

# ANPASSUNGSFÄHIGER UND RESSOURCENORIENTIERTER WOHNBAU IN HOLZBAUWEISE FÜR NIEDERÖSTERREICH

## Endbericht

30.05.2008

- Finanzierung: Wohnbauforschung Niederösterreich
- Projektleitung: Institut für konstruktiven Ingenieurbau (iki), Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, Universität für Bodenkultur Wien  
Ansprechpartner: Univ.Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg, DI Roman Smutny, DI David Plunger
- Projektpartner: Institut für Holzforschung  
Universität für Bodenkultur Wien  
Ansprechpartner: Univ.Prof. DI Dr. Alfred Teischinger und Robert Stingl  
mit den Außenstellen  
Versuchsgarten Essling und  
HTL Mödling (Abteilung Holztechnik)  
Architekturbüro Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, Ansprechpartner: Arch. DI Manuel Schweizer  
Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich (ecoplus)  
(früher Holzcluster NÖ und Ökocluster NÖ)
- Industriepartner: Stora Enso  
Ansprechpartner: Dr. Dieter Kainz (Leiter Marketing & Sales), DI Hannes Buschenreithner
- Projektdauer: 03.2006 - 05.2008

Wien, im Mai 2008

# INHALTSÜBERSICHT

- TEIL A: Anforderungen an anpassungsfähige und ressourcenorientierte Holzwohnbauten**
- TEIL B: Dokumentation von Demonstrationsobjekten**
- TEIL C: Konzeptioneller Entwurf für einen anpassungsfähigen und ressourcenorientierten Wohnbau in Holzbauweise**
- TEIL D: Thermisch modifiziertes Holz**
- TEIL E: Zusammenfassung der Resultate und Schlussfolgerungen, Literaturverzeichnis**

## KURZFASSUNG

Das Ziel des Forschungsprojekts war ein konzeptioneller Entwurf für einen ressourcenorientierten Holzwohnbau, welcher einerseits flexibel auf individuelle Bedürfnisse und auf soziale Veränderungen reagieren kann und andererseits aus vorgefertigten, ökologischen Bauteilen besteht. Die Konzepte sollen die Ziele der Kreislaufwirtschaft berücksichtigen, um Altlasten zu vermeiden und gleichzeitig Primärressourcen zu schonen.

Mittels Literaturrecherche und Firmenbefragungen wurden die Anforderungen an einen anpassungsfähigen und ressourcenorientierten Wohnbau erhoben und bedeutende Demonstrationsgebäude umfangreich dokumentiert. Es wurden Kriterien für einen nachhaltigen Einsatz von Holz in Wohngebäuden zusammengestellt.

Voraussetzungen für kreislauffähige Bauteile sind geeignete Befestigungsmittel und die Vermeidung von Störstoffen (Anstriche, Beschichtungen, Klebstoffe). Empfohlen wird der Einsatz von unbehandeltem, sägerauem Holz unter Berücksichtigung des konstruktiven Holzschutzes in Zusammenhang mit der natürlichen Dauerhaftigkeit der Holzart. Damit vermindert sich der Aufwand zur Herstellung und Instandhaltung und es wird gewährleistet, dass Holz nicht als Sondermüll entsorgt werden muss. Weiters wird eine demontagefähige Modulbauweise empfohlen, um den Aufwand für Instandsetzung und Rückbau zu vermindern.

Ein Schwerpunkt des Projekts war die Untersuchung von Thermoholz-Anwendungen für den Außenbereich (Fassaden, Terrassen, etc.) mit Fokus auf Dauerhaftigkeit, Befestigungstechnik und Vergrauung. Es wurden ein Laborbewitterungsversuch und ein Freilandbewitterungsversuch mit 16 Fassadenelementen durchgeführt. Untersucht wurden verschiedene architektonische Gestaltungsmöglichkeiten (z.B. stehende und liegende Schalungen, Stülp- und Lattenschalungen), das Oberflächenverhalten (Vergrauung, Rissbildung) und die Auswirkungen des Materials auf umliegende Gebäudeteile und auf Befestigungsmittel. Ein genaues Verhaltensbild der Alterung und Vergrauung – abhängig von der Bewitterungsdauer, von den herrschenden klimatischen Bedingungen und von der Exposition nach verschiedenen Himmelsrichtungen – konnte aufgezeichnet werden. Weiters wurden unterschiedliche Befestigungsmittel für Thermoholz auf ihre Einsatztauglichkeit getestet. Der optimale Randabstand (kleinster Abstand zum Brettrand bei bestmöglicher Kraftübertragung ohne Rissbildung am Fassadenmaterial) wurde in einem Laborversuch ermittelt und den Beanspruchungen künstlich erzeugter Klimabedingungen ausgesetzt.

Weitere Ergebnisse des Projekts sind konkrete Entwürfe für ein Pilotprojekt, eine Checkliste für einen ressourcenorientierten Einsatz von Holz im Hochbau und ein Praktikerleitfaden für die Anwendung von Thermoholz.

## TEIL A

# ANFORDERUNGEN AN ANPASSUNGSFÄHIGE UND RESSOURCENORIENTIERTE HOLZWOHNBAUTEN

bearbeitet von DI Roman Smutny, DI Manuel Schweizer

Institut für konstruktiven Ingenieurbau (iki), Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen,  
Department Bautechnik und Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien

Ansprechpartner: Univ.Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg, DI Roman Smutny

in Kooperation mit Architekturbüro Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, Ansprechpartner: Arch. DI Manuel Schweizer

Informationsmaterial zur Verfügung gestellt unter anderem von Bau.Energie.Umwelt Cluster  
Niederösterreich (ecoplus)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>MOTIVATION UND HINTERGRUND</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ZIELE UND FRAGESTELLUNGEN</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>METHODISCHES VORGEHEN</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN ANPASSUNGSFÄHIGE WOHNBAUTEN</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN RESSOURCENSCHONENDE WOHNBAUTEN IN HOLZBAUWEISE</b>	<b>20</b>
<b>5.1</b>	<b>Grundlagen und strategische Ziele</b>	<b>20</b>
	5.1.1 Nachhaltige und zukunftssichere Architektur	20
	5.1.2 Leitbild einer Nachhaltigen Entwicklung	20
	5.1.3 Nachhaltiges Ressourcenmanagement	21
	5.1.4 Ressourcenorientiertes Bauen	23
<b>5.2</b>	<b>Holzreserven in Österreich (Waldinventur)</b>	<b>25</b>
<b>5.3</b>	<b>Jährliche Nutzung und Sortimente</b>	<b>27</b>
<b>5.4</b>	<b>Kohlenstoffspeicherung im Bauholz</b>	<b>32</b>
<b>5.5</b>	<b>Kreislaufgerechter Einsatz von Holz</b>	<b>33</b>
<b>5.6</b>	<b>Dauerhaftigkeit, Instandhaltung und Instandsetzung</b>	<b>34</b>
	5.6.1 Natürliche Dauerhaftigkeit von Holz	37
	5.6.2 Holzschutz – Richtlinien	40
	5.6.3 Einsatzklassen	41
	5.6.4 Konstruktiver Holzschutz	42
	5.6.5 Ausführungsbeispiele für Bauteile	50
	5.6.6 Beschichtungen, Instandhaltungs- und Instandsetzungsperioden	53
	5.6.7 Umweltverträglichkeit von Holzschutzmitteln	53
<b>5.7</b>	<b>Erscheinungsbild</b>	<b>54</b>
	5.7.1 Verfärbungsprozess	56
	5.7.2 Transparente Beschichtung	57
	5.7.3 Technische Vergrauung	57
<b>5.8</b>	<b>Geeignete Dämmstoffe für eine ressourcenorientierte Holzbauweise</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>NACHHALTIGER EINSATZ VON HOLZ IM BAUWESEN - ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>62</b>

## 1 MOTIVATION UND HINTERGRUND

Die Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), steht als Universität des Lebens für die Erforschung und Vermittlung der nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen. Sie will dadurch zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen beitragen. Durch die enge Verbindung von Forschung und Anwendung profiliert sich die BOKU damit im Sinne ihres Beinamens *Alma Mater Viridis* als nachhaltige Institution.

Ein verstärkter Holzeinsatz in der Bauwirtschaft liefert positive Beiträge für die drei Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung: Wirtschaft, Soziologie und Ökologie.

- ★ Die ökonomischen Auswirkungen sind eine Erhöhung der regionalen Wertschöpfung und damit verbunden die Schaffung von zusätzlichen Arbeitsplätzen. Die besondere Bedeutung von Thermoholz liegt in der Veredelung minderer heimischer Holzqualitäten und damit erzielbarer Wertschöpfung.
- ★ Die soziologischen Aspekte betreffen die Nutzerakzeptanz und Behaglichkeit. Ein besonderes Kriterium für die Zufriedenheit der Bewohner sind adaptierbare Grundrisse und Wohnstrukturen, die bei sich ändernden Nutzungsanforderungen entsprechend angepasst werden können. Diesem Aspekt wird im vorliegenden Forschungsprojekt besonderes Augenmerk geschenkt. Ein Vorteil von unbeschichteten Holzbauteilen ist die Regulierung des Raumklimas. Sägerauhe Holzoberflächen sind der effektivste Feuchtepuffer und haben damit einen angenehmen Effekt auf die Luftfeuchtigkeit während der Heizsaison. Weitere Vorteile von Holz sind ein attraktives Aussehen, die Adsorption von Geruchsstoffen, eine behagliche haptische Qualität und das Potenzial für eine elegante architektonische Gestaltung (Schmale Leistenfassaden harmonieren gut mit der fasrigen Struktur des Baustoffes und verleihen dem Baukörper ein geschmackvolles, schlankes Aussehen. Dies beweisen auch die Siegerprojekte des Architekturpreises 2007, der durch das Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur und regionale Architekturinstitutionen vergeben wird).
- ★ Hinsichtlich Ökologie und Ressourceneffizienz bewirkt ein verstärkter Holzeinsatz einen positiven Beitrag zur Reduktion des ökologischen Rucksacks<sup>1</sup> von Gebäuden, sofern der Aufwand für Holztransporte nicht zu hoch liegt. Die thermische Behandlung von Holz ist eine Alternative zum chemischen Holzschutz und bewirkt eine drastische Verlängerung der Lebensdauer von Holzprodukten.

### Ausgangssituation

- ★ Lebensstile, Haushaltsformen und Wohnvorstellungen werden heute immer vielfältiger. Die demografische Entwicklung und andere soziale Veränderungen erzeugen den **Bedarf nach einer Adaptierbarkeit der Grundrisse bzw. der Raumnutzungen**. Die gewünschte Offenheit für Interventionen seitens der Bewohner wird in hohem Maß von den bautechnischen Möglichkeiten und der konstruktiven Konzeption festgelegt.
- ★ Ein zukunftsgerechter Wohnbau entsteht nicht nur durch „gute Architektur“ (gute Lösung der einzelnen Bauaufgaben) sondern auch durch eine **Verbesserung der Planungs- und Errichtungsprozesse**. Durch industrialisiertes Bauen mit einfacher Bautechnologie ist es möglich, kurze Bauzeiten zu gewährleisten. (z.B. keine Trocknungszeiten bei der Holzbauweise im Vergleich zur konventionellen Ziegel- und Betonbauweise). Bauen mit vorgefertigten Elementen in hoher Ausführungsqualität, insbesondere in den Detailver-

---

<sup>1</sup> Der ökologische Rucksack von Gebäuden umfasst den Ressourcenbedarf und die Umweltbelastungen durch die Gewinnung, Produktion, Verarbeitung und den Transport von Baustoffen.

bindungen, erleichtert das Erreichen des Passivhausstandards, der bei Neubauten grundsätzlich anzustreben ist.

- ★ Bauwerke in **Passivhausqualität** liefern nicht nur einen bedeutenden Beitrag für den Klimaschutz sondern gewährleisten vor allem eine Verbesserung der **Wohnqualität**. Holz-Ständerwände haben hier gegenüber massiven Wänden den Vorteil einer deutlich geringeren Wandstärke.
- ★ Das Interesse der Bewohner zur Nutzung **heimischer und ökologischer Baumaterialien** wird die heimische Holzwirtschaft nachhaltig stärken. Um Holz in ökologischer Weise einzusetzen müssen jedoch schadstoffhaltige Anstriche, Beschichtungen und Verbindungsmittel vermieden werden. So ist beispielsweise die chemische Imprägnierung von Rohholz, die derzeit am Markt die größte Rolle spielt, mit einigen Nachteilen verbunden, wie z.B.: Mögliche Gefährdung der Gesundheit bei Hautkontakt (z.B. Kinderspielplätze), mögliche Gefährdung der Umwelt (Boden-, Gewässerbelastung durch Bewitterung und Auswaschen der Holzschutzmittel), Entsorgung als Sondermüll.
- ★ Im waldreichen Bundesland Niederösterreich gibt es eine stetig wachsende Zahl an hoch qualifizierten, mittelständischen Holzbauunternehmen, die im Bereich des Wohnungsbaus tätig werden können (**Förderung der regionalen Wertschöpfung**).

## 2 ZIELE UND FRAGESTELLUNGEN

Das **Ziel des Forschungsprojekts** ist ein konzeptioneller Entwurf für einen Holzwohnbau, welcher einerseits flexibel auf individuelle Bedürfnisse und auf soziale Veränderungen reagieren kann und andererseits aus vorgefertigten, ökologischen Bauteilen besteht. Ein konzeptioneller Entwurf hat den Vorteil, dass für ein möglichst breites Spektrum an relevanten Fragestellungen praxistaugliche Lösungsvorschläge erarbeitet werden und diese vorerst nicht durch projektspezifische Parameter eingengt werden.

Besonderes Augenmerk wird auf eine höhere Wohnqualität (Raumluftqualität, thermischer Komfort, Nutzungsvielfalt) gelegt, um einen Beitrag zur Zufriedenheit der Bewohner und zu einer möglichst durchgehenden Nutzung und Auslastung von Wohnbauten zu liefern. Die Kosten für diese Qualitätssteigerung werden durch eine effizientere Planung und Errichtung mittels Vorfertigung, Standardisierung und Modulbauweise kompensiert.

Die Projektergebnisse sollen die Grundlage bilden, um gemeinsam mit dem Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich (ecoplus) ein demonstratives Bauvorhaben im Programm „Standardisierter, großvolumiger Holzwohnbau in Niederösterreich“ umzusetzen. Das Pilotprojekt soll ein reales und anschauliches Beispiel geben um einen breitenwirksamen Impuls in der Holz- und Bauwirtschaft zu initiieren. Mittel- bis langfristige Ziele des Projektvorhabens sind eine starke Positionierung des großvolumigen und ressourcenorientierten Holzwohnbaus in Niederösterreich und ein nachhaltiger Impuls für die regionale Wertschöpfungskette Holz.

Projekt-Schwerpunkt ist ein hochqualitativer und zukunftsgerechter Wohnbau mit folgenden Anforderungen:

Anforderungen an Planung und Umsetzung	Anforderungen an Gebäude	Anforderungen an Bauteile	Anforderungen an Baustoffe
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Berücksichtigung der demografischen Entwicklung</li> <li>▪ Partizipation (Berücksichtigung individueller Bedürfnisse der Bewohner)</li> <li>▪ Integrale Planung: Konzept für optimales Zusammenspiel der Planer und Professionisten</li> <li>▪ Kurze Fertigungszeit (hoher Standardisierungsgrad) und kurze Erstellungszeit (Fertigteile)</li> <li>▪ dadurch kostengünstig</li> <li>▪ Standardisierte Details</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Veränderbarkeit der Grundrisse bzw. der Raumnutzungen (Flexible Anpassung an soziale Veränderungen)</li> <li>▪ Modulbauweise</li> <li>▪ Nutzungskomfort</li> <li>▪ Raumluftqualität</li> <li>▪ Passivhausqualität</li> <li>▪ Klimaschutz</li> <li>▪ Ressourcenschonung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adaptierbarkeit an individuelle Bedürfnisse und an soziale Veränderungen der Nutzer</li> <li>▪ Eignung zur Vorfertigung</li> <li>▪ Rückbaubarkeit und Wiederverwendbarkeit</li> <li>▪ Robustheit (Langlebigkeit)</li> <li>▪ Leichtigkeit (zwecks Transport und Demontage)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nachwachsende, regionale, schadstofffreie Rohstoffe</li> <li>▪ Stoffreinheit (z.B. Vermeidung problematischer Anstriche, Beschichtungen und Verbindungsmittel) Insbesondere ökologisch verträglicher Holzschutz</li> <li>▪ Kreislauffähigkeit: Trennbarkeit und Wiederverwendbarkeit (oder zumindest Verwertbarkeit)</li> </ul>

Die folgenden **5 Fragenkomplexe** beinhalten die wesentlichen Arbeitsthemen:

1. Welche **(neuen) Konstruktionen und Materialien** im großvolumigen Holzwohnbau garantieren eine „offene“ Grundrissanordnung? Wie können die Bewohner mit diesen neuen Konstruktionen und Materialien die Räume gemäß ihren persönlichen Vorstellungen mitgestalten und verändern (Lebenszyklus, Arbeitsraum für Teleworking usw.)? Wie viel

Option für Flexibilität unter Verwendung von sogenannten „Leichtbaukonstruktionen“ ist aufgrund von bisherigen Erfahrungen notwendig – insbesondere unter Berücksichtigung der Verwendung von Massivbauelementen zur thermischen Speicherung. (Stichwort: Sommerliche Überhitzung!)

2. Welche ressourcenorientierten Anforderungen lassen sich in diesem Zusammenhang erfüllen? **Welche Befestigungsmittel ermöglichen eine entsprechende Konzeption? (gedacht ist dabei z.B. an zerstörungsfreie und wiederverwendbare Klemm- und Schraubverbindungen)** Welche Materialien erfüllen die entsprechenden Anforderungen? (gedacht ist dabei an thermisch behandeltes Holz anstelle von chemischem Holzschutz) Mit welchen Werkstoffen und Baumaterialien kann eine deutliche Schadstoffminimierung im Innenraum erreicht werden?
3. Welche **Baustoffe und Baukonstruktionen aus Holz und Holzwerkstoffen** eignen sich für einen Wohnbau, der schnell und preisgünstig errichtet werden kann? Welche dieser Konstruktionen erfüllen die entsprechenden Anforderungen betreffend Wärmeschutz, Schallschutz, Brandschutz, Tageslichtoptimierung und Passivhausqualität? Inwieweit kann thermisch behandeltes Holz (Thermoholz) so eingesetzt werden, dass es bei den Außenwandkonstruktionen sowie bei Türen, Fenstern und Fensterläden mehrfach und wiederholt verwendet werden kann, so dass die Wertschöpfungskette Holz im CO<sub>2</sub>-Kreislauf verbessert werden kann? Inwieweit kann Schnittholz anstelle von Plattenbaustoffen (Kleber, Maschinen- und transportintensiv) verwendet werden?
4. Sind die Konstruktionen demontierbar? Können einzelne Bauelemente wiederverwendet oder zumindest einem Recycling zugeführt werden? Welche Bauteilkomponenten eignen sich für eine **Vorfertigung** und welche werden erst auf der Baustelle montiert? Was ist im Rahmen der Vorfertigung bei thermisch behandeltem Holz zu beachten? Welche Konstruktionen basieren einerseits auf möglichst unveredelten Werkstoffen und Baumaterialien („low-tech“) und besitzen andererseits eine hohe energetische und ökologische Funktionstauglichkeit („high-tech“)?
5. Welche Auswirkungen hat der Einsatz dieser spezifischen Baustoffe und deren Verarbeitung bzw. Befestigung auf die Projektentwicklung und Planung? Inwieweit determinieren **Herstellungs- und Montageabläufe** den Planungsprozess? Wie werden Rückbau, Demontage und Entsorgung den Planungsprozess beeinflussen? Eine Standardisierung von Konstruktionen zur Reduktion von Produktzulassungskosten ist anzustreben! Jene Arbeitsschritte bei denen Kostenvorteile zu holen sind sollen bei Herstellung und Montage vereinfacht werden, ohne dass dabei über lange Zeiträume Kapital gebunden wird.

#### **Erwartete Ergebnisse und Nutzen für den NÖ-Wohnbau und für die NÖ Wirtschaft:**

- **Innovative und zukunftsgerichte Wohnbaukonzepte** für flexible Raumgestaltungen als Antwort auf neue und variierende Nutzungsbedürfnisse sowie die demografische Entwicklung.
- Beitrag für den **Klimaschutz** (Passivhausqualität, Nutzung nachwachsender Rohstoffe)
- Beitrag für hochqualitativen Wohnbau (Raumklima, Nutzungskomfort, Passivhausqualität)
- Beitrag zu kostengünstigem Wohnbau: Konzepte zur Optimierung der Planungsabläufe, der Bauteil-Fertigung und der Bauzeiten.
- Netzwerk aus Herstellern, Planern und Professionisten zur Durchführung eines anpassungsfähigen, ressourcenorientierten Holzwohnbaus in Modulbauweise. **Förderung von KMU.**
- Wissenschaftliche **Grundlagen für modellhafte Demonstrationsprojekte** in Zusammenarbeit mit dem HOLZ CLUSTER Niederösterreich

- Förderung der Nutzung des **Wertstoffs Holz** durch Konzepte für vorgefertigte ökologische Bauteile.
- Impuls zur **Schaffung von Arbeitsplätzen** und Erhöhung der **regionalen Wertschöpfung** in Niederösterreich: Das Projekt liefert einen wichtigen Beitrag für die Beschäftigung in ländlichen Gebieten und für das mittelständische Baugewerbe in Niederösterreich. Für ein waldreiches Bundesland wie Niederösterreich ergeben sich günstige Wertschöpfungsketten und weitreichende Perspektiven – und hier vor allem in den benachteiligten ländlichen Gebieten.

### 3 METHODISCHES VORGEHEN

Das methodische Vorgehen besteht aus Literaturrecherchen, Firmenbefragungen und kreativer architektonischer Entwurfsarbeit. Um eine breitenwirksame und praxisbezogene Lösung zu finden ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit der Bauwirtschaft (ISWB, Bau.Energie.Umwelt Cluster NÖ, etc.), der Holzforschung (Institut für Holzforschung, Uni. für Bodenkultur, Wien), der Holzwirtschaft (Bau.Energie.Umwelt Cluster NÖ, STORA ENSO TIMBER Austria, etc.) und der Verwaltung (NÖ-Wohnbauförderung) vorgesehen.

#### Projektstufe 1 – Darstellung des State-of-the-Art

- Analyse der zukünftigen Anforderungen an den Wohnbau hinsichtlich Anpassungsfähigkeit (Single, Paar, Familien, Senioren, Patch-Work Familien) und Ressourcenschonung
- Gezielte Recherche (Literaturrecherche, Firmenbefragung) über den State-of-the-Art von anpassungsfähigen Wohnbauten: Anpassungspotenzial, Wandaufbauten, demontierbare Befestigungssysteme, etc..
- Ganzheitliche Analyse von richtungsweisenden Demonstrationsgebäuden:
  - Mit dem NÖ Holzbaupreis prämierte Gebäude
  - Demonstrationsgebäude der bmvit-Programmlinie „Haus der Zukunft“
  - Demonstrationsgebäude in Vorarlberg
  - Sonstige Demonstrationsgebäude (gezielte Besichtigungsfahrten)

#### Projektstufe 2 – Architektonischer Entwurf

- Entwurf mehrerer innovativer Varianten für einen anpassungsfähigen ressourcenorientierten Wohnbau:
  - Struktur: Veränderbare Grundrisse, Nutzungsvarianz
  - Konstruktion:
    - ★ Wandaufbauten
    - ★ Fassadenelemente
    - ★ Befestigungssysteme: Entwicklung der Details im Hinblick auf lösbare Verbindungen
  - Materialien: Materialkatalog

#### Projektstufe 3 –Vorbereitungen für Demonstrationsprojekt

- Experten-Round-Table am 16.11.2006 in den Räumlichkeiten des Holz-Clusters NÖ in St. Pölten:  
Relevante Akteure der Holzbaubranche Niederösterreichs wurden mit Unterstützung des Holz-Clusters-NÖ eingeladen, um über den Zwischenstand des Projekts informiert zu werden und ein gemeinsames Netzwerk in Richtung der Zielsetzungen des Projekts zu generieren. Es wurden verschiedene Varianten für einen ressourcenorientierten Einsatz von Holz (insbesondere Thermoholz) diskutiert und Entscheidungen über gangbare Strategien getroffen. Die Ergebnisse des Round-Tables sind in den Schlussfolgerungen und anderen relevanten Passagen des Berichts dokumentiert.
- Umsetzen der Entwürfe in praxistaugliche Pläne
- Vorversuche zur Beurteilung der technischen Performance von Bauteilen
- Planungsleitfaden für einen nachhaltigen Einsatz von Holz für Planende und Ausführende
- Berichterstattung

## 4 ANFORDERUNGEN AN ANPASSUNGSFÄHIGE WOHNBAUTEN

Die Anpassbarkeit von Wohnungen an sich ändernde Nutzerbedürfnisse ist ein bedeutendes Kriterium für zukünftige Bauvorhaben und hat Auswirkungen auf die Orts- und Regionalentwicklung. Dass dabei die ökonomischen, ökologischen und sozialen Komponenten einer nachhaltigen Entwicklung beeinflusst werden, gilt seit dem Kongress von Rio de Janeiro im Jahr 1992 als gesichert.

Inwieweit die hier betrachtete Problematik Hermann Lotze 1868 beim Schreiben seiner „Geschichte der Ästhetik“ bewusst war ist wohl noch zu klären, doch deuten seine Gedanken zumindest in die Richtung: *„Das Wohnhaus einer Familie soll nicht versuchen das Problem eines einheitlichen Ganzen von konstruktiver Konsequenz des Stylls zu lösen; das Haus hat dem Leben zu dienen, nicht das Leben sich nach der Räumlichkeit des Hauses zu richten. Unglücklich wer genötigt ist, in einem ästhetischen Monumente zu wohnen, und nicht dem geringsten Einfall seiner Lust und Laune, nicht dem vermehrten oder veränderten Bedürfnis durch irgend einen Anbau nachgeben darf, aus Furcht, die Einheit des Kunstwerkes zu zerstören, dessen Parasit er ist ...“* [Werner, 1977, S.79]

Anpassungsfähiger Wohnbau heißt nicht Flexibilität und Variabilität um jeden Preis.

Die Wohnbauten der Zukunft werden – nach wie vor - mit technisch einfachen und für den Laien verständlichen Konstruktionen die klassischen Schutzfunktionen (Wärme, Schall, Sicherheit, etc.) des Hauses erfüllen müssen. Sie werden darüber hinaus den BewohnerInnen jenen notwendigen Spielraum belassen, um „ihr“ Haus mit ihren Vorstellungen und entsprechend ihren Bedürfnissen zu bewohnen.

Der Soziologe und Zukunftsforscher Matthias Horx drückt dies so aus: *„Das Haus der Zukunft bekommt immer einen utopischen Glanz, doch das eigentliche Haus der Zukunft wird gar nicht so utopisch-technisch sein. Die sozialen Fragen sind sehr viel wichtiger als die stilistischen, denn die Technologie wird diesen Bedürfnissen letztendlich immer folgen.“* [Walch, 2001, S.80]

Die Anforderungen an eine Wohnung ändern sich heute und in Zukunft immer schneller. Die gesellschaftspolitischen, wirtschaftlichen und technischen Entwicklungen sind die wesentlichen Auslöser für einen Wandel, der, aller Voraussicht nach, noch intensiver sein wird, als wir dies von der jüngeren Vergangenheit her kennen.

*„Die gesellschaftspolitischen und ökonomischen Veränderungen haben zur Folge, dass es stärker denn je zu einer Pluralisierung der Lebensstile kommt: das Patchwork an Lebensformen, Lebensmodellen und Lebensweisen wird vielfältiger. Individualisierung ist eine der mächtigsten Kräfte, die unsere Gesellschaft zu Beginn des neuen Jahrtausends immer stärker umformen wird. Statt vorgegebener Lebensläufe führen immer mehr Menschen ein selbstständigeres und auf sich selbst gestelltes Leben. Der Wunsch nach Selbstverwirklichung wirkt sich auch auf das Wohnen aus.“* [Walch, 2001, S.12]

In diesem Zusammenhang tritt nun auch mit „Individualisierung“ ein Begriff auf, der nicht nur in der Architektur allgemein, sondern auch speziell im zukünftigen Wohnbau von Einfluss sein wird.

Dass dies kein aktuelles und möglicherweise auch kein kurzfristiges Phänomen ist, zeigt sich in der Einschätzung des Kulturhistorikers Lucius Burckhardt, der vor über 30 Jahren darauf hinwies, dass beim Wohnen weniger die Bedürfnisse nach Schutz, Schlaf, Essen und Sauberkeit im Vordergrund stehen. Vielmehr *„sei die Inszenierung des Menschen bei seinem Auftritt im Leben, das Agieren einer Familie untereinander, mit ihren Bekannten und ihrer Umwelt“* von besonderer Relevanz für das Wohnen. [Werner, 1977, S.22]

*„Das Bedürfnis nach angemessenem Wohnraum ist ein Grundbedürfnis des Menschen. Neben den biologisch bedingten Grundbedürfnissen gibt es Wohnbedürfnisse (z.B. nach Selbstdarstellung oder –verwirklichung), die je nach physischer Situation und Wertvorstellung unterschiedlich stark entwickelt sind. Wohngewohnheiten sind zwar von Leitbildern und gesellschaftlichen Normen mitgeprägt, sie sind aber auch abhängig von der eigenen langjährigen Wohnerfahrung und –situation und von der Entfaltungsmöglichkeit, welche die bzw. der einzelne in einer Mietwohnung oder im eigenen Haus erfahren hat.“ [Sperling, 1999, S.74]*

Nun könnte man meinen, dass der Trend zur Individualisierung immer direkt zum klassischen Einfamilienhaus hinführt. Dem muss aber aus einer anderen Erkenntnis heraus nicht so sein.

Denn *„...gleichzeitig nimmt die Isolation und damit die Sehnsucht zu in neuen Gemeinschaftsformen zusammenzufinden“ [Walch, 2001, S.9]*

Dieses Bedürfnis zeigt sich überproportional sowohl bei jungen Menschen zwischen 20 und 35 Jahren, als auch bei jener Altersgruppe, die wohl in Zukunft „die“ Gruppe der Singles ausmachen wird.

Ältere Menschen, die nach dem Verlust des Lebenspartners bzw. beim Austritt aus dem aktiven Berufsleben eine Neuorientierung suchen und mit isolierten Lebensweisen zunehmend nicht mehr glücklich werden. Sie wünschen sich eine neue Art von Verbundenheit, bei der ein persönlicher Kontakt im Wohnumfeld von entscheidender Bedeutung ist. [Walch, 2001, S.13]

Die inzwischen gängige Form der Wohngemeinschaft bekommt somit eine neue Form von Akteuren.

