

spezial | MÄRZ 2013



# spezial

Bauen und Leben mit Holz



## \_ Inhalt

Seite	3	_ Inhalt
	4	_ Die Autoren
	5	_ Vorwort
	6	<b>1</b> _ Holz – heimischer Werk- und Baustoff
	9	<b>2</b> _ Technische und ökologische Merkmale von Holz
	12	<b>3</b> _ Holzprodukte für das Bauwesen und die Innenraumausstattung
	14	<b>4</b> _ Effizient und nachhaltig Bauen mit Holz
	16	<b>5</b> _ Angenehm Wohnen in Holz
	19	<b>6</b> _ Gesundheitliche Bewertung von Baustoffen in Hinblick auf die Raumluftqualität
	22	<b>7</b> _ Emissionen von Holz- und Holzprodukten
	26	<b>8</b> _ Gesundheitliche Bewertung der Emissionen von Holzbauprodukten
	29	<b>9</b> _ Wärmeschutz und Lüftungsverhalten
	31	<b>10</b> _ Empfehlungen für Auftraggeber, Planer und Bauer von Holzhäusern
	33	<b>11</b> _ Ausblick
	34	<b>12</b> _ Glossar
	35	<b>13</b> _ Quellenhinweise
	35	<b>13.1</b> Zitierte Normen
	35	<b>13.2</b> Literatur
	37	<b>13.2</b> Abbildungsnachweis
	40	_ Hinweise

## Die Autoren

### **Prof. Dr. Tunga Salthammer**

kam nach Abschluss des Chemiestudiums und seiner Dissertation an der TU Braunschweig 1990 als Wissenschaftler an das Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI. Seit 1995 ist er Leiter des Fachbereichs Materialanalytik und Innenluftchemie. 2008 habilitierte er an der Fakultät für Lebenswissenschaften der TU Braunschweig und wurde im Dezember 2012 zum außerplanmäßigen Professor ernannt. Er arbeitet in diversen internationalen Kommissionen und Gremien und ist weltweit anerkannter Fachmann auf dem Gebiet der Innenlufthygiene. Er ist Inhaber zahlreicher Gastprofessuren, z. B. in Dänemark, China und Australien. Seit dem 1. März 2011 ist er stellvertretender Leiter des Fraunhofer WKI.



### **Prof. Dr. Rainer Marutzky**

studierte Chemie an der Technischen Universität Braunschweig. Er promovierte 1975 bei der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF) in Braunschweig. Seit 1976 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am WKI, ab 1989 kommissarischer Institutsleiter. 1992 erfolgte die offizielle Berufung zum Institutsleiter des WKI nach Habilitation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der TU Braunschweig und im Mai 1996 die Ernennung zum außerplanmäßigen Professor. Er leitete das WKI bis zum 31. Dezember 2009. Seine wissenschaftlichen Interessensgebiete liegen vor allem im Bereich des Umweltschutzes und bei Fragen der Holzverklebung. Darüber hinaus engagiert er sich in der nationalen und europäischen Normung.



## Vorwort

Der Bau- und Werkstoff Holz wird in der Öffentlichkeit vielfach in seiner ökonomischen und ökologischen Bedeutung unterschätzt. Die Nutzung von Holz und Holzwerkstoffen ist die wirtschaftliche und technologische Grundlage der Holzwirtschaft. Sie umfasst etwa 70.000 vorwiegend klein- und mittelständische Betriebe, die etwa 750.000 Arbeitnehmer beschäftigen und dabei jährlich rund 100 Milliarden Euro umsetzen. Gerade im ländlichen Raum kommt der Holzbranche damit eine hohe sozioökonomische Bedeutung zu. Die stoffliche Verwendung von Holzprodukten trägt auch maßgeblich zum Klimaschutz bei. So kompensiert die Nutzung von drei Kubikmetern Holz den CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines mittelgroßen PKW auf einer Fahrstrecke von fast 20.000 km.

Über diese global wirksamen Vorteile von Forst und Holz hinaus zeigt der Werkstoff aber eine Vielzahl von weiteren positiven Merkmalen. Er ist leicht und mit geringem Energieaufwand zu einer Vielzahl von Holzprodukten zu verarbeiten. Er ermöglicht hochwertige und innovative Baukonstruktionen und gestaltet Innenräume ästhetisch eindrucksvoll. Holz beeinflusst das Raumklima in angenehmer Weise und ist bei sachgerechter Verwendung ein unbedenklicher Bau- und Werkstoff.



Dieses Wissen über die hygienischen Merkmale des Holzes und die vielfältigen Aspekte des Einsatzes von Holzprodukten im Wohnbereich Bauherren, Planern und Holzbauern nahezu bringen ist das Ziel dieser Schrift. Wir konnten mit den Herren Prof. Dr. Salthammer und Prof. Dr. Marutzky zwei erfahrene und in der Fachwelt anerkannte Experten als Autoren gewinnen. Sie verdeutlichen in überzeugender Weise die Vorteile des Wohnens in Holz. Hierfür möchte ich mich ausdrücklich im Namen der Forst- und Holzbranche bedanken. Mein Dank gilt aber auch den Kollegen aus Firmen und Verbänden, die zur Erstellung dieser Informationsschrift mit wertvollen Hinweisen und Anregungen beigetragen haben. Dem Informationsverein Holz wird gedankt für die Möglichkeit, diese Schrift in der Schriftenreihe Informationsdienst Holz herauszugeben.

Hubertus Flötotto  
Präsident des Deutschen Holzwirtschaftsrates

## 1\_Holz – heimischer Werk- und Baustoff

Holz wird als Werk- und Baustoff vielfältig genutzt. Über Jahrhunderte hat sich diese Nutzung in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen entwickelt und bewährt. Basierend auf handwerklichen Kenntnissen und Traditionen wurden seit Beginn des 20. Jahrhunderts das Wissen um die materialgerechte Verarbeitung und Nutzung ingenieurmäßig ausgebaut, neue Werkstoffe aus Holz entwickelt und weitere Anwendungsbereiche erschlossen. Heute ist Holz ein moderner, zukunftsfähiger Werkstoff, der traditionelle Werte mit den aktuellen Anforderungen des Klimaschutzes und der Nachhaltigkeit in hervorragender Weise verbindet.

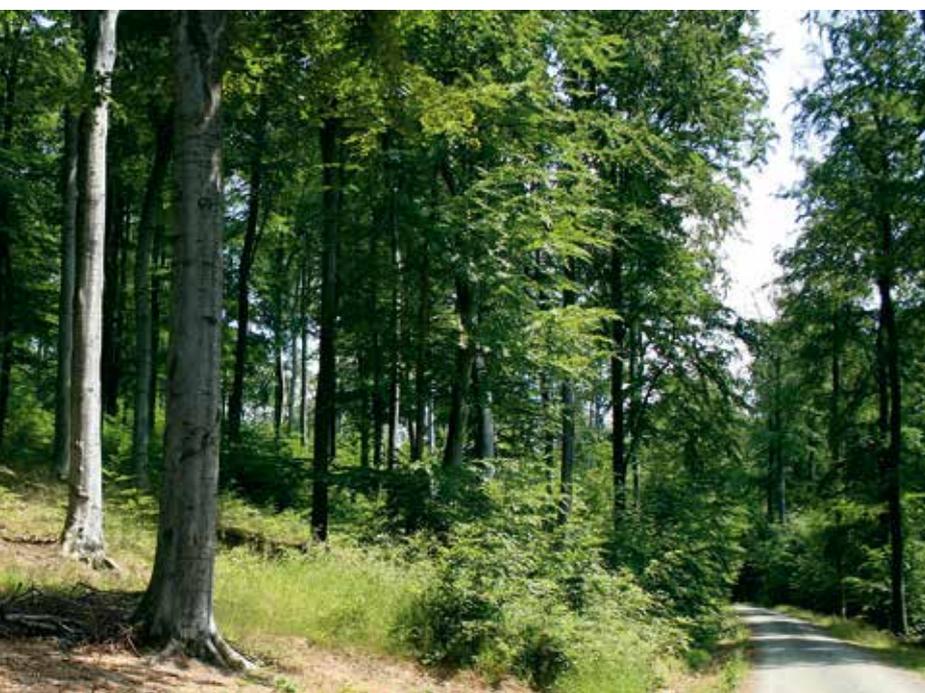
Der Wald ist die „Fabrik“ für das Holz (Abb. 1.1). Es wächst dort stetig nach und das in äußerst umweltfreundlicher Weise. Wälder gestalten unsere Landschaft, schützen den Boden vor Erosion und sichern die Lebensräume für Menschen und Tiere. Sie binden klimaschädliches CO<sub>2</sub>, setzen gleichzeitig den lebensnotwendigen Sauerstoff frei und sorgen für saubere Luft sowie reines

Grundwasser. Gerade unter den aktuellen Herausforderungen des Umwelt- und Klimaschutzes sind diese Funktionen des Waldes von höchstem Wert.

Die Bedeutung des Waldes spiegelt sich in den Flächenanteilen wieder. Etwa 31 Prozent der Fläche Deutschlands, d. h. insgesamt rund 11,1 Mio. Hektar, sind bewaldet. Nur wenige Länder in Europa haben einen höheren Anteil an Waldfläche als Deutschland. Etwa 60 Prozent dieser Waldfläche sind mit Nadelbäumen bestückt, vornehmlich Fichte und Kiefer, etwa 40 Prozent mit Laubbäumen, vornehmlich Buche und Eiche. Dieser Wald weist derzeit einen Holzvorrat von etwa 3,4 Mrd. Kubikmetern auf, das ist der größte in Europa.

Die sorgfältige und vernünftige Nutzung des Baumes als Quelle für Werk- und Baustoffe gibt dem Wald seinen Wert und schützt ihn so vor Ausbeutung und Raubbau. Seit etwa 250 Jahren existiert in Deutschland eine geordnete Forstwirtschaft. Zu den Grundprinzipien gehört, dass nicht mehr Holz eingeschlagen wird, als nachwächst. Der von der Forstwirtschaft dafür entwickelte Begriff der Nachhaltigkeit hat inzwischen globale Bedeutung erlangt und wird seit einigen Jahren generell für die Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung, der Energieminderung und des zeitgemäßen Umweltschutzes genutzt. Die Prinzipien der Waldbewirtschaftung wurden in der jüngeren Vergangenheit durch die Einführung forstlicher Zertifizierungssysteme weiter entwickelt.

Abb. 1.1: Buchenwald in Deutschland



Wald und Holz sind gleichzeitig wichtige Kohlenstoffspeicher. Der Baum nimmt beim Wachsen das klimaschädliche Treibhausgas CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre auf und wandelt dieses mit Hilfe von Sonnenenergie durch Photosynthese in Biomasse, d. h. in gebundene Kohlenstoffverbindungen um. Der Wald und das nachhaltig gewonnene Holz sind also ein immens großer Kohlenstoffspeicher. Sowohl Wälder als auch eine damit verbundene nachhaltige Holznutzung tragen damit in beachtlicher Weise zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Anstiegs in der Atmosphäre bei.

Durch wissenschaftliche Studien wurde nachgewiesen, dass die wirtschaftliche Nutzung des Waldes die Bindung des CO<sub>2</sub> erhöht. Zudem entziehen langlebige Holzprodukte wie Holzhäuser, Innenausstattungen und Möbel dem Kreislauf für viele Jahrzehnte das CO<sub>2</sub> in Form des stofflich gebundenen Kohlenstoffs. Eine Tonne Fichtenholz bindet so rund 1,8 Tonnen CO<sub>2</sub>. Weitere Speichereffekte ergeben sich aus der Substitution von anderen, energieintensiveren Baustoffen, zusammen rund 5,6 Tonnen äquivalentes CO<sub>2</sub> (Abb. 1.3).

Durch die Verwendung von Holz werden die deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen um fast 15 % reduziert [Albrecht et al. 2008]. Da die Speicherung von CO<sub>2</sub> zukünftig in die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung eingehen wird, hilft die stoffliche Nutzung von Holz die nationalen Ziele der CO<sub>2</sub>-Minderung zu erfüllen. Weitere Hinweise zur Reduzierung von CO<sub>2</sub> durch Speicherung, Materialsubstitution und Energieeinsparung finden sich im Internet unter [www.holzproklima.de](http://www.holzproklima.de).

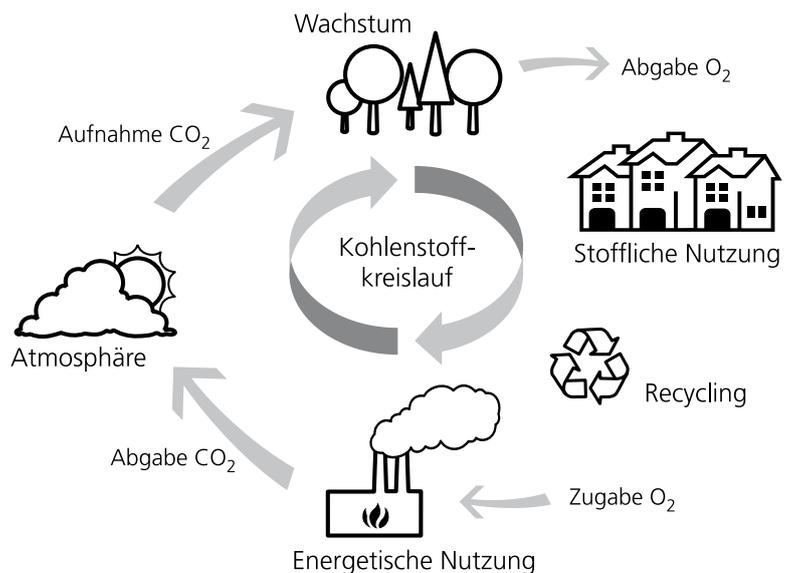


Abb. 1.2: Kohlenstoffkreislauf bei der Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs Holz

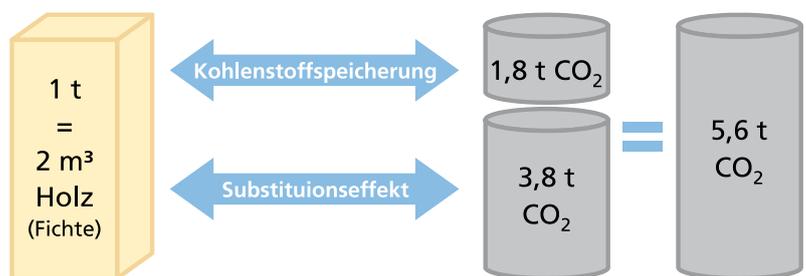


Abb. 1.3: Speicherung von äquivalentem Kohlendioxid (CO<sub>2</sub> e) bei der baulichen Nutzung von Fichtenholz

Bestimmte Holzsortimente und Gebrauchthölzer können auch CO<sub>2</sub>-neutral in Wärme und Strom umgewandelt werden. Holz lässt sich somit sowohl stofflich als auch energetisch nutzen. Volkswirtschaftlich günstiger und für das Klima besser ist dabei zunächst die stoffliche Nutzung. Sie schafft dauerhafte Produkte und sichert zahlreiche Arbeitsplätze. Die energetische Nutzung darf daher nicht mit Vorrang betrachtet werden. Die Deutsche Holzwirtschaft plädiert unter Berücksichtigung dieser Sachlage für die so genannte Kaskadennutzung des Rohstoffs Holz (Abb. 1.4). Damit wird Holz möglichst lange im

Wirtschaftssystem belassen, wobei Nutzungskaskaden vom hohen zu schrittweise tieferem Wertschöpfungsniveau angestrebt werden. Ein solches System erhöht den Wert des Holzes als Ganzes, nutzt bestehende Ressourcen besser und schont so die Umwelt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Wälder in entscheidender und vielfältiger Weise zum Klimaschutz beitragen und dass eine nachhaltig betriebene Forst- und Holzwirtschaft diesen Effekt noch deutlich verstärkt.

