky (Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. -
iVTH am Wilhelm-Klauditz-Institut WKI)
- Holzsystembau: Baufritz GmbH & Co. KG
Holzbau: Binderholz GmbH
Holzwerkstoffe: Steico SE
FRITZ EGGER GmbH & Co. OG
Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI)
- Messung: eco-INSTITUT Germany GmbH