*„Individuelles Wohnen bei hoher sozialer Integration“ und „kommunikatives gemeinschaftliche Wohnformen“ könnten einen Ausweg aus isolierten Lebensweisen sein.“ [Walch, 2001, S.13]*

Allerdings müssen diese Wohnformen und damit auch die zukünftigen Wohnbauten der Heterogenität ihrer Akteure gerecht werden.

Derzeit zeichnen sich mehrere markante Entwicklungen ab, die für dieses sich verändernde Anforderungsprofil verantwortlich sind:

1. Die klassischen Kleinfamilien (Ehepaar mit eigenen Kindern) der jüngeren Vergangenheit werden zunehmend von anderen Haushaltstypen abgelöst. Verschiedene Gründe sprechen dafür, dass diese **Ausdifferenzierung von Haushalts- und Wohnformen** keine flüchtige Modeerscheinung ist, sondern Symptom eines gesellschaftlichen und ökonomischen Wandels. Als Beispiele dafür sind schlagwortartig genannt: Liberalisierung der Moralvorstellungen, Scheidungen und Trennungen, Postadoleszenz mit eingeschränkter Selbstständigkeit, Unabhängigkeit und Chancen zur ökonomischen Selbstständigkeit von Frauen, Zweckwohngemeinschaften, etc. [Häußermann, 2002, S.15ff]
2. Die **individuelle Gestaltung der Wohnung** wird von allen sozialen Schichten verstärkt zur Abgrenzung von Wertehaltungen und Lebensstilen herangezogen. *„Die Wohnformen von morgen werden zum bunten Spiegelbild der vielfältigen individuellen Lebensstilen. Flexibilität gewinnt auch im Wohnbereich an Stellenwert. Es werden Wohnungen bevorzugt, die sich den differenzierten Lebensläufen ihrer Bewohner anpassen können und stärker interpretierbar, veränderbar und adaptierbar sind.“ [Walch, 2001, S.12]*
3. Den Wohnungen sollen - je nach Bedarf – zusätzlich nutzbare Räume, *„die über das Wohnen hinausgehen“* beigefügt werden können. [Josephy, 2006, S.6] Das Kombinieren von **Arbeiten und Wohnen** rückt dabei wieder in das Blickfeld von Stadt- und Regionalplanungsstrategien, die eine Durchmischung von unterschiedlichen Lebenswelten anstreben. Insbesondere Büros, Ateliers, Ordinationen, kleinere Geschäfte und Werkstätten gelten als sinnvolle Ergänzungen für attraktive Wohngebiete. [Schar der Stiftung, 2006]

Neue Technologien und Arbeitsvereinbarungen ermöglichen immer mehr das Arbeiten an frei wählbaren Orten – so zum Beispiel auch in der Wohnung oder im wohnungsnahen Umfeld. [Walch, 2001, S.50ff]

4. Österreich, wie auch andere europäische Staaten, ist unter gewissen Gesichtspunkten ein Einwanderungsland. Die Bedeutung des **Integrationsraumes Wohnung und Wohnumfeld** steigt umso mehr, als die bisherige Integrationsmaschine „Arbeitsmarkt“ immer weniger zuverlässig funktioniert und die Bildungswege von MigrantInnen deutlich schlechter verlaufen. [Schader Stiftung, 2006]  
*„Integration gelingt durch Nähe, nicht zuletzt durch räumliche. Wohnquartiere bieten die Gelegenheit und den gebauten Rahmen für ein gegenseitiges Kennenlernen, aus dem Neugier und zumindest Toleranz entstehen kann.“* [Hansen, 2001, S.252]
5. Neue Formen von **gemeinschaftlichem Handeln** und des **sozialen Zusammenhaltes** werden sich etablieren müssen - vor allem in ländlichen Bereichen aber auch im suburbanen Umfeld der Großstädte entwickeln sich derzeit schon diverse Arten von Nachbarschaftshilfen etc.  
*„Viele Menschen werden mit ihren isolierten Lebensweisen zunehmend nicht mehr glücklich und wünschen sich eine neue Art der Verbundenheit, eine neue Art des Zusammenhalts. Der persönliche Kontakt im Wohnumfeld gewinnt wieder an Bedeutung.“* [Walch, 2001, S.13]  
Das heißt, dass neben der eigentlichen Wohnnutzung auch für diese Anforderungen adaptierbare Räume oder Baustrukturen geschaffen werden müssen. Als Beispiele seien hier genannt: Gemeinschaftsküchen, Hobbyräume, Kinderspielräume, Fitness- bzw. Wellnessräume, etc.

Ein Wohnungswechsel und der damit oft verbundene Wechsel des Wohnungsumfeldes ist für die BewohnerInnen von Mehrfamilienhäusern fast immer die einzige Möglichkeit, die sich neu ergebenden Anforderungen an die Wohnung zu realisieren. Dass so mit dem Wohnungswechsel die sozialen Verknüpfungen oftmals gleich tief greifend verändert werden müssen, empfinden viele Menschen als relativ großen Nachteil. So werden funktionelle Mankos in Kauf genommen und auf die aktuellen Vorstellungen und Wünsche wird oft gar nicht oder nur fragmentiert eingegangen.

*„Die Österreicher sehen in ihrem Haus, ihrer Wohnung etwas sehr beständiges und identifizieren sich sehr stark mit ihrem Wohnumfeld. Lieber täglich zwei Stunden pendeln als den Wohnort wechseln!“* [Fechner, 2003, S.34]

Auch aus der Sicht der Wohnbauträger bzw. Wohnbaugenossenschaften ist Kontinuität bei der Zusammensetzung einer Hausgemeinschaft ein erstrebenswertes Ziel.

*„Eine Wohnbaugenossenschaft ist daran interessiert, dass die Bewohner möglichst lange in einem Haus wohnen. Den nur dann stellen sich auch vielschichtige Wohnqualitäten ein bei den Begriffen wie Beheimatung, Sicherheit, Vertrauen und Obsorge zur Beschreibung herangezogen werden können.“* [Kaiser, 2006]

Im Kontext der jüngeren gesellschaftlichen Entwicklungen weist Matthias Horx auf folgende Beobachtung hin: *„Es entsteht ein Konflikt zwischen Mobilität – sozialer, körperlicher, geistiger, qualifikatorischer Mobilität – und dem Bedürfnis des Menschen an einer Stelle zu bleiben, sich einzugraben und die Uhr langsam ticken zu lassen.“* [Walch, 2001, S.42]

Es genügt somit nicht mehr auf diesen kontinuierlichen Wandel nur mit einem weiter ausdifferenzierten Angebot des Wohnungsmarktes zu reagieren; vielmehr muss sich die Wohnung als kleinste Einheit der Orts- und Regionalentwicklung, den sich verändernden Anforderungen der BewohnerInnen anpassen können.

In diesem Zusammenhang sei allerdings darauf hingewiesen, dass eine Erforschung oder Analyse der „aktuellen Bedürfnisse“ so gut wie unmöglich erscheint. Die früheren partizipativen Wohnprojekte lassen erkennen, dass sich Bedürfnisse eben nicht genau voraussagen lassen.

Wenn man sich anschaut wie Wohngebäude über einen langen Zeitraum genutzt und adaptiert werden und wenn man die Möblierungsänderungen von Wohnungen genauer analysiert, fällt auf, dass z.T. Anordnungen und Arrangements von den BewohnerInnen umgesetzt wurden, die den gängigen Fachmeinungen diametral gegenüberstehen.

Der Architekt Johannes Olivegren hat es nach der Evaluierung der ersten partizipativen Wohnprojekte in Göteborg in einem Gespräch mit Jörg Werner so formuliert: „... dass aus diesen Grundrissen so verschiedenartige Bedürfnisse indirekt ablesbar seien, wie sie der planende Architekt sich kaum vorstellen und folglich nicht gezielt einplanen könne: Beispielsweise sind zahlreiche „gefangene“ Räume zu erkennen, die Architekten üblicherweise negativ beurteilen; häufig finden sich Durchgangsräume, die verschiedene Erschließungs- und Zuordnungsalternativen, also ein hohes Maß an Offenheit erlauben, im Sinne des Funktionalismus aber keine „saubere Lösung“ darstellen.“ [Werner, 1977, S. 327]

Diese ersten Erfahrungen aus Skandinavien korrespondieren mit jenen, die in Österreich, Deutschland und der Schweiz Ende der 1970-er Jahre und auch heute immer noch gemacht werden.

„Aus der Nutzungsrealität sind derart verschiedene Bedürfnisse und Vorstellungen ablesbar, wie sie sich ein planender Architekt nicht vorstellen kann.“ [Werner, 1977, S. 355]

„Im Gegensatz zur Situation der 1950er-Jahre sind die tatsächlichen Lebensumstände von heute fast nicht voraussagbar. In dem Moment, wo die potentiellen Bewohner in viele unterschiedliche Beziehungsformen, Arbeitsweisen, kulturelle Präferenzsysteme und Konsumtypen zerfallen lassen sich einfachste Fragen kaum mehr vorhersehen: Wozu wird ein Schlafzimmer wirklich gebraucht? Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Größe einer Wohnung und deren Küche? Diese Situation der Unsicherheit ist außerordentlich interessant.“ [Meili, 2006, S.55]

„Ich weiß als Architekt nicht mehr wie der Bewohner sich in seiner Wohnung verhält und kann das auch nicht durch persönliche Erfahrung ersetzen.“ [Meili, 2006, S.58]

Diese Unsicherheit bei den Architekten in Bezug auf eine eindeutig definierbare Wohnkultur, ist bei den Projektentwicklern in ähnlicher Weise zu erkennen, wie die folgende Aussage dokumentiert:

„Die Einschätzung des Geschehens auf dem Wohnungsmarkt ist insgesamt schwieriger geworden - und auch unzuverlässiger.“ [Spellerberg, 2001, S.276]

Bei den genossenschaftlichen Wohnbauträgern und – noch viel deutlicher – bei den gewerblichen setzt sich immer mehr die Erkenntnis durch, dass ein zeitgemäßer Wohnbau eine gewisse programmatische Unbestimmtheit zu erfüllen hat.

So hat es z.B. Martin Hofer, einer der Geschäftsführer von Wüest & Partner, einem international tätigen Beratungsunternehmen im Immobiliensektor einfach und prägnant formuliert:

„Da ist ein Trend, den wir feststellen: Die Leute wollen immer mehr selbst bestimmen und nicht alles vorkonfektioniert bekommen!“ [Hofer, 2006, S.28]

### Flexibilität und Variabilität

Themen wie Partizipation und die dadurch ausgelösten Diskussionen und Vorschläge kreisen häufig um die Begriffe Flexibilität und Variabilität von Planungen und Bauten.

Mit Flexibilität und Variabilität werden Eigenschaften bezeichnet, die zur baulichen Anpassung an sich ändernde oder geänderte Anforderungen vorgeschlagen werden. Das Problem der Nutzungsänderung beherrscht nahezu alle Bauaufgaben, sodass es eine Schlüsselfrage jeder Bauplanung ist.

Dabei geht es zunächst darum, „die Diskrepanz zwischen der Statik des Bauwerks und der Dynamik des Lebens in ihm, seiner Bedürfnisse und Wünsche zu erkennen und darauf hin Steuer- und Regelmechanismen zu entwickeln, mit deren Hilfe bauliche Veränderungen zur Anpassung möglich sind.“ [Werner, 1977, S.7]

Die Flexibilität, das heißt die Veränderbarkeit des Grundrisses bei konstanter Wohnfläche bzw. in unveränderter Kubatur, die heute in vielen Wohnbauten gewährleistet wird, bietet allerdings für die zukünftigen Entwicklungen zu wenig Potential.

Die Wohnbauten für die nähere Zukunft müssen, ähnlich dem Einfamilienhaus eine Form von Variabilität bzw. Erweiterungsflexibilität ermöglichen. Variabilität bzw. Erweiterungsflexibilität heißt in diesem Zusammenhang, Größenanpassung an einen veränderten Bedarf, die auch das von der Wohnung beanspruchte Territorium verändert. [IWU, 2001, S.2ff]

Allerdings ist dabei die Schwierigkeit, dass beim Mehrfamilienhaus die Bedürfnisse anderer tangiert werden. Während das so genannte „wachsende Haus“ – gemeint ist dabei immer das freistehende, einzelne Wohnhaus - als eine Sonderform für wohnungsexterne Anpassbarkeit steht, liegt die Wohnung im Mehrfamilienhaus eingeklemmt zwischen Nachbarn, sowohl daneben, als auch darüber und darunter, sodass Größenänderungen nicht allein ein haushaltsinternes Problem sind, sondern die Privatinteressen anderer tangieren. [Werner, 1977, S.45]

*„BewohnerInnen beurteilen den Trend zu flexibleren Systemen in der Regel durchaus positiv. Es wird das Bedürfnis geäußert, den Grundriss der Wohnung an die jeweilige Lebensphase anzupassen. Neben der Möglichkeit die Raumaufteilung flexibel zu gestalten, sollte vor allem auch die Größe der Wohnung veränderbar sein.“* [Walch, 2001, S.72]

So drückt der Bewohner eines neu errichteten Wohnhochhauses in Wien, seine Vorstellungen – stellvertretend für viele - folgendermaßen aus:

*„Mir ist es wichtig, möglichst flexibel zu sein; erweiterbarer Wohnraum ist für die Zukunft sicherlich wesentlich. Für Familien, die ein Kind kriegen und dann ausziehen müssen, weil der Platz nicht wirklich gegeben ist, ist das wesentlich ungünstiger, als wenn sie sagen könnten, wir nehmen noch etwas dazu und müssen unser Lebensumfeld nicht verändern.“* [Walch, 2001, S.72]

Eines sollte aber bei der Betrachtung dieser Problematik im Blickpunkt bleiben. Beim scheinbar gesättigten Wohnungsmarkt übersieht man oft, dass hinter dem Überangebot an teuren Wohnungen, die schon alleine aufgrund ihrer Größe eine gewisse Anpassungsfähigkeit garantieren, sich ein wachsender Bedarf an preiswerten, finanzierbaren Wohnungen versteckt. Immer weniger Menschen, am wenigsten Familien mit Kindern sowie Alleinerziehende werden sich großzügige Wohnungen leisten können. *„Der Bedarf nach Grundriss-optimierten, preisgünstigen, aber auch wandelbaren und erweiterungsfähigen Wohnungen ist heute schon groß und wird in Zukunft noch weiter steigen.“* [Walch, 2001, S.17 ff]

Zu den o.a. teuren Wohnungen gehören auch die seit längerem begehrten Altbauwohnungen, zum Beispiel solche aus den Gründerjahren. Diese zeichnen sich durch elementare, universale Grundrisse aus. Dabei liegen die Vorzüge vor allem in einer relativen Überdimensionierung der Räume und im „Oberflächenreiz“, der zu Feinanpassungen eher animiert und provoziert als der so genannte puristisch glatte Universalraum.

Die Überdimensionierung von Räumen ist aus wirtschaftlicher Sicht im Speziellen und aus dem Gebot zur Nachhaltigkeit im Allgemeinen nicht mehr vertretbar. Allerdings empfehlen sich aus den Erfahrungen mit Altbauten bei zukünftigen Wohnbauten entsprechende Möglichkeiten für Feinanpassungen vorzusehen. „Feinanpassung“ heißt in diesem Zusammenhang, Adaptierungen und Veränderungen, die von den BewohnerInnen direkt veranlasst oder gar selbst ausgeführt werden können - ohne in das konstruktive Gefüge unmittelbar eingreifen zu müssen.

*„Die maßgeschneiderte Wohnung nach individuellen Besonderheiten leidet zum einen am Ausblenden von unvorhersehbaren Änderungen im Lauf der Zeit, da sie auf der Annahme definitiver Zweckerfüllung basiert, und die Vielfalt die ein Planer in den Wohnungen eines bestimmten Gebietes anbieten kann, bleibt gegenüber den feiner differenzierten persönlichen Vorstellungen und Wünschen der verschiedensten Bewohner oberflächlich und trivial.“* [Werner, 1977, S.51]

Diese Möglichkeiten zur Feinanpassung soll nicht unterschätzt werden, da sie selbst beim individuell geplanten Haus bzw. bei der individuell geplanten Wohnung mit der Zeit notwendig und als positiv bewertet wird.

### Wohnungen für ältere Menschen

Anpassungsfähige Wohnungen sind nicht nur für Haushaltneugründungen und Patchwork - Familien eine Notwendigkeit, vielmehr wird eine Wohnung bzw. ein Wohngebäude seine Anpassungsfähigkeit dann zeigen müssen, wenn es darum geht eine adäquate Ausstattung für ältere Menschen zu generieren.

*„Und alle Umfragen zeigen, dass die meisten älteren oder behinderten Menschen eine möglichst selbstständige Wohnform anstreben. Die demographische Entwicklung ruft also geradezu nach neuen Wegen im Alterswohnen.“* [Kurz, 2006, S.43]

Generell heißt dies, dass eine modernen Wohnung so zu adaptieren, zu erweitern oder so rückzubauen sein soll, dass sie den Menschen möglichst *„für ihr gesamtes Leben ein gesichertes Domizil in einer vertrauten Umgebung bieten kann.“* [John, 2006]

*„Der Architekt Hubert Wagner, Wohnberater von Pro Senectute, einer Schweizerischen Beratungsstelle für die ältere Generation, fordert „alterslose Wohnungen, die sich nur insofern vom Durchschnitt unterscheiden, als sie keine unnötigen Hindernisse aufweisen und auch bei leichten Behinderungen immer noch bewohnbar bleiben.“* [Kurz, 2006, S.43]

Auch für das sogenannte „Wohnen im Alter“ gilt jene Erkenntnis – die eigentlich für den gesamten Wohnungsbau zutrifft – das einfache oder allgemeingültige Rezepte nicht dem großen Spektrum an spezifischen und individuellen Bedürfnissen gerecht werden können.

*„Das Wohnen im Alter ist sowenig einheitlich wie das Älterwerden selbst.“* [Kurz, 2006, S.40]

So sei in diesem Zusammenhang daraufhingewiesen, dass ältere Menschen nicht generell in ihrer Wohnung bleiben wollen. *„Immer häufiger schaffen sich „junge Alte“ Formen gemeinschaftlichen Wohnens im Alter.“* [Kurz, 2006, S.44]

Spätestens dann, wenn der Bedarf nach intensiver Betreuung und Pflege gegeben ist, können die Modelle des „Betreuten Wohnens“ in einer Wohngemeinschaft eine sinnvolle Alternative zum „Single-Wohnen“ sein – besonderes dann, wenn dies mit einer zu erwartenden Vereinsamung verbunden ist.

Andererseits gilt es zu bedenken, was der Koordinator für Seniorenbetreuung der Stadt Konstanz/Deutschland bei einer Fachtagung geäußert hat: *„Das Menschen mit einer leichten bis mittelschweren Demenz in ihrem gewohnten Umfeld weiter wohnen sollen und eine geringfügige Adaptierung der eigenen Wohnung einer Übersiedelung in ein Pflegeheim vorzuziehen ist. Dies heißt aber, dass Wohnungen so zu konzipieren und zu bauen sind, dass diese Adaptierungen möglich sind.“* [Schröpel, 2006]

Ergänzend dazu gewinnt das Modell der „Betreuung in der Familie“ wieder an Bedeutung.

Die Altenwohnheime können den zukünftigen Bedarf nach „altersgerechtem und betreutem Wohnen“ bei weitem nicht decken. Ebenso werden Altenpflegeheime nur einen kleinen Teil von jenen Menschen, die Pflege benötigen, aufnehmen können.

Das Modell der mobilen Pflege und Betreuung ist allerdings darauf angewiesen, dass jene Menschen, die betreut werden, in einem Umfeld wohnen, das eine gewisse Basisversorgung garantieren kann.

Dies bedeutet auch, dass beim „selbstständigen Wohnen“ und beim „Mit-Wohnen in der Familie“ eine Wohnung so ausgestattet sein soll, dass die Pflege und Betreuung ohne Umstand und Erschwernisse geleistet werden kann.

*„Wohnen ist ein Grundbedürfnis aller Menschen, und es ist für jeden wichtig, dass dieses Bedürfnis zufriedenstellend erfüllt wird. Nicht nur im Alter, sondern auch bei chronischen Erkrankungen des Bewegungsapparates oder nach Unfällen, die den Rollstuhl oder Gehhilfen notwendig machen, müssen die individuellen Wohnbedürfnisse berücksichtigt werden.“* [Hilfswerk NÖ, 2006]

Die Leiterin des Bereichs Therapie beim Niederösterreichischen Hilfswerks, Frau Olivia John nennt als konkretes Beispiel, ein Bett so aufzustellen, dass die PflegerInnen „rund um das Bett“ agieren können. Die Bäder und Toiletten sollen nicht nur barrierefrei zu erreichen sein sondern sie sollen auch jenen räumlichen Spielraum bieten, der es den betreuten Personen und den PflegerInnen erlaubt sich darin ungehindert zu bewegen. Ein normales Badezimmer ist dabei oft schlichtweg zu klein und eine entsprechende Raumvergrößerung kann dabei die Gesamtsituation entscheidend verbessern. [John, 2006]

*„Denn eine gut adaptierte Wohnung bietet nicht nur Komfort, sondern gibt auch Sicherheit. Oft genügen schon kleinere Veränderungen um Gefahrenquellen zu verringern oder verschiedene Tätigkeiten wieder zu erleichtern.“* [Hilfswerk NÖ, 2006]

Der Fassade kommt in solchen Wohnungen eine besondere Bedeutung zu. Sowohl Frau John als auch Herr Schröpel berichten aus ihren Erfahrungen, dass bettlägerige Personen und Personen, die auf den Rollstuhl angewiesen sind, sowie Personen mit leichter bis mittelschwerer Demenz „das Leben auf der Strasse sehen und hören möchten“. Eine raumhohe Verglasung kann auch dann, wenn die „schützende Wand zum öffentlichen Raum“ nur noch schwach ausgebildet ist, für diese Menschen ein Vorteil sein. [John, Schröpel, 2006]

Die Fassade als Instrument zur Licht-Modulation gewinnt vor allem bei Personen mit eingeschränktem bzw. abnehmendem Sehvermögen an Bedeutung.

Ausgehend von der Erfahrung, dass die Menschen möglichst lange in ihrer vertrauten Wohnung (und ihrem Wohnumfeld) leben wollen, müssen die Innenräume gut mit Tageslicht ausgeleuchtet sein.

Frau John hat die Erfahrung gemacht, dass viele Unfälle im Haushalt deshalb passieren, weil schlechte oder ungleiche Lichtverhältnisse in Innenräumen ein sicheres Bewegen für o.a. Personen erschweren und z.T. sogar unmöglich machen. Die Forderung nach, bis in die Raumtiefe, gut belichteten Innenräumen können Fassadenelemente mit serienmäßig produzierten Lichtlenkkonstruktionen am ehesten erfüllen. Eine Fassade sollte somit mit entsprechenden Elementen einfach nachgerüstet werden können.

Dass diese Forderung nicht zu unterschätzen ist, zeigt die Tatsache, dass Unfälle bei älteren Personen, die von mangelhaften Lichtverhältnissen in den Innenräumen verursacht werden zu schweren Verletzungen führen können. Da diese Verletzungen bei älteren Personen nur langsam oder gar nicht verheilen, können diese dazu führen, dass dieser Personenkreis relativ oft bettlägerig oder auf den Rollstuhl angewiesen wird. [John, 2006]

Wenn ältere oder pflegebedürftige Personen ihren eigenen Haushalt aufgeben und in den Haushalt von Familienangehörigen, z.B. bei ihren Kindern einziehen, so ist es „für beide Seiten“ von Vorteil, wenn jeder ein eigenes Wohn-/Schlafzimmer und eine eigene Sanitäreinheit d.h. eine Bad/WC-Kombination bekommen kann. Spätestens dann wird die Möglichkeit zur Wohnungsvergrößerung von entscheidender Relevanz. [John, 2006]

### Wohnen und Arbeiten

*„Seit der Charta von Athen, die eine Entflechtung von Funktionen (Wohnen, Arbeiten, Erholung, Verkehr) der Industriestädte als Vorgabe formulierte und die Zonierung dieser Funktionen mittels Grüngürtel erreichen wollte, schreitet die Homogenisierung der Stadtstrukturen voran. Die veränderten Formen der Arbeit führen aber genau zu gegenteiligen Anforderungen an Stadt und Gebäude. Alternative Arbeitsformen bedürfen eher der Vermischung von Funktionen (Wohnen und Arbeiten), da diese zeitgleich und am gleichen Ort stattfinden können müssen.“* [IWU, 2002, S.11]

Wenn in der Vergangenheit das Erdgeschoss von Wohngebäuden eine ausreichend gute Interaktion mit dem öffentlichen Raum ermöglichte, so wurden diese Flächen umgehend von Werkstätten und Geschäften besetzt.

Da die „*durchmischten Wohngebiet*“ ein attraktives Umfeld für Handel und Gewerbe darstellen, gab es „*in den Erdgeschossen der an öffentlichen Strassen stehenden Vorderhäuser und dazu in den Hinterhäusern und Hofzonen tausend Gelegenheiten, sich provisorisch oder auch auf Dauer mit einem kleinen Betrieb einzurichten.*“ [Feldtkeller, 2001, S.92]

Bei der Entwicklung von Gebieten für die Ortserweiterung ist das Thema der Nutzungsdurchmischung heute wieder verstärkt von besonderer Bedeutung. So ist es beispielsweise vorteilhaft, wenn in einem Wohngebäude nicht nur Räume angeboten werden, die ausschließlich für das Wohnen geeignet sind, sondern wenn diese Räume, je nach Lage und Bedarf, neben Gemeinschafts- und Sozialeinrichtungen auch als Ateliers, Ordinationen, Büros und Werkstätten genutzt werden können. Im Sinne einer sozial und ökologisch begründbaren Nahversorgung sollen sich auch (kleinere) Geschäfte in den Erdgeschossen von Wohngebäuden einrichten lassen.

„*Besonders relevant wird die Möglichkeit zur Nutzungsänderung, wenn Wohngebäude an emissionsbelastenden Strassen liegen. Dann sind Erdgeschosse und meist auch das 1. Obergeschoss für Wohnungen völlig unattraktiv – aber das Kleingewerbe oder der Einzelhandel finden gerade in diesem Kontext interessante und vielversprechende Qualitäten. Die entsprechenden Widmungen sind dann bei der Erstellung von Flächenwidmungs- und Bauungsplänen zu verwenden. Wenn die Gebäude in der Nutzung flexibler wären, so könnten die anpassungsfähigeren Strukturpläne einfacher und schneller den jeweiligen gesellschaftlichen Entwicklungen nachgeführt werden.*“ [van Hazebrouck, 2006]

Insbesondere der Typus des multifunktionalen Ateliers und der emissionsfreien Werkstätten ist hier von Interesse, da in diesen Räumen technische und geschäftliche Entwicklungen gestartet werden können. In der jüngeren Kulturgeschichte wird dieser Typus oft mit dem Begriff der „Garage“ umschrieben.

„*Der Charme der Garage als Existenzgründer-Ort liegt in der Möglichkeit eines einfachen, unkomplizierten Beginns in ganz simplen, für einen ursprünglich anderen Zweck vorgegebenen, dabei leicht erreichbaren Räumen, die der Nutzer sich selbst für seinen ganz individuellen Bedarf herrichtet - möglichst ungetrübt von perfektionistischen Vorschriften des Baurechts, der Versicherungen und der Arbeitsaufsicht.*“ [Feldtkeller, 2001, S.90]

Ein in einfacher Weise anpassungsfähiges Wohnhaus bei dem konstruktiv und infrastrukturell entsprechende Einrichtungen und Nutzungen zumindest mitgedacht sind, ist somit für eine heterogene Ortsentwicklung von entscheidendem Vorteil.

„*Dabei scheint mir die Möglichkeit, dass der Nutzer die Räume sich selbst so herrichtet, wie er sie braucht und bezahlen kann – und zwar unabhängig von den Vorstellungen und Auflagen Dritter – das zentrale Moment zu sein. Hier unterscheidet sich die Gründergarage fundamental von den heute gängigen (und teilweise) hochsubventionierten Starterzentren und Gründerparks.*“ [Feldtkeller, 2001, S.92]

### Vorfabrikation und Montage

Die Zunahme an Vorfertigungstechniken in der Bauindustrie und die Entwicklung von modulartigen Bauelementen wird die Erfüllung dieser Anforderungen betreffend Flexibilität und Variabilität zunehmend mehr und vor allem einfacher ermöglichen.

„*Preiswerten, nachhaltigen und erweiterungsflexiblen Wohnraum zu errichten wird dann möglich, wenn der Trend in der Bauindustrie weiterhin in Richtung System- und Fertigteilbauweisen geht. Es sollen möglichst viele zusammenhängende d.h. kombinierbare Bestandteile vorgefertigt und auf der Baustelle am Gebäude nur noch modulartig zusammengesetzt werden. Das Gebäude ist dabei niemals in einem so genannten „fertigen Endzustand“ - es verändert sich immer dann, wenn es notwendig wird. Um all diese Szenarien Wirklichkeit werden zu lassen, müssen die Bauteile, Komponenten und Module von einer zwingenden Einfachheit sein. Nur so sind dann auch Preisgünstigkeit, langer Lebenszyklus und geringer Fehleranfälligkeit bei Errichtung und Betrieb zu gewährleisten. Matthias Horx spricht in die-*

*sem Zusammenhang von der systemischen Intelligenz einer Gebäudetechnologie und dem Siegeszug der „KISS – Technik“ (Keep it simple and stupid).“ [Walch, 2001, S.31]*

Auch wenn aus der jüngeren Vergangenheit sehr skeptische und z.T. auch ablehnende Beurteilungen zu Partizipation, Flexibilität und Variabilität im Wohnungsbau geäußert wurden, so sollte dabei nicht übersehen werden, dass es nicht die inhaltlichen Konzeptionen waren, die negativ beurteilt wurden, sondern deren oft mangelhaften Umsetzungen.