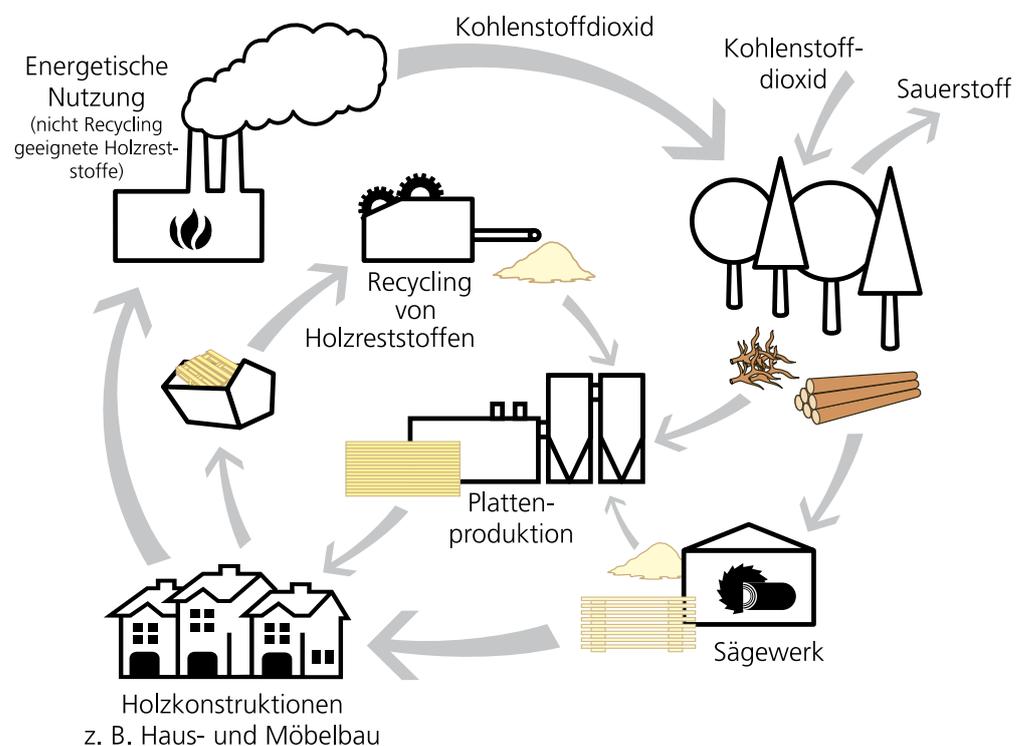


Abb. 1.4: Schema der Kaskadennutzung bei Holzprodukten

## 2\_ Technische und ökologische Merkmale von Holz

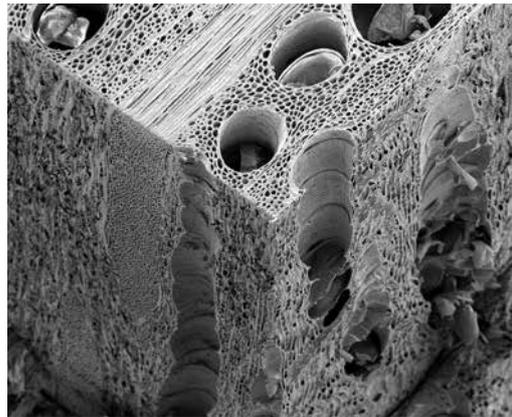
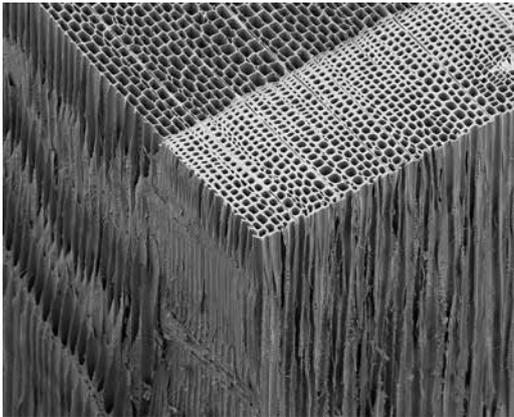


Abb. 2.1: Rasterelektronische Mikroskopieaufnahmen von Fichtenholz (links) und Eichenholz (rechts)

Holz ist ein technisch hochwertiger Bau- und Werkstoff. Es ist zudem zeitlos schön und schafft behagliche Räume zum Wohnen und Leben. Holz ist daher das ideale Material für den Bau von Gebäuden und zur Ausgestaltung von Innenräumen. Um diese Faktoren richtig bewerten zu können, sind einige grundlegende Kenntnisse zu den physikalischen und technischen Merkmalen dieses Werkstoffs wichtig.

Holz ist das verholzte („lignifizierte“) Gewebe von Bäumen und Sträuchern. Unter dem Mikroskop erkennt man die zelluläre Struktur (Abb. 2.1). Bedingt durch diese Porosität ist Holz ein leichter Werkstoff. Wegen der vielen im getrockneten Zustand luftgefüllten Zellen ist Holz ein schlechter Wärmeleiter und zeigt so bemerkenswerte Dämmeigenschaften.

Es ist in seiner Feinstruktur ein sogenannter Kompositwerkstoff. Das Netzwerk der Faserbündel („Fibrillen“) besteht aus dem natürlichen Polymer Cellulose, die beiden anderen polymere Holzbestandteile Lignin und Hemicellulosen sind die Bindemittel, welche die Faserbündel zusammenhalten. Die „verklebten“ Faserstrukturen des Holzes bewirken seine hohe Festigkeit und seine

außergewöhnliche Elastizität. Bei der Entwicklung von Stahlbeton oder glas- und kohlefaserverstärkten Kunststoffen wurden derartige Kompositstrukturen der Natur nachempfunden.

Beim Holz wird auf Grund seiner Faserstruktur zwischen drei Ausrichtungen unterschieden, der axialen, der radialen und der tangentialen. Abbildung 2.2 verdeutlicht diese drei grundlegenden Ausrichtungen. Die Festigkeiten und viele andere Holzmerkmale sind entsprechend richtungsabhängig. Holz ist daher anders als Beton, Glas, Kunststoff oder Stahl ein anisotroper Werkstoff.

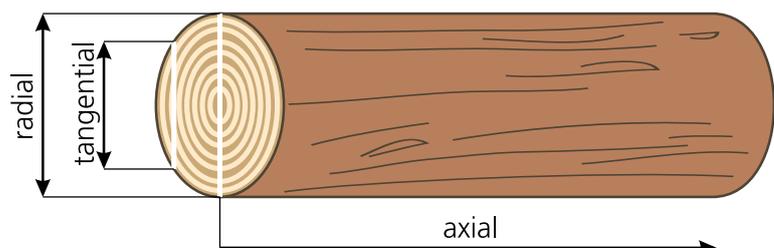


Abb. 2.2: Darstellung der drei Grundrichtungen von Holz

TAB. 2.1: MITTLERE EIGENSCHAFTSWERTE VON EINHEIMISCHEN HOLZARTEN IM VERGLEICH ZU POLYPROPYLEN (PP), BAUSTAHL UND HOCHLEISTUNGSBETON

Eigenschaft*)	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	PP	Baustahl	Beton
Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	460	520	710	680	910	7850	2300
Zugfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	85	100	120	100	40	500	6,5
Druckfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	45	50	60	60	k.A.	330	100
Biegefestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	70	90	110	95	35	450	k.A.
E-Modul (N/mm <sup>2</sup> )	11.000	11.500	14.000	12.000	1.300	20.500	35.000

\*) Eigenschaftswerte des Holzes parallel zur Faserrichtung (axial)

Wichtige physikalische Kennwerte von Holz sind seine Feuchte, Rohdichte und Festigkeit. Holz der heimischen Nadelhölzer hat im lufttrockenen Zustand eine Rohdichte zwischen 0,45 und 0,55 g/cm<sup>3</sup>, das der heimischen Laubhölzer liegt zwischen 0,60 und 0,70 g/cm<sup>3</sup> (Tabelle 2.1). Ein Kunststoff wie Polypropylen (PP) ist etwa doppelt so schwer wie Fichtenholz, Beton liegt um das Vierfache darüber und Stahl ist gut siebzehnmal so schwer.

Holz enthält im lufttrockenen Zustand geringe Mengen an physikalisch adsorbiertem Wasser. Der Feuchtegehalt ist dabei abhängig von der relativen Luftfeuchte (siehe auch Abb. 5.4). Unter üblichen Innenraumbedingungen kann die Gleichgewichtsfeuchte des Holzes zwischen etwa 7 und 15 Gewichtsprozent liegen.

Besondere Bedeutung kommt den Festigkeitswerten des Holzes zu. Hier schneidet Holz im Vergleich mit anderen Baustoffen wie Stahl oder Beton sehr gut ab. Die Zugfestigkeit von

Fichtenholz in Längsrichtung beträgt zwischen 80 bis 90 N/mm<sup>2</sup>. Wird dieser Wert als spezifische Zugfestigkeit auf die Dichte des Werkstoffs bezogen, ist Fichtenholz in Faserrichtung etwa dreifach stärker belastbar als Baustahl. Bei Druckbelastung in Längsrichtung ist Fichtenholz schwächer, erreicht mit durchschnittlich 45 N/mm<sup>2</sup> aber immer noch einen respektablen Wert. Bei den Steifigkeitswerten, ausgedrückt durch den E-Modul, ist Holz etwa halb so steif wie Stahl und erreicht etwa ein Drittel des Wertes von Beton. Es lässt sich somit besser verformen als die beiden genannten Werkstoffe. Holz verbindet also eine hohe Festigkeit mit einer ausreichend hohen Steifigkeit bei gleichzeitig einem geringen Gewicht (Abb. 2.3). Es ist somit ein Baustoff, der unter dem Gesichtspunkt der Festigkeit und des Tragverhaltens nur schwer zu schlagen ist.

Holz ist von Natur aus chemisch widerstandsfähig und wird mit korrosiven Angriffen durch Luftschadstoffe deutlich besser fertig als mineralische oder metallische Baustoffe.

Holz ist auch biologisch durchaus dauerhaft. Trockenes Konstruktionsholz wird bei sachgerechtem Einsatz in Gebäuden von Holz zerstörenden Pilzen und Insekten kaum angegriffen. Daher ist keineswegs – wie früher vielfach angenommen – eine grundsätzliche Behandlung des Holzes mit chemischen Schutzmitteln erforderlich, um es vor der Schädigung durch Pilze und Insekten zu bewahren. Die vielfältigen Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes unter Verzicht auf chemische Behandlungen und Nutzung vorrangig einheimischer Hölzer sind in der kürzlich überarbeiteten Norm DIN 68 800 zusammengefasst. Für die Umsetzung der Norm wurde von Wissenschaftlern mit Unterstützung der Holz- und Bauwirtschaft zudem ein Kommentar erarbeitet, der viele Details spezifiziert und wichtige Hinweise in die bauliche Praxis gibt [Marutzky 2012].

Auch in Bezug auf Brandgefahr sind Gebäude aus Holz nicht risikobehafteter als Häuser aus mineralischen Baustoffen. Vorbeugende Maßnahmen des Brandschutzes und die gewissenhafte Einhaltung der üblichen Brandschutzvorschriften sorgen dafür, dass Holzhäuser kein besonderes Brandrisiko aufweisen [Scheer, Peter 2009].

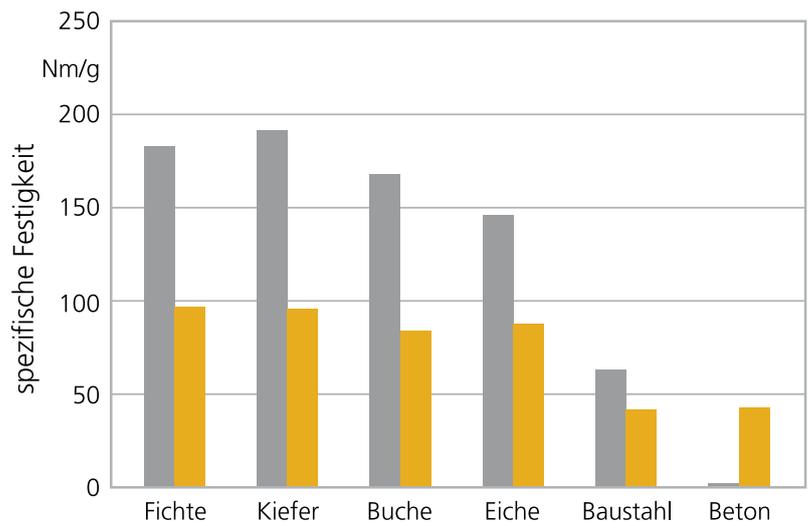


Abb. 2.3: Spezifische Zugfestigkeit (grau) und Druckfestigkeit (gelb) von einheimischen Hölzern im Vergleich zu Baustahl und Hochleistungsbeton

## 3\_Holzprodukte für das Bauwesen und die Innenraumausstattung

Holz wird zu einer Vielzahl von Produkten verarbeitet. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen den Vollholzprodukten (Bauschnittholz) und den Holzwerkstoffen.

Synonyme für das Vollholz sind Massiv- oder Schnittholz. Die meisten Vollholzprodukte werden hierzulande aus Nadelholz, vor allem Fichte oder Kiefer, hergestellt, doch auch Laubhölzer gewinnen zunehmend an Bedeutung. Bauschnittholz wird durch seine Dicke, Höhe und Breite gekennzeichnet. Es wird visuell oder maschinell nach Aussehen und Tragfähigkeit sortiert und darf in der Sortimentsklasse 1 die Holzfeuchte von 20 % nicht überschreiten. Die Kriterien sind in der Norm DIN 4074-1 festgelegt. Konstruktionsvollholz ist ein durch besondere Auswahl, Zuschnitt, Trocknung und Sortierung veredeltes Bauschnittholzerzeugnis, das in seinen tech-

nischen Merkmalen deutlich über die bauaufsichtlichen Anforderungen für normales Bauschnittholz hinausgeht. Weitere Hinweise finden sich in einer Informationsschrift der Überwachungsgemeinschaft KVH Konstruktionsvollholz [Wiegand 2012].