*„Die Bewohnerkritik bezieht sich nicht auf die Anpassbarkeit, sondern meist auf technisch konstruktive Details und auf die Bauausführung.“ [Werner, 1977, S. 355]*

Diverse Mängel gab es nicht nur in der Bautechnik, sondern auch in der Administration, in der Organisation und in der nicht zu unterschätzenden Nachbetreuung solcher Wohnbauprojekte, wie das Beispiel „Wohnen Morgen“ in Hollabrunn exemplarisch zeigt. [Hinterberger, 2006]

Die Erfahrungen zeigen, dass für die praktische Ausrichtung kurzfristig versetzbarer Wände, die einzelnen Elemente nur so groß sein dürfen, dass sie von höchstens zwei Personen montiert bzw. demontiert werden können. Um die empfohlene Akzeptanz bei den BewohnerInnen zu erreichen ist es notwendig, dass dabei möglichst keine besonderen Kenntnisse benötigt werden. Wichtige Kenngrößen sind in diesem Zusammenhang (nach Behnisch):

- Befestigungsart
- notwendige Arbeitsgänge zum Versetzen
- Anzahl der dazu notwendigen Personen
- notwendige Arbeitszeit zum Versetzen pro Element
- notwendige Ausbesserungsarbeiten nach dem Umsetzen.

Günther Behnisch empfiehlt in seinem erarbeiteten Leitfaden, dass die Lösbarkeit der Fixierung erkennbar sein muss. Das Lösen soll eine Materialzerstörung vermeiden und auf kleine ersetzbare Teile beschränkt werden. Gegebenenfalls erforderliche Werkzeuge sollen üblich sein. Die Fixierung durch Verspannen scheint ihm am geeignetsten, sowohl für die HandwerkerInnen als auch für die aktive und einfache Beteiligung der BewohnerInnen. [Werner, 1977, S.146 ff]

### Reparaturfähigkeit und einfache Instandhaltung

*„Die Notwendigkeit einer langfristigen Bewirtschaftung von Wohnungsbaubeständen und ganzen Siedlungen stellt Wohnungsbaugesellschaften immer öfter vor dramatische Entscheidungen. Die mangelnde Instandhaltung oder die verzögerte Erneuerung führen zu einem Verlust an baulicher Qualität, dem eine Komforteinbuße und Veränderung des Aussehens der Gebäude folgen. Diese Veränderungen können die wirtschaftlich gestellten Mieter veranlassen, die Quartiere zu verlassen. Es kommt zu einer sozialen Entmischung, zu Mietausfällen, zu erhöhten Bauschäden. Dem stehen sinkende Einkünfte, und es erfolgt ein Wertverlust der gesamten Anlag. Neben der funktionalen und technischen Obsoleszenz kann auch die formale Obsoleszenz zu einem Wertverlust von Gebäuden führen. Im Gegensatz zu funktionalen und technischen Eigenschaften ist es jedoch nicht einfach, formale Eigenschaften eindeutig zu definieren und zu bewerten. Die formale Obsoleszenz von Gebäuden hängt ganz wesentlich von zwei Kriterien ab: Ihrer Anpassbarkeit und ihrer Reparierbarkeit – man könnte von einer Ästhetik der Reparatur sprechen ...“ [Kohler, 2007, S.85]*

## Rückbau und Weiterverwendung

Die ökologische Optimierung von Wohngebäuden umfasst oft nur die Energieeffizienz. Für eine umfassende Optimierung ist es aber notwendig, den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu betrachten.

*„Das beginnt bei der Herstellung des Gebäudes und endet bei der Frage: Was geschieht, wenn das Gebäude wieder entfernt werden soll?“* [Fechner, 2003, S.4]

Auf dem XXI. Architektur-Weltkongress 2002 in Berlin wurde eine mögliche Antwort darauf gegeben:

- ★ *„Jeder Bau muss auf Kosten seiner Eigentümer nach Ablauf seiner Lebensdauer entsorgt werden. (...) Das Verursacherprinzip spielt dabei eine grundsätzliche Rolle.*
- ★ *Längst ist die Internalisierung der Umweltkosten gängiges Theorem der Umweltökonomie und anerkanntes Prinzip der Volkswirtschaft. Produkthaftung und Produktrücknahme werden im begonnenen Jahrhundert zur Regel in der Produktionsweise und der Unternehmensverantwortung. Beim Automobil sind die Anfänge gemacht, andere Produktionsbereiche werden folgen. Warum nicht längst beim Bau, wo man viel Energie speichert und ca. 80% des Abfalls ‚produziert‘? (...)*
- ★ *Jede Baugenehmigung benötigt in Zukunft auch eine Rückbaubeschreibung, in der ein Nachweis geführt wird, wie das neue Bauwerk schadlos in den Energie- und Materialkreislauf zurückzuführen ist. Mit der Rückbaugenehmigung ist eine bankengesicherte und konkursfeste Rücklage zu bilden, aus der die Rückbaukosten finanziert werden; auch dann wenn für leerstehende Gebäude, verlassene Grundstücke und verschwundene Unternehmen niemand mehr verantwortlich ist. Dass eine Entwurfslogik und eine daraus entstehende Architektur aus der Rückbauverpflichtung grundlegend andere Formen annehmen könnte, sollte unsere Fantasie beflügeln: keine Zerstörung von Material, flexible Nutzung von Konstruktion, Ausbau und Einrichtung, Abgabe nicht mehr benötigter Räume und Einrichtungen an Bedürftige usw.“* [UIA Berlin, 2002, S.46]

Diese Erweiterung des nachhaltigen Bauens auf den gesamten Lebenszyklus ist notwendig, *„weil der große Ressourceneinsatz beim Bauen und manche der in den letzten Jahrzehnten eingesetzten Bauweisen und Baumaterialien die Frage aufwerfen: Wie können diese Gebäude rückgebaut werden?“* [Fechner, 2003, S.6]

Diese Frage lässt sich mit den folgenden verknüpfen: Welche ressourcenorientierten Anforderungen lassen sich in diesem Zusammenhang erfüllen? Welche Befestigungsmittel ermöglichen eine entsprechende Konzeption? Welche Materialien erfüllen die entsprechenden Anforderungen? Wie werden Rückbau, Demontage und Entsorgung den Planungsprozess beeinflussen?

Bei jedem Bauvorhaben sind die entsprechenden Überlegungen bereits in der Projektentwicklungs- und Entwurfsphase zu führen. Die genaue Betrachtung offenbart dann eine interessante Korrelation:

*„Dabei zeigt sich, dass die Zielsetzung „Flexibel Wohnen“ in vielen Bereichen Berührungspunkte mit ökologisch – abfallwirtschaftlichen Zielen hat. Bauten, die Flexibilität ermöglichen, können auch leichter rückgebaut werden.“* [Fechner, 2003, S.7]

Für den kontrollierten Rückbau mit angeschlossener Weiterverwendung der Baumaterialien gibt es nicht nur diverse ökologische Argumente sondern auch ein ökonomisches.

*„Die Kosten für einen konventionellen Rückbau liegen bis zu einem Faktor drei höher als beim vollständigen selektiven Rückbau, da die Deponiegebühren einen wesentlichen Kostenfaktor darstellen.“* [Fechner, 2003, S.13]

*„Als treibende Kraft kann die Tatsache gesehen werden, dass industriell vorgefertigte Bauelemente in vielen Fällen nicht nur zerstörungsfrei demontierbar sind und wiederverwendet werden können, sondern dass sie – wie die Gespräche mit den Niederländern zeigen – auch kostengünstiger sind.“* [Fechner, 2003, S.35]

Es geht dabei nicht nur darum ein komplettes Gebäude rückzubauen und weiterzuverwenden, da z.B. auch nur einzelne Bauelemente bei anderen Gebäuden weiterverwendet werden können. So ist z.B. bei Gebäuden, *„die nur mehr wenige Jahre bestehen bleiben, die*

*aber dennoch in Stand gesetzt werden müssen, der Einbau von gebrauchten Bauteilen besonders vorteilhaft.“ [Fechner, 2003, S.9]*

Dass die „richtige“ Konstruktion dabei von entscheidender Bedeutung ist, zeigen erste Erfahrungen aus dem Projekt RUMBA (Richtlinien für umweltfreundliche Baustellenabwicklung). *„Nur wenn die einzelnen Bauteile im Falle ihres Abbruches am Ende ihrer Lebenszeit mit ökonomisch vertretbarem Aufwand wieder in Einzelbaustoffe bzw. -komponenten zerlegt werden können, wird die Verwertungsquote hoch sein. Diese Tatsache weist auf einen entsprechenden Umgang mit der Verwertungsmöglichkeit von Bauteilen schon bei der Gebäudekonzeption hin.“ [Fechner, 2003, S.20]*

Bei dieser Thematik lohnt auch ein Blick in den Bereich der nachhaltigen Produktgestaltung. Unter dem Label „Ecodesign“ sind u.a. die folgenden Anforderungen bei der Konzeption und beim detaillierten Entwurf von Gebrauchsgütern zu berücksichtigen.

*„Bei der Materialwahl ist darauf zu achten, dass gesundheitliche Unbedenklichkeit und spätere Rezyklierbarkeit bzw. umweltgerechte Entsorgung gegeben sind.“*

*„Wesentliche Aspekte eines nachhaltigen Produkts sind seine Lebensdauer und die zu erwartende Nutzungsintensität.“*

*„Flexibel gestaltete Strukturen, die bei Bedarf erweiter- oder reduzierbar sind, könnten eine Lösung für nachhaltige Nutzungskonzepte darstellen.“*

*„Nach Ablauf der Nutzungsdauer sind unterschiedliche Szenarien zur Nachnutzung der Materialien oder Bauteile möglich. Durch Anpassungen oder Weiterbearbeitungen können sie in anderen Produkten Anwendung finden und die zu entsorgenden Abfallmengen verringern.“ [Wimmer, 2006, S.26ff]*

## 5 ANFORDERUNGEN AN RESSOURCENSCHONENDE WOHNBAUTEN IN HOLZBAUWEISE

*Dieser Abschnitt behandelt die Hintergründe und strategischen Ziele des ressourcenorientierten Bauens und zeigt konkrete Anforderungen für einen ressourcenorientierten Einsatz von Holz in Wohngebäuden. Zugrunde liegende Arbeit ist, wenn nicht anders hingewiesen, eine Dissertation [Smutny, in Ausarb.] über nachhaltige Siedlungsbewertung an der BOKU Wien.*

### 5.1 Grundlagen und strategische Ziele

#### 5.1.1 Nachhaltige und zukunftsichere Architektur

Für die Zukunft zu bauen bedeutet für jede/n PlanerIn, seine/ihre Position als Gestalter der Umwelt mit Verantwortungsbewusstsein zu erfüllen. Wir befinden uns in einer Zeit des Übergangs von der postindustriellen auf fossile Energie aufbauenden Wachstumsgesellschaft zu einer auf erneuerbare Energien und Kreislaufwirtschaft setzenden Informations- und Dienstleistungsgesellschaft. Daher sind ein sorgfältiger Umgang mit Ressourcen und eine Besinnung auf erneuerbare Energieträger für jede planerische Auseinandersetzung ebenso bedeutend wie Nutzungseffizienz und ein hohes ästhetisches Niveau der Architektur. [Treiberspurg, 2005]

Die lokalen und globalen Umweltbelastungen der letzten Jahrzehnte führen zu neuen Anforderungen an Gebäude und der Begriff der „Modernen Architektur“ ist dementsprechend zu erweitern. Die bisherigen Zielsetzungen für „Moderne Architektur“ sind passend durch ein Zitat von Ernst Plischke definierbar [Kaiser, 2003]:

*„Das Ziel einer voll entwickelten modernen Architektur muss ... eine Einheit sein zwischen einem räumlichen Konzept einerseits und einer Bauplastik andererseits. Diese beiden Qualitäten müssen aber aus der Erfüllung der Funktion des Bauwerkes und seiner Konstruktion erarbeitet werden. Die wesentliche Qualität einer solchen voll entwickelten Architektur liegt in der Spannung zwischen dem Raumkonzept und der Funktion einerseits und zwischen der Vision einer Bauplastik und der Konstruktion andererseits. Konstruktion wird zur Bauplastik. Es ist erst diese Spannung, welche einen Bau lebendig macht und zu einem Spürbarwerden seiner Architektonik führen kann. Ohne diese Spannung haben wir entweder einen reinen Utilitarismus oder eine abstrakte Bauplastik.“*

Diese Strategie ist um zwei Aspekte zu erweitern:

- ★ Ein ökologisches Baustoffkonzept für Errichtung, Instandhaltung, Instandsetzung und Abbruch.
- ★ Ein sparsames Ressourcenkonzept für die Nutzung von Gebäuden, welches den Energieverbrauch von Gebäuden minimiert, die Strahlungsgewinne der Sonne berücksichtigt und das Management weiterer Ressourcen (z.B. Wasser) für den Betrieb von Gebäuden optimiert.

#### 5.1.2 Leitbild einer Nachhaltigen Entwicklung

Die Schonung natürlicher Ressourcen durch das Bauwesen ist eine wesentliche Komponente einer nachhaltigen Entwicklung. Der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ wurde im Brundtland-Bericht [WCED, 1987] definiert als eine Entwicklung, welche den Bedürfnissen der heu-

tigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen. Nachhaltigkeit bedeutet in diesem Sinne also mehr als nur die Aufrechterhaltung oder Dauerhaftigkeit eines Zustandes. Ein besseres Verständnis der Wortfolge „Sustainable development“ bieten die Übersetzungsvarianten „Zukunftsfähige Entwicklung“, „Zukunftsverträgliche Entwicklung“, „Verantwortbare Entwicklung“ und „Tragfähige Entwicklung“.

Die Begriffe „Nachhaltigkeit“ und „nachhaltig“ sind mittlerweile Modewörter und haben in unterschiedlichen Fachdisziplinen eine unterschiedliche Bedeutung. Das Adjektiv „nachhaltig“ (und die Substantivierung „Nachhaltigkeit“) ist unzweifelhaft mehrdeutig, da die Bedeutung vom Substantiv abhängig ist, auf das es sich bezieht<sup>2</sup> (z.B. nachhaltiger Schaden). In vorliegender Studie werden die Begriffe „Nachhaltigkeit“ und „nachhaltig“ im Sinne der Definition des Brundtland-Berichts verwendet.

Zwei Schlüsselbegriffe sind für die Umsetzung und das richtige Verständnis nachhaltiger Entwicklung von zentraler Bedeutung. Das Konzept der Grundbedürfnisse aller Menschen und die Begrenzung des Wachstums von Material-, Energie- und Raumbedarf. Die Grenzen werden insbesondere durch die Tragfähigkeit von lokalen und globalen Ökosystemen bestimmt, welche die Leistungsfähigkeit beeinflusst, die Bedürfnisse gegenwärtiger und zukünftiger Generationen decken zu können.

### 5.1.3 Nachhaltiges Ressourcenmanagement

Ein nachhaltiges Ressourcenmanagement strebt die Schonung und den effizienten Einsatz natürlicher Ressourcen an, um diese verträglich für die menschliche Gesundheit und für natürliche Kreisläufe zu nutzen. Als Ressourcen werden materielle, energetische und räumliche Vorräte bezeichnet, die zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse eingesetzt werden. Die Einteilung natürlicher Ressourcen basiert auf Arbeiten der europäischen Kommission im Zuge der Entwicklung einer thematischen Strategie für die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen [Mitteilung (EG), 2003]. Diese Klassifizierung wurde durch Sekundärressourcen ergänzt und ist in folgender Tabelle dargestellt. Es wird unterschieden zwischen Primärressourcen (oder natürlichen Ressourcen), welche direkt aus der Natur entnommen werden, und Sekundärressourcen (oder anthropogenen Ressourcen) wie beispielsweise Abfälle, Abwärme und Altstandorte welche bereits genutzt wurden und sich für eine erneute Verwendung eignen.

---

<sup>2</sup> Siehe auch: „Nachhaltigkeit – ein semantisches Chamäleon“ von Petra Stephan

Tabelle: Einteilung ökologischer Ressourcen [Obernosterer et al., 2003]

ÜBER-KATEGORIE	UNTERKATEGORIE	BEISPIELE
<b>Materielle Ressourcen</b>	Nicht erneuerbare Rohstoffe	<i>Fossile Rohstoffe, Mineralien</i>
	Erneuerbare Rohstoffe	<i>Biomasse, Wasser</i>
	Materielle Sekundärrohstoffe	<i>Abfälle, Abwasser, Emissionen</i>
<b>Energetische Ressourcen</b>	Energieinhalt in nicht erneuerbaren Rohstoffen	<i>Fossile Energieträger, Uran</i>
	Energieinhalt in erneuerbaren Rohstoffen	<i>Pellets, Hackschnitzel</i>
	Energieinhalt in strömenden Ressourcen	<i>Solarenergie, Windenergie, Wasserkraft, Gezeiten, Geothermie</i>
	Energieinhalt in Sekundärressourcen	<i>Energieinhalt in Abfällen, Abwasser und Abgasen</i>
<b>Umweltmedien</b>	Atmosphäre	<i>Ozonschicht, Atemluft</i>
	Hydrosphäre	<i>Oberflächengewässer, Grundwasser</i>
	Pedosphäre, Lithosphäre	<i>Erdreich</i>
<b>Räumliche Ressourcen</b>	Bodenfläche	<i>Dauersiedlungsfläche, Bauland, Verkehrsfläche</i>
	Naturschutzgebiete	<i>Naturräume für die Erhaltung der Biodiversität</i>
	Landschaftsbild	
	Luftraum	
	Räumliche Sekundärressourcen	<i>Altstandorte, Altflächen</i>

Allgemeine Leitlinien was den Umgang mit natürlichen Ressourcen betrifft wurden im Zuge der Konkretisierung von Strategien für eine Nachhaltige Entwicklung erarbeitet (siehe z.B. [Daly, 1990]):

- ★ Die Nutzung erneuerbarer Ressourcen (z.B. Wälder oder Fischbestände) darf auf Dauer nicht größer sein als ihre Regenerationsrate. Andernfalls ginge die Ressource zukünftigen Generationen verloren.
- ★ Die Nutzung nichterneuerbarer Ressourcen (z.B. fossile Energieträger) darf auf Dauer nicht größer sein als die Substitution ihrer Funktionen. Beispiele für Substitutionen nicht-erneuerbarer Energieträger sind eine zusätzliche Aufforstung oder eine zusätzliche Energieversorgung durch erneuerbare Energieträger (Solarthermie, Fotovoltaik, Wasserstoff aus solarer Elektrolyse, Erdwärmennutzung, Windkraft, etc.).
- ★ Die Freisetzung von Stoffen und Energie darf auf Dauer nicht größer sein als die Anpassungsfähigkeit der natürlichen Umwelt. Die Anpassungsfähigkeit der Umwelt wird auch als Pufferkapazität oder Elastizität bezeichnet und betrifft beispielsweise das Ausmaß der Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre oder von säurebildenden Substanzen in Waldböden ohne dass Schäden zu erwarten sind.
- ★ Die Freisetzung von Stoffen und Energie darf auf Dauer nicht größer sein als die Pufferkapazität der menschlichen Gesundheit (Immunsystem und Reinigungsleistung des Körpers).

Detaillierte Leitlinien, Zielkataloge und Strategien die das Bauwesen betreffen wurden in den letzten Jahren vermehrt publiziert. Die wichtigsten Zielsetzungen sind beispielsweise enthalten in:

- ★ Neues Bauen mit der Sonne [Treberspurg, 1999]
- ★ Leitfaden nachhaltiges Bauen [BBR, 2001]
- ★ Nachhaltigkeit im Bauwesen [Graubner + Hüske, 2003]
- ★ Nachhaltiges Bauen – Hochbau [SIA 112/1, 2004]

- ★ Baustoffmanagement 21. Strategie für die Realisierung eines nachhaltigen Bauwerkes Schweiz [Schneider + Hitz, 2002]
- ★ ECOCITY – Basic Book [EC, 2005]
- ★ Bau-Bionik [Nachtigall, 2003]
- ★ Natürliche Konstruktionen [Otto, 1982]
- ★ ISO-Normen:
  - ★ ISO / AWI TR 21932: Buildings and constructed assets – Sustainability in building construction – Terminology (under development, stage 2006)
  - ★ ISO / TS 21931: Buildings and constructed assets – Sustainability in building construction – Framework for assessment of environmental performance of buildings (published standard, 2006)
  - ★ ISO / DIS 21930: Buildings and constructed assets – Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products (under development, 2006)
  - ★ ISO / TS 21929: Buildings and constructed assets – Sustainability in building construction – Sustainability indicators (published standard, 2006)
  - ★ ISO / DIS 15392: Buildings and constructed assets – Sustainability in building construction – General principles (under development, 2006)
  - ★ ISO DIS 15686-5 Buildings and constructed assets – Service Life Planning – Part 5: Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 5: Whole life costing (under development, stage 2004)
  - ★ ISO 15686-6: Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 6: Procedures for considering environmental impacts (published standard, 2004)

### 5.1.4 Ressourcenorientiertes Bauen

Bauwerke sind durch ihre Langlebigkeit ein bedeutendes Erbe an die nächste Generation. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ist es daher notwendig, die bauliche Infrastruktur und Baukultur in einer hohen Qualität und zukunftsverträglich zu errichten sowie bereits den Rückbau und die Kreislaufführung einzuplanen. Auch ist es wichtig, Entwicklungschancen offen zu halten (z.B. durch Errichtung anpassungsfähiger Gebäude oder durch Bereithaltung von Freiflächen), anstatt diese zu verbauen.

Das Bauwesen ist ein dominierender Wirtschaftssektor was den Bedarf an natürlichen Ressourcen und die Belastung der Ökosysteme durch Abfälle und Emissionen betrifft. Besonders die Themen Energie und Baustoffe sind von Bedeutung, da Gebäude mehr als die Hälfte des gesamten Energie- und Materialbedarfs verursachen. Die Bedeutung des Bauwesens in Österreich für die nachhaltige Nutzung von natürlichen Ressourcen wird durch die folgende Aufstellung verdeutlicht.

- ★ Vom gesamten jährlichen Verbrauch an Endenergie werden knapp 40 % durch den Bedarf an Heizung, Warmwasser und Beleuchtung in Gebäuden verursacht [BMWA, 2004].
- ★ Vom gesamten jährlichen Ausstoß an Treibhausgasen werden ca. 30 - 40 % durch den Bedarf an Heizung, Warmwasser und Beleuchtung in Gebäuden verursacht.
- ★ Der jährliche Verbrauch an Bodenfläche durch Zuwachs an Bau- und Verkehrsfläche beträgt ca. 86 km<sup>2</sup> im Zeitraum 1999 bis 2004. Pro Tag sind dies etwa 24 ha oder 32 Fußballfelder ([Lexer, 2004], Datenquelle: Regionalinformation der Grundstücksdatenbank des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen).
- ★ Bezogen auf den jährlichen Bedarf an festen Konsumgütern haben Baumaterialien einen Anteil von etwa 70 % (13 t/cap.a) [Daxbeck et al., 2003].

- ★ Bezogen auf alle in Verwendung befindlichen Güter haben Baumaterialien einen Anteil von etwa 97 % (ca. 460 t/cap) [Daxbeck et al., 2003].
- ★ Bezogen auf das jährliche Aufkommen von festen Abfällen (ca. 6 t/cap.a) haben Abfälle aus dem Bausektor einen Anteil von etwa 60-70 % [BAWP, 2001].

Um natürliche Ressourcen zu schonen, müssen langlebige, recyclinggerechte Häuser gebaut werden, die einen geringen Energieverbrauch und Wasserverbrauch während der Nutzung aufweisen und einen geringen Aufwand für die Instandhaltung benötigen. Zudem müssen die Bauwerke aus verträglichen Baustoffen bestehen, die sparsam und ökologisch günstig eingesetzt werden, wie z.B. lokale Rohstoffe, erneuerbare Rohstoffe, rezyklierte Baustoffe und schadstoffarme Baustoffe.

Die politischen Zielsetzungen für den Klimaschutz in Österreich wurden auch explizit für das Bauwesen formuliert. Für den Sektor Raumwärme und Kleinverbrauch (off-road Maschineneinsatz) wurde als Zielwert für das Jahr 2010 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 28,1 % bezogen auf das Emissionsniveau von 1990 festgelegt [BMLFUW, 2002]. Im Zuge der Anpassung der österreichischen Klimastrategie [BMLFUW, 2007] wurde dieses Reduktionsziel auf 20,1 % adaptiert.

Weitere nationale und internationale Klimaschutzziele:

- ★ Kyoto Protokoll 1997 (im Rahmen der United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC): Industrienationen müssen ihre Treibhausgasemissionen im Beobachtungszeitraum 2008 bis 2012 um 5,2 % reduzieren, bezogen auf das Emissionsniveau von 1990.
- ★ Die Europäische Union verpflichtete sich innerhalb des Kyoto-Protokolls zu einem strengeren Zielwert von minus 8 %
- ★ Österreich verpflichtete sich innerhalb des Kyoto-Protokolls zu einem deutlich strengeren Zielwert von minus 13 % bzw. minus 10,27 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr bezogen auf das Emissionsniveau von 1990 (79 Mio. t CO<sub>2</sub>). [BMLFUW, 2007]
- ★ Post-Kyoto-Periode: Im Rahmen des Europäischen Programms zur Klimaänderung (ECCP) schlägt die Europäische Kommission konkrete Maßnahmen vor, um den Temperaturanstieg auf 2° C gegenüber dem Niveau vor der Industrialisierung zu begrenzen. Beim Europäischen Rat am 8. und 9. März 2007 verpflichteten sich die Mitgliedsstaaten, ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2020 um wenigstens 20 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu verringern.
- ★ Weitere Schlussfolgerungen des Europäischen Rats vom März 2007:
  - Entwickelte Länder müssten sich dazu verpflichten, gemeinsam ihre Emissionen bis 2020 gegenüber dem Stand von 1990 um rund 30 % zu senken, und bis 2050 um 60 bis 80 %. Der Europäische Rat spricht sich dafür aus, dass die EU als Ziel die Senkung ihrer Emissionen um 30 % bis zum Jahr 2020 festlegt, sofern die entsprechende Vereinbarung geschlossen wird.
  - Ziel der Steigerung der Energieeffizienz, damit gegenüber den Hochrechnungen für das Jahr 2020 insgesamt 20 % des Energieverbrauchs der EU eingespart werden können;
  - Ziel der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch der EU auf 20 % bis zum Jahr 2020;
  - Ziel der Steigerung des Anteils der Biokraftstoffe am Gesamtkraftstoffverbrauch (Benzin und Dieselmotortreibstoff) für den Verkehrssektor in der EU auf 10 % bis zum Jahr 2020.

Bisherige Anstrengungen zur Nachhaltigkeit im Bauwesen haben sich stark auf energetische Verbesserungen der Bauten konzentriert. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft diese Strategien verstärkt in Richtung Baumaterialien ergänzt werden. Einerseits aufgrund steigender Bedürfnisse nach einem gesunden und komfortablen Innenraumklima und Andererseits dürfte der Aspekt der Ressourcenverknappung in Zukunft für Baumaterialien ähnlich drängend werden, wie für Energieträger.

In folgendem Abschnitt wird die Nachhaltigkeit der Holznutzung in Österreich und Niederösterreich analysiert. Für Österreich ist Holz aufgrund der großen Vorräte und der kontinuierlichen Holzbautradition ein bedeutender Baustoff für die Zukunft.

### 5.2 Holzreserven in Österreich (Waldinventur)

Österreich ist nach Slowenien das am dichtesten bewaldete Land Mitteleuropas. Der Waldanteil an der Staatsfläche liegt bei ca. 47 % und damit etwa zwei Drittel über dem europäischen Durchschnitt [Russ, 2004].

Die bewaldete Fläche lag nach den Daten der letzten Österreichischen Waldinventur 2000/2002 (ÖWI) bei etwa 3,96 Mio. ha und stieg in den Jahren davor um etwa einen Prozentpunkt pro Jahrzehnt an.

Entwicklung der Österreichischen Waldfläche

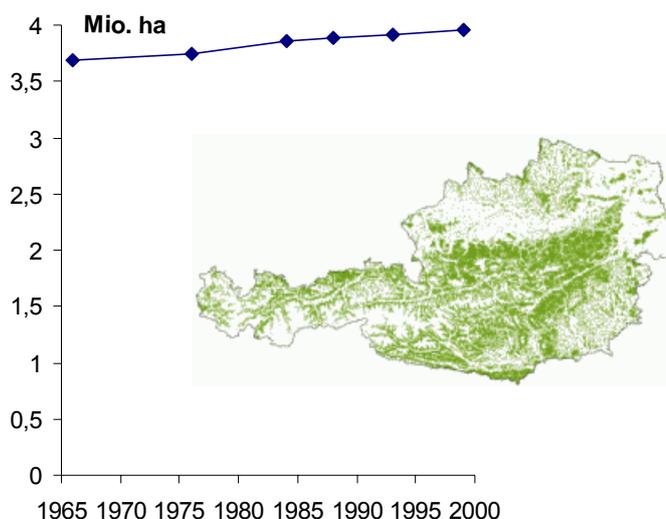


Abbildung: Entwicklung der Holzreserven in Österreich in Hektar. Datenquelle: [Russ, 2004] basierend auf den Daten der österreichischen Waldinventur ÖWI 2000/2002 [BFW, 2006]. Bildquelle: [BFW, 2006]

Der Vorratsfestmeter (Vfm) ist das Volumen des Holzvorrates eines stehenden Baumes bzw. Waldes und umfasst nur das Derbholz inklusive Rinde. Als Derbholz wird die oberirdische Holzmasse über 7 cm Durchmesser bezeichnet, abzüglich des bei der Fällung am Stock bleibenden Schaftholzes. Der Erntefestmeter (Efm) entspricht dem Vorratsfestmeter abzüglich etwa 10% Rindenverluste und etwa 10% Verluste bei der Holzernte [Kramer + Akça, 1995]. Ein Festmeter Fichte entspricht bei einer Feuchte von 12 % etwa 460 kg Holzmasse [ÖN-EN-350-2, 1994]. Die laut ÖWI in Österreich geerntete Holzmenge hat bei einer Holzfeuchte von 12 % eine mittlere Dichte von ca. 500 kg pro Erntefestmeter bzw. ca. 400 kg pro Vorratsfestmeter.

Österreich hat eine Holzreserve von etwa 220 Mio. vfm (ca. 440 Mio. t bei 12 % Holzfeuchte) und einen jährlichen Brutto-Zuwachs von etwa 31 Mio. vfm (ca. 12 Mio. t bei 12 % Holzfeuchte).

Niederösterreich hat eine Holzreserve von etwa 1,1 Mrd. vfm (ca. 90 Mio. t bei 12 % Holzfeuchte) und einen jährlichen Brutto-Zuwachs von etwa 6,4 Mio. vfm (ca. 2,6 Mio. t bei 12 % Holzfeuchte).

In Niederösterreich liegen etwa ein Fünftel der Österreichischen Waldfläche oder umgerechnet 750.000 ha Wald. Die folgende Tabelle bietet einen Vergleich der Flächenanteile der Bundesländer. Niederösterreich verfügt über einen höheren Waldanteil als Tirol, Vorarlberg und Oberösterreich.