Brettsperrholz und Brettschichtholz sind Bindeglieder zwischen dem Vollholz und den Holzwerkstoffen. Beim Brettsperrholz werden mehrere über Kreuz flach aufeinandergelegte Brettlagen zu Massivholztafeln verklebt. Dieser Aufbau unterscheidet den Werkstoff vom Brettschichtholz, bei dem die Lagen längs zur Faser angeordnet sind. Diese Holzprodukte ergänzen und erweitern den Anwendungsbereich von Schnittholz und ermöglichen ansprechende Konstruktionen mit früher nicht vorstellbaren Dimensionen (Abb. 3.1).

Abb. 3.1: Beispiel einer Deckenkonstruktion mit Brettsperrholz-Rippenelementen aus Weisstannenh Holz



Eine Übersicht der Vollholzprodukte gibt die Schrift „Konstruktive Vollholzprodukte“ des Informationsdienstes Holz [Kuhweide et al. 2000]. Über Bauen mit Brettspertholz informiert eine aktuelle Informationsschrift der Studiengemeinschaft Holzleimbau [Wiegand et al. 2010]. Holzwerkstoffe ergänzen und erweitern die Anwendung von Vollholzprodukten im Bauwesen. Sie werden aus Furnieren, Spänen oder Fasern nach Zugabe eines organischen Klebstoffes unter Hitze und Druck industriell zu einem in der Regel plattenförmigen Werkstoff geformt. Die wichtigsten Holzwerkstoffe sind die Spanplatte, die Faserplatte, die OSB (Oriented Strand Boards) sowie das Sperrholz. Darüber hinaus gibt es auch Span- und Faserwerkstoffe, die mit mineralischen Bindemitteln wie Gips oder Zement hergestellt werden. In der Regel werden Holzwerkstoffe im

Holzbau flächig als tragende oder bekleidende Bauteile verwendet. Auch im dekorativen Innenausbau und in der Möbelfertigung haben sie eine herausragende Bedeutung. Ästhetische ansprechende und funktionale Raumgestaltungen und Möbel im Wohn-, Schlaf- und Küchenbereich zu vernünftigen Preisen wären ohne moderne Holzwerkstoffe nicht denkbar (Abb. 3.2).

Auch bei Anwendungen in Transport, Logistik und Verkehr sind Holzwerkstoffe begehrte Konstruktionsmaterialien. Detaillierte Angaben über Aufbau, Eigenschaften und Anwendungen von Holzwerkstoffen finden sich in den Schriften „spezial: Span- und Faserplatten, OSB“ und „spezial: Sperrholz“ des Informationsdienstes Holz [Marutzky, Sauerwein 2008, 2009].

Abb. 3.2: Beispiel einer modernen Küche aus Holz und Holzwerkstoffen



## 4\_ Effizient und nachhaltig Bauen mit Holz

In Deutschland werden derzeit etwas mehr als 15 Prozent aller Ein- und Zweifamilienhäuser in Holzbauweise errichtet, mit zunehmender Tendenz. Im Gegensatz zum Mauerwerks- und Betonbau ist der Holzbau eine Trockenbauweise. Der Baukörper wird dabei zumeist aus werkseitig vorgefertigten Elementen errichtet, so dass ein Haus in einem Tag regendicht montiert ist. Das Gebäude ist dann unmittelbar nach der Errichtung wind- und wetterfest und kann innerhalb

Abb. 4.1: Beispiel eines modernen Holzhauses



kurzer Zeit bezogen werden. Moderne Bearbeitungsverfahren in Verbindung mit werksmäßiger Vorfertigung schaffen Konstruktionen von hoher Qualität. Typhäuser mit vorgegebener Gestaltung und variierbare Gebäudekonstruktionen ermöglichen dem Bauherrn zudem die Umsetzung individueller Wünsche. Zwei Beispiele finden sich in den Abbildungen 4.1 und 4.2.

Konstruktionen aus Holz haben ein hohes ökologisches Potenzial. Eine Studie unter Federführung der Universität Hamburg zeigte diese Vorteile bei einem Vergleich einer Holzständerwand mit einer Metallständerwand und einer Massivwand. Wie die Treibhauspotenziale der verschiedenen Bewertungsfaktoren verdeutlichen (Abb. 4.3), liegt das Netto-Treibhauspotenzial der Holzständerwand mit 97 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente deutlich unter den Werten der Metallständerwand (136 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente) und der Massivwand (488 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Auch Potenzialanalysen anderer Holzprodukte wie Fenster, Parkett oder Laminatfußböden ergaben im Vergleich zu Produkten aus synthetischen, metallischen oder mineralischen Materialien herausragende Ergebnisse.

Der Begriff Nachhaltigkeit wurde in Kapitel 2 in Zusammenhang mit der Forstwirtschaft ausführlich erläutert. Der Begriff hat inzwischen in zahlreichen Bereichen eine erweiterte Anwendung erfahren. Hierzu gehört auch das Bauwesen und damit der Holzbau. Nachhaltigkeit in Zusammenhang mit Gebäuden bedeutet nicht nur den Energieverbrauch während der Nutzungsphase oder

Abb. 4.2: Beispiel eines in Tafelbauweise erstellten Fertighauses

Emissionen bei Bezug des Gebäudes, sondern beinhaltet neben ökologischen Aspekten auch noch ökonomische, soziale und soziokulturelle sowie funktionale Gesichtspunkte [Frühwald, Pohlmann 2001]. Auch die technischen Merkmale und die Prozessqualität werden berücksichtigt (Abb. 4.4). Es erfolgt somit eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen der Bauprodukte auf das Bauwerk und seinen Lebenszyklus.

Der Nachweis der nachhaltigen Bauweise erfolgt mit Hilfe von Zertifizierungssystemen, den sogenannten „Green Building Labels“. Das Ziel dieser Gebäudezertifizierungssysteme ist die Bewertung des Bauwerks bezüglich Energieeffizienz, Nutzerkomfort und Umweltwirkung transparent darzustellen und die verschiedenen Bauweisen untereinander objektiv vergleichbar zu machen.

Es gibt inzwischen verschiedene nationale und internationale Bewertungssysteme. Diese Systeme sind zum Teil sehr komplex und selbst für den Fachmann nur schwer durchschaubar. Auch ist festzustellen, dass die Kriterien nicht immer die Besonderheiten berücksichtigen, wie sie bei der Nutzung nachwachsender Baustoffe wie Holz gegeben sind. Inzwischen wurde vom Institut für Holzforschung des Thünen-Instituts in Hamburg eine ökologische Datenbank für Bauprodukte aus Holz aufgebaut, die eine sachgerechtere Bilanzierung dieser Materialien ermöglichen soll. Ziel ist es, die besonderen Merkmale des nachwachsenden Baustoffs Holz und seinen Beitrag zum Klimaschutz noch besser in Gebäudezertifizierungssysteme zu integrieren und die Ergebnisse der Bewertung im Außenraum zu vermitteln. Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens ist als PDF-Dokument auf der Internetseite der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe erhältlich ([fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22028808.pdf](http://fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22028808.pdf)).

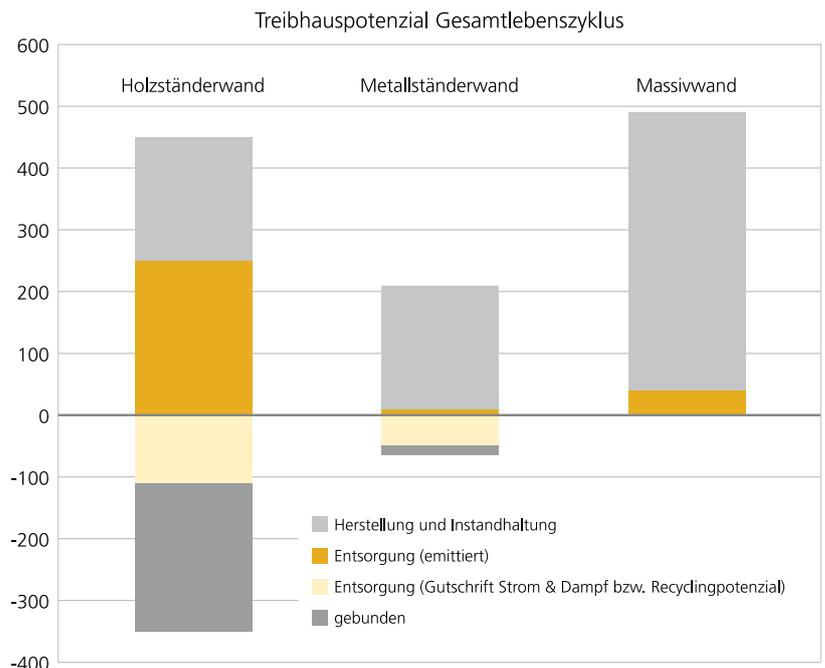


Abb. 4.3: Treibhauspotenzial verschiedener Innenwandtypen über den gesamten Lebensweg [Albrecht et al. 2008]

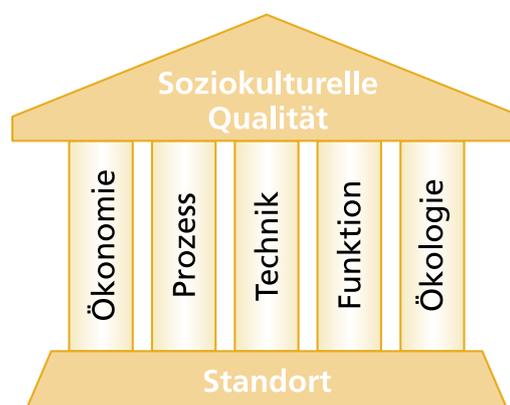


Abb. 4.4: Bewertungskriterien für nachhaltiges Bauen

## 5\_Angenehm Wohnen in Holz

Die Verwendung von Holz als natürlichem Rohstoff in Innenräumen hat in Bezug auf Wohnkomfort und Wohnhygiene eine besondere Bedeutung. Sowohl der Holzbau als auch die bauliche Ausstattung im Boden-, Wand- und Deckenbereich weisen unter den Gesichtspunkten der Wärmestrahlung, des gesunden Wohnklimas und der Ästhetik Vorteile auf. Hierzu gehören Merkmale wie Behaglichkeit, Haptik und Oberflächenbeschaffenheit, Antistatik, Geruch und Feuchteausgleichswirkung. Bei Anwendungen in Innenräumen treten diese positiven Eigenschaften des Holzes in den Vordergrund, die es deutlich von anderen Werkstoffen abheben. Holz verbindet somit gute Optik und physikalische Merkmale in vorteilhafter Weise. Wie in Abbildung 5.1 beispielhaft gezeigt, bietet der Baustoff Holz praktisch unbegrenzte Möglichkeiten zur Gestaltung des Innenraums.

Abb. 5.1: Raumgestaltung mit Holz und Holzwerkstoffen



Holz ist von der Farbe, Maserung und Struktur ein ästhetischer Werkstoff, der auf Grund seiner Variabilität über die Auswahl spezifischer Hölzer viele optische Wünsche und Geschmacksvarianten erfüllt. Transparente Anstriche oder Behandlungen mit Wachsen und Ölen vertiefen das Wahrnehmungsbild der Holzstrukturen und ermöglichen auch feine Farbänderungen. Das Berührungsverhalten wird über die Haptik des Baustoffes beschrieben. Holz wird auf Grund seiner geringen Wärmeleitfähigkeit beim Berühren als „warmer“ Werkstoff und auf Grund seiner Porosität, Dichte und Elastizität als „weicher“ Werkstoff empfunden. Diese Merkmale führen in der Regel zu einer positiven Wahrnehmung bei der Berührung von Holzoberflächen. Weniger bekannt ist, dass Holzoberflächen ein merkliches antibakterielles Verhalten zeigen und daher hygienisch anderen Werkstoffen vielfach überlegen sind [Stingl, Teischinger 2012]. Eine ausführliche Darstellung der verschiedenen positiven Merkmale wie Ästhetik, Haptik und Hygiene von Holz findet sich in der aktuellen Schrift „Interaktion Mensch und Holz“ [Teischinger 2012].

Besondere Bedeutung hat der positive Einfluss des Holzes auf das Raumklima. Die für den Menschen maßgebenden atmosphärischen Umweltbedingungen werden als Bioklima bezeichnet. Darunter versteht man die Summe aller auf lebende Organismen wirkenden Faktoren des Klimas. Im Folgenden wird darunter der spezielle Einfluss auf den Menschen in Innenräumen verstanden. Das Bioklima nimmt Einfluss auf unseren Organismus und hat damit positive wie nachteilige Auswirkungen auf Wohlbefinden und Gesundheit. Insbesondere die thermischen Faktoren und die stoffliche Zusammensetzung der Luft wirken sich auf die Physiologie des Menschen aus und entscheiden damit teilweise über sein Wohlbefinden.

Körperliches Wohlbefinden ist gemäß DIN 1946 Teil 6 wie folgt definiert: „Thermische Behaglichkeit ist gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht.“. Bezüglich des Innenraumklimas ist der Mensch wenig anpassungsfähig, denn schon geringe Temperaturschwankungen und Luftbewegungen können bei ihm Unbehagen auslösen. Thermische Behaglichkeit oder thermischer Komfort kann allerdings nicht anhand einzelner physikalischer Parameter festgelegt werden. Hier spielen diverse Faktoren eine wichtige Rolle, die in der DIN 1946-6 unter den Begriffen thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität zusammengefasst sind. Speziell das Wärmeempfinden ist abhängig von der körperlichen Aktivität, der Bekleidung, Lufttemperatur, mittleren Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte.

Ein gut wärmegeprägter Raum trägt durch ein weitgehend homogenes Temperaturfeld ebenfalls zur thermischen Behaglichkeit bei. Hinsichtlich der Raumluftqualität gelten das CO<sub>2</sub> und die Luftfeuchte sowie flüchtige organische Komponenten (VOCs) und Gerüche als charakteristische Größen für die Beurteilung. Maßgebend für ein behagliches Klima ist, wie in Abbildung 5.2 dargestellt, das Zusammenwirken dieser Größen.