*Tabelle: Waldanteil an der österreichischen Bodenfläche [Statistik Austria, 2007]*

<b>BODENFLÄCHE</b>	<b>Wald (absolut)</b>	<b>Wald (Anteil an Landesfläche)</b>	<b>Bau- flä- che</b>	<b>Land- wirtsch. inkl. Garten</b>	<b>Alpe</b>	<b>Ge- wässer</b>	<b>sonst. Fläche</b>	<b>GESAMT (=100%)</b>
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>km<sup>2</sup></b>
Burgenland	<b>1.209</b>	<b>30,5</b>	0,8	56,9	-	7,2	4,6	3.965
Kärnten	<b>5.045</b>	<b>52,9</b>	0,4	21,5	15,8	1,8	7,6	9.536
Niederösterreich	<b>7.556</b>	<b>39,4</b>	0,9	53,7	0,2	1,3	4,5	19.178
Oberösterreich	<b>4.649</b>	<b>38,8</b>	0,9	50,4	0,4	2,2	7,3	11.982
Salzburg	<b>2.847</b>	<b>39,8</b>	0,4	17,7	25,5	1,4	15,2	7.154
Steiermark	<b>9.360</b>	<b>57,1</b>	0,6	26,8	6,6	0,9	8	16.392
Tirol	<b>4.667</b>	<b>36,9</b>	0,3	10,3	27,3	0,9	24,3	12.648
Vorarlberg	<b>885</b>	<b>34</b>	0,7	19,7	25,4	2,6	17,6	2.601
Wien	<b>69</b>	<b>16,6</b>	11,3	45,9	-	4,6	21,6	415
Österreich	<b>36.316</b>	<b>43,3</b>	0,7	33,7	10,3	1,7	10,3	83.871

Anmerkung: Aufgrund unterschiedlicher Erhebungsmethodik unterscheiden sich die Daten geringfügig von der österreichischen Waldinventur.

Um die Nachhaltigkeit der Forstwirtschaft zu analysieren, ist es notwendig einzelne Holzarten zu betrachten. Die folgenden vier Abbildungen zeigen den Anteil der Holzarten am gesamten Holzvorrat sowohl für Österreich als auch für Niederösterreich. Die Anteile der Holzarten in Niederösterreich unterscheiden sich geringfügig von jenen des gesamten Bundesgebiets. Niederösterreich verfügt über einen geringeren Fichten-, Tannen- und Lärchenanteil, jedoch über einen größeren Anteil an Laubholz und Kiefernholz. Etwa ein Drittel der Österreichischen Bestände an Eiche, Rotbuche und Weißkiefer befinden sich in Niederösterreich. Die heimischen Robinienbestände befinden sich zu zwei Drittel in Niederösterreich, die Schwarzkiefer wächst fast ausschließlich in Niederösterreich (vor allem im süd-westlichen Wiener Becken).

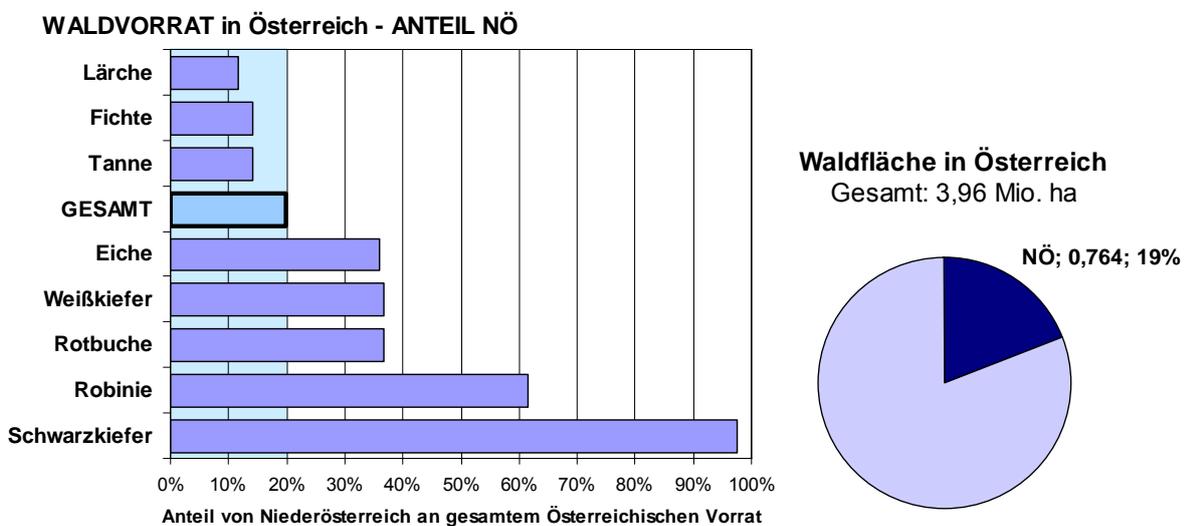
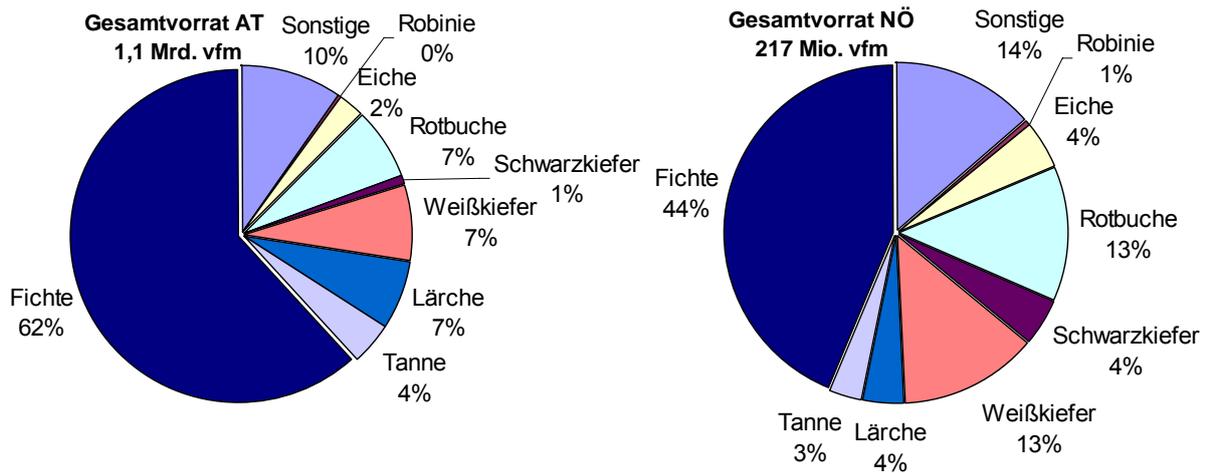


Abbildung: Holzvorrat in Österreich und Niederösterreich - Anteile der Holzarten und Bedeutung der Niederösterreichischen Vorräte. Datenquelle [BFW, 2006]

### 5.3 Jährliche Nutzung und Sortimente

Die jährliche Holznutzung (geerntete Holzmenge) wird analysiert nach Holzarten und Eigentumsarten für gesamt Österreich und für Niederösterreich. Die Rohdaten stammen aus der österreichischen Waldinventur [BFW, 2006]. Die Nutzungsraten werden den Zuwachsraten und dem Vorrat gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass in Niederösterreich (aber auch in Gesamtösterreich) der Zuwachs für alle Holzarten höher liegt als die Entnahme. Eine exakte Beurteilung der Nachhaltigkeit müsste jedoch auch die Altersstruktur des Bestands in Betracht ziehen.

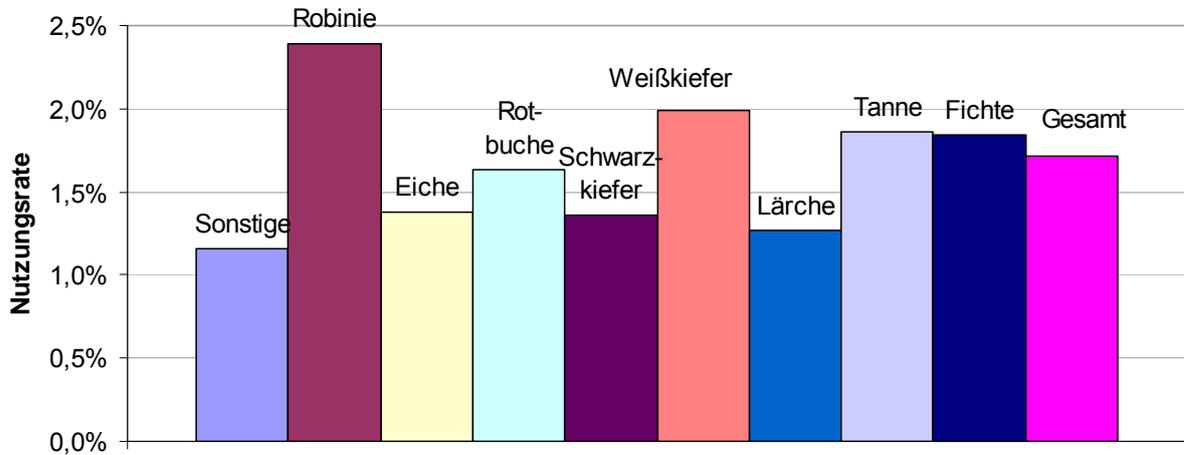
Die größten Differenzen zwischen Zuwachs und Entnahme, also die größten Zunahmen der Vorräte bestehen für die Holzarten Fichte, Rotbuche und Eiche.

Durch den stetigen Zuwachs bildet Österreichs Wald einen bedeutenden Kohlenstoffspeicher. Im Zeitraum von 1961 bis 1996 wurden jährlich im Mittel etwa 9,2 Mio. t CO<sub>2</sub> in Waldbiomasse gebunden. Aufgrund der Bilanzierungsregeln des Kyoto-Protokolls können bis zu ca. 2,3 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr während der Kyoto-Verpflichtungsperiode 2008 - 2013 angerechnet werden. [Weiss et al., 2005].

Bei Betrachtung der Eigentumsverhältnisse kann klar abgelesen werden, dass die Zunahmen der Holzvorräte fast ausschließlich den Kleinwald betreffen, welcher sich meist in privatem Besitz befindet. Daher laufen zurzeit verstärkte Anstrengungen, um diese ungenutzten Ressourcen zu erschließen.

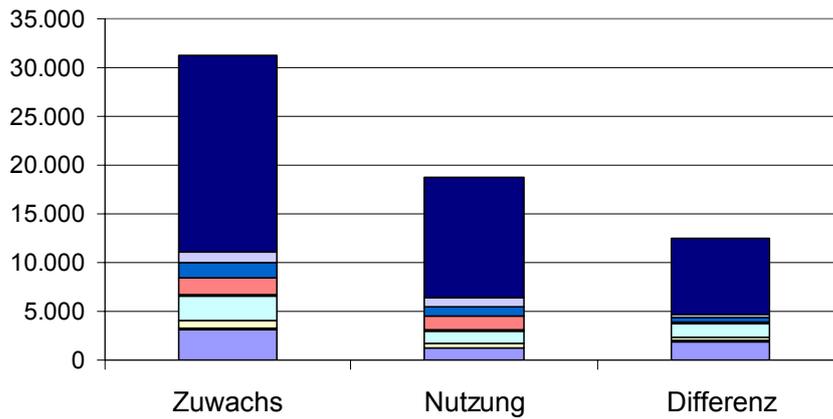
ÖSTERREICH 2000/2002 (Datenquelle [BFW, 2006])

Nutzungsrate (Einschlag pro Vorrat) in Österreich



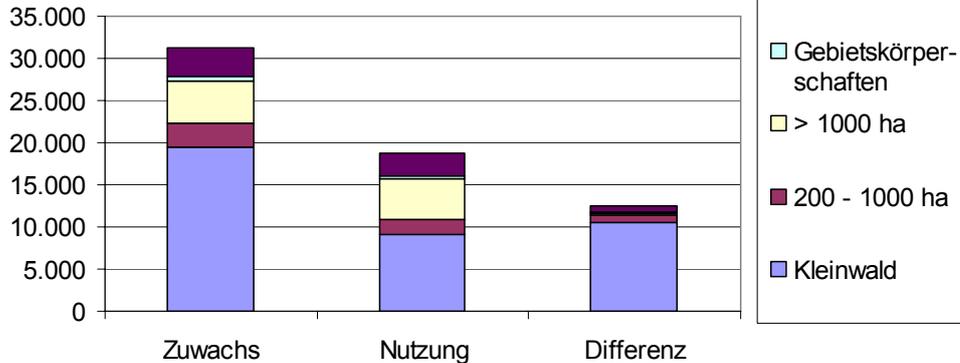
Waldzuwachs und Einschlag in Österreich nach Holzarten

1000 vfm pro Jahr



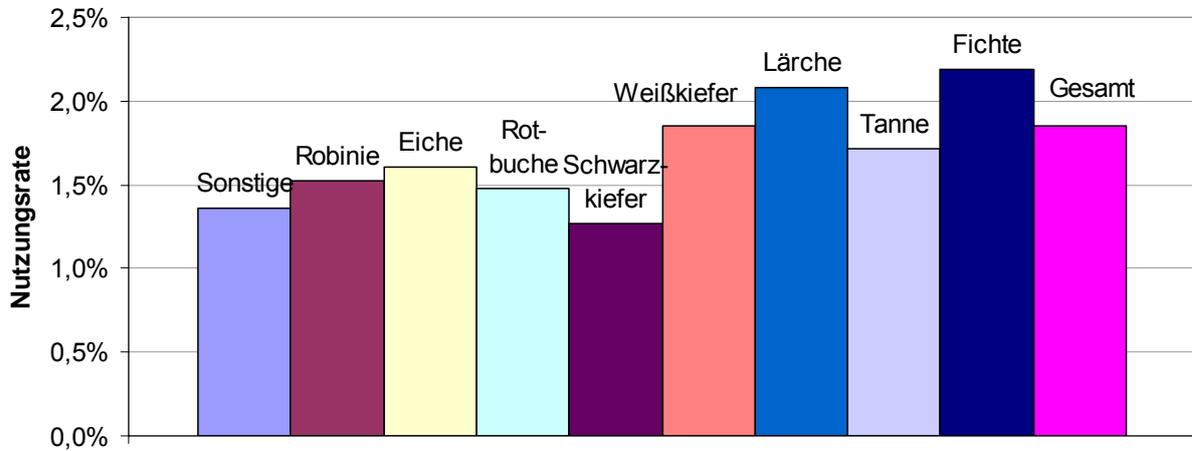
Waldzuwachs und Einschlag in Österreich nach Eigentumsarten

1000 vfm pro Jahr



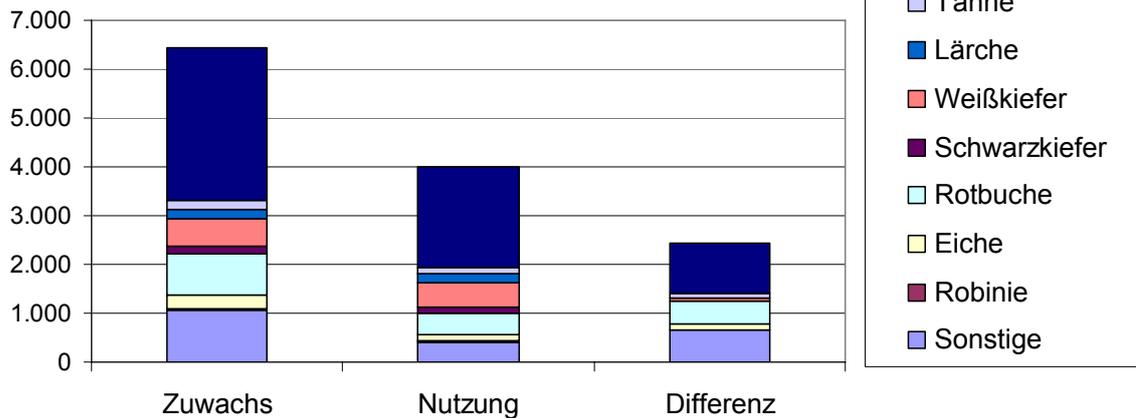
**NIEDERÖSTERREICH 2000/2002** (Datenquelle [BFW, 2006])

**Nutzungsrate (Einschlag pro Vorrat) in Niederösterreich**



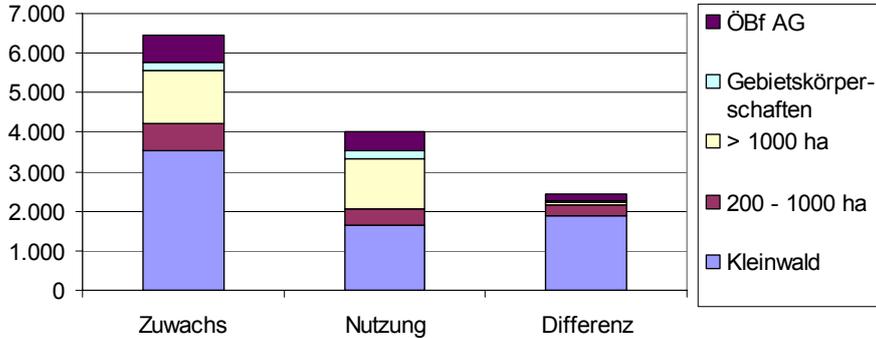
**Waldzuwachs und Einschlag in Niederösterreich nach Holzarten**

1000 vfm pro Jahr



**Waldzuwachs und Einschlag in Niederösterreich nach Eigentumsarten**

1000 vfm pro Jahr



In Österreich werden pro Jahr ca. 19 Mio. vfm Holz geerntet (= „Inlandsproduktion“ in folgender Abbildung). Das entspricht ca. 15 Mio. efm oder ca. 7,6 Mio. t Holz bei einer Feuchte von 12 %. Zusätzlich werden etwa 10 Mio. fm Holz importiert.

Holz wird als Brennstoff, Baumaterial und zur Zellstoff- bzw. Papierproduktion eingesetzt. Die mengenmäßig wichtigsten Produkte bezogen auf knapp 30 Mio. fm Holzeinsatz sind Schnittholz (33 %), Papier und Zellstoff (23 %), Brennstoff (13 % Pellets, Waldhackgut und Scheitholz) und Span- und Faserplatten (11 %). Siehe folgende Abbildung.

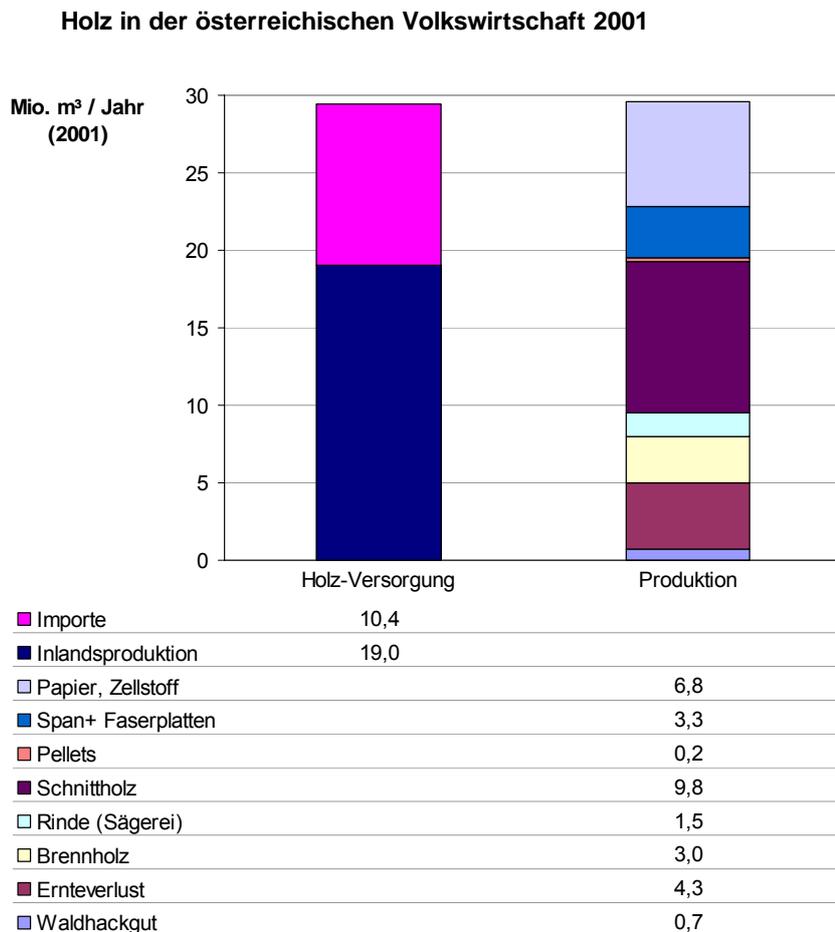


Abbildung: Holzströme in der österreichischen Volkswirtschaft 2001 in Mio. m³/a [BMLFUW, 2006].

Starke Zuwachsraten von Produkten aus Holz, insbesondere Holzwerkstoffplatten (MDF, OSB) und Pellets, haben bereits europaweit zu einer Ressourcenverknappung geführt. Für die zukünftige Entwicklung der Holzwirtschaft wurde eine Reihe von Thesen und Strategien entwickelt [Teischinger, 2007]:

- ★ Ressourcenknappheit führt zu Innovation: Effizienzsteigerung und Einsatz von Alternativen
- ★ Mobilisierung von Rohstoffpotenzialen (Kleinwaldbesitzer) und Alternativen (agrarische Ersatzrohstoffe)
- ★ Steigerung der Rohstoffeffizienz:
  - Vermeidung von Rohstoffverlusten in der Verarbeitung (z.B. Fräsen, Hobeln, Verschnitt)

- Materialeinsparung durch optimiertes Produktdesign
- Qualitative Materialeinsparung: Einsatz von niedrigeren Holzqualitäten wenn höhere Qualitäten nicht erforderlich sind (z.B. für Fassaden oder als Brennstoff)
- Erhöhung der Lebensdauer von Holzprodukten
- ★ Design for Recycling: Demontierbarkeit, Trennbarkeit und Verwertbarkeit (siehe nächsten Abschnitt)
- ★ Erschließung der Sekundärressource Altholz: Entwicklung von Erfassungssystemen und Verwertungstechnologien
- ★ Vorrang für die stoffliche Holznutzung und Beschränkung der undifferenzierten Förderung von energetischer Holznutzung (Forderung der Holzwerkstoff-, Zellstoff- und Papierindustrie)

### Nachhaltigkeit importierter Holzwaren

Die Außenhandelsstatistik zeigt die monetären Werte des importierten Laub- und Nadelholzes. Jedoch kann die Holzart und meist auch der exakte Herkunftsort nicht abgelesen werden. Laut Schätzungen einer NGO (NRO Walhi, zitiert in [Ozinga, 2007]) stammt etwa die Hälfte des von der EU importierten Holzes aus illegalem Holzeinschlag. Auch innerhalb der EU ist illegaler Holzeinschlag beispielsweise in Estland und Rumänien ein Problem. Weltweit ist illegaler Holzeinschlag in 20 Ländern der Welt ein ernstes Problem und führt zu jährlichen Einkommensverlusten von ca. 11 Mrd. € für die Regierungen (laut Schätzungen von WWF/IUCN zitiert in [Ozinga, 2007]). Indonesien ist davon schwer getroffen, da etwa 80 % des Holzes illegal gewonnen wird, was einer Fläche von ca. 2,8 Mio. ha pro Jahr entspricht. [Ozinga, 2007]

Ein weiterer dezidiertes Nachteil von importiertem Holz ist der größere ökologische Rucksack durch Transporte. Zusammenfassend gesagt gibt es drei wesentliche Gründe, um heimisches Holz einzusetzen:

- ★ Stärkung der heimischen Wirtschaft (Stärkung der Forstwirtschaft und Reduktion des Außenhandelsdefizits)
- ★ Reduktion der globalen Transportaufkommens samt Auswirkungen
- ★ Gewährleistung von Sicherheit, dass die Rohstoffe aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammen.

### 5.4 Kohlenstoffspeicherung im Bauholz

Eine besondere Bedeutung des Baustoffes Holz hinsichtlich Klimaschutz liegt in der langfristigen Speicherung von Kohlenstoff. Durch Holzbauwerke wird Kohlenstoff dem natürlichen Zyklus entnommen und die Entsorgung (bzw. Rückführung) als „letzter“ Prozess des Holz-Lebenszyklus wird für Jahrzehnte bis Jahrhunderte (bei Kaskadennutzung) hintangehalten. Die mit der Entsorgung verbundenen Kohlendioxidemissionen können somit effektiv hinausgeschoben werden. Der klimarelevante Effekt der Speicherung ist abhängig von der Nutzungsdauer der Holzprodukte und wird entsprechend höher je länger das Holz in Verwendung (inkl. Wiederverwendung) ist.

Um den Treibhauseffekt der Kohlenstoffspeicherung in Holzbaustoffen in einer Lebenszyklusanalyse (LCA) darstellen zu können, müssen treibhauswirksame Emissionen aus anderen Lebenszyklusphasen (Holzgewinnung, Baustoffproduktion, Gebäudeerrichtung, Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Gebäuderückbau) mitbetrachtet werden. Üblicherweise

werden die Ergebnisse einer Gebäude-LCA auf die funktionale Einheit von einem Betriebsjahr bezogen. Das bedeutet, dass die Masse an gespeicherten CO<sub>2</sub>-Äquivalenten durch die Nutzungsdauer der Baustoffe dividiert wird.

Laut einer umfangreichen Dissertation [Merl, 2006] über den nachhaltigen Einsatz von Holz beträgt die Menge an gespeichertem Kohlendioxid im Wiener Gebäudebestand (Tragwerk und Ausbau) etwa 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Dies entspricht in etwa der Jahresemission der Stadt Wien, welche ca. 9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente beträgt. Durch die derzeitige Verwendung des Baustoffes Holz in Wien kann also etwa eine Jahresemission an Treibhausgasen langfristig verzögert werden. Wenn diese Holzmenge am Ende des Lebensweges energetisch verwertet wird, kann zusätzlich etwa die siebenfache Menge an jährlich in Wien erzeugter Fernwärme genutzt werden [Merl, 2006].

### 5.5 Kreislaufgerechter Einsatz von Holz

*Eine stärkere Berücksichtigung von Wiederverwertung und Werkstoffrecycling in der Bauwirtschaft als bisher wird sich jedenfalls rechnen. Denn beachtet man, dass die Bauwirtschaft in Zukunft mit sich rascher ändernden Nutzerpräferenzen konfrontiert wird, wächst die Anforderung Gebäude so zu konzipieren, dass sie mit relativ wenig Aufwand wieder verwertbar oder aufrüstbar sind, ohne sie als Ganzes zu demontieren. [Walch, 2001, S.38]*

Die Kreislauffähigkeit eines Bauwerks, Bauteils oder Baustoffs ist abhängig von der Demontagefähigkeit und von der stofflichen Trennbarkeit.

Unter Demontagefähigkeit versteht man sowohl eine günstige Anordnung der Baugruppen und Bauteilen zueinander als auch eine kostengünstige und zerstörungsfreie Lösbarkeit der Verbindungen der Bauteile untereinander.

Die Anordnung von Bauteilen wird als Baustruktur bezeichnet. Je hierarchischer und weniger komplexer diese ist, desto geringer ist der Aufwand für die Demontage. Ein weiteres Kriterium für eine demontagegerechte Baustruktur betrifft die Anordnung von Komponenten, die einer kompletten Wiederverwendung von Bauteilen oder Bauteilgruppen im Wege stehen. Diese störenden Komponenten sollen an äußeren Bauwerkszonen, gut zugänglich und leicht demontierbar angeordnet und gekennzeichnet werden [VDI-2243, 1993]. Dies betrifft beispielsweise den Bereich des Ausbaus und der technischen Installationen. Die im Vergleich zu mineralischen Baustoffen niedrigere Lebensdauer von Haustechnikkomponenten stört die Wiederverwendung von Bauteilen in welchen diese Materialien miteinander verbunden sind.

Verbindungen werden grundsätzlich in bewegliche und feste Verbindungen gegliedert. Feste Verbindungen werden eingeteilt nach der Lösbarkeit in lösbare und unlösbare Verbindungen oder nach der Art des Zusammenhalts in Verbindungen mit Formschluss, Stoffschluss oder Kraftschluss.

Die Wiederverwendung einer Baukonstruktion hängt maßgeblich von den Resteigenschaften und der Restnutzungsdauer der Bauteile, ihrer Lösbarkeit aus der Primärkonstruktion, ihrer Anpassungsfähigkeit an sekundäre Gebrauchseigenschaftsanforderungen sowie dem gewählten Rückbauverfahren ab. Bei lösbaren Verbindungen können verbundene Materialschichten bzw. Bauteile in der Regel ohne Zerstörung wieder gelöst werden und stehen als sortenreines Material für einen optimierten Verwertungsvorgang zur Verfügung. Im Falle bedingt lösbarer oder unlösbarer Verbindungen können Materialien und Bauteile erst im Entsorgungsvorgang getrennt werden. Dies verhindert eine Verwertung auf hohem Qualitätsniveau [Graubner + Hüske, 2003].

Die leichte Lösbarkeit hat bei einer kreislauffähigen Bauweise oberste Priorität. Ist dies nicht erreichbar, sollten zumindest leicht zerstörbare Verbindungen angestrebt werden, welche die zusammengefügtten Bauteile nicht nennenswert beschädigen oder verunreinigen.

Die VDI-Richtlinie für recyclinggerechte Produktentwicklung [VDI-2243, 1993] schlägt vor, in erster Linie einfach lösbare Form- und Kraftschlussverbindungen einzusetzen, bei denen nur elastische Verformungen auftreten. Stoffschlussverbindungen sollten nur genutzt werden, wenn der Zusammenhalt der Verbindungsteile zerstörungsfrei aufgelöst werden kann, wie das bei Weichlötverbindungen oder bestimmten Klebungen der Fall ist.

Beim Rückbau von Bauwerken ist in den meisten Fällen eine Kombination aus Wiederverwendung von Bauteilen und Verwertung von Baustoffen, auch als Materialrecycling bezeichnet, am effizientesten. Daher ergibt sich eine Priorisierung der Lösbarkeit von Verbindungen.

Eine weitere, möglicherweise noch bedeutendere Priorisierung von Verbindungen ergibt sich aufgrund unterschiedlicher Lebenszeiten und Instandsetzungszeiten von Bauteilen. Je höher dieser Unterschied ist, desto einfacher lösbar müssen die Verbindungen ausgeführt werden. Wenn unterschiedliche Bauteile oder Komponenten nicht voneinander getrennt werden, so werden die schnelllebigen Teile die langlebigen Teile zerstören [Brand, 1997].