Aber auch die Einhaltung aller durch Normen und andere Regelwerke festgelegten Behaglichkeitskriterien garantiert nicht automatisch Wohlbefinden. Geschlecht, Alter, psychischer Zustand, etc. spielen ebenfalls eine Rolle für die empfundene Luftqualität, die durch Konzentrationen chemischer und biologischer Noxen in der Raumluft zusätzlich beeinflusst werden

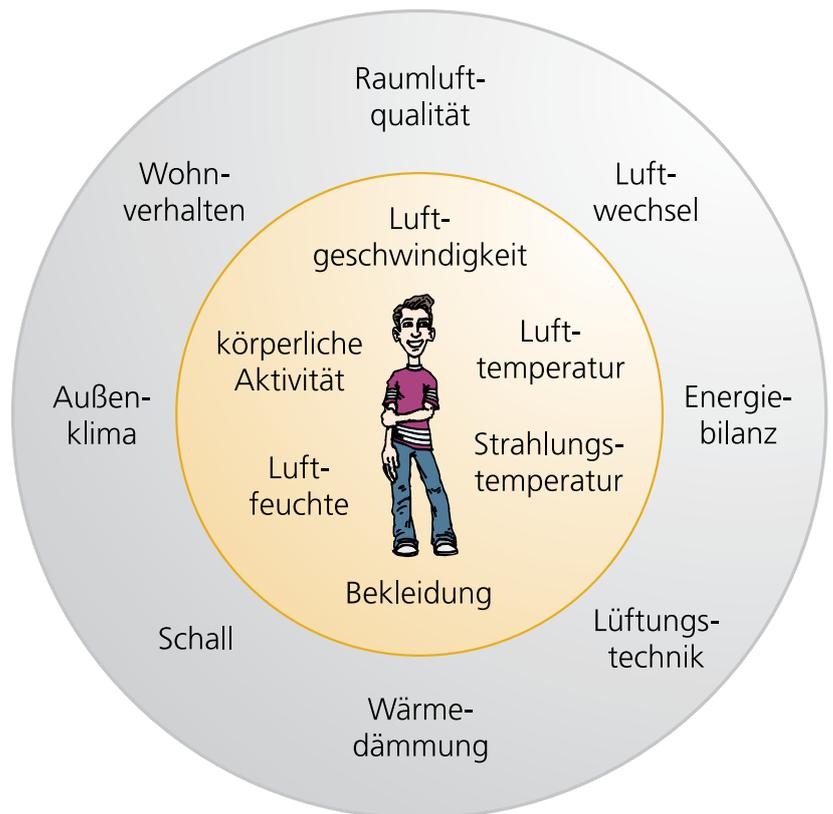


Abb. 5.2: Thermisches (gelb) und äußeres (grau) Behaglichkeitsumfeld von Personen in Innenräumen.

kann. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Klimasituation für den Menschen ist das in Abbildung 5.3 gezeigte Behaglichkeitsdiagramm, bei dem lediglich die Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur betrachtet werden. In diesem Diagramm finden die personenbezogenen Größen keine Berücksichtigung.

Eine herausragende Eigenschaft von Holz ist, dass es die objektiven und subjektiven Merkmale eines optimalen Raumklimas auch ohne größere technische Maßnahmen weitgehend zu erfüllen hilft. In Räumen, die großflächig mit Holz gestaltet sind, stellen sich rasch Oberflächentemperaturen ein, die von der Mehrzahl der Menschen als angenehm empfunden werden.

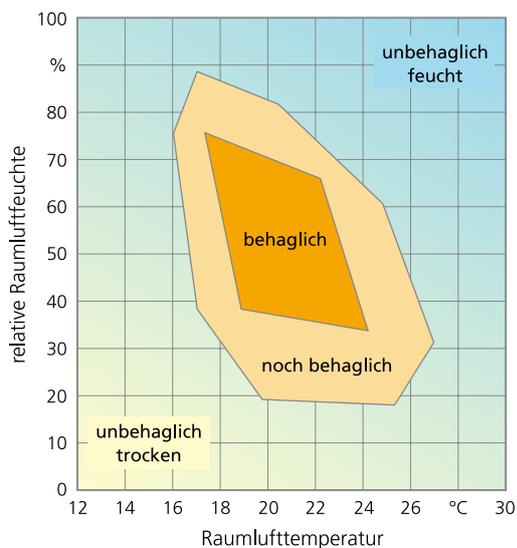


Abb. 5.3: Behaglichkeitsdiagramm für die Raumluftparameter Temperatur und Luftfeuchte

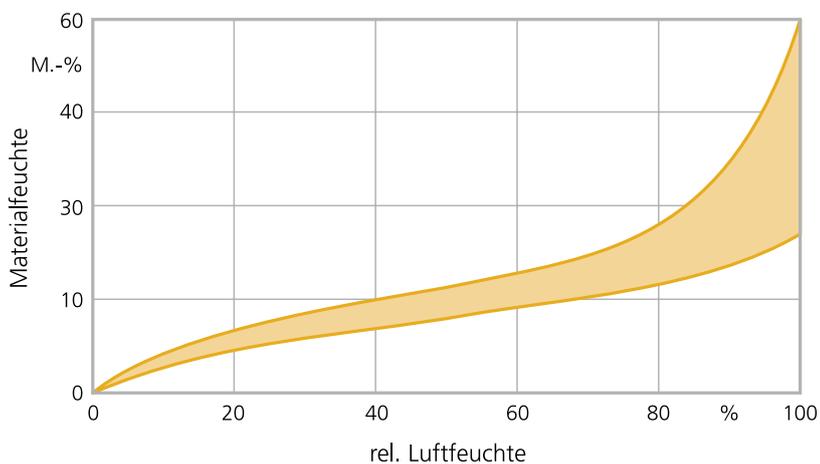


Abb. 5.4: Zusammenhang zwischen Materialfeuchte des Holzes und relativer Luftfeuchte

Ein mit Holz ausgekleideter Wohnraum wird durch ein weitgehend homogenes Temperaturfeld zur thermischen Behaglichkeit beitragen. Darüber hinaus wirkt sich der Werkstoff Holz auch positiv auf die Luftfeuchte eines Raumes aus. Abbildung 5.4 zeigt, dass gasförmiges Wasser in die Raumluft durch das poröse Holz besonders gut adsorbiert wird. Damit dämpft es den Anstieg der relativen Luftfeuchte.

Ist die Luft hingegen zu trocken, dann gibt Holz Wasserdampf an die Raumluft ab und wirkt so einer Abnahme der Luftfeuchte entgegen. Holz funktioniert also als ausgleichender Puffer für Schwankungen des Feuchtegehalts der Raumluft und ist mit anderen feuchtedynamischen Baustoffen wie Kalkputz vergleichbar. Mit Holz gestaltete Innenräume sollten daher in den Wand- und Deckenflächen unbehandelt bleiben oder nur mit diffusionsoffenen Anstrichen, Ölen oder Wachsen behandelt werden.

Andere förderliche Eigenschaften des Holzes für das Wohlbefinden werden durch eine Studie der Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH in Graz belegt [2003]. Vergleichende Untersuchungen in Räumen mit und ohne Holzbekleidungen, hier solche aus Zirbenholz, haben einen positiven Einfluss auf Kreislauf, Schlaf und allgemeines Befinden gezeigt. Nach Angaben des Autors Prof. Dr. Maximilian Moser senkt es die durchschnittliche Herzschlagfrequenz und beugt damit Herz-Kreislauf- und stressbedingten Erkrankungen vor [Mikado edition 2012].

## 6\_Gesundheitliche Bewertung von Baustoffen in Hinblick auf die Raumluftqualität

Systematische wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema Innenraumhygiene begannen vor fast 200 Jahren und betrafen Fragen der Lüftung und des von Personen ausgeatmeten CO<sub>2</sub>. 1858 schlug der deutsche Chemiker und Hygieniker Max von Pettenkofer vor, eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von maximal 1000 ppm (0,1 Vol.-%) als Kriterium für einen gut belüfteten Raum heranzuziehen. Die Arbeiten von Pettenkofers initiierten viele weitere Studien, in denen die Konzentration von CO<sub>2</sub> als Messgröße für die Lüftungsrate verwendet wurde. Wie in Abbildung 6.1 verdeutlicht, erreicht der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Raumluft ohne ausreichenden Luftwechsel bereits nach kurzer Zeit diesen Richtwert. Die so genannte „Pettenkofer-Zahl“ war über Jahrzehnte die Grundlage deutscher Lüftungsnormen. Die Ad hoc AG des Deutschen Umweltbundesamtes hat dann im Jahr 2008 für CO<sub>2</sub> ein abgestuftes Richtwertkonzept präsentiert. Darin gelten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen < 0,1 Vol.-% als „hygienisch unauffällig“.

Bereits im 19. Jahrhundert wurden somit die Bedeutung des Luftaustausches und die damit verbundene Verringerung der CO<sub>2</sub>-Konzentration für die Raumluftqualität erkannt. Mit zunehmendem Wissen um die Bedeutung des Innenraums für die menschliche Gesundheit wurden dann ab Mitte der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts von verschiedenen Organisationen detaillierte Maßnahmen zur Gewährleistung einer gesunden Raumluft empfohlen [Salthammer 2011].

Diese Maßnahmen lassen sich grob in zwei Kategorien aufteilen:

- Ableitung von Richt- und Referenzwerten für den Innenraum
- Begrenzung der nachträglichen Freisetzung von luftverunreinigenden Stoffen aus Baustoffen und Bauprodukten

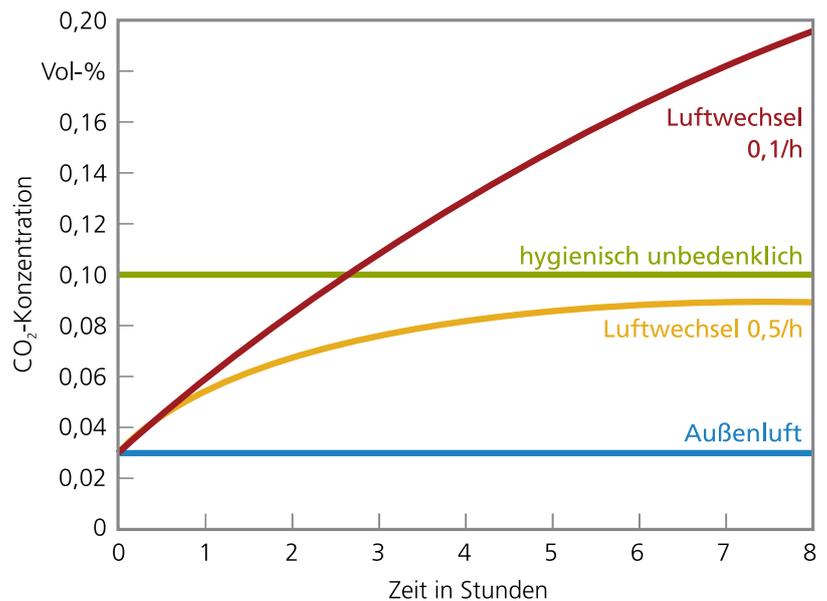


Abb. 6.1: Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem 50 m<sup>3</sup> Raum durch eine ruhende Person bei verschiedenen Luftwechselraten

Ein weiteres Konzept berücksichtigt die Bewertung der wahrgenommenen Luftqualität mittels sensorischer Methoden.

Die Weltgesundheitsorganisation WHO definiert daher Gesundheit als „...Zustand vollkommenen körperlichen, psychischen und sozialen Wohlbefindens, welcher mehr ist als die Abwesenheit von Krankheit“. Gesundheitsbezogene Kriterien für die Innenraumluft sind prinzipiell hilfreich und sinnvoll. Bei einer Beurteilung muss allerdings immer berücksichtigt werden, dass der Innenraum ein nur teilweise zu reglementierender Bereich ist, da hier die unbedingt zu respektierende Privatsphäre der Bewohner berührt wird. Darüber hinaus definiert sich Gesundheit nicht allein über den Begriff eines geringen Emissionspotenzials für organische Stoffe. Ob ein Mensch sich in seiner Umgebung wohlfühlt, hängt – wie im letzten Abschnitt ausführlich dargestellt – von einer Vielzahl von Faktoren ab.

### Richtwerte für die Innenraumluft

Eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumhygienekommission des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden hat für verschiedene luftverunreinigende Stoffe in Innenräumen die zwei Richtwerte RW I und RW II definiert, die sich konventionsgemäß durch einen Faktor von 10 unterscheiden. RW I beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Eine Überschreitung ist allerdings mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, unerwünschten Belastung verbunden. In besonderen Fällen wird bestimmten Eigenschaften der Substanzen Rechnung getragen, so z. B. der niedrigen Geruchschwelle bei den aliphatischen Aldehyden (aliphatisch: fettartige, offenkettige Verbindungen) in Bezug auf RW I. RW II ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt und der nicht überschritten werden sollte. Krebserregende Substanzen werden nicht durch die Ad-hoc-Arbeitsgruppe bewertet. Informationen zur Arbeit der Innenraumhygienekommission und jeweils aktualisierte RW I und RW II sind abrufbar unter [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de).

Für eine einheitliche gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten in Deutschland hat der „Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten“ (AgBB) ein Bewertungsschema für Emissionen flüchtiger und schwerflüchtiger Verbindungen aus innenraumrelevanten Bauprodukten entwickelt, das so genannte AgBB-Schema. Da in anderen europäischen Ländern weitere gesetzliche oder freiwillige Bewertungsschemata für VOC-Emissionen (VOC: Volatile Organic Compounds) aus Bauprodukten existieren – mit unterschiedlichen Bewertungskriterien und Grenzwerten –, hat die Europäische Kommission CEU den Europäischen Normungsverband CEN aufgefordert, ein harmonisiertes Mess- und Bewertungsschema für regulierte gefährliche Stoffe zu erarbeiten [Illvonen, Kirchner 2010]. Im Innenraum sind hiervon vor allem flüchtige Stoffe, sogenannte VOC betroffen (Tabelle 6.1).

Betrachtet man flüchtige organische Verbindungen in Relation zu anderen Innenraumluftverunreinigungen so stellt man fest, dass die Bedeutung der VOCs über die Jahre abgenommen hat. Obwohl das Substanzspektrum als auch die möglichen Emissionsquellen heute gut bekannt sind, werden die damit verbundenen Auswirkungen immer noch ambivalent eingeschätzt. Von gesundheitlicher Relevanz im Innenraum sind heute in erster Linie das radioaktive Edelgas Radon und Schimmelpilze [Mücke 2004, Moriske 2007].

Davon unbenommen kann die nachträgliche Freisetzung von organischen Verbindungen aus Bauprodukten die Qualität der Innenraumluft beeinflussen. Während die Gesetzgebung hier einen ungünstigen negativen Einfluss auf die Luftqualität annimmt, gibt es aus der Wissenschaft auch kritische Stimmen, die in bestimmten Fällen, z. B. Holz, auf positive Einflüsse verweisen [Dobi-

TAB. 6.1: BEGRIFFE BEI ORGANISCHEN EMISSIONEN AUS WERK- UND BAUSTOFFEN

Abkürzung	Erläuterung	Siedebereich der Verbindungen*
VVOC	Very Volatile Organic Compound	< 0 bis 50 bis 100 °C
VOC	Volatile Organic Compound	50...100 bis 240...260 °C
SVOC	Semi Volatile Organic Compound	240...260 bis 380...400 °C
POM	Particulate Organic Matter	> 380 °C

aner 2012]. Dass die Bedeutung von luftverunreinigenden Stoffen in Innenräumen zugenommen hat, ist auf die luftdichtere Bauweise moderner Gebäude zurückzuführen, ohne eine gleichzeitige Kompensation durch eine intelligente Lüftung zu berücksichtigen. Diese Thematik betrifft alle Bauweisen und Werkstoffe. Die Holzwirtschaft hat sich dieser Herausforderung gestellt und in den vergangenen Jahren emissionsarme Bau- und Werkstoffe entwickelt. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass die Natur immer noch mit dem

Holz einen VOC-haltigen Werk- und Baustoff produziert, erkennbar am holztypischen Geruch. Mittlerweile wurden diese natürlichen Emissionen des Holzes einer toxikologischen Bewertung unterzogen (siehe Kapitel 8).

### Radon

Radon ist ein radioaktives Edelgas und Zwischenprodukt des radioaktiven Zerfalls bestimmter natürlicher Elemente. Da sich Radon in Häusern in schlecht belüfteten Räumen ansammeln kann, stellt es eine Gefahr für die Gesundheit dar. Es stammt dabei vor allem aus mineralischen Böden unter den Gebäuden – in Deutschland vornehmlich Granit – und nur nachgeordnet aus Baustoffen. Natürliche biogene und synthetische Baustoffe und damit Holz geben kein Radon ab. Es gibt Schätzungen, wonach bis etwa 10 Prozent aller Lungenkrebskrankungen auf Radon in Innenräumen zurückzuführen sind.

### Schimmelpilze

Unter dem Begriff „Schimmelpilze“ werden Spezies verschiedener Gattungen von Pilzen mit gemeinsamen Merkmalen zusammengefasst. In Innenräumen sind Schimmelpilze weit verbreitet. Sie finden sich als Mikroorganismen in Topfpflanzen, auf Nahrungsmitteln sowie in oder an der Bausubstanz, meist in Verbindung mit Feuchteschäden oder unzureichendem Wärmeschutz. Die gesundheitliche Bedeutung von Schimmelpilzen liegt in der Bildung von Sporen, die als Bioaerosole in die Luft gelangen, und in der Bildung von Mykotoxinen. Darüber hinaus werden sogenannte MVOCs (**M**icrobial **V**olatile **O**rganic **C**ompounds) als Stoffwechselprodukte gebildet, die als unangenehmer Geruch wahrnehmbar sind. Die Exposition gegenüber Schimmelpilzen kann mit Allergien, Atemwegserkrankungen, Infektionen und allgemeinen Befindlichkeitsstörungen einhergehen.

## 7\_ Emissionen von Holz und Holzprodukten

Die Eigenschaft des Holzes, flüchtige organische Geruchstoffe zu enthalten und diese auch an die Umgebungsluft abzugeben, findet bereits im mehr als 5000 Jahre alten Gilgamesch-Epos mit dem Vers „In unser Haus tritt ein unter Zedern-duft“ Erwähnung. Auch andere Duftstoffe wie Sandelholzextrakte, Weihrauch und Myrrhe sind eng mit der Entwicklung der menschlichen Kultur verknüpft.

Chemisch gesehen bestehen pflanzliche Biomassen wie das Holz ohne Berücksichtigung des Wassergehalts in der Masse aus den nicht-flüchtigen Polymeren Cellulose, Lignin und Hemicellulosen. Hinzu kommen weitere überwiegend nicht-flüchtige Stoffe wie Mineralien, niedermolekulare Zucker, Stärke, Harze und Fette. Der Gehalt an flüchtigen Stoffen (Holz-VOC) liegt zwischen 0,1 und etwa 2 Prozent und ist holzartenabhängig. Die wichtigsten Holz-VOC finden sich in Abbildung 7.1.

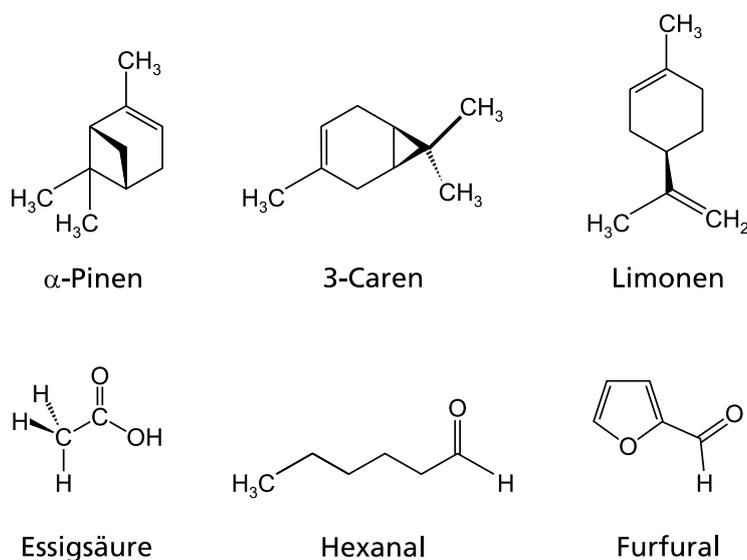


Abb. 7.1: Strukturformeln der wichtigsten Holz-VOC

Nadelhölzer wie Fichte, Kiefer, Lärche oder Tanne enthalten im waldfrischen Zustand zwischen etwa 0,5 und 2 Prozent an Monoterpenen, vor allem  $\alpha$ - und  $\beta$ -Pinen, 3-Caren sowie Limonen [Breitmeier 2005]. Die hier genannten Monoterpene weisen Siedepunkte um 160°C auf und sind die wesentlichen Komponenten des Geruchs von frischem Nadelholz. Terpenemissionen, verbunden mit Nadelholzgeruch, finden sich daher bei allen naturnahen Bauteilen aus Nadelholz. In der Natur selbst verursachen Terpenemissionen aus Kiefern- und Eukalyptuswäldern ein bemerkenswertes Schauspiel. Die freigesetzten Substanzen sind als feiner Nebel über den Baumwipfeln zu beobachten und erzeugen durch Streuung des Sonnenlichts eine charakteristische Blaufärbung, besonders spektakulär geschieht dies in den australischen „Blue Mountains“. Der Gehalt des Holzes an Monoterpenen wird durch natürliche oder künstliche Trocknung vermindert, doch gibt es in der Abnahmecharakteristik holzartenabhängige Unterschiede. Auch getrocknetes Holz enthält daher stets noch Terpene. Sie sind die Hauptursache des typischen Nadelholzgeruchs.

Laubhölzer enthalten in der Regel deutlich weniger flüchtige organische Verbindungen als Nadelhölzer. Terpenemissionen spielen bei Laubhölzern kaum eine Rolle, dafür dominieren hier Aldehyde und Carbonsäuren, z. B. Essigsäure. Der Effekt ist besonders bei Buchenholz signifikant. Bedeutsame Emissionen bei Holz sind darüber hinaus Aldehyde. Bereits das gewachsene Holz setzt geringe Mengen an Formaldehyd (C1) frei. Auch aus getrockneten Holzspänen sind Formaldehydemissionen messbar. Weiterhin ist in der Aldehydgruppe oft die Reihe von Acetaldehyd (C2) über Propanal (C3) bis Decanal (C10) mit ihren ungesättigten Analoga nachzuweisen.

Die höheren Aldehyde, vor allem Pentanal und Hexanal, sind für fettreiche Hölzer wie Kiefer, Linde oder Birke typisch, allerdings gibt es auch hier holzspezifische Unterschiede. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass diese Aldehyde vornehmlich durch thermisch-oxidative Reaktionen aus ungesättigten Fettsäuren gebildet werden. Es handelt sich um Spurenstoffe, die auch in pflanzlichen Aromastoffen, in Aromen von Lebensmitteln sowie bei Brat- und Backprozessen auftreten. Das Geruchsbild ist entsprechend variabel.

Das Emissionsverhalten von Holzwerkstoffen unterscheidet sich nicht grundlegend von dem des Holzes, doch kommt es bedingt durch die bei der Trocknung und Verpressung einwirkenden Temperaturen (bis 200 °C) zu einer Verschiebung von den Terpenen hin zu den Aldehyden und Carbonsäuren. Dies sind Stoffe, die durch hydrolytische, thermische und/oder oxidative

Reaktionen aus nicht- oder wenig-flüchtigen natürlichen Holzbestandteilen freigesetzt werden. Bei Verleimungen mit Phenoplastleimharzen kann in Spuren Phenol, bei Verleimung mit Amino-plastleimharzen Formaldehyd emittiert werden. Eine Übersicht zu den möglichen Emissionen organischer Verbindungen aus Holzwerkstoffen zeigt Abbildung 7.2.

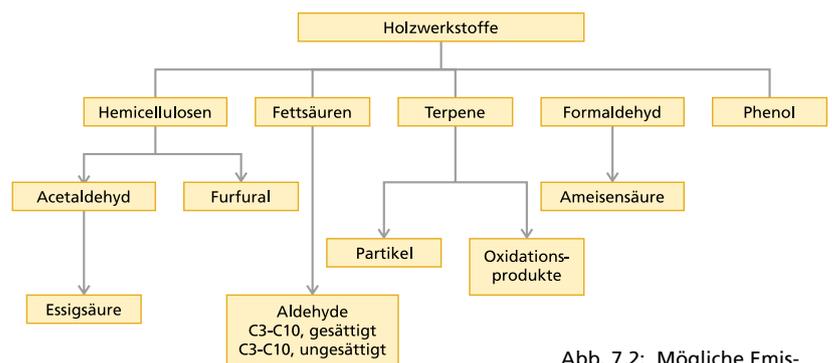


Abb. 7.2: Mögliche Emissionen organischer Verbindungen aus Holzwerkstoffen

TAB. 7.1: INNENRAUMLUFTRICHTWERTE FÜR SUBSTANZEN MIT MÖGLICHER RELEVANZ FÜR HOLZ UND HOLZPRODUKTE<sup>1)</sup>

Substanz/Substanzklasse	Richtwert	Bemerkungen
bicyclische Monoterpene <sup>2)</sup>	RW I = 0,2 mg/m <sup>3</sup> RW II = 2 mg/m <sup>3</sup>	Ad hoc AG (2003)
monocyclische Monoterpene <sup>3)</sup>	RW I = 1 mg/m <sup>3</sup> RW II = 10 mg/m <sup>3</sup>	Ad hoc AG (2010)
gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde	RW I = 0,1 mg/m <sup>3</sup> RW II = 2 mg/m <sup>3</sup>	Ad hoc AG (2009)
2-Furaldehyd (Furfural)	RW I = 0,01 mg/m <sup>3</sup> RW II = 0,1 mg/m <sup>3</sup>	Ad hoc AG (2011)
Benzaldehyd	RW I = 0,02 mg/m <sup>3</sup> RW II = 0,2 mg/m <sup>3</sup>	Ad hoc AG (2010)
Formaldehyd	0,1 ppm <sup>4)</sup> 0,08 ppm <sup>5)</sup>	Bundesgesundheitsamt (1977) WHO (2010)

1) Aktualisierte Richtwerte und Erläuterungen sind über die Internetseite des Umweltbundesamtes abrufbar ([www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm](http://www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm))

2) Leitsubstanz  $\alpha$ -Pinen

3) Leitsubstanz d-Limonen

4) Bestätigt im Jahr 2006 durch die Ad hoc AG

5) Definiert für Kurz- und Langzeitexposition

Weitere Emissionen von VOC sind durch die Behandlung von Holz und Holzwerkstoffen mit Kleb- und Anstrichstoffen, Wachsen und anderen Mitteln möglich, insbesondere dann wenn diese organische Lösemittel enthalten.

Wie aus Tabelle 7.1 ersichtlich, wurden für die meisten der für Holzprodukte relevanten flüchtigen organischen Verbindungen gesundheitsbezogene Innenraumluftrichtwerte abgeleitet. Mehrere unabhängige Untersuchungen haben gezeigt, dass für die Gruppe der Monoterpene, d. h. im Wesentlichen  $\alpha$ -Pinen und 3-Caren die typischen Raumluftkonzentrationen im Bereich von ca. 0,01 – 0,1 mg/m<sup>3</sup> liegen. Der RW I von 0,2 mg/m<sup>3</sup> wird unter normalen Wohnbedingungen nur selten erreicht bzw. überschritten. Hohe Konzentrationen im Bereich des RW II von 2 mg/m<sup>3</sup> wurden manchmal kurzzeitig in Neubauten und nach Renovierungen gemessen. Analoge Aussagen lassen sich auch für die anderen Terpene, die gesättigten Aldehyde und das Furfural treffen.

Der vermutlich bekannteste und am besten erforschte luftverunreinigende Stoff ist Formaldehyd. Bereits im Jahr 1977 wurde vom damaligen Bundesgesundheitsamt ein Richtwert für die Innenraumluft von 0,1 ppm (entspricht 0,1 ml/m<sup>3</sup> oder 0,125 mg/m<sup>3</sup>) vorgeschlagen. Im Jahr 2006 hat das Bundesinstitut für Risikobewertung festgestellt, dass auch hinsichtlich der krebserzeugenden Wirkung von Formaldehyd keine Änderung des Richtwertes von 0,1 ppm erforderlich ist. Auf internationaler Ebene ist die Situation weit weniger übersichtlich, da die einzelnen Länder zu sehr unterschiedlichen Einstufungen mit teilweise unrealistisch niedrigen Richtwerten bei kaum nachvollziehbaren Begründungen kommen. Es ist daher zu begrüßen, dass die Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Jahr 2010 auf Basis der aktuellen Datenlage eine Neubewertung für die Substanz Formaldehyd vorgenommen hat. Sowohl für die Kurzzeit- wie auch für die Langzeitexposition wird seitens der WHO ein Richtwert von 0,1 mg/m<sup>3</sup> (0,08 ppm) empfohlen.