Beispielsweise sollten Komponenten des Ausbaus und der Gebäudeausrüstung grundsätzlich schnell und ohne Beeinträchtigung der tragenden Rohstruktur ausgetauscht werden können. Im Besonderen bei Deckenaufbauten und Dachaufbauten ist oft die Lösbarkeit von Verbindungen zu achten, da hier oftmals Schichten von Materialien unterschiedlicher Lebensdauer eingesetzt werden. Hingegen kann bei Materialschichten mit annähernd gleicher Lebensdauer auf eine demontagegerechte Ausführung verzichtet werden [Hüske, 2001].

Die stoffliche Trennfähigkeit betrifft die Behandlung von rückgebauten Bauteilen oder Bauwerksabbruch in der Entsorgungsphase. Ist Recycling auf Produktebene nicht mehr möglich, kann durch das Materialrecycling die Kreislaufführung gewährleistet werden. Dabei entscheidet die Zusammensetzung der Materialien in den Bauteilen darüber, ob Baustoffe mit gleicher Qualität oder mit verminderter Qualität zurückgeführt werden.

Zusammenfassend und vereinfachend können folgende allgemeine Grundregeln für die Planung eines kreislauffähigen Holzbauwerks formuliert werden:

- ★ Einsatz von einfach lösbaren Form- und Kraftschlussverbindungen (z.B. Spax mit Torxantrieb)
- ★ Wiederverwendbarkeit von möglichst großteiligen Bauteilen und Komponenten
- ★ Vermeidung von schadstoffhaltigen Baustoffen
- ★ Vermeidung von nicht recyclingfähigen Stoffmischungen: Der Einsatz von Additiven (z.B. Klebstoffe, Beschichtungen etc.) oder die Vermischung von Holzfasern mit anderen Stoffen (z.B. Kunststoff, Zement etc.) ist zu vermeiden, wenn dadurch das zukünftige stoffliche oder thermische Nutzungspotenzial eingeschränkt wird [Merl, 2006].
- ★ Dokumentation verbauter Baumaterialien sowie Verbindungstechniken: Wichtige Informationsquelle für Instandsetzungsmaßnahmen und Rückbau.

## 5.6 Dauerhaftigkeit, Instandhaltung und Instandsetzung

In einer Arbeit der Universität Leipzig [Winter&Kehl, 2002] wurde die Entwicklung der Holztafel- und Holzrahmenbauweise seit 1965 in Deutschland untersucht. Es wurden Vergleiche mit anderen Bauweisen gezogen und Empfehlungen für die Verkehrswertermittlung abgeleitet.

Der aktuelle Wert eines Gebäudes ist abhängig von der Restnutzungsdauer die sich aus der Differenz von Gesamtnutzungsdauer und Gebäudealter ergibt. Für Holztafelbauwerke älteren Baujahrs wird eine reduzierte Gesamtnutzungsdauer angesetzt, da diese Gebäude mit einer geringeren bautechnischen Qualität hergestellt wurden, was sich auch in geringeren Herstellungskosten im Vergleich zu anderen Bauweisen belegen lässt. Ab 1985 kann eine hohe bautechnische Qualität vorausgesetzt werden, die gleichwertig zu anderen Bauweisen ist. Die wesentlichsten bautechnischen Entwicklungen waren ein guter winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz, eine ausreichende Luftdichtheit, ein guter Schallschutz, ein guter Brandschutz, die Vermeidung von schädlichen Chemikalien (Lindan, PCP), eine Reduktion des Einsatzes von Formaldehyd und eine verbesserte Qualitätsüberwachung. Für Holztafel- und Holzrahmenbauweisen ab 1985 sollte daher von einer Gebrauchsnutzungsdauer von 80 – 100 Jahren ausgegangen werden, was dem Wert für Massivbau entspricht. [Winter&Kehl, 2002]

Die technische Lebensdauer eines Bauteils ist abhängig von:

- ★ Dauerhaftigkeit des Holzes (auch abhängig vom Splintholzanteil)
- ★ Holzfeuchte bei Lagerung und Einbau
- ★ Konstruktivem Holzschutz:
  - Feuchteschutz: luftdicht, dampfbremsend, diffusionsoffen, wettergeschützt
  - Bewitterungsschutz: Dachüberstand, Sockelabstand, Fugenausbildung
  - Wasserableitung
- ★ Chemischem Holzschutz
- ★ Regelmäßigkeit und Qualität von Instandhaltungsmaßnahmen
- ★ Instandsetzungsfreundlichkeit („Design for Recycling“ ist anzustreben)
- ★ Klimatischen Bedingungen

Einen Anhaltspunkt für übliche Lebenszeiten von Baustoffen bietet die folgende Tabelle.

Tabelle: Lebensdauer von Baumaterialien [Schmidt, 1999]

Jahre	Dach- und Deckenmaterialien	Wandmaterialien
100	Tragkonstruktion aus Holz, Stahl, Beton oder Mauerwerk	Tragkonstruktion aus Holz, Stahl, Beton oder Mauerwerk
90	Dachziegel aus Schiefer	
80	Dach aus Aluminium	Fassade aus Aluminium Fassade aus Zementmörtel, Innenputz aus Kalkzementmörtel,
70		Wasserrohre aus Kunststoff
60	Dachziegel aus Ton Holzverkleidung Trittschalldämmung aus Hartschaum	Fassade aus Holz oder Naturstein, Leichtmetallfenster Außenwanddämmung aus Hartschaum Holzverkleidung Elektrische Leitungen Heizungsrohre Kupfer und Kunststoff
50	Fußbodenbelag aus Fliesen Gipskartonverkleidung	Fußbodenbelag aus Fliesen Gipskarton - Leichtbauwand Fassade aus Kalk+ Kalkzementmörtel Hartholzfenster
40	Dachziegel aus Zement Flachdach Bekiesung Fußbodenheizung mit Kunststoffrohren	Kunststofffenster Wasserrohre aus Kupfer und Stahl
30	Dach aus verzinktem Stahlblech Fußbodenbelag aus PVC und Linoleum	
20	Flachdach Dachpappe	
10	Teppich	Wandfarbe innen, Tapeten

Bei Bauschäden im Holzbau liegt die Ursache oft in einer unsachgemäßen Lagerung oder in einem mangelhaften Einbau. Bauphysikalisch oder konstruktiv schlecht ausgeführte Bauweisen, welche Kondenswasser und stehendes Wasser zulassen oder welche Niederschlag und aufsteigende Feuchtigkeit nicht ausreichend abhalten, begünstigen die Einstellung höherer Holzfeuchten als die Ausgleichsfeuchte und damit die Anfälligkeit für einen Schädlingsbefall. Ab einer Holzfeuchte von ca. 20 % kann es zu Gefährdungen durch Pilzbefall und ab ca. 10 % zu Insektenbefall kommen.

Tabelle: Feuchtigkeitsansprüche von Holzschädlingen [Sutter, 1992]

Schädling	Optimale Feuchte für Auftreten und Vermehrung von Schädlingen	Feuchtebereich für Auftreten und Vermehrung von Schädlingen
<b>Holzverfärbende Pilze</b>		
Schimmelpilze, Bläuepilze	-	30 – 120 %
<b>Holzerstörende Pilze</b>		
Echter Hausschwamm (Braunfäulepilz)	30 – 40 %	20 – 55 %
Kellerschwamm	50 – 60 %	25 – 120 %
Weißer Porenschwamm	40 – 45 %	25 – 120 %
Tannenblättling, Zaunblättling	40%	25 – 120 %
<b>Insekten</b>		
Hausbock (Splintholz von Nadelhölzern)	30 %	10 – 45 %
Gewöhnlicher Nagekäfer (Laub- und Nadelholz)	30 %	10 – 45 %
Splintholzkäfer (Eiche, Esche, Tropenhölzer)	15 %	8(!) – 28 %
Bunter Nagekäfer	-	25 – 45 %

### 5.6.1 Natürliche Dauerhaftigkeit von Holz

In folgender Tabelle sind die natürlichen Dauerhaftigkeitsklassen nach DIN EN 350-2 für verschiedene Holzarten dargestellt. Die Einteilung gilt ausschließlich für Kernholz, für Splintholz gilt ausnahmslos Dauerhaftigkeitsklasse 5 (nicht dauerhaft). Kernhölzer mit anhaftendem Splint sind in der Dauerhaftigkeitsklasse herabzustufen, da ein Übergreifen eines Pilzbefalls möglich ist.

*Tabelle: Natürliche Dauerhaftigkeit nach DIN EN 350-2*

Holzart		Holzerstörende Pilze EN 350-2	Insek- ten <sup>(1)</sup>	Lebens- dauer <sup>(2)</sup> bewittert	Lebens- dauer <sup>(2)</sup> unter Dach
Afzelia, Teak (nicht aus Plantagen)	1	sehr dauerhaft		> 150 J. <sup>(3)</sup>	> 200 J. <sup>(3)</sup>
Thermo – Buche <sup>(4)</sup>	1 - 2 (3)	sehr dauerhaft bis dauer- haft		150 J. <sup>(3)</sup>	200 J. <sup>(3)</sup>
Thermo - Fichte <sup>(4)</sup>	1 - 2 (3)	sehr dauerhaft bis dauer- haft		150 J. <sup>(3)</sup>	200 J. <sup>(3)</sup>
Robinie	1 - 2	sehr dauerhaft bis dauer- haft		150 J.	200 J.
Eiche (aus Europa)	2	dauerhaft		100 J.	150 J.
Eibe	2	dauerhaft		100 J. <sup>(3)</sup>	150 J. <sup>(3)</sup>
Edelkastanie	2	dauerhaft		100 J. <sup>(3)</sup>	150 J. <sup>(3)</sup>
Plantagen-Teak	3	mäßig dauerhaft		75 J. <sup>(3)</sup>	130 J. <sup>(3)</sup>
Lärche	3 - 4	mäßig bis wenig dauer- haft		65 J.	120 J.
Kiefer	3 - 4	mäßig bis wenig dauer- haft		60 J.	100 J.
Fichte	4	wenig dauerhaft	anfäl- lig	55 J.	60 J.
Tanne	4	wenig dauerhaft	anfäl- lig	55 J.	60 J.
Splintholz generell	4 - 5	wenig bis nicht dauerhaft	anfäl- lig	< 55 J. <sup>(3)</sup>	< 60 J. <sup>(3)</sup>
Buche	5	nicht dauerhaft		< 55 J. <sup>(3)</sup>	< 60 J. <sup>(3)</sup>
Esche	5	nicht dauerhaft		< 55 J. <sup>(3)</sup>	< 60 J. <sup>(3)</sup>
Plantagenkiefer (ca. 99% Splintholz)	5	nicht dauerhaft		< 55 J. <sup>(3)</sup>	< 60 J. <sup>(3)</sup>

(1) Hausbock, Nagekäfer

(2) Quelle: [Leiß, 2002]

(3) Annahme aufgrund der Dauerhaftigkeit von vergleichbaren Holzarten

(4) Dauerhaftigkeitsklasse 1 bei Behandlung mit 220°C für mindestens 3 Stunden.

Dauerhaftigkeitsklasse 2 bei Behandlung mit 210°C für mindestens 3 Stunden.

Dauerhaftigkeitsklasse 3 bei Behandlung mit 180°C für mindestens 3 Stunden.

[Finnish Thermowood Association, 2004]

Im Folgenden werden die resistentesten heimischen Holzarten, Eiche und Robinie, näher betrachtet.

EICHE	ROBINIE
<b>Vorrat + Nutzung in Niederösterreich</b> Vorrat etwa 9,6 Mio. vfm Jährlicher Zuwachs etwa 280.000 vfm Jährlicher Einschlag etwa 150.000 vfm Ein Drittel der Österreichischen Vorräte in NÖ. Anteil von 4,4 % am NÖ-Holzvorrat. Es wächst fast doppelt so viel nach als genutzt wird.	Vorrat etwa 1,4 Mio. vfm Jährlicher Zuwachs etwa 31.000 vfm Jährlicher Einschlag etwa 22.000 vfm Zwei Drittel der Österr. Vorräte in NÖ  Anteil von 0,7 % am NÖ-Holzvorrat. Es wächst fast 50 % mehr nach als genutzt wird.
<b>Eigenschaften</b> Dauerhaftigkeitsklasse 2 (EN 350-2) Auswaschung von Gerbsäure: Korrosion und Verfärbung benachbarter Bauteile (Beton, Putz) Kostenintensiv	Dauerhaftigkeitsklasse 1-2 (EN 350-2) Auswaschung von Gerbsäure: Korrosion und Verfärbung benachbarter Bauteile (Beton, Putz) Kostenintensiv, schlechte Verfügbarkeit
<b>Einsatzgebiete</b> Konstruktion  Terrassen, Stege Fassade (mindere Sortierqualität)	Holz im Erdkontakt ohne chemischen Holzschutz (z.B. Kinderspielplätze, Zaun- und Weidepfähle) Fenster- und Türrahmen Gartenmöbel

In einem Forschungsprojekt der Holzforschung Austria [Neumüller et al., 2004] wurde die Verwendung von Eichenholz für tragende und nichttragende Einsatzgebiete untersucht:

### Besonderheiten von Eichenholz:

- ★ Relativ große Vorräte in Niederösterreich (besonders im Nordosten). Die Eiche ist neben der Rotbuche die forst- und holzwirtschaftlich wichtigste heimische Laubholzart.
- ★ Eiche besitzt neben der Robinie und der Edelkastanie die beste Dauerhaftigkeit der heimischen Hölzer (Klasse 2 „Dauerhaft“ laut ÖNORM EN 350-2) und ist daher für die Verwendung im Freien, ohne chemischen Holzschutz, besonders geeignet.
- ★ Eichenholz gilt ab einer Dicke von 8 mm als schwer brennbar gemäß ÖNORM A 3800-1. Eichenholz hat laut ÖNORM A 3800-4 mit 0,5 mm/min die geringste Abbrandrate aller heimischen Holzarten. Eichenholz ist prädestiniert für den Einsatz in Bereichen, wo eine höhere Brandwiderstandsklasse gefordert wird.
- ★ Die Freilufttrocknung verläuft langsam mit einer gewissen Neigung zum Splintern und Reißen.
- ★ Höhere Festigkeit: Im Vergleich zu Fichtenholz liegt die Biegezugfestigkeit um das 1,25-fache und die Querdruckfestigkeit um das 1,5-fache höher.

### Nachteile von Eichenholz:

- ★ Die hohe Härte von Eichenholz bewirkt einen höheren Aufwand bei Gewinnung und Verarbeitung (höherer Verschleiß) und einen höheren Aufwand für Zimmerer (tlw. aufwändigere Verbindungstechnik nötig).

- ★ Hoher Gehalt an Gerbstoffen (3-13% im Kernholz). Blüten bzw. Gerbsäureauswaschungen wirken verfärbend (auf Putz, Mauerwerk, Beton, etc.), korrosiv und pflanzenschädigend.
  - Korrosionsfördernde Wirkung auf metallische Verbindung. Bei Einbau von frischem Eichenholz sind ev. nichtrostende Stähle notwendig.
  - Fleckenbildung (schwarzblau) bei Kontakt mit Eisenionen und Wasser (z.B. bei Nagelungen, Umreifungsbändern, etc.). Flecken sind durch 5 - 10 %ige Oxalsäure- oder Kleesalzlösung weitgehend entfernbar.
  - Verfärbung von Beton- oder Natursteinen (Mauern, Terrassen,...) durch Auswaschung der Gerbstoffe u.a. Holzinhaltstoffe.
  - Beeinträchtigung von Pflanzen (Rasen, etc.) durch Auswaschung der Gerbstoffe u.a. Holzinhaltstoffe
  - Das Splintholz ist bereits bei 8 % Holzfeuchte durch Insektenbefall gefährdet

Informationen zu Robinienholz wurden aus [Waitkus+Richter, 2001] entnommen.

### Besonderheiten von Robinienholz:

- ★ Die Robinie wurde im 17. Jahrhundert aus Nordamerika importiert
- ★ Die größten europäischen Vorkommen liegen in Ungarn (320.000 ha Aufforstungsfläche und 40-42 Mio. m<sup>3</sup> stehender Vorrat 1993), Rumänien, Tschechien und Slowakei.
- ★ Niederösterreich besitzt zwei Drittel der Österreichischen Vorräte, aber der Anteil am NÖ-Holzbestand beträgt weniger als 1 %.
- ★ Schlechte Verfügbarkeit, daher meist vermischt mit anderen Holzsorten geerntet und als Brennholz eingesetzt.
- ★ Gegenwärtig vermarktetes Rundholz: Länge 2,5 - 4 m; Durchmesser 25 - 40 cm
- ★ Oberflächenfluoreszenz: unter UV-Licht intensiv gelb
- ★ Höhere Festigkeitswerte als Eiche
- ★ Hohe dynamische Beanspruchbarkeit (Einsatz für Werkzeugstiele, Leitern, Turngeräte)
- ★ Einst z.B. für Kinderspielplätze eingesetzt

### Nachteile von Robinienholz:

- ★ Die sehr hohe Härte von Robinien bewirkt einen höheren Aufwand bei Gewinnung und Verarbeitung (höherer Verschleiß) und einen höheren Aufwand für Zimmerer (tlw. aufwändigere Verbindungstechnik nötig).
- ★ Konditionierung nach der Trocknung nötig (zwecks Abbau von Eigenspannungen)
- ★ Neigung zu Krummschäftigkeit, Unrundheit und Zwieselwuchs (Nachteile für die Ausbeute und Länge von Rundholz und Schnittwaren).
- ★ Hoher Gehalt an Gerbstoffen. Blüten bzw. Gerbsäureauswaschungen wirken verfärbend (auf Putz, Mauerwerk, Beton, etc.), korrosiv und pflanzenschädigend ähnlich wie bei Eichenholz (siehe vorherige Aufstellung).

## 5.6.2 Holzschutz – Richtlinien

Für eine lange Lebensdauer von Holz ist ein entsprechender Schutz notwendig. Der konstruktive Holzschutz ist die Voraussetzung für jedes Holzbauwerk und besitzt innerhalb der unterschiedlichen Holzschutzmaßnahmen oberste Priorität. Nach heutiger Erkenntnis kann auf vorbeugenden chemischen Holzschutz verzichtet werden wenn die grundlegenden Holzbauregeln eingehalten werden.

Dennoch kann für außergewöhnliche Anwendungen (z.B. frei bewitterte Konstruktionen, Fenster) ein chemischer Holzschutz gegen Schädlingsbefall notwendig sein und gesetzlich vorgeschrieben werden. Dies kann jedoch einen Konflikt zum Ziel der Kreislauffähigkeit darstellen. Eine Alternative zu chemischem Holzschutz ist die Verwendung von Hölzern mit einer höheren natürlichen Dauerhaftigkeit oder der Einsatz von thermisch modifiziertem Holz.

### Richtlinien, Stand der Technik:

*Konstruktionen ohne chemischem Holzschutz, sollte der Vorzug gegeben werden (ÖN B 3804).*

*Baulicher Holzschutz ist stets vorrangig zu betrachten (ÖN B 3804).*

*Für statisch nicht belastete oder nicht aussteifende Bauteile (z.B. Fassadenschalung) ist im Einzelfall zu entscheiden, ob chemischer Holzschutz notwendig ist (ÖN B 3802-2).*

*Im Innenraum sollte auf großflächigen Einsatz von Holzschutzmitteln vollständig verzichtet werden (ÖN B 3802-2). Ein Richtwert für ein maximales Ausmaß an behandelter Fläche ist angegeben: Die behandelte Fläche pro Raumvolumen soll kleiner als  $0,2 \text{ m}^{-1}$  betragen.*

*Tabelle: Ö-Normen betreffend Holzschutz und Dauerhaftigkeit*

<b>Ö-Norm</b>	<b>Version</b>	<b>Titel</b>
ÖN B 3801	01.07.1995	Holzschutz im Hochbau - Grundlagen und Begriffsbestimmung
ÖN B 3802-1	01.12.1995	Holzschutz im Hochbau - Baulicher Schutz des Holzes
ÖN B 3802-2	01.04.1998	Holzschutz im Hochbau - Chemischer Schutz des Holzes
ÖN B 3803	01.11.2002	Holzschutz im Hochbau - Beschichtungen auf maßhaltigen Außenbauteilen aus Holz durch holzverarbeitende Betriebe - Mindestanforderungen und Prüfungen
ÖN B 3804	01.03.2002	Holzschutz im Hochbau - Gebäude, errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen - Voraussetzung für die Reduktion von chemischen Holzschutzmaßnahmen
ÖN EN 335-1	01.12.1992	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall - Allgemeines
ÖN EN 335-2	01.01.1993	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall - Anwendung bei Vollholz
ÖN EN 350-2	01.12.1994	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa
ÖN EN 460	01.08.1994	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Leitfaden für Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Holz für die Anwendung in den Gefährdungsklassen

### 5.6.3 Einsatzklassen

Holzbauteile werden aufgrund ihrer Einbausituation und damit verbundener Gefährdung durch Organismen in Einsatzklassen bzw. Gefährdungsklassen (GK) eingeteilt (siehe ÖN B 3802-2). Die GK 0 bedeutet „nicht gefährdet“, die GK 4 bedeutet „extrem gefährdet“.

Die folgende Tabelle führt für jede Gefährdungsklasse typische Bauteile sowie geeignete Holzarten und notwendige Holzschutzmittel an.

*Tabelle: Gefährdungsklassen (GK), Einbausituation, resistente Holzarten und geeignete Holzschutzmittel (HSM) gemäß ÖN B 3802-2.*

<b>GK<sup>1</sup></b>	<b>Bauteile</b>	<b>Geeignete resistente Holzarten und geeignete Holzschutzmittel (HSM<sup>1</sup>) für nicht-resistente Holzarten</b>
<b>GK 0</b>	Innenverkleidung, Bodenbelag, Möbel	Alle Holzarten möglich.
Holzfeuchte < 10 % Trockene, beheizte Räume	Keine statische und/oder aussteifende Funktion	Kein Holzschutz nötig.
<b>GK 1</b>	Zwischendecken, Innenwände	Farbkernhölzer mit < 10 % Splintholzanteil, wie z.B. Douglasie, Kiefer, Lärche, Edelkastanie, Nuss, Kirsche
Holzfeuchte < 20 %, Lufffeuchte < 70 %		HSM: Iv (z.B. Borsalz) Kein HSM notwendig bei geschlossener Verkleidung gegen Insektenbefall oder bei kontrollierbaren Holzbauteilen
<b>GK 2</b>	Hallentragwerke, Dachstühle, Riegelwände als Außenbauteile, Dachgeschoßdecken.	Splintfreie Farbkernhölzer mit Dauerhaftigkeitsklasse 1, 2 und 3, wie z.B. Douglasie, Kiefer, Lärche
Holzfeuchte zeitweise > 20 %, Lufffeuchte > 70 %.	Mauereingebundene Balkenköpfe, Deckenbalken über unbeheiztem Keller, Balken unter Nassräumen, Außenbereiche unter Dach (≥ 30 cm Dachüberstand) wie z.B. Balkone.	HSM: Iv, P (z.B. Borsalz) Kein HSM notwendig wenn die Feuchte- und Insektenschutzkriterien gemäß ÖN B 3804 nachgewiesen werden.
<b>GK 3</b>	Holz in Nassräumen und Konstruktionen mit starkem Wiedereinfluss (≤ 30 cm Dachüberstand), wie z.B. Balkone, Fenster, Fassadenverkleidungen, Wintergärten, Zaunlatten.	Splintfreie Farbkernhölzer mit Dauerhaftigkeitsklasse 1 und 2, wie z.B. Eiche, Eibe, Edelkastanie, Nuss, Redwood, Red-Zedar, Thermoholz
Holzfeuchte häufig > 20 %. Außenbereich	Abhilfe: konstruktiver Holzschutz tragender Teile	HSM: Iv, P, W Kein HSM notwendig für statisch nicht belastete Bauteile (Fassaden, Zaunlatten).
<b>GK 4</b>	Konstruktionen mit dauernder Feuchtigkeitseinwirkung, wie z.B. Kinderspielplätze, Bootsstege, Masten, Schwellen, Lawinnenverbau.	Splintfreie Farbkernhölzer mit Dauerhaftigkeitsklasse 1, wie z.B. Robinie, Teak, Afzelia, Thermoholz
Holzfeuchte ständig > 20 %. Erd- od. Wasserkontakt	Schwundrisse in Bauteilen der GK 3 Abhilfe: Aufständering (≥ 15 cm) und konstruktiver Holzschutz tragender Teile	HSM: Iv, P, W, E Schwer tränkbare Holzarten (Fichte, Tanne, Douglasie) sollten nicht eingesetzt werden.

(1) Gefährdungsklassen (GK) und Prüfprädikate der Holzschutzmittel (HSM) gemäß ÖN B 3801, ÖN B 3802-2. HSM-Kurzzeichen: Iv - vorbeugend gegen Insekten; P - vorbeugend gegen Pilze; W - beständig gegen Witterungseinflüsse und Feuchtigkeit, E – für Holz in dauerndem Erd- oder Wasserkontakt.

Chemischer Holzschutz gegen Insektenbefall ist nicht notwendig (ÖN B 3802-2),

- bei Einsatz von nicht stärkereichen Laubhölzern (z.B. kein Eichenholz) oder
- bei Einsatz in Räumen mit üblichem Wohnklima oder
- bei kontrollierbarem Einsatz: Das Holz muss dreiseitig offen und kontrollierbar sein und eine Inspektion muss mit einfachen Hilfsmitteln möglich sein (max. 6 m Raumhöhe).

Chemischer Holzschutz für vorgefertigte Bauteile für die Einsatzklassen GK 2 kann reduziert oder vermieden werden, wenn in einem Eignungstest von einer akkreditierten Prüfanstalt die folgenden Kriterien gemäß ÖN B 3804 nachgewiesen werden können. Für eine Einstufung in die Gebrauchsklasse 0 ist die Erfüllung aller Kriterien notwendig. Für eine Einstufung in die Gebrauchsklasse 1 ist die Erfüllung aller Kriterien bis auf das letzte Kriterium betreffend Insektenschutz notwendig.

- Raumseitige luftdichte und dampfbremsende Bauteilschicht
- Witterungsschutz
- Diffusionsoffene Konstruktion für eine rasche Feuchtigkeitsabgabe: Der Wasserdampfdiffusionswiderstand ( $\mu d$  - äquivalente Luftschichtdicke) der inneren Bauteilschicht soll das 4-fache des Werts der äußeren Bauteilschicht betragen.
- Zulässige Feuchtigkeit des Holzes bzw. Holzwerkstoffes für Transport, Lagerung, Montage und Nutzung, die nur kurzfristig überschritten werden darf:
  - Vollholz, Brettschichtholz: max. 18 %,
  - Spanplatten: 5 - 13 %,
  - Zementgebundene Spanplatten: 6 - 12 %
  - OSB-Platten: 2 - 12 % bzw. 5 - 12 %
  - Mitteldichte Faserplatten (MDF): 4 - 11 %
  - Hartfaserplatten, Weichfaserdämmplatten: 4 - 9 %
  - Einschichtige und mehrschichtige Massivholzplatten:  $(8 \pm 2 \%)$
  - Sperrholz:  $(10 \pm 2 \%)$
  - Holzwolle- und Holzspan-Dämmplatten (auch mehrschichtig): max. 12 %
- Wassersperrende Schichten gegenüber „feuchten“ Bauteilen (z.B. Mauerwerk, Beton)
- Innenraumluftfeuchtigkeit: 70 % über längere Zeit nicht überschreiten
- Insektenundurchlässige Abdeckung oder kontrollierbarer Einsatz (3 Seiten sichtbar)

Entsprechend der ÖN B 3804 regelt in Deutschland die DIN 68 800-2 vorbeugende bauliche Maßnahmen. Es werden Beispiele für besondere bauliche Maßnahmen angeführt, um Bauteile der GK 0 zuordnen zu dürfen. Diese Beispiele sind in Leitfäden des Informationsdienst Holz („Baulicher Holzschutz“, „Bauen mit Holz ohne Chemie“ ausführlich dokumentiert (siehe auch [Weissenfeld + König, 2001]).

### 5.6.4 Konstruktiver Holzschutz

Konstruktiver Holzschutz beginnt mit der Konzeption des Gebäudes und der Auswahl der Holzarten. Das wichtigste Ziel ist die Vermeidung länger andauernder Durchfeuchtung durch Niederschläge, Spritzwasser, kapillar aufsteigendes Wasser oder Tauwasserbildung. Holz, welches nass geworden ist, soll möglichst rasch wieder austrocknen können. Bei Holzbauteilen, die häufiger nass werden, soll eine entsprechend resistente Holzart eingesetzt werden. Konstruktionsholz kann mit schützenden und möglichst leicht auswechselbaren Holzelementen abgedeckt werden.

Der konstruktive Holzschutz war durch Handwerker- und Baustiltraditionen bereits in frühen Jahrhunderten bekannt und erlebte im Mittelalter eine Hochblüte. Hierzu zählte zum Beispiel der Einsatz großer Dachüberstände zum Schutz der Fassade, der Bau von Steinsockeln gegen Spritzwasser und aufsteigende Feuchte und das Anbringen von Fassadenverkleidun-

gen als Schutz der Balkenlagen. Mit Hilfe dieser einfachen Konstruktionsregeln konnten Holzhäuser mehrere Jahrhunderte ohne große Schäden überstehen.

Kein chemischer Holzschutz kann Holz vor der Zerstörung bewahren, wenn die Lagerung und der Einbau nicht nach den „Regeln der Technik“ erfolgt sind. Bei richtiger Anwendung hingegen kann Holz sogar in Nassräumen, im Freien und für brandhemmende Bauteile mit Erfolg und langer Lebensdauer eingebaut werden.

Die Literaturquellen der folgenden Seiten sind, wenn nicht anders angegeben, zwei umfangreiche Berichte der Österreichischen Holzforschung: [HFA, 2003] für Holzfassaden und [HFA, 2006] für Holzbalkone.