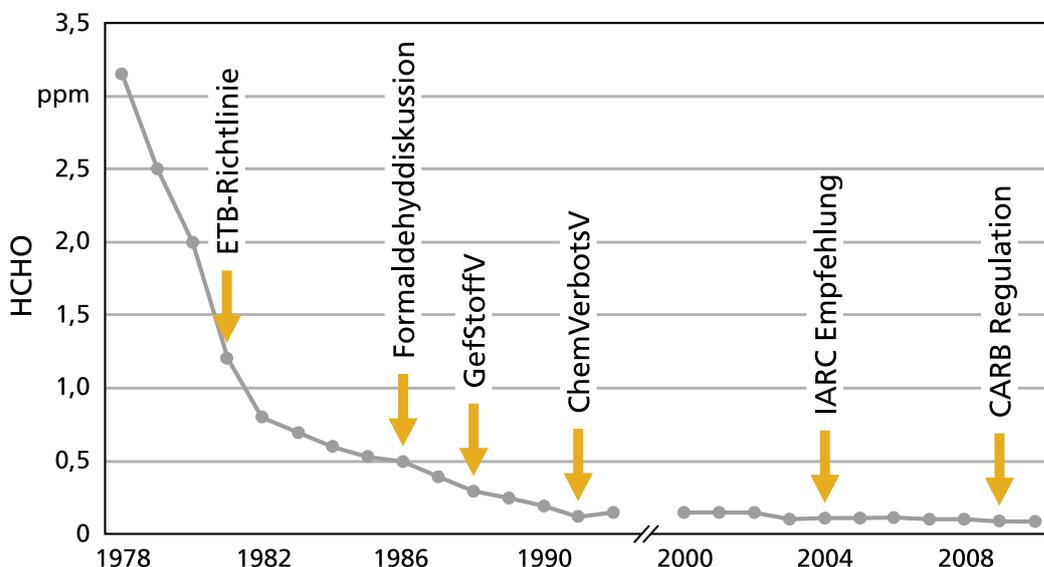


Abb. 7.3: Abnahme der Formaldehydabgabe von Holzspanplatten seit 1978

Für die nachträgliche Formaldehydabgabe aus beschichteten und unbeschichteten Holzwerkstoffen und Möbeln gilt in Deutschland die Chemikalienverbotsverordnung von 1993. Vergleichbare Regelungen finden sich auch in harmonisierten europäischen Normen für Holzwerkstoffe – hier die DIN EN 13986 – und anderen Werkstoffen aus Holz. Viele Hersteller bieten zudem formaldehydfrei verleimte Produkte oder Produkte mit Emissionswerten deutlich unter den gesetzlichen Vorgaben an. Durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind die Formaldehydemissionen von Spanplatten in den letzten Jahrzehnten drastisch zurückgegangen (Abb. 7.3). Dies gilt ebenso für andere Holzwerkstofftypen.

Darüber hinaus gibt es freiwillige Gütezeichen und Güteanforderungen mit Emissionswerten deutlich unter dem gesetzlichen Grenzwert. Die Qualitätsgemeinschaft Deutscher Fertighausbau QDF fordert z. B. seit 2003 für ihre Mitglieder die Verwendung von Holzwerkstoffen mit einem Emissionswert von maximal 30

Prozent des gesetzlichen Grenzwerts. Weitere Gütegemeinschaften für Häuser aus Holz und Holzwerkstoffen haben diese Anforderungen inzwischen ebenfalls eingeführt. Auch große Möbelhändler vertreiben heute Möbel, die aus Holzwerkstoffen gefertigt werden, die deutlich unter dem gesetzlichen Grenzwert liegen. Die Belastung der Raumluft durch Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen und damit hergestellten Produkten ist daher in den letzten Jahren stetig zurückgegangen. Dies bestätigen auch die Ergebnisse des Umwelt-Surveys des Umweltbundesamtes, der unter anderem in vornehmlich von Kindern genutzten Innenräumen Formaldehydkonzentrationen ausschließlich unterhalb des deutschen Innenraumrichtwerts von 0,1 ppm respektive der WHO von 0,08 ppm nachwies [Umweltbundesamt 2008, Salthammer et al. 2010]. So ist die durchschnittliche Formaldehydkonzentration im Innenraum seit Jahren rückläufig, während sie in der urbanen Außenluft stetig steigt. In Großstädten sind besonders unter dem Einfluss von Photo Smog Außenluftkonzentrationen mit 30 – 40 ppb keine Seltenheit mehr (siehe Abb. 7.4) [Salthammer 2013].

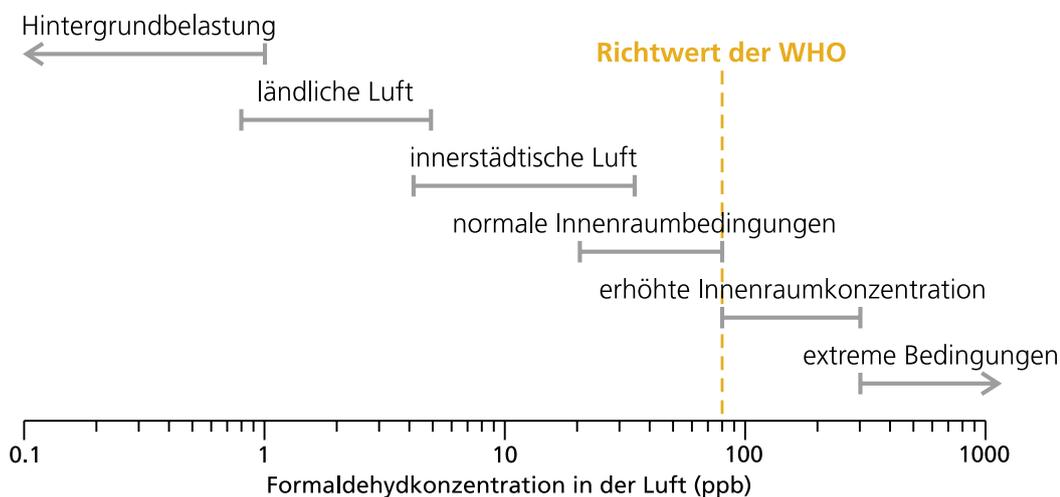


Abb. 7.4: Spannbreite an Formaldehydkonzentrationen in Außenluft und Innenraumluft [Salthammer et al., 2010]

## 8\_ Gesundheitliche Bewertung der Emissionen von Holzbauprodukten

Holz ist ein Werkstoff mit einer jahrhundertealten Tradition im Bauwesen. Ein natürliches Merkmal des Holzes ist sein Gehalt an flüchtigen organischen Stoffen, den so genannten Holz-VOC. Diese Stoffe werden von Holz und Holzwerkstoffen langsam in die Raumluft abgegeben und sind Ursache des typischen Holzgeruchs. Grundsätzliche Strategien zur Minderung der VOC-Emissionen aus frisch hergestellten Holzprodukten finden sich in der Holzartenauswahl, der Vorbehandlung des Rohstoffs, den Trocknungs- und Pressbedingungen sowie in der Lagerungsdauer zwischen Fertigung und Verarbeitung. Unbenommen davon sind die Holz-VOC ein natürliches Merkmal dieses Bau- und Werkstoffs.

In Zusammenhang mit der Belastung der Innenraumluft mit VOC aus Baustoffen und Einrichtungsgegenständen wurde auch der mögliche Beitrag von VOC-Emissionen aus Hölzern oder Holzwerkstoffen überprüft. Zwar gibt es aus der langen Anwendungsgeschichte des Holzes weder im Baubereich noch im Holzhandwerk Hinweise auf eine Gefährdung durch holzspezifische

VOC, doch liegen bisher auch keine endgültigen Studien zu deren Wirkung im Zusammenspiel mit anderen Luftverunreinigungen unter normalen Wohnbedingungen vor.

Die Ableitung der gesundheitsbezogenen Bewertungskriterien gemäß Richtwertkonzept und AgBB-Schema beruht nur zum Teil auf toxikologischen Basisdaten. Die Einschätzung der gesundheitlichen Auswirkungen der Emissionen aus Baustoffen ist somit lediglich begrenzt möglich. Gerade die Ableitung der tatsächlichen Belastungssituation fließt in ein solches Bewertungskonzept nicht ein. Wie in Abbildung 8.1 dargestellt, ist die letztendlich auftretende Raumluftkonzentration immer als Konsequenz mehrerer Einflussparameter zu betrachten und zu bewerten.

Durch Emissionsmessungen nach festgelegten Verfahren lassen sich Anforderungen an Produkte unter bestimmten Randbedingungen definieren. Gerade bei natürlichen Materialien wie Holz wird aber deutlich, dass schematisch festgelegte Kriterien keine sichere Basis für eine hygienisch-toxikologische Bewertung bilden.

Um die Frage der gesundheitlichen Relevanz von Holz-VOC aus Schnittholz und Holzwerkstoffen zu beantworten, wurde vom Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene der Universität Freiburg und dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI in Braunschweig zwischen 2005 und 2009 eine umfangreiche Studie durchgeführt [Gminski et al. 2011]. Mittels Exposition freiwilliger Probanden gegenüber deutlich erhöhten Belastungssituationen sollte die Frage der Schädlichkeit oder Unschädlichkeit von Holzemissionen überprüft werden (Abb. 8.2). Vor ihrer Durchführung wurde die geplante Studie einer Ethikkommission zur Zustimmung

Abb. 8.1: Einflüsse verschiedener Parameter auf die Raumluftqualität und Stellen der Bewertung



vorgelegt. Als Versuchsmaterialien dienten frisch getrocknetes Kiefernholz und frisch hergestellte OSB aus Kiefernholzspänen. Beide Werkstoffe wiesen in Vorversuchen die vergleichsweise höchste Emission auf.

Mit beiden Werkstoffen wurden in einer großen Prüfkammer VOC-Konzentrationen erzeugt, die um das 5-50 fache über den Richtwerten RW I und RW II und auch deutlich über den in der Praxis gemessenen Konzentrationen für Holz-VOC lagen.



Abb. 8.2: Probanden im VOC-Expositionsversuch mit Kiefernholz in der großen Testkammer des WKI

### Ergebnisse der Humantoxizitätsstudie bei Holzemissionen

In zehn Versuchsserien mit jeweils bis zu 25 Personen ergaben sich keine Hinweise auf gesundheitsschädigende Effekte bei der Exposition gegenüber Holz- und OSB-VOC, weder bei den Gesundheitsparametern wie Lungenfunktion und Entzündungsreaktionen noch bei Befindlichkeitsstörungen wie Reizungen der Augen- und Rachenschleimhäute, Kopfschmerzen, Unwohlsein, Übelkeit oder Schwindel. Von den Probanden wurde lediglich der intensive Holzgeruch als Merkmal erkannt, aber deutlicher positiv als negativ bewertet. Die Ergebnisse der Studie wurden inzwischen in internationalen Publikationen veröffentlicht und können auf der Internetseite des Freiburger Instituts nachgelesen werden. Parallel dazu wurden Studien unter Einsatz humaner Lungenzellkulturen mit noch einmal wesentlich höheren Konzentrationen, z. B. für die Leitsubstanz  $\alpha$ -Pinen mit bis zu

1,8 Gramm pro Kubikmeter Luft, durchgeführt. Auch in diesen Untersuchungen wurden keine Hinweise auf gesundheitsrelevante Effekte für realistische Innenraumkonzentrationen gefunden. Die Studie liefert belastbare Daten zu den Wirkungen von Emissionen aus Hölzern und Holzprodukten. Die gemäß den ethischen Grundsätzen gängiger Wissenschaftspraxis an gesunden Erwachsenen ermittelten Daten lassen über anerkannte Unsicherheitsfaktoren auch Aussagen für empfindliche Personengruppen wie etwa Kinder oder Kranke zu. Gemessen an den in Realräumen auftretenden holzwerkstoffspezifischen VOC sind auf der Basis der jetzt durchgeführten Untersuchungen gesundheitliche Risiken für die Bewohner nicht zu erkennen, zumal bei sachgerechter Verbauung die Konzentrationen spezifischer VOC deutlich niedriger sind als in der Studie und zumeist rasch abklingen [Mersch-Sundermann, Marutzky, 2011].

Ergänzt wurde die *in vivo* Studie durch Laboruntersuchungen zur Zytotoxizität und Genotoxizität von VOC-Gemischen aus Kiefernvollholz und OSB sowie deren Hauptbestandteilen, von selektierten Terpenen und Aldehyden, in humanen Lungenzellen. Selbst hohe Konzentrationen der von Kiefernvollholz und OSB emittierten VOC-Gemische sowie der untersuchten Terpene zeigten keine adversen Effekte in den Zellen. Auch die Wirkungsschwellen für ungesättigte Aldehyde lagen weit über den normalen mittleren Innenraumkonzentrationen.

Holz ist somit wahrscheinlich der erste Baustoff, für den wissenschaftlich abgesicherte Erkenntnisse zur Humantoxizität vorliegen. Damit ist zwar nicht bewiesen, dass Holz gesund ist oder gesund macht, aber es konnte gezeigt werden, dass ein gesundheitliches Risiko bei der sachgerechten Anwendung von Holz und Holzprodukten im Innenraum nicht zu erwarten ist\*.

---

\* Die Studie wurde 2012 durch die Universität für Bodenkunde in Wien mit dem renommierten Joseph-Umdasch-Preis ausgezeichnet.

## 9\_Wärmeschutz und Lüftungsverhalten

In unseren Breiten benötigt der Mensch geschlossene Häuser und Räume zum Schutz vor den Einflüssen des Wetters. Dabei nutzt er, bewusst oder unbewusst, die wärmedämmenden Eigenschaften von Materialien und die Strömungseigenschaften der Luft zur Regulation des Raumklimas.

In Zeiten des Klimawandels und hoher Energiepreise wird dem Wärmeschutz bei beheizten Gebäuden eine immer größere Bedeutung beigemessen [Künzel 2009]. Der Baustoff Holz ist ein schlechter Wärmeleiter und schneidet daher im Vergleich mit anderen Baustoffen gut ab, wie die durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeitswerte zeigen (Abb. 9.1). Holzhäuser waren daher beim Wärmeschutz in der Regel schon immer vergleichbaren Gebäudekonstruktionen aus anderen Baustoffen überlegen. Um die heutigen Anforderungen an Niedrigenergie- oder Passivhäuser zu erfüllen, muss der Baustoff Holz mit Dämmstoffen kombiniert werden. Hierfür stehen zahlreiche Materialien zur Verfügung, u.a. Holzfaserdämmstoffe. Sie werden zu mindestens 85 % ihrer Masse aus Holzfasern im Nass- oder Trockenverfahren hergestellt, ggf. unter Zugabe eines Bindemittels oder andere Zusatzstoffe [Mosch et al. 2012]. Weitere Informationen zu Naturstoff-basierten Dämmstoffen finden sich in einer von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe herausgegebenen Broschüre [Brandhorst et al. 2012].

Die stufenweise gesteigerten Anforderungen der Wärmeschutzverordnung führten zur raschen Entwicklung hochwärmedämmender Konstruktionen, hocheffizienter Heizungsanlagen und neuer baulicher Konzepte, brachten allerdings auch eine Reihe von Problemen mit sich. Um beim Energieverbrauch in den Bereich der Hocheffizienz- und Passivhäuser zu gelangen,

muss die ganze Gebäudehülle einschließlich der Fenster und Türen luftdicht ausgelegt werden. Moderne Gebäudekonstruktionen weisen daher bei geschlossenen Fenstern und Türen nur noch äußerst geringe Luftwechselzahlen auf. Damit wurden der Wärme- und Feuchtehaushalt in Gebäuden zu wichtigen Parametern, die nicht mehr durch Undichtigkeiten der Gebäudehülle beeinflusst oder durch einfaches Fensteröffnen und -schließen geregelt werden konnten. Mit zunehmender Dichtigkeit der Gebäude, z. B. durch den Austausch von Fenstern und die durch den Willen zur Energieeinsparung reduzierte manuelle Lüftung, stieg die Zahl von Feuchte- und Schimmelpilzschäden insbesondere bei nicht wärmege-dämmten Altbauten deutlich an.

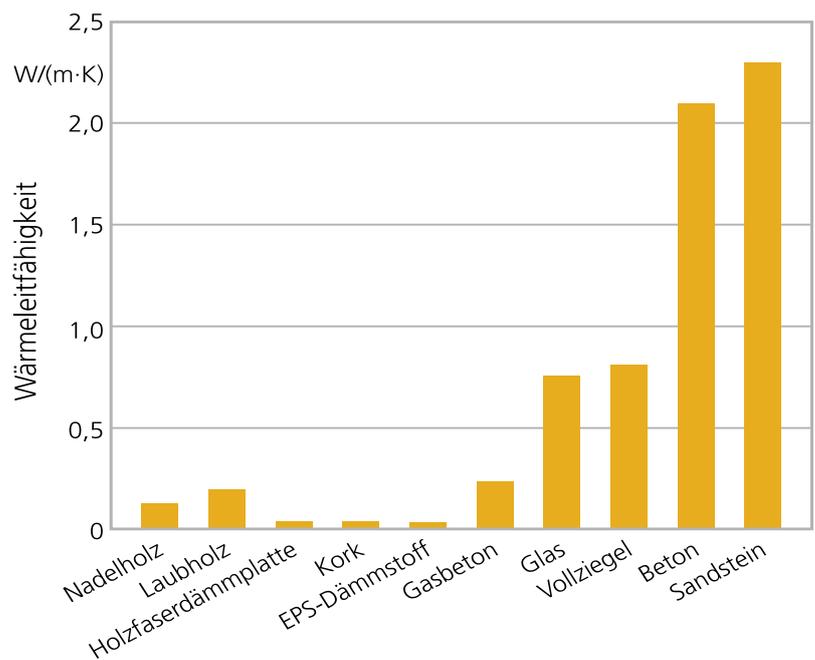


Abb. 9.1: Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeiten einiger Dämm- und Baustoffe

Der energieeffiziente Wärmeschutz eines Gebäudes kann daher ohne ein angemessenes Lüftungsverhalten nicht funktionieren. Dies bedeutet in der Praxis bei heutigen Gebäudekonstruktionen den Einsatz von Lüftungsgeräten mit Wärmetauscher zur Zufuhr von Frischluft und Abfuhr von verbrauchter Raumluft.

Eine gut konzipierte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung verringert Energieverluste und vermeidet die Ausbildung unhygienischer Aufenthaltsbedingungen, indem sie CO<sub>2</sub> und Wasserdampf abtransportiert. Zusätzlich werden auch Partikel und Pollen aus der Luft gefiltert und die VOC-Konzentrationen in der Raumluft vermindert. Bei Neubauten sind die Kosten überschaubar und hinsichtlich der energetischen und raumklimatischen Vorteile durchaus akzeptabel. Allerdings weist die kontrollierte Wohnraumlüftung auch eine Reihe möglicher Nachteile auf. Insbesondere der vollständige Verzicht auf

manuelles Lüften ist nach Ansicht der Autoren ein gravierender Planungsfehler. In der Zeit ohne zusätzliche nennenswerte Beheizung, d.h. in unseren Breiten von etwa April bis Oktober, können Räume ohne Energieverluste natürlich über Fensterbelüftung genutzt werden.

Um diesem Mangel entgegen zu wirken, wurden weiterführende Konzepte von Fenstern mit der Möglichkeit nutzerunabhängiger Lüftung entwickelt. Diese sorgen für einen Mindestluftwechsel im Raum, der zumindest die bei Nutzung anfallende Luftfeuchte und das ausgeatmete CO<sub>2</sub> aus den Innenräumen abtransportiert. Derartige Anlagen sind auch mit Filter- und Wärmerückgewinnungsanlagen kombinierbar. Geeignete Innentürkonstruktionen ergänzen derartige Lüftungskonzepte durch raumübergreifende Lüftung [Benitz-Wildenburg, Sack 2010]. Einige Häuser sind heute zudem mit zentralen Staubsaugeranlagen ausgerüstet. Diese sollen Lärm vermeiden und insbesondere die unerwünschte Freisetzung von Feinstaub aus konventionellen Hand- und Bodenstaubsaugern, die nicht mit einem zusätzlichen HEPA-Filter ausgerüstet sind, verhindern.

Die Ausstattung von privaten Wohnräumen mit zentralen Lüftungs- und Staubsaugeranlagen ist in unseren Breiten ein relativ neues Konzept. Eine umfassende und vergleichende Beurteilung über die Vor- und Nachteile der kontrollierten Wohnlüftung und Zentralstaubsauger wird daher erst in einigen Jahren möglich sein. Ein wesentlicher Aspekt von derartigen Lüftungsanlagen betrifft in jedem Fall die notwendige regelmäßige Wartung des Systems. Wird diese vernachlässigt, so kann mittelfristig eine deutliche Verschlechterung der raumlufthygienischen Situation nicht ausgeschlossen werden, da schlecht gewartete Anlagen mehr luftverunreinigende Stoffe freisetzen als filtern können.

### Wärmerückgewinnung

Bei den nach heutigem Stand der Technik optimal wärmegeprägten Bauten kann zugunsten von alternativen Energiesystemen wie Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen sogar auf konventionelle Heizungsanlagen verzichtet werden. Gleichzeitig setzt dies allerdings auch intelligente Konzepte zur Wärmerückgewinnung voraus, die in der Regel den Einbau einer Lüftungsanlage vorsehen. Im Jahr 2009 wurde die aktualisierte Lüftungsnorm DIN 1946-6 veröffentlicht, die Regeln für die freie und ventilatorgestützte Belüftung von Neubauten und sanierten Altbauten sowie Anforderungen zur Ausführung von Lüftungskonzepten definiert. Planung, Bau und Betrieb von Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden, die für den Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, werden durch die DIN EN 13779 von 2005 erfasst. Derartige Kombinationen verbinden die heutigen Forderungen der Wärmerückgewinnung und damit des Klimaschutzes mit der Schaffung guter wohnhygienischer Verhältnisse in Innenräumen.

## 10\_Empfehlungen für Auftraggeber, Planer und Bauer von Holzhäusern

Die Abgabe von Holz-VOC aus Holzprodukten ist wie dargestellt ein natürliches Merkmal dieses Bau- und Werkstoffs. Vielfach werden Holzoberflächen, aber auch andere Oberflächen in Innenräumen mit Anstrichen und Beschichtungen versehen. Insbesondere Anstrichsysteme, aber auch Versiegelungsmittel können organische Lösemittel und sonstige flüchtige Hilfsstoffe enthalten. Darüber hinaus gibt es weitere Baustoffe und Ausstattungsmaterialien, die VOC enthalten und in die Raumluft abgeben. Da die Verwendung von VOC in Baustoffen und anderen Materialien zum Teil werkstoffbedingt und zum Teil auch mit technischen Vorteilen verbunden ist, sollte die VOC-Abgabe kein grundlegendes Ausschlusskriterium sein. Die Verwendung von organischen Stoffen mit besonderem Gefährdungspotenzial ist heute in der Regel durch Gesetze und Verordnungen verboten oder stark eingeschränkt. Weiterhin ist zu beachten, dass sich flüchtige Verbindungen, wie der Name impliziert, mit der Zeit verflüchtigen. Neue eingerichtete oder renovierte Räume sollten daher in der ersten Zeit nach Fertigstellung gut und regelmäßig belüftet werden. Darüber hinaus gibt es Bewertungsschemata und Gütezeichen, die bei der Wahl der emissionsarmen Produkte unterstützen.

Für die ökologische Bewertung von Baustoffen, Ausstattungsmaterialien, Möbeln, Bodenbelägen, Lacken u.a.m. werden von verschiedenen Organisationen Umweltzeichen angeboten, die unter anderem auch die Abgabe von Formaldehyd und VOC berücksichtigen. Mit diesen können Hersteller besonders emissionsarme Produkte nach entsprechenden Vergabegrundlagen auf freiwilliger Basis kennzeichnen. In den vergangenen Jahren hat die Anzahl an Zeichen und Deklarationen zu gesundheits- und umweltverträglichen Materialien und Produkten für den Innenraum stark zugenommen. Nicht immer

sind die Anforderungen und Vergabekriterien transparent gestaltet, was die Vergleichbarkeit für den Verbraucher nicht erleichtert. Auf Basis der europäischen Bauproduktenrichtlinie wird daher seit einigen Jahren an einer Harmonisierung der Qualitätsanforderungen für emissionsarme Innenraumprodukte innerhalb der EU gearbeitet. Zudem ist zu beachten, dass Prüfzeichen immer nur bestimmte Mindestanforderungen an Produkte bezüglich Inhaltsstoffen und Emissionsverhalten unter definierten Bedingungen festlegen. Abbildung 10.1 zeigt eine kleine Auswahl von Prüfzeichen.

Prüfzeichen allein garantieren noch keine gesunde Raumluft. Eine sachgerechte Vorgehensweise reicht dabei durch Auswahl geeigneter Ausgangsprodukte über eine den Herstellerempfehlungen folgende Verarbeitung bis zur angemessenen Ablüftung der Produkte vor und nach Einbau. Ohne Zweifel kann die Verwendung emissionskontrollierter Produkte aber signifikant zur Verbesserung der Raumluft beitragen.

Abb. 10.1: Prüfzeichen mit Relevanz für Holzprodukte (Auswahl)



Die folgenden Empfehlungen sollen dazu dienen, für ein optimales Wohnen und Leben in Innenräumen die Nutzungssituation in Gebäuden aus Holz weiter zu verbessern. Ein Teil dieser Empfehlungen gilt über Holzhäuser hinaus generell für moderne Gebäude jedweder Materialzusammensetzung.

1. Es sollten nur Holzprodukte, erzeugt durch nachhaltige Forstwirtschaft, eingesetzt werden. Diese Maxime kann bei Holzprodukten aus Europa mit einem CE-Kennzeichen als gegeben angesehen werden. Zusätzliche Sicherheit gibt ein Verweis auf die Herkunft aus einer zertifizierten Forstwirtschaft, z. B. mit dem FSC- oder PEFC-Siegel.
2. Die Verwendung von formaldehydarmen Holzwerkstoffen ist vom Gesetzgeber in Deutschland gesetzlich vorgeschrieben. Qualitätsgeprüfte Möbel und Inneneinrichtungen halten die gesetzlichen Vorgaben ein oder unterschreiten sie häufig deutlich. Bei großflächiger Verwendung wird darüber hinaus empfohlen, besonders formaldehydarme oder formaldehydfrei verleimte Holzwerkstoffe zu verwenden.
3. Chemische Schutzmaßnahmen sind in modernen Konstruktionen bei Innenanwendungen von Holzprodukten nicht erforderlich. In diesen Bereichen sollten auf Anstrich- und Imprägniermittel, die biozide Stoffe enthalten, verzichtet werden. Konkrete Informationen zum Holzschutz finden sich in der einschlägigen Norm DIN 68 800.
4. Bei Anstrichen und Beschichtungsmitteln wird im Grundsatz der Einsatz lösemittelfreier Systeme auf Wasserbasis empfohlen. Wenn aus Gründen der Strapazierfähigkeit und Beständigkeit lösemittelbasierte Systeme eingesetzt werden sollen, dann muss der Auftrag fachgerecht erfolgen. Auf jeden Fall ist während des Auftrags für eine ausreichende Belüftung des betroffenen Raumes und danach für eine angemessene Ablüftung der

behandelten Produkte zu sorgen.

5. Um die „Atmungsaktivität“ des Holzes voll nutzen zu können, wird ein hoher Anteil diffusionsoffener Oberflächen empfohlen. Räume, die im Innenraum mit Hölzern gestaltet werden, sollten daher im Decken- und Wandbereich entweder unbehandelt bleiben oder mit diffusions-offenen Anstrichen, Ölen oder Wachsen versehen werden.
6. Bei neu erstellten oder renovierten Gebäuden und Innenräumen sollte grundsätzlich für eine angemessene Zeit der Luftwechsel erhöht oder regelmäßige Stoßlüftungen durchgeführt werden.
7. Moderne Gebäude sind aus Gründen der Wärmedämmung und des Klimaschutzes – und vom Gesetzgeber auch vorgeschrieben – weitgehend luftdicht konstruiert. Diese Gegebenheiten begünstigen die Anreicherung von CO<sub>2</sub> und anderen luftverunreinigenden Stoffen sowie von Feuchte in der Innenraumluft, wenn keine angepasste Lüftungsstrategie vorliegt. Müdigkeit, Unwohlsein und geruchliche Beeinträchtigungen sind die Folge hierdurch verursachter „schlechter Luft“. Erhöhte Luftfeuchte kann zudem einen Schimmelpilzbefall begünstigen. Eine verbesserte Lüftungssituation ist die wesentliche Gegenmaßnahme zur Vermeidung derartiger Beeinträchtigungen. Ein nutzerunabhängiges Lüftungskonzept, d.h. in der Regel eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, wird dann unumgänglich.
8. Maßnahmen zur Verbesserung der Belüftung von Innenräumen sind regelmäßige Stoßlüftung oder, wenn es das Außenklima ermöglicht, eine schwache Dauerlüftung, z. B. durch Fenster in Kippstellung. Darüber hinaus gibt es auch hier die Möglichkeit, Fenster mit nutzerunabhängiger Lüftung einzubauen oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in die Gebäudetechnik zu integrieren.

## 11\_Ausblick

Holz ist ein Bau- und Werkstoff, der bei zeitgemäßer stofflicher Nutzung zahlreiche vorteilhafte Merkmale aufweist. Abbildung 11.1 fasst diese Zusammenhänge anhand der 12 wichtigsten Kriterien nochmals kurz zusammen.