## Konstruktiver Holzschutz für Holzfassaden

### Konstruktiver Holzschutz für den Sockelbereich:

- ★ Spritzwasserbereich: Abstand der Schalung zu Boden: 30-50 cm je nach Rauigkeit des Bodens
- ★ Alternative: Leicht austauschbare Verschleißbretter



Abbildung: Verschleißleisten im Spritzwasserbereich. Wohnhausanlage Winklarn. Foto: Manuel Schweizer

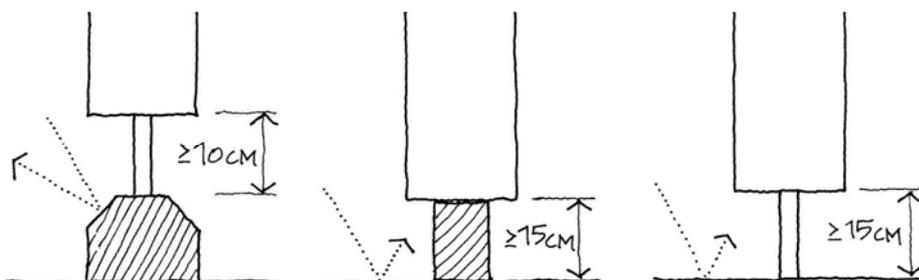


Abbildung: Stützenausbildung im Sockelbereich (Quelle: HFA, 2003)

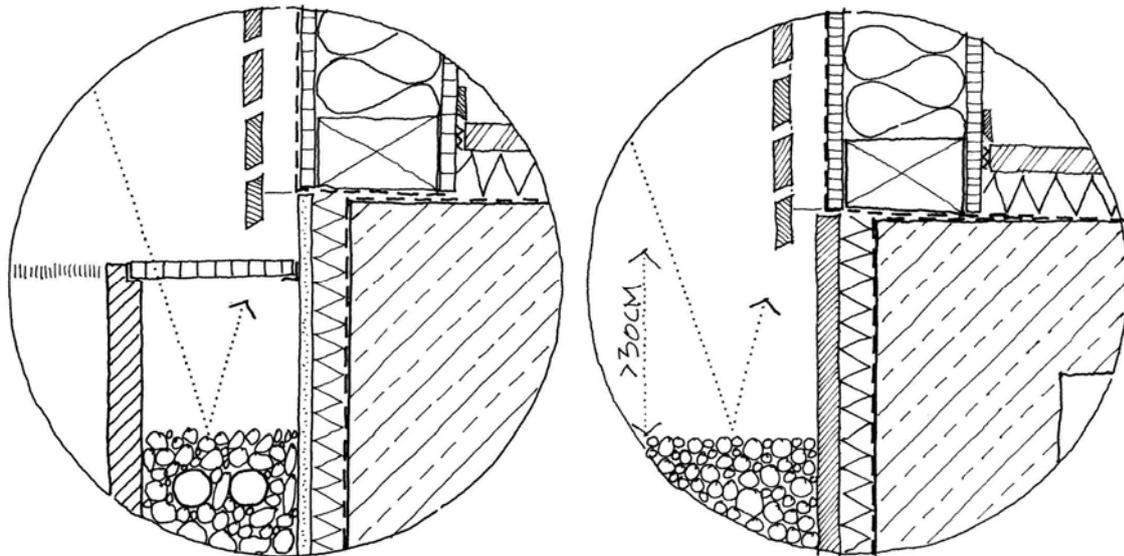


Abbildung: Ausbildung des Sockelbereichs (Quelle: HFA, 2003)

Dachvorsprung:

- ★ Dachvorsprung  $\geq 30$  cm  $\rightarrow$  Windberuhigung, Witterungsschutz
- ★ Dachanschluss ohne Dachvorsprung ist möglich: mit Wasserabweiser, aber bis zu doppelt so häufige Instandhaltung nötig

Vertikale Fuge (Stoßfuge und Eckausbildung bei Hirnholz):

- ★ Unbehandelte Bretter: Fugenbreite  $\geq 1$  cm
- ★ Platten und behandelte Bretter und: Fugenbreite  $\geq 1$  cm bzw.  $\geq$  Holzdicke
- ★ Alternative: Keine Fuge sondern Abdeckleisten: Holzleiste oder hinterlüftetes ( $\geq 8$  mm) Metallprofil



Abbildung: Vertikalfuge und Eckfuge, je 1 cm. Wohnhausanlage Winklarn. Foto: Ulla Ertl

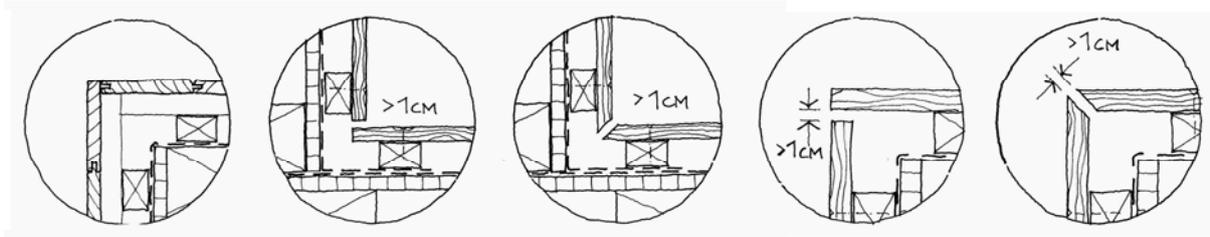
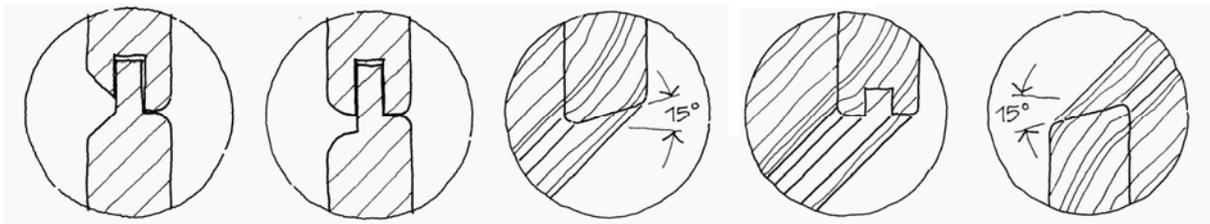


Abbildung: Vertikalfugen bei Eckausbildung (Quelle: HFA, 2003)

### Horizontale Fuge:

- ★ Oben und unten ca. 15° abgeschrägt (gilt auch für Stülpschalung)
- ★ Unbehandelte Bretter: Fugenbreite  $\geq 1$  cm
- ★ Platten und behandelte Bretter: Fugenbreite  $\geq 1$  cm bzw.  $\geq$  Holzdicke
- ★ Mehrschichtplatten: Schmalseiten zumindest wasserabweisend behandeln
- ★ Fensteranschluss und Brandabschottung bei hinterlüfteter Fassade: Fugenbreite  $\geq 2$  cm bzw. entsprechend der Hinterlüftungsbreite



Anmerkung: Eine Nut-Feder-Schalung wie in den ersten beiden Abb. ist nur bei ausreichendem Dachvorsprung zu empfehlen

Abbildung: Abschrägung der Horizontalfugen (Quelle: HFA, 2003)

### Hinterlüftung:

- ★ Hinterlüftungsbreite: 2 cm pro Geschoß
- ★ Insektenschutz:

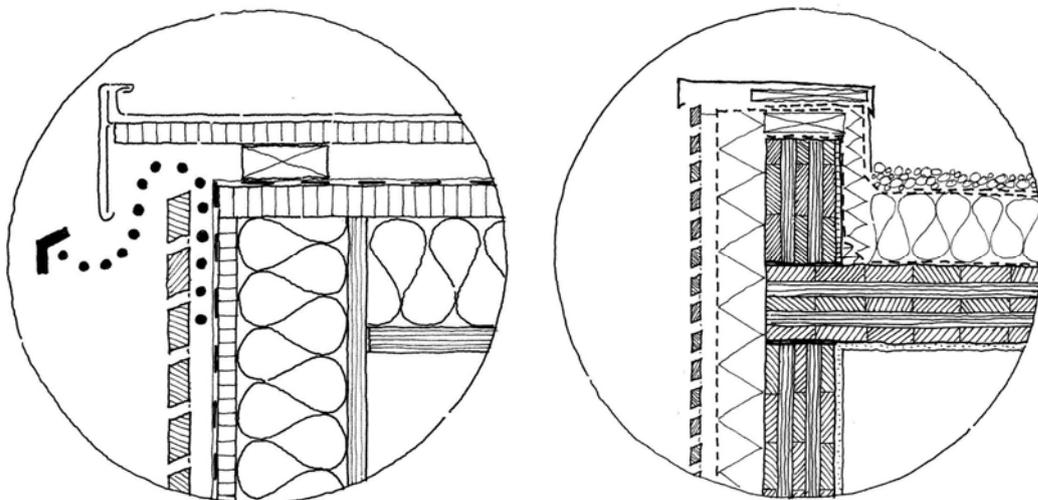


Abbildung: Anschlussdetails einer hinterlüfteten Fassade (Quelle: HFA, 2003)

### Geschlossene Horizontalschalung

- ★ Softline-Profil: Kantenradius  $\geq 2,5$  mm
- ★ Fladerbrett: rechte Seite (markzugewandte Seite) nach außen. Bei Thermoholz nach innen.
- ★ Fäulnisproblem bei konventionellen Feder-Nut-Brettern (ohne Dachüberstand)
- ★ Abhilfe: Spezialprofile mit ca.  $15^\circ$  abgeschrägter Unterkante oder Tropfnase

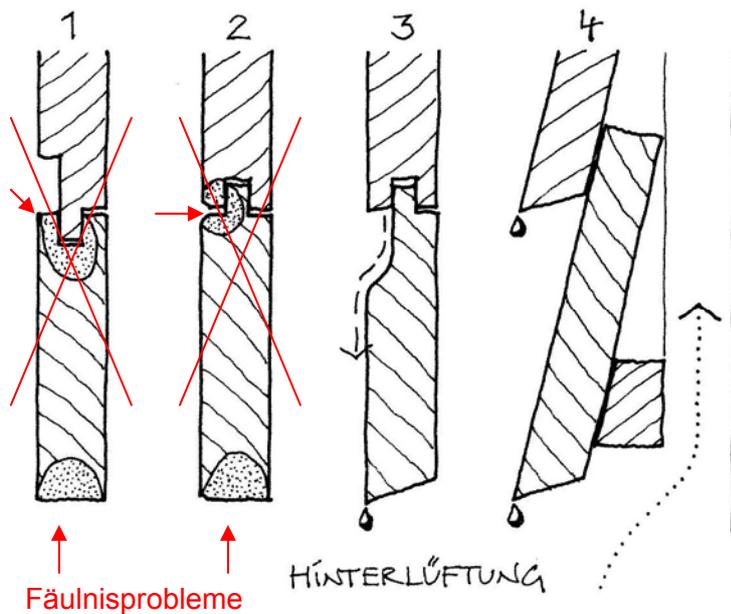


Abbildung: Vermeidung des Fäulnisproblems bei Feder-Nut-Brettern (Quelle: HFA, 2003)



Abbildung: Profilierte Bretter aus Fichten-Thermoholz. Fotos: Manuel Schweizer

### Geschlossene Vertikalschalung

- ★ Softline-Profil: Kantenradius  $\geq 2,5$  mm
- ★ Fladerbrett: rechte Seite (markzugewandte Seite) nach außen. Bei Thermoholz nach innen.
- ★ Keine Eckfuge nötig
- ★ Raschere Wasserableitung als bei horizontaler Schalung  
→ geringere Feuchtebelastung  
→ für stärker bewitterte Flächen geeignet

### Offene horizontale Leistenschalung

- ★ Leistenabstand  $\geq 7$  mm
- ★ Schmalseiten  $\geq 15^\circ$  Neigung  
→ Rautenprofil, Parallelogramm, Trapez
- ★ Nachteil: höhere Beanspruchung der Schalungsbahn durch UV-Strahlung. Ein geschlossenes Fassadensystem hat den Vorteil, dass für die Unterspannbahn ein konventionelles kostengünstiges Produkt verwendet werden kann.
- ★ Vorteil: attraktives Erscheinungsbild

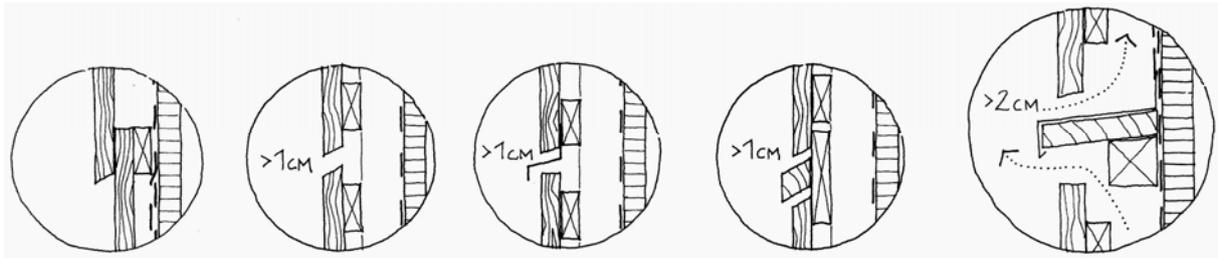


Abbildung: offene horizontale Leistenschalung (Quelle: HFA, 2003)



Foto: Ulla Ertl

### Offene vertikale Leistenschalung

- ★ Nachteil: höhere Beanspruchung der Schalungsbahn durch UV-Strahlung und Witterung
- ★ Vorteil: attraktives Erscheinungsbild

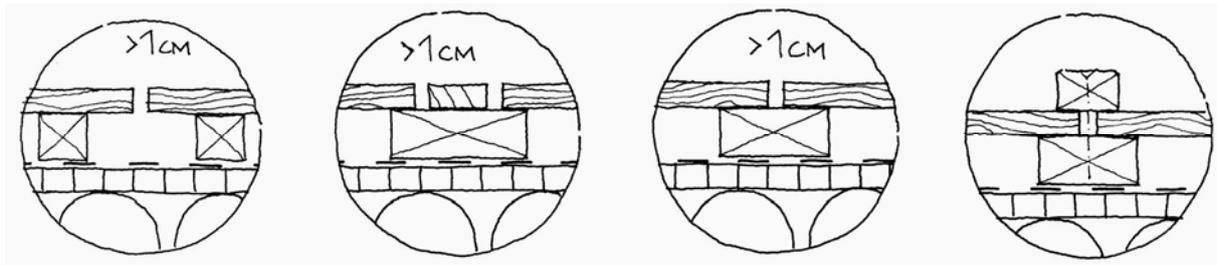


Abbildung: vertikale Leistenschalung (Quelle: HFA, 2003)

### Tragkonstruktion von Balkonen

Vier Varianten um die Oberseite der Holzträger konstruktiv zu schützen:

- ★ Überstehende Bitumenpappe
- ★ hinterlüftete Blechkonstruktion:  $\geq 5$  mm Hinterlüftung,  $\geq 10$  mm seitlicher Überstand;  $\geq 20$  mm Schmalseite
- ★ Beidseitige Abschrägung der Balkenoberseite  $\geq 15^\circ$  mit horizontaler Auflagerbreite  $\geq 1$  cm
- ★ Holzleiste aus Eiche, Lärche:  $\geq 10$  mm Breite,  $\geq 10$  mm Höhe

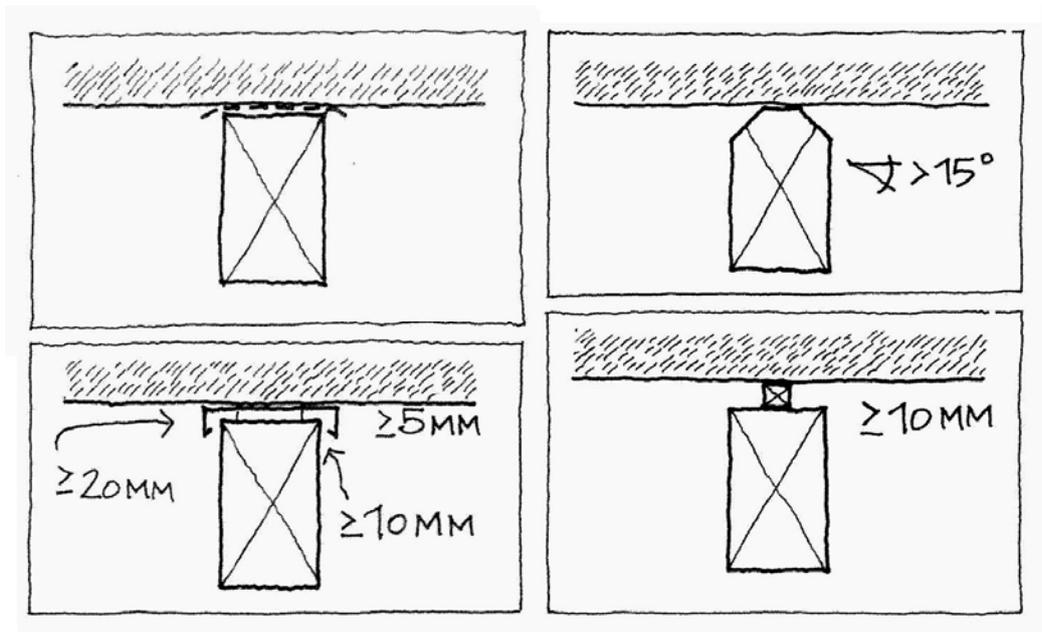


Abbildung: Tragkonstruktion von Balkonen (Quelle: HFA, 2006)

### Bodenbelag von Terrassen und Balkonen

- ★ Fladerbrett, beschichtet: Rechte Seite nach oben
- ★ Fladerbrett, unbeschichtet: Rechte Seite nach unten
- ★ Halbriffbrett und Riffbrett sind besser geeignet als Fladerbretter
- ★ Brettbreite 8-10 cm (max. 13 cm)
- ★ Fugenbreite  $\geq 7$  mm

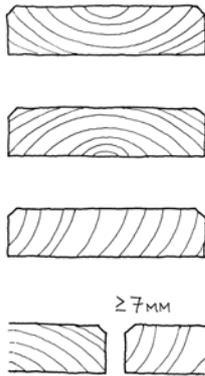


Abbildung: Bodenbelag von Terrassen und Balkonen (Quelle: HFA, 2006)

### Handlauf

- ★ Fladerbrett, beschichtet: Rechte Seite nach oben
- ★ Fladerbrett, unbeschichtet: Rechte Seite nach unten
- ★ Halbrifftbrett und Riffbrett sind besser geeignet als Fladerbretter (Seitenbretter schüsseln ab 2 % Feuchtedifferenz Oberseite zu Unterseite)
- ★ Bombiert oder seitlich abgerundet bzw. abgeschrägt ( $> 5^\circ$ ) mit horizontalem Abschnitt  $\leq 5\text{ cm}$
- ★ Tropfnase: Eingefräste Nut mit  $\geq 5\text{ mm}$  Tiefe und  $\geq 7\text{ mm}$  Breite

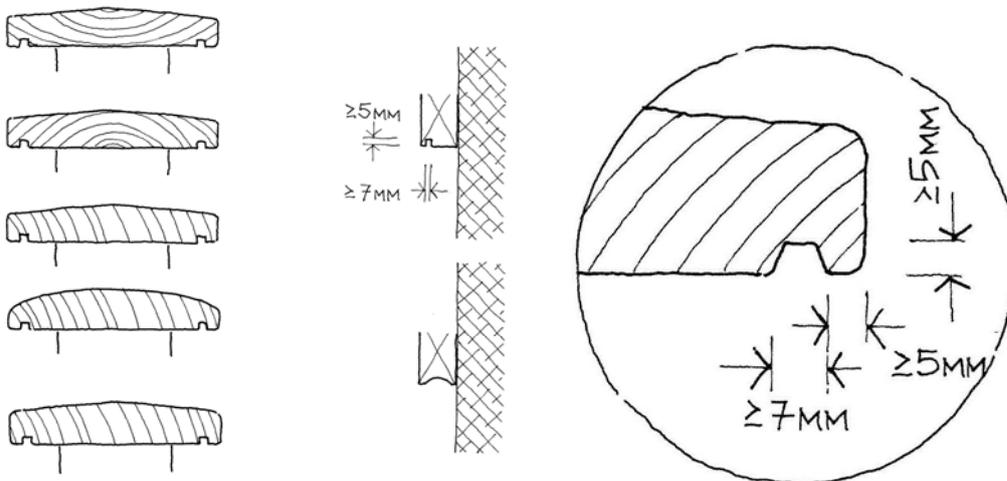


Abbildung: Detail Tropfnase (Quelle: HFA, 2006)

### 5.6.5 Ausführungsbeispiele für Bauteile

Die folgenden Beispiele sind im Schauraum der Firma Ing. Pöchhacker GmbH ausgestellt.



Abbildung: Wandaufbau mit Schuppenschalung aus ThermoWood-Fichte (Foto: Ulla Ertl)



Abbildung: Wandaufbau mit Zellulosedämmung und horizontaler, abgeschrägter Leisten-schalung (Foto: Ulla Ertl)



Abbildung: Wandaufbau mit Fensteranschluss. Unten: Schuppenschlaung, oben: Keilspund-schalung (Foto: Ulla Ertl)



Abbildung: Anschluss Wand-Flachdach (Foto: Ulla Ertl)

### 5.6.6 Beschichtungen, Instandhaltungs- und Instandsetzungsperioden

Bei nicht maßhaltigen Bauteilen (Fassaden, Zäune, Balkone etc.) können im Gegensatz zu maßhaltigen Bauteilen (Fenster, Türen, Sperrholzplatten, etc.) auch dünn-schichtige Lasuren angewandt werden, da die Feuchteschwankungen des Holzes und damit verbundene Dimensionsänderungen von geringerer Bedeutung sind.

Lasuren sind im Gegenteil zu Lacken halbtransparent und bieten nur mit Eisenoxid-Pigmenten einen ausreichenden UV-Schutz. Daher beschränkt sich die Farbauswahl auf Rot- und Brauntöne. Oberflächenbehandlungen mit Lacken und Lasuren sollten jährlich kontrolliert und periodisch (1 bis 15 Jahre) erneuert werden [Grüll, 2006].

*Tabelle: Oberflächenbehandlungen und Wartungsintensität*

<b>Oberflächenbehandlung</b>	<b>Wartungsintensität</b>	<b>Bemerkung</b>
Unbehandelt	kein Wartungsaufwand	ungleichmäßige Abwitterung, diffusionsoffen
Dünnschichtlasur (0 - 30 µm)	kurze Wartungsintervalle (1-3 Jahre), einfache Wartung	diffusionsoffen
Mittelschichtlasur und deckender Lack (30 - 60 µm)	längere Wartungsintervalle (Lasur 1-6 Jahre, Lack 2-15 Jahre), aufwändigere Wartung	bläuewidrige Grundierung empfohlen, damit Beschichtung nicht abhebt
Dickschichtlasur (> 60 µm)		Risiko der Fäulnisbildung durch Risse (z.B. im Astbereich) oder durch Diffusion. Nur für Fenster und Türen empfohlen (Tendenz auch dort zu dünneren Schichten)

Wartungsintervalle sind abhängig von

- ★ Farbgebung (Pigmentierung): Beeinflusst das Intervall um ca. ± 1 Jahr
- ★ Bewitterungsschutz: Geschützte Flächen (z.B. durch ≥ 30 cm Dachüberstand) haben 50 - 100 % längere Intervalle als exponierte
- ★ Lage: Senkrechte Flächen haben 50 - 100 % längere Intervalle als waagrechte

### 5.6.7 Umweltverträglichkeit von Holzschutzmitteln

Holzschutzmittel sind Wirkstoffe und wirkstoffhaltige Zubereitungen, die dazu bestimmt sind, einen Befall von Holz oder Holzwerkstoffen durch störende Organismen zu verhindern oder zu bekämpfen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen entweder um wasserlösliche, anorganische Salze und Salzgemische von Blei, Arsen, Bor, Chrom, Fluor und Kupfer oder um ölige, organische, lösemittelhaltige Präparate.

Die österreichische ARGE für Holzschutzmittel führt eine Liste von Holzschutzmitteln, die von unabhängigen und akkreditierten Forschungseinrichtungen wissenschaftlich geprüft wurden. Von den 81 Produkten dieser Liste enthalten 12 Kupferverbindungen und 7 Chromverbindungen (Holzschutzmittelverzeichnis 2006 auf [www.holzschutzmittel.at](http://www.holzschutzmittel.at)).

Eine Untersuchung von imprägniertem Bauholz in Stockholm [Persson + Kucera, 2001] ergab eine Abschwemmrate für Kupfer von 0,66 g/m<sup>2</sup> pro Jahr, wobei die emittierte Kupfermenge im Laufe der Monate und Jahre abnimmt. Im Vergleich dazu liegt die Abschwemmra-

te von Kupferblechen im Dachbereich bei etwa 1,5 g/m<sup>2</sup> pro Jahr und bleibt über die gesamte Nutzungszeit konstant [Obernosterer et al., 2003].

Tabelle 1: Holzschutzmittel: Gesundheitsgefährdung, Umweltbelastungen und Alternativen

Umweltbelastungen durch Holzschutz	Verantwortliche Problemstoffe und Prozesse	Existierende Alternativen
Geruchsbelästigung und Beeinträchtigung der Raumluftqualität. Gefährdung der Gesundheit der Bauarbeiter und der Bewohner bzw. Arbeitnehmer.	Lösungsmittel	Moderne Lacke und Lasuren sind wasserverdünnbar und qualitativ den früher üblichen lösemittelhaltigen Systemen zumindest ebenbürtig.
Lokale Belastung von Boden und Erdreich durch Metalle etc.. Gefährdung der Gesundheit der Bauarbeiter.	Bei Wartung und Renovierung der Holzoberflächen werden die Anstriche teilweise oder zur Gänze abgeschliffen und in die Umwelt eingetragen.	Unbehandelte Oberflächen oder Absaugung der abgeschliffenen Anstriche.

Laut Information der Holzforschung-Austria (telefonische Mitteilung von Hr. Gründlinger vom 17.05.2006) existiert für den Kunden (Bauherr, Planer, Verwaltung) keine Möglichkeit zu erfahren, ob Holzschutzmittel schwermetallfrei oder auf Basis natürlicher Formulierungsstoffe hergestellt wurden. Das Holzschutzmittelverzeichnis enthält zwar Informationen über die Wirkstoffe, jedoch keine Volldeklaration der Inhaltsstoffe.

## 5.7 Erscheinungsbild

Holzbauweisen und insbesondere Holzfassaden haben und hatten lange Zeit das negative Image einer Baracke oder eines „Stadels“. In den letzten Jahren wurde jedoch durch moderne Architektur mit eleganten, filigranen Holzfassaden die Holzbautradition teilweise wiederbelebt. Die schmalen Leistenfassaden harmonisieren mit der fasrigen Struktur des Baustoffes und verleihen dem Baukörper ein geschmackvolles, schlankes Aussehen. Dies beweisen auch die Siegerprojekte des Architekturpreises 2007, der durch das Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur und regionale Architekturinstitutionen vergeben wird (siehe folgende Abbildung). Weitere herausragende Vorzeigebeispiele werden im Abschnitt „Demonstrationsobjekte“ dokumentiert.



Abbildung: Haus am Feistritzbach, Kärnten 2006. Publikums-Sieger Architekturpreis Das-BesteHaus2007 (Foto: Walter Henisch)

Für das Erscheinungsbild von Holzfassaden sind die Art der Schalung und die Breite der Bretter ausschlaggebend. Eine Ansichtsbreite der Bretter bzw. Leisten von weniger als 10 cm (meist 5 - 7 cm) mit einer Fuge oder einem Schattenwurf zwischen den Brettern erzeugt ein deutlich attraktiveres Bild als eine konventionelle Feder-Nut-Schalung.

*„Bei vielen öffentlich geförderten Bauvorhaben, die im Rahmen der WOHNMODELLE BAYERN seit 1995 realisiert wurden, hat sich gezeigt, dass Fassaden die schlanke Holzprofile verwenden, ein feineres Erscheinungsbild abgeben. Dies wird zu unserer Überraschung nicht nur von Architekten, sondern auch von der Mehrheit der Bewohner so empfunden. Es hat sich auch bei all diesen Projekten gezeigt, dass jene Fassaden, die filigraner und in gewisser Weise empfindlicher erscheinen, sehr viel gleichmäßiger patinieren und von den Bewohnern als schöner bezeichnet werden. Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Erfahrung, die viele Wohnbaugenossenschaften gemacht haben: Dass bei allen grundsätzlichen Vorbehalten jene Gebäude, die ein feingliedriges Erscheinungsbild aufweisen von den Bewohnern offenbar viel sorgsamer behandelt werden und Formen von Vandalismus überhaupt nicht auftreten.“ [van Hazebrouck, 2006]*

Ein weiterer bedeutender Aspekt für die Akzeptanz von Holzfassaden ist der Verfärbungsprozess durch die natürliche Verwitterung von unbehandeltem Holz. Meistens besteht der Wunsch nach einem gleichmäßigen beständigen Farbton. Unbehandeltes Holz hat jedoch die Eigenschaft, dass es langsam vergraut. Bewitterte Stellen vergrauen schneller während geschützte Stellen unter Dach die ursprüngliche Farbe länger behalten oder eine rotbraune Verfärbung auftritt (z.B. bei Lärchenholz, siehe folgende Abbildung).



Abbildung: FH-Wieselburg, Foto: Ulla Ertl, 2006

Die ungleichmäßige Vergrauung unbehandelter Holzfassaden wurde durch Laborversuche und Outdoor-Bewitterungsversuche im Detail untersucht und sind in Abschnitt C dokumentiert. Daraus wurden Maßnahmen für eine gleichmäßige Vergrauung abgeleitet.

Weitere Studien zur Verwitterung von unbehandeltem Holz und möglichen Maßnahmen für ein attraktives Erscheinungsbild wurden von der Holzforschung Austria durchgeführt und sind auf den folgenden Seiten zusammengefasst.

„Ein Grossteil jener Wohnhäuser, die im Rahmen der WOHNMODELLE BAYERN bebaut wurden, haben eine Fassade aus unbehandeltem Holz erhalten. Wenn die Profile stark genug waren und das Holz eine gute Qualität aufweist, so waren die Probleme marginal. Eigentlich bewähren sich die Fassaden aus unbehandelten Hölzern viel besser als jene Fassaden bei den Beschichtungen verwendet wurden. Im Übrigen habe ich nach vielen Gesprächen mit Bewohnern und mit Vertretern der Wohnbauträger den Eindruck gewonnen, dass die Akzeptanz von grau verwitterten, unbehandelten Holzfassaden sehr viel größer ist, als dies gemeinhin dargestellt wird. Jene Personen und Institutionen, die direkte Eindrücke gewonnen und eigene Erfahrungen bei ihren Häusern gesammelt haben, bewerten diese Fassaden sehr viel positiver als jene, die nur immer gleichen Vorurteile nachreden und eben keine Erfahrungen mit eigenen Gebäuden gemacht haben.“ [van Hazebrouck, 2006]

### 5.7.1 Verfärbungsprozess

Der natürliche Verfärbungsprozess von Holz läuft in drei Stufen ab:

- ★ Umwandlung der Holzsubstanz durch UV-Strahlung: Verfärbung, meist rötlich (Lärche) bis grau (Thermoholz).
- ★ Auswaschung der Umwandlungsprodukte: Weißfärbung
- ★ Verschmutzung und Bewuchs durch Mikroorganismen: Graufärbung

Der Verfärbungsprozess ist abhängig von Holzart, Sonneneinstrahlung, Hauptwetterrichtung bzw. Hauptwindrichtung und Dachüberstand. Der Dachüberstand reduziert die UV-Strahlung und verhindert die Auswaschung der Umwandlungsprodukte nahezu zur Gänze.