Anspruch der Holzwirtschaft ist es, vorbildliche und qualitätsvolle Gebäude, Ausbauprodukte und Möbel zu entwickeln und umzusetzen. Holz wird damit zum Entwicklungsträger für neue Ideen und Verfahren. Es beansprucht zu Recht Qualitäten wie Effizienz, Nachhaltigkeit, Funktionalität und Produktqualität. Auch der Nachweis der hygienischen und toxikologischen Unbedenklichkeit ist für sachgerecht gefertigte Holzprodukte erbracht worden. Die Bedeutung des Holzes für ein zeitgemäßes Bauen wird durch die vorliegende Informationsschrift unterstrichen. Den Planern und Bauherren werden praktische Hinweise auf emissionsarme Bauweisen mit Holz gegeben.

Die zukünftige Bedeutung von Holz liegt sowohl in seinen hervorragenden technischen Merkmalen wie auch in seiner anhaltenden Verfügbarkeit bei sachgerechter Forstwirtschaft. Diese Vorteile müssen in Zusammenhang mit den Herausforderungen der Nachhaltigkeit sowie des Umwelt- und Klimaschutzes gesehen werden. Wichtig zu wissen ist, dass heutige Holzprodukte geeignete Bau- und Werkstoffe für ökologisch verträgliche und nachhaltige Bauweisen sind. Die Verwendung des Holzes nützt aber auch seiner Erzeugungsstätte, dem Wald. Waldschutz ist nur dann gegeben, wenn der Wald auch einen Nutzen bietet. Zeitgemäße forstliche Denkweisen in Verbindung mit weltweit anerkannten Zertifizierungssystemen helfen, unsere Wälder unter ökonomischen, ökologischen und sozialen Gesichtspunkten zu pflegen und für künftige Generationen zu erhalten.

Wegen seiner vielseitigen Merkmale ist das Holz nicht nur ein wirtschaftlich wichtiger, sondern auch zukunftsfähiger Bau- und Werkstoff. Holz schafft Arbeitsplätze und stärkt das soziokulturelle Umfeld gerade im ländlichen Raum. Eingesetzt im Einklang mit seinen natürlichen Merkmalen eröffnet es eine Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten im Baubereich und im Innenausbau. Dem Bauherrn eines Holzgebäudes sollte bewusst sein, dass er bei sachgerechter Verwendung in besonderem Maße mit der Natur für die Natur baut.

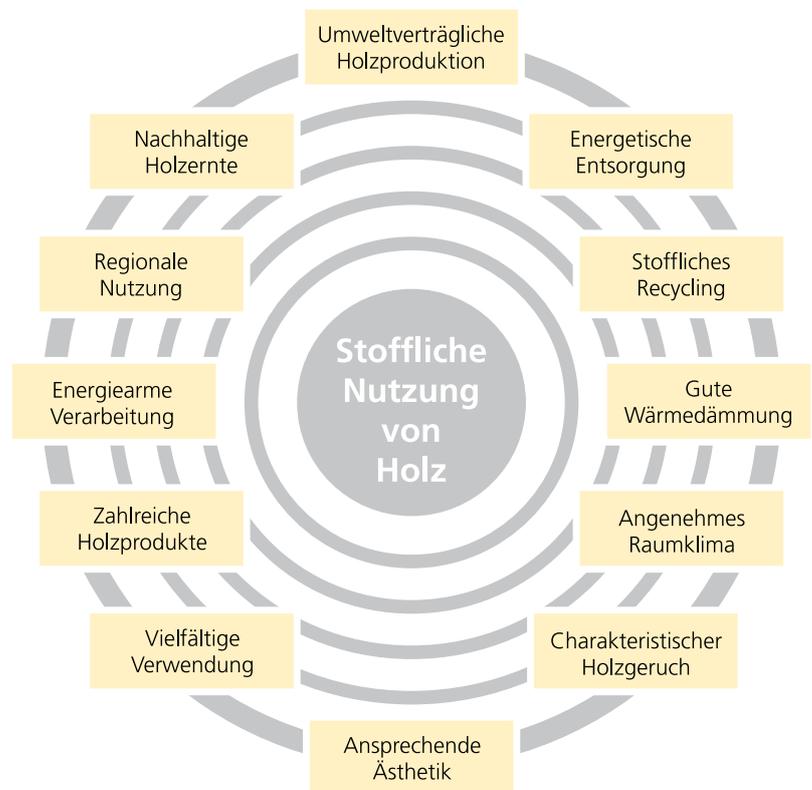


Abb. 11.1: Zwölf vorteilhafte Merkmale bei der zeitgemäßen stofflichen Nutzung von Holz im Bauwesen und Innenausbau

## 12\_ Glossar

Ästhetik	angenehme oder geschmackvolle Wahrnehmung
AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
Aldehyde	Chemische Verbindungen mit einer funktionellen CHO-Gruppe
Aminoplastleimharze	Leimharze auf Basis von Harnstoff, z.T. auch Melamin, und Formaldehyd
Anisotropie	Richtungsabhängigkeit einer Eigenschaft
Bioklima	hier: für den Menschen wichtiges Raumklima in bewohnten Innenräumen
Cellulose	Polymer aus Glukoseeinheiten; Hauptbestandteil des Holzes
Fibrille	kleine, dünne Faser, hier Strukturbestandteil des Holzes
FSC	Forest Stewardship Council; forstliches Zertifizierungssystem
E-Modul	Elastizitätsmodul; die Verformung eines festen Körpers beschreibender Materialkennwert
Haptik	Lehre vom Tastsinn
Hemicellulose	Polymer aus verschiedenen Kohlehydraten; Hauptbestandteil des Holzes
Holz-VOC	natürliche oder aus natürlichen Inhaltsstoffen des Holzes gebildete VOC
Hygiene	Sauberkeit, Reinlichkeit, hier auch gesundheitliche Unbedenklichkeit
Komposit	Verbundwerkstoff mit zwei und mehr Bestandteilen
KVH	Konstruktionsvollholz
Lignin	aromatischer polymerer Hauptbestandteil des Holzes
Monoterpene	natürliche C10-Kohlenwasserstoffe, s. a. Terpene
MVOC	Microbial Volatile Organic Compounds, von Schimmelpilzen abgegebene VOC
Mykotoxine	giftige Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen
OSB	Oriented Strand Board („Langspanplatte“)
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes; forstliches Zertifizierungssystem
Phenoplastleimharze	Leimharze auf Basis Phenol und Formaldehyd
Photosynthese	Aufbau von Biomasse in Pflanzen durch Licht, vornehmlich Sonnenlicht
ppm	parts per million; Konzentrationsangabe
Radon	radioaktives Edelgas
Terpene	Gruppe natürlicher Kohlenwasserstoffverbindungen
Treibhauspotential	Messgröße für den Treibhauseffekt eines Treibhausgases
UBA	Umweltbundesamt
VOC	Volatile Organic Compounds
WHO	World Health Organisation
Zirbe oder Zirbel	In Bayern und Österreich gebräuchliche Bezeichnung für eine im Alpenraum verbreitete Kiefern-Art

## 13\_ Quellenhinweise

### 13.1 Zitierte Normen

DIN 1946-6: Raumlüftungstechnik: Lüftung von Wohnungen, Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung

DIN EN 13986: Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung

DIN 68364 (2003-05): Kennwerte von Holzarten – Rohdichte, Elastizitätsmodul und Festigkeiten

DIN 4074-1 (2008-12): Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelholz

DIN EN 350-2 (1994-10): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz

DIN EN 717-1: Holzwerkstoff – Bestimmung der Formaldehydabgabe – Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode

DIN 68800-1: Holzschutz Teil 1: Allgemeines

DIN 68800-2: Holzschutz Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau

DIN 68800-3: Holzschutz – Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln

DIN 68800-4: Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten

DIN EN 13779. Lüftung von Nichtwohngebäuden : allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.

DIN EN ISO 7730. Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1995.

### 13.2 Literatur

Albrecht, S., Rüter, S., Welling, J., Knauf, M., Mantau, U., Braune, A., Baitz, M., Weimar, H., Sörgel, S., Kreissig, J., Deimling, J., Hellwig, S. (2008): Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig

Benitz-Wildenburg, J., Sack, N. (2010): Fensterlüftung im Wohnungsbau: Anforderungen, Planungen und praktische Umsetzung. Download des Instituts für Fenstertechnik, Rosenheim ([www.ift-rosenheim.de](http://www.ift-rosenheim.de))

Brandhorst, J., Spritzendorfer, J., Gildhorn, K., Hemp, M. (2012): Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow

Breitmeier E. (2005): Terpene: Aromen, Düfte, Pharmaka, Pheromone. WILEY-VCH, Weinheim.

Dobianer, K. (2012): Gesundheitliche Auswirkungen von Holz. In Teischinger (2012), S. 9-12

Frühwald, A., Pohlmann, C.M. (2001): Nachhaltiges Bauen mit Holz. Informationsdienst Holz, Bonn

Gminski, R., Kevekordes, S., Ebner, W., Marutzky, R., Fuhrmann, F., Bürger, W., Hauschke, D., Mersch-Sundermann, V. (2011): Sensorische und irritative Effekte durch Emissionen aus Holz- und Holzwerkstoffen; eine kontrollierte Expositionsstudie. Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin, S. 459-468.

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.

DIBT Mitteilungen 4/2010, 151-158

- Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH (2003) Auswirkungen von Zirbenholz als Einrichtungs-material auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation. ([www.zirbe.info](http://www.zirbe.info)).
- Kuhweide, P., Wagner, G., Wiegand, T. (2000): Konstruktive Vollholzprodukte. Informationsdienst Holz, Bonn
- Künzel H. (Herausgeber) (2009): Wohnungslüftung und Raumklima, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Marutzky, R., Sauerwein, P. (Hrsg.) (2008): Spezial: Sperrholz. Informationsdienst Holz, Bonn
- Marutzky, R., Sauerwein, P. (Hrsg.) (2009): Spezial: Span- und Faserplatten, OSB. Informationsdienst Holz, Bonn
- Marutzky, R. (Hrsg.) (2012): Kommentar zur DIN 68 800. Beuth-Verlag Berlin
- Mersch-Sundermann, V., Marutzky, R. (2011): Holz – ein gesundheitsverträglicher Baustoff? Holz-Zentralblatt, S. 186
- Mikado edition (2012): „Holz fördert die Gesundheit“, Interview mit Prof. Dr. Maximilian Moser, S. 12-13
- Moriske H.-J. (2007): Schimmel, Fogging und weitere Innenraumprobleme, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- Mosch, M., Wiegand, T. (2012): Holzfaserdämmstoffe – Eigenschaften – Anforderungen - Anwendungen. Verband Holzfaser Dämmstoffe, Wuppertal
- Mücke, W., Lemmen, C. (2004): Schimmelpilze, ECOMED Verlag, Heidelberg
- Salthammer, T. (2011): Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values. Chemosphere, 82, 1507-1517.
- Salthammer, T. (2013): Formaldehyd in der Umgebungsluft: von der Innenluftverunreinigung zur Außenluftverunreinigung? Angewandte Chemie 125, 3402-3410.
- Salthammer, T., Mentese, S., Marutzky, R. (2010) Formaldehyde in the indoor environment. Chemical Reviews 110, 2536-2572
- Scheer, C., Peter, M. (2009): Holz Brandschutz Handbuch. Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- Stingl, R., Teischinger, A. (2012): Hygienische Eigenschaften von Holz. In A. Teischinger (2012), S. 13-17
- Teischinger, A. (Hrsg.) 2012: Interaktion Mensch und Holz. Lignovisionen Bd. 27, Universität für Bodenkultur, Wien
- Umweltbundesamt (2008): Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumlufte von Haushalten in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt 51, 109-112.
- Wiegand, T. (2012): Konstruktionsvollholz – Technische Informationen. Herausgegeben von der Überwachungsgemeinschaft KHV Konstruktionsvollholz, Wuppertal
- Wiegand, T., Seidel, A. Mestek, P., Werther, N., Winter, S. (2010): Bauen mit Brettsperrholz. Informationsschrift der Studiengemeinschaft Holzleimbau, Wuppertal
- Winter, S., Löwe, P. (2001): Brandschutz im Holzbau – gebaute Beispiele. Informationsdienst Holz, Bonn

### 13.3 Abbildungsnachweis

Abb. 1.1, 1.4, 2.2, 2.3, 5.4, 5.2, 5.3, 6.1, 7.1, 7.2, 7.3, 8.1, 8.2, 9.1, 10.1, 11.1, 13.1:

Autoren sowie Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI, Braunschweig

Abb. 1.2: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow

Abb. 1.3: Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie, Gießen

Abb. 2.1: Uwe Schmidt, Thünen-Institut, Braunschweig

Abb. 3.1: Lignotrend, Weilheim und Herlet, Köln

Abb. 3.2: Verband der Deutschen Möbelindustrie e.V. (VDM), Bad Honnef;  
Rational Einbauküchen, Melle

Abb. 4.1: Holzbau Fichtl, Windach

Abb. 4.2: WeberHaus, Rheinau

Abb. 4.5: Albrecht et al., Thünen-Institut, Braunschweig

Abb. 4.4: Huf-Haus, Hartenfels

Titelbild: R. Marutzky (Buchenwald); M. Lingnau (Stirnseite eines Kantholzes);  
Holzbau Fichtl (modernes Holzhaus)





## Hinweise

Die vorliegende Schrift wurde im Auftrag des DHWR Deutscher Holzwirtschaftsrat in Berlin erstellt. Für den Inhalt der Schrift sind allein die Autoren zuständig.

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

Hinweise zu Änderungen, Ergänzungen und Errata unter: [www.dhwr.de](http://www.dhwr.de).

Herausgeber:  
DHWR Deutscher Holzwirtschaftsrat e.V.  
Dorotheenstr. 54  
10117 Berlin

Bearbeitung:  
Prof. Dr. Tunga Salthammer, WKI Braunschweig  
Prof. Dr. Rainer Marutzky, iVTH Braunschweig

Gestaltung:  
Manuela Lingnau, WKI Braunschweig

Die Erstellung dieser Informationsschrift wurde unterstützt durch:

- \_ BS Holz Brettschichtholz, Wuppertal
- \_ Egger, Wismar
- \_ Holzbau Deutschland, Berlin
- \_ Internationaler Verein für Technische Holzfragen iVTH, Braunschweig
- \_ Kronopol, Zary
- \_ Säge- und Holzindustrie Bundesverband, Berlin
- \_ Studiengemeinschaft Holzleimbau, Wuppertal
- \_ VHI Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie, Gießen
- \_ Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI, Braunschweig

Die Wortmarke INFORMATIONSDIENST HOLZ ist Eigentum des:  
Informationsverein Holz e.V.  
Esmarchstraße 3  
10407 Berlin  
[info@informationsvereinholz.de](mailto:info@informationsvereinholz.de)