Die folgende Abbildung zeigt den Vergrauungsprozess eines Objekts in Niederösterreich mit unbehandelter Leistenfassade aus Lärchenholz innerhalb von 4 Jahren. Der anfängliche Brauntönen hat nach einem Jahr bereits deutlich abgenommen. Nach vier Jahren Bewitterung hat der Baukörper einen sehr homogenen grauen Farbton.



Fertigstellung 2002



nach 1-2 Jahren



nach 4 Jahren

Abbildung: Einfamilienhaus Graf in Wieselburg. (NÖ-Holzbaupreis).  
Fotos: Bau.Energie.Umwelt Cluster NÖ und Ulla Ertl (rechtes Bild)

Die Auswaschung von Umwandlungsprodukten kann bei Holzarten mit einem hohen Anteil an Gerbsäure (z.B. Eiche, Edelkastanie, Robinie) zu Verfärbungen und Korrosionen von angrenzenden Bauteilen führen und auch das Pflanzenwachstum beeinträchtigen. Man spricht auch davon, dass die Eiche blutet. Dies ist sowohl bei der Planung des Gebäudes als auch bei der Lagerung des Holzes im Freien (z.B. auf der Baustelle) zu berücksichtigen.

Auch Befestigungsmittel können einen Einfluss auf die Holzverfärbung haben, wie folgende Abbildung einer unbehandelten Lärchenfassade zeigt.



Abbildung: Stahlhaken verzinkt in unbehandelter Lärchenfassade. Foto: Roman Smutny

Bei Befestigungen von unbehandelten Fassaden ist darauf zu achten, dass die Befestigungsmittel aus nicht rostendem Stahl ausgeführt werden oder dass die Befestigung verdeckt bzw. von der Rückseite erfolgt. Die Nachteile von Befestigungsmitteln aus Edelstahl sind der deutlich höhere Preis und die höhere Sprödigkeit, die bewirken kann, dass der Schraubenkopf abreißt. Um dem entgegenzuwirken, können mit einem Korrosionsschutz beschichtete Stahlschrauben eingesetzt werden.

Die Holzforschung-Austria untersucht die Verwitterung verschiedener unbehandelter und behandelter Holzfassaden (Fichte, Lärche, Sperrholz, OSB, Thermoholz und andere) anhand einer 250 m<sup>2</sup> großen Testfassade im Projekt „Leistungsfähige Holzfassaden“. Ergebnisse dieser Freilandbewitterung lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

### 5.7.2 Transparente Beschichtung

Eine Möglichkeit zur Erhaltung der ursprünglichen Holzfärbung und Schutz des Holzes vor starker Wasseraufnahme bietet eine transparente Beschichtung. Diese Oberflächenbehandlung liefert eine Hydrophobierung und einen UV-Schutz des Holzes.

Die wasserabweisende Wirkung erfolgt durch einen Anstrich mit natürlichem Öl, natürlichem Wachs oder Paraffin. Auch mit Nanotechnologie ist eine Hydrophobierung möglich, wobei in einer Mikroemulsion Silane und Siloxane aufgebracht werden. Ein Beispiel für den praktischen Einsatz ist das 2005 fertiggestellte Haus Schwarzenbach in Erlenbach am Zürichsee, wo eine Nanobeschichtung gegen unregelmäßige Vergrauung eingesetzt wurde. Der Vorteil der Nanobeschichtung ist die gute Feuchteabweisung und der geringe Diffusionswiderstand. Allerdings können diese Beschichtungen derzeit noch nicht empfohlen werden, da keine Langzeiterfahrungen über die Haltbarkeit bestehen.

Als Lichtschutzmittel in einer transparenten Beschichtung kommt Titanoxid und Aluminium zum Einsatz. Es bestehen derzeit zahlreiche Entwicklungen für transparente Beschichtungen, allerdings besteht der Nachteil der Abwitterung und damit die Ungewissheit der Haltbarkeit, der Instandhaltungsperioden und des Aufwandes der Instandhaltung.

### 5.7.3 Technische Vergrauung

Im Forschungsprojekt „Greywood“ der Holzforschung Austria wurden Maßnahmen zur technischen Vergrauung von Holz untersucht, die das Erscheinungsbild von natürlich abgewitterten Holzoberflächen vorwegnehmen und dadurch eine gleichmäßige und optisch ansprechende Gestaltung ermöglichen. Resultat des Projekts war die Entwicklung von mittlerweile am Markt verfügbaren Produkten.

Die technische Vergrauung erfolgt entweder mittels graupigmentierten Dünnschichtlasuren oder mittels chemischen Reaktionen oder einer Kombination beider Maßnahmen [Grüll et al., 2005, „Rosenheim“]:

1. **Einlagerung von Farbstoffen und chemische Farbreaktionen (Eisengerbsäurereaktionen) auf sägerauhem Untergrund:** Die Farbgebung erfolgt durch Farbstoffe aus der Textilindustrie oder durch chemische Farbreaktionen (Eisengerbsäurereaktionen). Bei letzterer Methode reagiert die Eisenchloridlösung mit der Gerbsäure des Holzes und es erfolgt eine Vergrauung im Zeitraffer. Dabei konnten zufriedenstellende Ergebnisse mit Eichenholz erzielt werden. Bei Fichtenholz muss aufgrund des geringen natürlichen Gerbsäuregehalts zusätzlich eine Tanninlösung beigemischt werden. Durch die erhöhte Einbringmenge bei sägerauhen Oberflächen ergeben sich dunklere Farbtöne als bei glätteren Oberflächen und es erfolgt ein kontinuierlicher und gleichmäßiger Farbübergang in die natürliche Vergrauung. Durch die Farbauswaschungen kann es zu Verfärbungen angrenzender Bauteile kommen. Bislang besteht keine großflächige Anwendung.
2. **Einlagerung von Farbstoffen und chemische Farbreaktionen (Eisengerbsäurereaktionen) mit Überbeschichtung:** Bei glätteren Oberflächen (gehobelt) ist eine Fixierung notwendig, da sonst die Farbe rasch ausgewaschen wird. Eine Fixierung mit einer weiß pigmentierten Dünnschichtlasur (nicht filmbildend) ist hinsichtlich Farbgebung und Abwitterungsverhalten empfehlenswert (Farblose Lasuren mit UV-Schutz zeigten keine zufrieden stellenden Ergebnisse). Das Verfahren erfordert mehrere Arbeitsgänge und auf gehobelten Oberflächen kann es zu durch unterschiedliches Aufnahmevermögen zu Farbunterschieden kommen. Dies kann durch einen sorgfältigen Schliff und ein Wässern der Holzoberflächen vermieden werden. Eine Weiterentwicklung der Überbeschichtung zu einem marktreifen Produkt ist noch erforderlich.
3. **Grau pigmentierte Lasuren:** Um Farbunterschiede zu vermeiden, ist auf eine gleichmäßige Aufbringung zu achten. Die Lasuren sind mit Wirkstoffen gegen holzverfärbende Bläuepilze ausgestattet um eine einheitliche Färbung zu gewährleisten. Die dünn-schichtige halbtransparente Oberflächenbehandlung wird mit der Zeit abgewittert („Abkreidung“) und die Holzoberfläche allmählich freigelegt. Parallel findet bereits die natürliche Vergrauung des Holzes statt und es entsteht ein kontinuierlicher Farbübergang.

Grau pigmentierte Lasuren wurden bereits mehrfach an Bauwerken getestet (Erdberger Steg errichtet 2003 in Wien und Sankt Franziskus Kirche in Wels) und entsprechende Produkte sind am Markt erhältlich. Die tatsächliche Ausbildung von Farbunterschieden durch die Abwitterung der künstlichen Vorvergrauung an einem bestimmten Objekt kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Es wird empfohlen, das Abwitterungsverhalten zu beobachten, und zu einem späteren Zeitpunkt zu entscheiden, ob auf Wartungsanstriche vollständig verzichtet werden kann. [Grüll, 2006]

## 5.8 Geeignete Dämmstoffe für eine ressourcenorientierte Holzbauweise

Hinsichtlich Ressourceneffizienz sind regional verfügbare nachwachsende Rohstoffe am ehesten als Dämmmaterial zu empfehlen. Dies betrifft vor allem Baustoffe aus Stroh, Flachs, Hanf, Wolle und Holzweichfaser. Im Speziellen wird hier auf Strohdämmstoffe eingegangen, da dies gegenwärtig ein Schwerpunktthema des Bau.Energie.Umwelt Cluster NÖ ist. Weiterführende Informationen zum Thema Strohbaustoffe finden sich z.B. auf den Seiten [www.baubiologie.at](http://www.baubiologie.at), [www.nawaro.com](http://www.nawaro.com), [www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at) sowie bei der GrAT an der TU-Wien oder in der Monografie „Bauen mit Stroh“ [Gruber + Gruber, 2008]. Letztere Informationsquelle erscheint im Juni 2008 in einer neuen erweiterten Auflage und es wurde vom Bau.Energie.Umwelt Cluster NÖ folgende Einleitung zu diesem Buch zur Verfügung gestellt.

---

### Erwin Schwarzmüller/AT: Der Praxis geprüfte Theoretiker

Ging es mir zunächst um die Optimierung in bauphysikalischer und baupraktischer Hinsicht, (ich betreute 2 Forschungsprojekte: „Stroh:Kompakt“ für das Österreichische Ökologie Institut in der Fabrik der Zukunft Programmlinie und „Dämmen mit Stroh im nördlichen Niederösterreich und Südmähren“ gemeinsam mit Global 2000 und ECODUM für die NÖ Wohnbauforschung), so bin ich seit 2006 durch meine Tätigkeit für den Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich v.a. mit dem Zugang der Professionisten zum Thema beschäftigt.

Im Oktober 2007 besuchten 65 interessierte Bauprofis eine Themenlounge im S-House in Böheimkirchen. Rund 10 ausführende Betriebe in NÖ und etliche Architekten setzen bereits heute Stroh immer wieder in Projekten in Neubau und Sanierung ein. Das ist gut, allerdings angesichts eines nachhaltig nutzbaren Strohüberschusses von 500.000 t/a alleine in NÖ (60 % der österreichischen Jahresmenge) eine verschwindende und unbedeutende Minderheit.

Für eine entscheidende Steigerung müssen systemische Hürden überwunden werden, professionelle Anbieter einen zertifizierten Dämmstoff in Verkehr bringen und die Wirtschaft verstärkt Forschungsergebnisse umsetzen.

Das Potenzial der Bauweise liegt, dank des relativ ausgeprägten Ökologie-Bewusstseins in Österreich und der entsprechenden Förderungssituation, v.a. im Neubaubereich: Stroh-Passivhäuser sind in Leichtbauweise bereits mit 36 cm-Ballen machbar. Im Fertigteilibau wären sogar zeitliche Einsparungen möglich – entsprechendes Design der Teile und ETZ-Kennzeichnung des Baustoffes Strohballe vorausgesetzt.

#### *Persönliche Praxis*

Heraklith plus 4 cm Styropor außen auf Leichtwand verputzt: Die Dämmsituation im Eigenheim zum Dachboden im Telegrammstil. Die Folge: Die Temperatur im Schlafraum lag bei Nachttemperaturen um -5 °C bei 10–12 °C (der Raum ist ungeheizt, im EG wurden über Einzelöfen 40 bis 80 kg Holzbriketts pro Tag verpulvert; gleichzeitig lief der WC-Abluftventilator Tag und Nacht, um die Feuchtigkeit abzutransportieren).

Trotz erschwerenden Umstands, dass das Haus aufgrund einer Fehlsanierung der 80er Jahre massiv durchfeuchtet war, entschied ich mich für eine (thermische) Sanierung mit Stroh.

Seither wurden ca. 7 t Strohballe im Dachboden und in vorgehängten Fassaden eingebaut. Vor allem in engen Dachräumen (Zwickel, Giebel...) ist das Hantieren mit den gleichmäßig dicht einzubringenden Ballen immer wieder eine Herausforderung, ein staubiger und erhitzen Kraftakt.

Die Ergebnisse waren jedoch überzeugend: Mit einer Lage Standardballen (36 cm) auf der Decke des Schlafraums stieg die Innentemperatur im Oktober 2005 von 10 auf 17 °C an; im November (Außentemperatur -10 °C) sank sie wieder auf 12 °C ab. Nachdem noch Süd- und Nordwand des Raumes eine Strohdämmung (natürlich mit Dampfbremse auf der warmen

Seite und F30-Verkleidung zum Dachraum hin) erhalten hatte, lag die Temperatur auch ohne Heizsystem wieder bei 17–18 °C!

Die große Feuchtigkeit bis in den Dachraum hinauf lag einerseits an der aufsteigenden Mauerwerksfeuchte, die durch den Zementsockelkratzputz außen und auch innen an der ursprünglichen, intakten Horizontalsperre des 1912 gebauten Hauses vorbei aufsteigen konnte und andererseits an der nicht luftdichten und dampffoffenen Bauweise der alten Leichtwände. Zwischen dem Anbringen der Dampfbremse auf diesen und dem Einbringen der Ballen zwei Tage später lief das Kondenswasser auf der warmen Seite in Bahnen die PE Folie herunter.

Mein Resümee nach erfolgreicher Arbeit: Gerade im Sanierungsbereich müssen zahlreiche Lösungen (Wärmebrücken, Luftdichtigkeit, Befestigungstechnik...) noch zur Serienreife gebracht werden, damit der Vorteil beim Material nicht der Mehrinvestition bei der Arbeit geopfert wird.

---

Vom Österreichischen Ökologie Institut wurde ein **4-seitiger Folder zum Thema „Dämmstoff Stroh für vorgefertigte Holzbauweise“** zusammengestellt dessen Inhalt hier freundlicherweise wiedergegeben werden darf. Der Folder entstand in Zusammenarbeit mit Hausder-Baubiologie und ConsultS im Auftrag vom bmvit.

Stroh wird schon seit langem als Baustoff verwendet, zum Beispiel als Wandbildner oder als Dämmstoff. Erstmals ist an verschiedenen Pilotgebäuden ein Verfahren entwickelt und untersucht worden, das Stroh speziell für vorgefertigte Wand- und Dachbauteile einsetzbar macht. Die Strohballen werden bei diesem Verfahren bereits in der Zimmerei in die Wandelemente eingefüllt. Der Dämmstoff ist schadstofffrei und die Konstruktion ist kompostierbar und recycelbar.

Das Entwicklungsprojekt wurde im Rahmen der Programmlinie »Fabrik der Zukunft« - eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) - durchgeführt.

### **Stroh ist als Dämmstoff geeignet**

Die Gefahr der Schimmelbildung ist bei der verwendeten und untersuchten Konstruktion nachweislich nicht gegeben.

Das Brandverhalten und die Setzung im Bauteil ist mit anderen Dämmstoffen vergleichbar.

Stroh verfügt über gute Wärmedämmeigenschaften und ist daher tauglich für den Einsatz im Passivhaus.

Für die Verarbeitung verfügt Stroh über die notwendige Maßhaltigkeit und Dichte.

### **Stroh ist ökologisch und kostengünstig**

Die gewünschte Qualität ist ohne chemische Zuschlagstoffe (Schädlingsbekämpfungsmittel, Brandhämmer, etc.) gegeben.

Der Aufwand für den Einbau ist mit konventionellen Dämmstoffen vergleichbar und kostengünstig.

### Stroh ist regional verfügbar

Bis die Zertifizierung abgeschlossen ist und die Strohballen über eine eigene Vertriebschiene verbreitet werden, können Strohballen vom Landwirt (aus der Nähe) bezogen werden.

Zu beachten ist dabei, dass die Qualität der Strohballen hinsichtlich Feuchtigkeit, Größe und Dichten (im Kasten) angegebenen Werten entspricht.

#### Prüfergebnisse

- ◆ Wärmeleitfähigkeit:  $\lambda_{D(23/50)} = 0.046 \text{ W/mK}$
- ◆ Brandverhalten: B2
- ◆ Strömungswiderstand:  $0.43 \text{ kPa s/m}^2$
- ◆ Wasseraufnahme:  $5 \text{ kg/m}^2$
- ◆ Setzung im Bauteil: maximal 2,3 % bei extremen Transportbedingungen
- ◆ Resistenz gegen biologische Einwirkungen: Klasse 3

#### Notwendige Qualität der Strohballen

- ◆ Größe der Strohballen. Länge: 60 bis 90 cm, Breite: 46 bis 50 cm, Höhe: 36 bis 40 cm
- ◆ Rohdichte: Obere und untere Grenze:  $80 \text{ kg/m}^3$  bis  $90 \text{ kg/m}^3$
- ◆ Feuchtegehalt des Strohs:  $< 15 \%$
- ◆ Unkrautbesatz:  $< 0,5 \text{ gew. } \%$
- ◆ Restkornanteil:  $< 0,4 \text{ gew. } \%$

### Strohdämmung konkret

In Pilotprojekten wurden verschiedene Bauelemente mit Strohballen gedämmt:

**Perchtoldsdorf:** Bei einem Neubau mit Passivhausstandard wurden eine Außenwand und Dachelemente mit Strohballen gedämmt.

**Wien Oberlaa:** Beim Anbau an ein bestehendes Einfamilienhaus wurde die Südostwand als Fertigteilwand mit Strohdämmung hergestellt.

**Nestelbach bei Graz:** Hier wurde der gesamte Dachstuhl als auch die Fassade des Altbaus mit Strohballen gedämmt.

**Thal bei Graz:** In einem neu errichteten Passiv-Einfamilienhaus wird die gesamte Fassade und das Flachdach mit Strohballen gedämmt.

## 6 NACHHALTIGER EINSATZ VON HOLZ IM BAUWESEN - ZUSAMMENFASSUNG

Zur Beurteilung von nachhaltigen Gebäuden müssen die Umwelteinwirkungen sowie soziale und wirtschaftliche Aspekte über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden. Im Folgenden werden Zielsetzungen für die Lebensphasen Rohstoffgewinnung, Verarbeitung, Errichtung, Nutzung, Recycling und Entsorgung aufgelistet.

### Ziele eines nachhaltigen Einsatzes von Holz

#### ...betreffend Rohstoffgewinnung:

- ★ Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft: Der Begriff der Nachhaltigkeit ist im Absatz 1 des österreichischen Forstgesetzes festgeschrieben: „Ziel dieses Bundesgesetzes ist ... die Sicherstellung einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung“. Also nicht mehr zu nutzen als nachwächst und für einen gesunden, gepflegten Wald zu sorgen.
- ★ Vermeidung langer und energieintensiver Transporte. Verwendung von Holz aus lokalen Waldbeständen. (Die maximale Distanz für einen wirtschaftlichen Transport von Rundholz per LKW liegt bei 120-150 km [Binder, 2006]).

#### ...betreffend Holzverarbeitung:

- ★ Minimierung des Aufwandes fossiler Energieträger für die Holz Trocknung
- ★ Vermeidung von chemischem Holzschutz und bedenklichen Anstrichen
- ★ Rohstoffeffizienz: Produktion von simplen Brettprofilen mit sägerauer Oberfläche
- ★ Vermeidung langer und energieintensiver Transporte

#### ...betreffend Gebäudeerrichtung:

- ★ Vermeidung langer und energieintensiver Transporte
- ★ Reduktion von Abfällen (Verschnitt)
- ★ Geeignete Lagerung: Verhinderung von Durchfeuchtung. Berücksichtigung der Verfärbung des Holzes während Lagerung und Einbau. Berücksichtigung der Verfärbung angrenzender Bauteile bei Bewitterung von gelagertem Holz.

#### ...betreffend Nutzung von Gebäuden in Holzbauweise (inkl. soziale Nachhaltigkeitsaspekte):

- ★ Schutz der Gesundheit und Umwelt mittels Vermeidung bedenklicher Beschichtungen und Anstriche
- ★ Reduktion des Aufwandes für Reinigung und Instandhaltung (z.B. durch unbehandelte Oberflächen)
- ★ Reduktion des Aufwandes für Instandsetzung (z.B. durch Langlebigkeit, Demontierbarkeit, geeignete Verbindungstechnik)
- ★ Optimierung der Lebensdauer (z.B. durch konstruktiven Holzschutz, thermischen Holzschutz)
- ★ Bewahrung eines attraktiven Erscheinungsbildes (z.B. gleichmäßige Vergrauung, 5-7 cm Ansichtsbreite)

- ★ Behaglichkeit: Unbeschichtete Holzoberflächen regulieren das Raumklima (Feuchte, Gerüche). Einsatz von geeigneten Holzarten für die Vermeidung von Schiefen.
- ★ Adaptierbare Strukturen, die bei sich ändernden Nutzungsanforderungen entsprechend angepasst werden können.

### **...betreffend Kreislaufführung: „Design for Recycling“ (siehe auch [Merl, 2006]):**

- ★ Vermeidung von schadstoffhaltigen Baustoffen
- ★ Stoffreinheit (Vermeidung von nicht recyclingfähigen Stoffmischungen): Der Einsatz von Additiven (z.B. synthetische Klebstoffe, Beschichtungen etc.) oder die Vermischung von Holzfasern mit anderen Stoffen (z.B. Kunststoff, Zement etc.) ist zu vermeiden, wenn dadurch das zukünftige stoffliche oder thermische Nutzungspotenzial eingeschränkt wird [Merl, 2006]. Bei der energetischen Verwertung von schadstofffreiem Holz kann die anfallende Asche als Dünger oder Sekundärrohstoff für die Baustoffproduktion eingesetzt werden.
- ★ Demontierbarkeit, Zerlegbarkeit, Trennbarkeit möglichst zerstörungsfrei, kostengünstig und ohne Abfallaufkommen
- ★ Einsatz von einfach lösbaren Form- und Kraftschlussverbindungen (z.B. Spax mit Torxantrieb)
- ★ Wiederverwendbarkeit oder zumindest Verwertbarkeit: Anzustreben ist das Recycling möglichst großer Elemente sowie ein minimaler Aufwand für Aufbereitung, Lagerung und Transporte. Downcycling ist zu vermeiden bzw. die Wertschöpfung ist zu optimieren.
- ★ Energetische Verwertung (falls stoffliche Verwertung nicht mehr möglich ist) in Anlagen mit hohem Wirkungsgrad (z.B. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen) und hocheffektiver Rauchgasreinigung.
- ★ Dokumentation verbauter Baumaterialien sowie Verbindungstechniken: Wichtige Informationsquelle für Instandsetzungsmaßnahmen und Rückbau.

### **...betreffend wirtschaftlicher Nachhaltigkeit:**

- ★ Werthaltigkeit von Holzbauwerken: Nach neuestem Stand der Praxis gebaut. Betreffend Behaglichkeit und Energieeffizienz und Betriebskostenoptimierung ist dies der Passivhausstandard.
- ★ Hohe regionale Wertschöpfung: Einsatz regionaler Rohstoffe, regionaler Verarbeitungsbetriebe und Holzbaubetriebe.
- ★ Schaffung von regionalen Arbeitsplätzen in den Bereichen Holzgewinnung, Holzverarbeitung, Holzbau und Energiedienstleistung.
- ★ Ausgleich der Handelsbilanz: Durch Einsatz und Veredelung heimischen Holzes im Gegensatz zu Holzimporten (aus den Tropen, Sibirien oder Uralgebirge). Durch energieeffiziente Gebäude (Passivhausstandard) werden Energieimporte reduziert.

**TEIL B**

**DOKUMENTATION  
VON DEMONSTRATIONSOBJEKTEN**

bearbeitet von DI Roman Smutny, DI Manuel Schweizer, DI David Plunger

Institut für konstruktiven Ingenieurbau (iki), Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen,  
Department Bautechnik und Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien

Ansprechpartner: Univ.Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg, DI Roman Smutny

in Kooperation mit Architekturbüro Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, Ansprech-  
partner: Arch. DI Manuel Schweizer

Informationsmaterial zur Verfügung gestellt unter anderem von Bau.Energie.Umwelt Cluster  
Niederösterreich (ecoplus)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ANPASSUNGSFÄHIGE WOHNBAUTEN</b>	<b>4</b>
1.1	Demonstrativbau „Wohnen Morgen“, Hollabrunn - Erweiterungsfähigkeit	4
1.2	Regina Kägi - Hof, Zürich-Oerlikon - Flexibles Raumangebot	9
1.3	Siedlung Steinacker, Zürich – Barrierefreies und wandelbares Wohnen	12
1.4	Wohnpark Sandgrubenweg, Bregenz – das erste „inkl. wohnen“ Projekt	14
1.5	Wohnpark Balance, Zürich-Wallisellen – Warme Hülle durch Solarfassade	17
<b>2</b>	<b>„HAUS-DER-ZUKUNFT“ – DEMONSTRATIONSGEBÄUDE</b>	<b>20</b>
2.1	WHA Spöttlgasse, Wien	20
2.2	WHA Mühlweg, Wien (Passivhausstandard)	22
2.3	WHA Esslinger Hauptstraße (Klima:Komfort)	23
2.4	Büro- und Ausstellungsgebäude S-House, Böheimkirchen (Passivhausstandard)	24
2.5	Bürogebäude Tattendorf (Passivhausstandard)	25
2.6	Gemeindezentrum Ludesch	26
<b>3</b>	<b>DEMONSTRATIONSGEBÄUDE MIT UNBEHANDELTEN HOLZFASSADEN</b>	<b>27</b>
3.1	Sport- und Erholungsgebäude des Polizeisportvereins, Wien - alte Donau	27
3.2	Passivhaussiedlung, Winklarn bei Amstetten	28
3.3	FH Wieselburg, Wieselburg	29
3.4	EFH Graf, Wieselburg	30
3.5	EFH Hochenauer, Melk	31
<b>4</b>	<b>DEMONSTRATIONSOBJEKTE MIT FASSADENPLATTEN</b>	<b>32</b>
4.1	MFH Brunn am Gebirge	32
4.2	Pensionisten- und Pflegeheim in Stockerau	33
<b>5</b>	<b>THERMOHOLZ-DEMONSTRATIONSOBJEKTE</b>	<b>35</b>
5.1	Stora Enso Timber AG, Sägewerk Ybbs	35
5.2	EFH Ybbs	36
5.3	EFH Wieselburg	37
<b>6</b>	<b>EICHENHOLZ-DEMONSTRATIONSOBJEKTE</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>KÜNSTLICH VERGRAUTE HOLZFASSADEN</b>	<b>40</b>
7.1	Wohnhaus in Konstanz, Baujahr 1999	40
7.2	Sankt Franziskus Kirche in Wels	41

Die Auswahl der untersuchten Demonstrationsobjekte erfolgte aufgrund der zuvor dokumentierten Anforderungen an Wohnbauten:

- ★ Veränderbare Raumnutzung und Raumaufteilung (demontierbare Zwischenwände, etc.) sowie erweiterbarer Grundriss
- ★ Kreislauffähiger Holzbau: Stoffreinheit (unbehandelte Holzfassaden, Thermoholz) und demontierbare Befestigungen (leicht lösbare und zerstörungsfreie Verbindungen)

## 1 ANPASSUNGSFÄHIGE WOHNBAUTEN

### 1.1 Demonstrativbau „Wohnen Morgen“, Hollabrunn - Erweiterungsfähigkeit

Dieses Wohnprojekt, das 1972 aus einem Wettbewerb zum Thema „Wohnen Morgen“ für die Realisierung in Niederösterreich ausgewählt wurde, ist ein Beispiel für die Planung ohne konkrete Informationen über die Wünsche der künftigen BewohnerInnen. Das Konzept basiert auf der S.A.R. - Planungsmethode, bei der eine „allgemeine Baustruktur“ geplant wurde, die betreffend Wohnungsanzahl und Wohnungstypen, sowie Materialwahl als „offen“ bezeichnet werden kann.

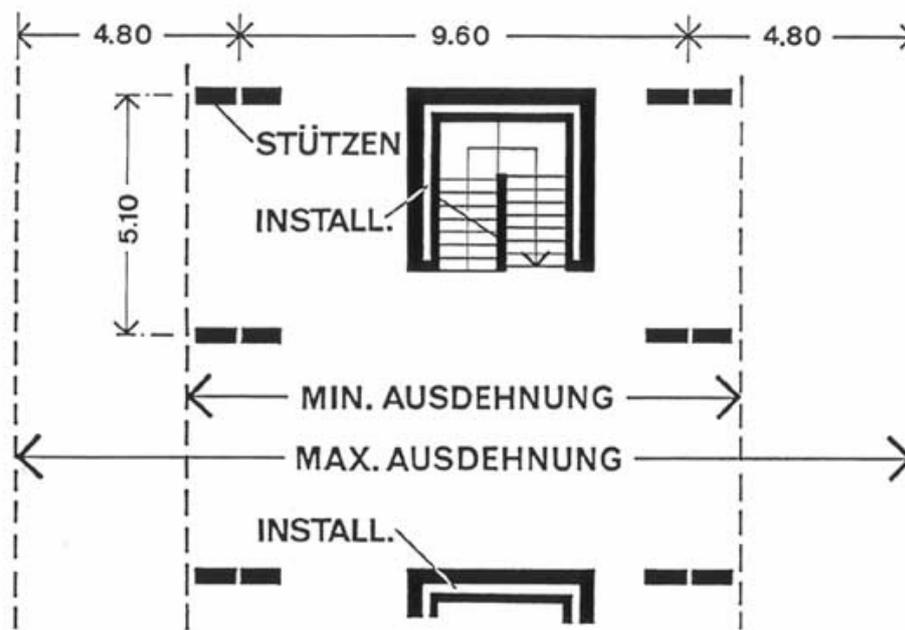


Abbildung 1.1 „Wohnen Morgen“ in Hollabrunn, Schemazeichnung (Zeichnung B. Steger)

Das Wettbewerbsprojekt von Architekt Ottokar Uhl hatte zunächst ein sehr allgemeines räumliches Regelungsprinzip vorgesehen, in dem lediglich die Konstruktionszonen, die konstruktionsfreien Zonen und bestimmte Achsmasse festgelegt waren.

„Wie damals üblich, begann man bei der Planung mit einem Raster und einem Modulmaß. Ein Basismodul von zehn Zentimetern ergab verdreifacht 30 Zentimeter. Aufgeteilt in zehn und 20 Zentimeter führte dies zu einem "Bandraster", der die Möglichkeiten für die tragenden und trennenden Bauelemente festlegte - allerdings immer mit ausreichend Varianz. Denn ein starrer Raster kann leicht in den Irrsinn kippen. Ausgehend von diesem feinmaschigen Planungsnetz wurden in der Gebäudetiefe parallele "Zonen" festgelegt, die sich von den Raumgrößen herleiteten.“ [Zschokke, 2006]

Dieses Pilotprojekt sah „individualisiertes Wohnen mit standardisierter Fertigung“ vor. Die dreigeschossige Wohnanlage war eines der ersten Mitbestimmungsprojekte in Österreich und wurde von einem interdisziplinären Forschungsteam begleitend untersucht. [Bielicki, 2006]

Verschiedene Baustrukturen und Gebäudetypen, die innerhalb dieses Prinzips möglich waren, wurden von den ArchitektInnen aufgezeichnet mit dem Ziel, die an diesem Projekt betei-

ligten Gremien und die zukünftigen BewohnerInnen bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen. [Bohning, 1981, S.231 ff]

Der Architekturtheoretiker Ingo Bohning hat den Hintergrund, der allen Planungen von Otto-Uhl zugrunde liegt, so ausgedrückt: „In einer demokratischen Gesellschaft, die auf ihren inneren Strukturwandel hin programmiert ist, soll sie (die Architektur) der Herstellung einer unpräzisen, leicht zu verändernden Umwelt dienen.“ [Bohning, 1981, S.235]

Dieser Demonstrativbau mit seiner signifikanten Primärstruktur vermittelt bereits durch sein äußeres Erscheinungsbild Begriffe wie „Offenheit“ und „Erweiterbarkeit“. Ein großes Maß an Flexibilität bei der Baukörperausbildung und bei der Fassadengestaltung innerhalb bestimmter Zonen wurde ganz bewusst ermöglicht.



Abbildung 1.2 „Wohnen Morgen“ in Hollabrunn (Foto M. Schweizer)

Somit waren sich alle Projektbeteiligten in der Planungsphase darüber einig, dass die zukünftigen BewohnerInnen möglichst weitgehend über den in der baulichen Primärstruktur enthaltenen Spielraum verfügen sollten.

Über diese Wahlfreiheiten verfügen, bedeutet konkret:

- Die Unterteilung der vorgegebenen Tragstruktur in Wohneinheiten bestimmen.
- Die Größen der Wohnungen festlegen – Stufenlose Größen sollten durch eine flexible Fassade möglich werden.
- Die Unterteilungen der Wohnungen in Räume mit freier Positionierung der Nasseinheiten (Bäder, Toiletten) bestimmen.
- Den Außenabschluss der Wohnungen definieren – Anzahl, Art und Lage der Fenster und Türen.
- Die Standardausstattung der Wohnungen gestalten.

Vielfältige Möglichkeiten zu diesen Punkten wurden von den ArchitektInnen im Auftrag der niederösterreichischen Wohnbaugenossenschaft Alpenland mit jedem einzelnen Wohnungsinteressenten in mehreren Beratungsgesprächen erarbeitet. [Bohning, 1981, S.234 ff]

Die Primärstruktur (Stützen und Balken) der 3-geschossigen Zeilenbebauung besteht aus vorgefertigten Bauelementen. Diese Bauelemente, die sowohl in beheizten Innenräumen, als auch im Freien angeordnet sind, wurden aus sogenanntem Leca-Beton gefertigt. Die Deckenplatten wurden in Ortbeton hergestellt.

An den Längsfassaden ergänzen nichttragende Fassadenelemente diese Struktur, die immer sichtbar und somit auch für den Laien als solche erkennbar bleibt.

Diese nichttragenden Fassadenelemente aus vorgefertigten Holzriegel-Wandelementen sind mit Faserzementplatten beplankt. Ergänzend dazu wurden die nichttragenden Außenwände an den Giebelfassaden der Hauszeilen als zweischaliges Sichtziegelwände hochgemauert.

In diesem Zusammenhang sei daraufhingewiesen, dass bei den Bauten von Ottokar Uhl, die sichtbare Bautechnik nie mit einer symbolischen oder narrativen Bedeutung versehen wird sondern immer den „dienenden Charakter der Technik“ behält. [Bohning, 1981, S.234]

Für die Wohnungstrennwände wurden Gipsdielen verwendet, die im Lauf der Jahre bei Umbauarbeiten der BewohnerInnen durch Gipskartonständerwände ersetzt wurden. [Freisitzer, 1987, S.146 ff]

In diesem Zusammenhang ist es interessant, wie die Wohnanlage rund 30 Jahre später von der Architekturkritik beurteilt wird:

*„Was zuerst auffällt, ist die kräftige Tragstruktur aus Betonelementen - sie enthalten einen Zuschlag aus Blähton, um den Wärmedurchgang zu reduzieren. An den Stirnseiten der langen Trakte ist dieses Skelett mit Zementsteinwänden ausgefacht, während an den Längsseiten vorgefertigte Wand- und Fensterelemente in Leichtbauweise abwechseln.*

*Die Primärstruktur des tragenden Skeletts gewinnt dabei eine städtebauliche Dimension.*

*So wie sich im Mittelalter Wohn- und Gewerbenutzungen parasitär in den Großstrukturen römischer Amphitheater einnisteten, reihen sich hier die entsprechend den Nutzerwünschen innerhalb eines Sektors vorspringenden Terrassen oder Räume zufällig nebeneinander.*

*Die Spannung zwischen Tragstruktur und Füllung wird zum architektonischen Ausdruck. Nach 30 Jahren ist die Bepflanzung herangewachsen. Da und dort überwuchert wilder Wein die massiven Pfeiler und Träger - im Winter bloß als Rankennetz, der sommerliche Blättermantel lässt sich leicht dazudenken.*

*Damit haben die Bewohner die Struktur nicht bloß mit ihren Außenwänden, sondern auch mit ihrer Bepflanzung interpretiert. Unterschiedliche Farben, teils auch Materialien, kommen dazu. Und wieder folgt das Prinzip nicht einem von einer einzigen Hand festgelegten Gesamtbild.“ [Zschokke, 2006]*



Abbildung 1.3 „Wohnen Morgen“ in Hollabrunn (Foto M. Schweizer)

Die Verfasser führten im April 2006 ein sehr informatives Gespräch mit zwei BewohnerInnen der „ersten Stunde“ in deren Wohnung. Hedwig und Gilbert Hinterberger bewohnen seit 1977 eine Wohnung, die in den vergangenen Jahren wiederholt umgebaut und adaptiert wurde.

Im Folgenden sind einige Informationen aus diesem Gespräch dokumentiert:

- Der Haushalt der Familie Hinterberger bestand zeitweise aus 5 Personen, die in den vergangenen 29 Jahren des (Be-)Wohnens unterschiedlichste Bedürfnisse an Ihre Wohnung hatten.
- Die Wohnung wurde von einem der vorhergehenden Interessenten übernommen. Diese Familie hatte zusammen mit den ArchitektInnen die erste Version dieser Wohnung geplant, in die dann die Familie Hinterberger eingezogen ist.
- Alle Wohnungen dieser Wohnhausanlage sind im Eigentum der BewohnerInnen. Soweit sie wissen, wurden viele Wohnungen im Lauf der Jahre umgebaut bzw. adaptiert. Der Umfang der Arbeiten variiert von „umfangreich bis einige Kleinigkeiten“.
- Die Wohnung von Familie Hinterberger wurde mehrmals (davon einmal sehr umfangreich) umgebaut - Räume wie Toiletten und Bäder wurden neu geschaffen - Räume wurden umgruppiert – Fassadenelemente wurde neu angeordnet.
- Familie Hinterberger führte sehr viel in Eigenleistung durch - da die finanziellen Möglichkeiten für sie oft sehr beschränkt waren.
- Die Arbeiten – auch jene in Eigenleistung – konnten technisch problemlos durchgeführt werden. „... ging eigentlich immer gut und einfach“
- Die Werkstoffe und Befestigungsmittel wurden, im Zuge dieser Umbauarbeiten, wieder- bzw. weiterverwendet – „Das war preiswert und ging schnell!“
- Die Familie Hinterberger wollte zu keinem Zeitpunkt die Wohnung wechseln – auch dann nicht als kurzfristig mehr Raum notwendig wurde!
- Der aktuelle Zustand der Wohnung kann mit „Fliesende Räume für zwei Personen“ beschrieben werden.
- Die Möglichkeiten für Umbau und Ausbau dieser Wohnung haben das Wohnverständnis aller Familienmitglieder nachhaltig geprägt. „Eine Wohnung nach fremden Ideen können wir uns heute gar nicht mehr vorstellen!“
- Die Struktur und Füllelemente sind auch für den Laien gut erkennbar – was als sehr angenehm für das Erscheinungsbild der Wohnanlage empfunden wird. „... schafft eine maßstäbliche Gliederung!“
- Sie hätten sich, im Zuge ihrer Umbauten, oft gewünscht, dass die „leichten“, vorgefertigten Fassadenelemente beim Hersteller oder bei der Baufirma nachbestellt werden können.
- Da es von der Wohnbaugenossenschaft bei Umbauten nur sehr wenig Unterstützung gab, wurde die Gartenfassade als vollverglaste Konstruktion von einem örtlichen Tischler und einem Glaser der näheren Umgebung nach den Skizzen der Familie gefertigt und montiert.
- Es gab und gibt Abplatzungen und Korrosionsschäden an den Bauelementen aus Leca-Beton. Die Sanierung erscheint den BewohnerInnen als sehr aufwändig. So können z.B. beschädigte Bauelemente der Primärstruktur nicht gegen neue ausgetauscht werden.
- Bei den „leichten“ Fassadenkonstruktionen gab es offene Fugen – z.T. aufgrund mangelnder oder zusammengesunkener Wärmedämmfilze. Einige Anschlüsse weisen Wärmebrücken auf - insbesondere an räumlichen Ecken, wenn z.B. drei flächige Bauelemente zusammengefügt sind. (z.B. 2 Wandelemente und 1 Deckenelement)
- Die Ausdehnung der Gebäudehülle, d.h. das Volumen der Häuser wurde nur sehr geringfügig verändert. – Der Hauptgrund ist darin zu suchen, dass weder vom Bauträger noch von den Herstellern die notwendige Unterstützung angeboten wurde. Der Bedarf dafür war wiederholt vorhanden.
- Eine administrative Schwierigkeit besteht darin, dass für große Umbaumaßnahmen an der Gebäudehülle lt. Satzung der Eigentümergemeinschaft die Zustimmung aller Eigentümer notwendig ist. „... für vieles gab es keine Unterstützung und damit waren notwendige Umbauten für einige Familien eher abschreckend.“ [Hinterberger, 2006]



Abbildung 1.4 „Wohnen Morgen“ in Hollabrunn (Foto J.S. Bielecki)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dieses Bauvorhaben einerseits sehr viele Optionen betreffend Erweiterungsfähigkeit, Flexibilität und Wiederverwendung von Bauelementen ermöglicht und dass diese Optionen von den BewohnerInnen geschätzt und z.T. auch genutzt wurden.

Andererseits zeigen die Erfahrungen aus dem fast 30-jährigen „Betrieb“, dass eine mangelnde Begleitung bzw. Betreuung der BewohnerInnen durch Bauträger und Bauindustrie sowie eine z.T. schwerfällige und noch nicht ausgereifte Bautechnik das geschaffene strukturelle Potential zur Anpassung eben nur eingeschränkt nutzen lässt.

## 1.2 Regina Kägi - Hof, Zürich-Oerlikon - Flexibles Raumangebot

Der Regina Kägi - Hof ist eine neue Wohnsiedlung, gebaut auf einer ehemaligen Industriebrache in Zürich Nord, einem der wichtigen Entwicklungsgebiete der Stadt Zürich.

Die gewählte statische Struktur der Schottenbauweise weist zwar nach der Errichtung ein begrenztes Anpassungspotential der Wohnungsgrößen auf. Während der Planungsphase hatte sich diese Struktur aus Ortbeton und Betonfertigteilen jedoch als genügend flexibel erwiesen. Eine Änderung des Wohnungsspiegels – in der Bauphase - zugunsten von mehr großen Wohnungen konnte problemlos vorgenommen werden. Auch in Zukunft besteht die Möglichkeit, die Wohnungsgröße über die Anzahl der Konstruktionsachsen zu verändern, d.h. z.B. zwei nebeneinander liegende Drei- und Fünzimmerwohnungen können in eine Zwei- und eine Sechszimmerwohnung geteilt werden.

Grosse Wohnungen mit bis zu acht gleichwertigen Zimmern für spezifische Wohngemeinschaften (z.B. „betreutes Wohnen“, SeniorInnen-WG, etc.) sind relativ einfach zu realisieren und kommen einer Nachfrage entgegen die z.B. im Züricher Umland stetig steigt. [van Wezemaal, 2004, S.13 ff]



Abbildung 1.5 Regina Kägi - Hof in Zürich (Foto ABZ)

Der Regina Kägi-Hof bietet darüber hinaus die Möglichkeit außerhalb der Wohnung zusätzliche Räume anmieten zu können. Die günstigen, flexiblen, durch die MieterInnen selber gestaltbaren Räume stießen auf ein außergewöhnlich großes Interesse.

Vor allem im Erdgeschoss wurden bewusst keine Wohnungen vorgesehen, unter anderem auch deshalb, weil sich Erdgeschosswohnungen aus Sicherheitsgründen weniger gut vermieten lassen.

An deren Stelle platzierte die Allgemeine Baugenossenschaft Zürich den überwiegenden Teil von gemeinschaftlich nutzbaren Räumen im durchlässigen und transparent gestalteten Erdgeschoss. Dieses neu geschaffene und attraktive Raumangebot in Form von mietbaren Ateliers überzeugt seit 6 Jahren in vorbildlicher Art und Weise. Diese Ateliers können von den MieterInnen zusätzlich zu ihren jeweiligen Wohnungen für begrenzte Zeiten dazugemietet werden. Als Angebot im Sinne der Wohnraumerweiterung – zum Beispiel für die Kombination Wohnen und Arbeiten – haben diese Räume einen günstigen Mietzins und weisen auch für zukünftige Nutzungen eine hohe Flexibilität auf.

So können diese Räume im Erdgeschoss auch als zusätzliche Einlagerungsräume und Depots genutzt werden.

Von den ArchitektInnen des Architekturbüros Theo Hotz wurde daran gedacht, dass diese Räume z.B. in Kinder- und Jugendspielflächen umgebaut werden können.

Je nach Nutzung werden unterschiedliche Fassadenausbildungen notwendig. So hat die Fassade von einem Kinderspielraum ganz andere Anforderungen zu erfüllen, wie eine Fassade für Wohnräume. Die Fassaden von Büros und Werkstätten haben wiederum andere Qualitäten in Bezug auf Lichtführung, Ausblick, Blendfreiheit, etc. zu erfüllen.

In einem regelmäßig angeordneten Primärsystem aus Wandscheiben (Schottenbauweise) und Deckenplatten ist das flexible nichttragende Sekundärsystem der verschiedenen Fassadenelemente eingebaut.

Den Zeilenbauten mit ca. 10 m Tiefe sind an den größtenteils raumhoch verglasten Längsfassaden durchgehende Loggien und Balkone vorgelagert.



Abbildung 1.6 Regina Kägi - Hof in Zürich, Grundriss EG (Zeichnung Theo Hotz AG)

Zum Aspekt der Transparenz von Fassaden gibt es vom Architekten Theo Hotz ein klares Statement: „Beim Wohnungsbau braucht man ein vernünftiges Maß zwischen offenen und geschlossenen Teilen, damit die Bewohner sich sowohl begegnen als auch zurückziehen können. Auch im Wohnbau ist es wichtig Offenheit zu zeigen und Sonne rein zu lassen.“

[van Wezemaal, 2004, S.171 ff]

Allerdings ist in der Realität dieses „vernünftige Maß“ immer wieder den sich verändernden Anforderungen unterworfen.

Inwieweit die Fassade konkret verändert werden kann bzw. einzelne Teile ausgetauscht werden können, wurde in den vergangenen Jahren noch nicht erprobt.

Die Modularität und die einfache Montage der verschiedenen Schichten der Fassade ergeben eine preisgünstige Konstruktion, die veränderten Anforderungen einfach angepasst werden kann.

Solche sich verändernde Anforderungen können z.B. auch aus sich wandelnden Wärmedämmstandards resultieren.

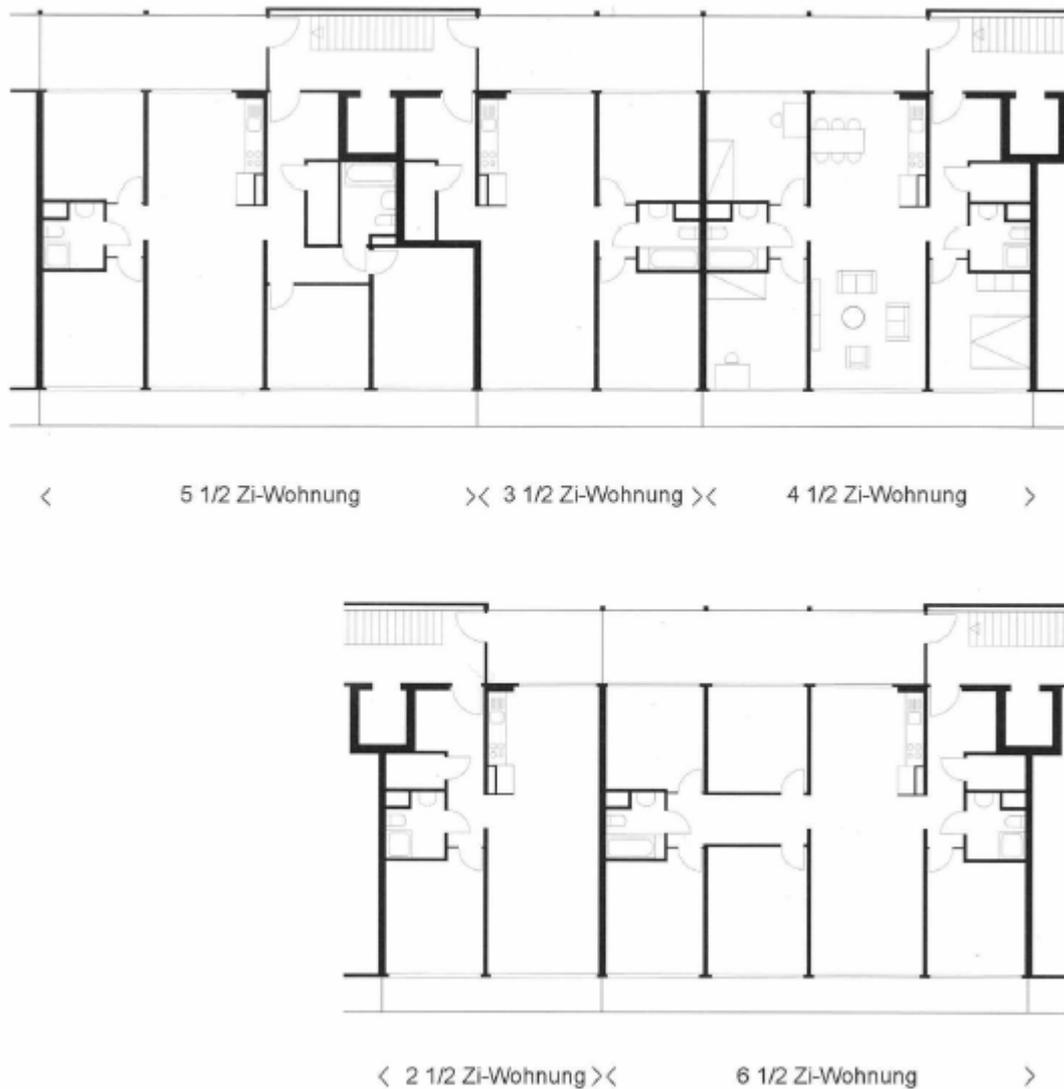


Abbildung 1.7 Regina Kägi - Hof in Zürich, Wohnungstypen (Zeichnung Theo Hotz AG)

Die durch o.a. Loggien- und Balkonzone witterungsgeschützten Außenwände können jederzeit und kurzfristig den wechselnden Anforderungen – seien sie nun nutzungsspezifischer oder technischer Art – einfach angepasst werden.

Diese Zone mit individuellen Freiräumen dient einerseits als „visueller Filter“ gegenüber den dahinterliegenden Außenwandelementen und kann andererseits anstelle von temporären Fassadengerüsten für laufende Wartungs- und Umbauarbeiten als Servicezone herangezogen werden.

„Was im Regina Kägi-Hof deutlich zum Ausdruck kommt ist, dass Anpassbarkeit auch ohne Mietermitsprache in der Entwurfsphase ein sinnvolles Postulat sein kann.“ [van Wezemael, 2004, S.171 ff]

### 1.3 Siedlung Steinacker, Zürich – Barrierefreies und wandelbares Wohnen

Nicht nur barrierefrei sollten die Bauten der Siedlung Steinacker sein – es wurden auch zusätzliche Nutzungsoptionen gesucht, die das Wohnen sinnvoll ergänzen können.

Die Züricher Wohnbaugenossenschaften ASIG und WSGZ beauftragten die Architekten Hasler, Schlatter & Partner bei der Planung zu berücksichtigen, dass die Gebäude „über das Wohnen hinaus“ und flexibel zu nutzen sind. [Josephy, 2006, S.6]

Nur so können – aufgrund jahrzehntelanger Erfahrungen – ergänzende Inhalte für mehr Komfort, Wohlbefinden und Sicherheit implementiert werden. Die nahezu quadratischen Stadtvillen mit umlaufender Balkonzone sind so konzipiert, das sich innerhalb einer Skelettkonstruktion aus Stahlbeton nicht nur die Innenraumwände, sondern auch die Fassaden in verschiedenen Qualitäten (opak / transparent, schwer / leicht, verschlossen / offenbar) ausführen ließen.

Diese „Freiheit“ war notwendig, da das Bauprogramm neben unterschiedlich großen Wohnungen, spezielle Pflegewohnungen der Stadt Zürich, einen Kindergarten, diverse Gemeinschaftsräume und separat vermietbare Räume für die zukünftigen BewohnerInnen vorsah.

Die genaue Verteilung der verschiedenen Nutzungen konnte allerdings erst in der Bauphase erfolgen.

Diese relative Unbestimmtheit in der Nutzung kommt der im Jahr 2004 fertiggestellten Anlage auch heute noch zugute. So können jederzeit einfach die Nutzungen verändert und die Fassaden dem konkreten Bedarf angepasst werden.

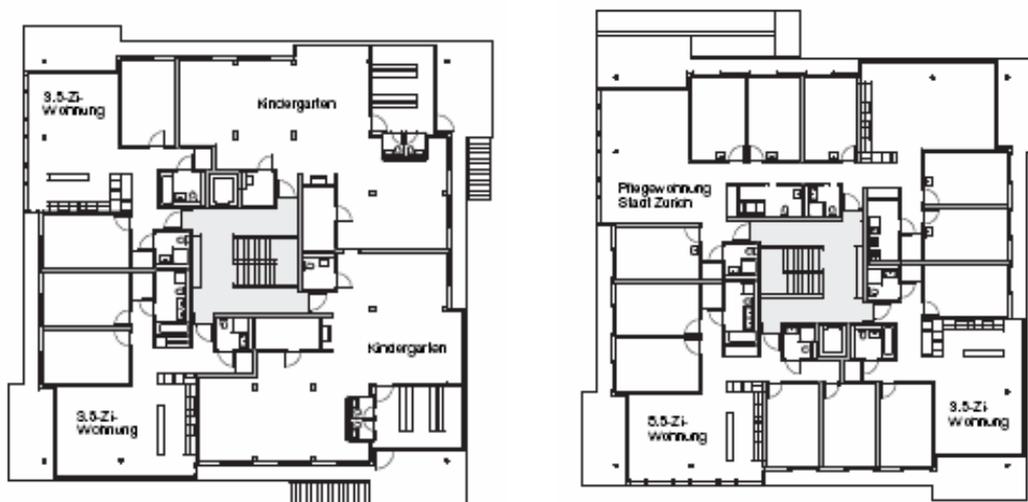


Abbildung 1.8 Siedlung Steinacker in Zürich, Grundrisse (Zeichnung HS&P)

Mit geringem zusätzlichem Aufwand war es z.B. möglich eine speziell ausgestattete Wohnung für eine Pflegewohngruppe zu etablieren. Acht Personen mit einer mittelschweren Altersdemenz können so in einem alltäglichen Umfeld leben und dennoch rund um die Uhr betreut werden.

Bei der Fassade dieser Wohnung wurde absichtlich etwas getan, was bei einer „gewöhnlichen“ Wohnung wohl eher nicht gemacht wird.

Ausgewählte Teile der raumhoch verglasten Fassade öffnen sich mit unmittelbarem Ausblick auf die Bushaltestellen, die in ihrer „Lebendigkeit“ etwas vom öffentlichen Leben vermitteln können. So wird für die eingeschränkt mobilen BewohnerInnen die Fassade zu einer wichtigen, die Psyche prägenden Schnittstelle zur Außenwelt.

Die rundumlaufenden Balkone mit unterschiedlicher Tiefe verursachen beim Bau gewisse Mehrkosten.

Diese werden jedoch durch die vielfältigen Nutzungen als Gerüst bei der Erstellung, bei periodischen Kontroll- und Unterhaltsarbeiten und beim Umbau der Fassade, sowie durch den Gewinn an individuell nutzbaren Freiräumen unterschiedlicher Qualität mehr als kompensiert.

Die höheren Anfangsinvestitionen führen, über einen längeren Zeitraum betrachtet, zu niedrigeren Lebenszykluskosten.



*Abbildung 1.9 Siedlung Steinacker in Zürich (Fotos tec 21)*

Der Publizist Martin Josephy verbindet mit diesen Bauten die Hoffnung, dass „damit ein Prototyp für das heutige Bauen und Wohnen im Niemandsland der Agglomeration formuliert wurde.“ [Josephy, 2006, S.7]

## 1.4 Wohnpark Sandgrubenweg, Bregenz – das erste „inkl. wohnen“ Projekt

Bei diesem Wohnpark, dessen erster Bauabschnitt im Juli 2007 von den BewohnerInnen bezogen wurde, hat sich der Bauträger Rhomberg & Partner das Ziel gesetzt, einen „verdichteten Wohnbau, kombiniert mit den Vorteilen eines Einfamilienhauses“ zu entwickeln. [Rhomberg & Partner, 2007]

Es war für den Bauträger und die beauftragte Architekten-Arbeitsgemeinschaft Hörburger/Kuess/Ritsch/Schweitzer von Beginn an klar, dass in Vorarlberg nur eine sehr umfassende und weitreichende Strategie greifen konnte. Nicht nur in Westösterreich ist der Wunsch nach dem unabhängigen, individuell gestalteten Eigenheim trotz landschaftlicher Zersiedelung und erhöhtem Verkehrsaufkommen immer noch sehr groß.

Aus den umfangreichen Zielsetzungen für dieses Projekt sind die folgenden drei Aspekte von besonderer Bedeutung: „*Individuelle, auf unterschiedliche Lebensphasen anzugleichende Grundriss- und Innenraumgestaltung; Nachbarschaftliche Strukturen dort, wo Gemeinschaft Sinn macht, inkl. nützlicher Wohndienstleistungen; Qualitativ hochwertiges Bauen für den langfristigen Wohnwert.*“ [Rhomberg & Partner, 2007]



Abbildung 1.10 Wohnpark Sandgrubenweg in Bregenz (Zeichnung Rhomberg & Partner)

Die Wohnanlage wurde unter Einhaltung der Richtlinie „ökologischer Wohnbau“ mit mindestens 150 Öko-Punkten errichtet und entspricht somit der Förderungskategorie „Ökologie 2“ gemäß den Wohnbauförderungsrichtlinien des Landes Vorarlberg.

Energetechnische und bauökologische Aspekte, die bewertet werden können und klassifizierbar sind, sollten mit soziokulturellen Anforderungen verknüpft werden.

Diese „unscharfen“, aus aktuellen demographischen Untersuchungen ableitbaren Entwicklungen können u.a. mit den Begriffen „Individualisierung“, „Flexibilisierung“ und „Diversifizierung“ umschrieben werden. [Nussbaumer, 2007]

Die Primärkonstruktion wurde in einer Stahlbetonskelettbauweise errichtet – d.h. die tragenden Hauptbauteile bestehen im Wesentlichen aus Stahlbetonstützen und einer Stahlbetonflachdecke. Die Innenwände übernehmen somit keine statische Funktion und können daher je nach Bedarf aufgestellt werden.

Die gekurvte Fassade konnte in relative kurzer Bauzeit aus vorgefertigten Holzständerwand-Elementen zusammengesetzt werden. Die Fassadenelemente sind wie die Innenwände statisch nicht wirksam. Die äußere, hinterlüftete Vorsatzschale der Fassadenelemente ist mit unbehandelten 3-Schicht Lärchenholzplatten verkleidet.



Abbildung 1.11 Wohnpark Sandgrubenweg in Bregenz (Foto Rhomberg & Partner)

Der Prozess des sogenannten „bewussten Planens“ sollte den Käufern professionelle Unterstützung bei der Grundrissgestaltung und Materialwahl bieten. Der Bauträger versprach den zukünftigen BewohnerInnen, dass sie sich *„ihr individuelles Eigenheim am Stockwerk schaffen“* können, *„ohne dass das ästhetische anspruchsvolle Erscheinungsbild der gesamten Anlage leidet.“* [BMVIT, 2006, S.4]

Die zukünftigen BewohnerInnen konnten dabei aus *„einem Pool von Fassadenelementen, die Fassade ihrer Wohnung zusammensetzten.“* [Nussbaumer, 2007]

Die Gebäude sind so konzipiert, dass die Wohnungen nicht nur in der Planungs- und Bauphase, sondern auch später in der Nutzungsphase, in Grösse und Zuschnitt den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden können.

Allerdings nur in eingeschränkter Form, da das umhüllte Gebäudevolumen und die Fassadengliederung nicht veränderbar sind.

Externe Flexibilität, d.h. bei diesem Projekt *„das Trennen, Öffnen und Zusammenlegen von Wohneinheiten“* [Rhomberg & Partner, 2007] ist somit immer nur in Kooperation mit dem jeweiligen Wohnungsnachbarn zu realisieren.

Eine ca. 60 cm breite, umlaufende Loggien- und Balkonzone erlaubt durchgängig raumhohe Verglasungen, die großflächig geöffnet werden können. Als Sonnenschutz wurden bei den Fenstern und Fenstertüren außenliegende Senkrechtmarkisen mit Motorantrieb nach Vorgabe der Architekten montiert.

Im Süden erweitert sich diese Zone auf bis zu 3 m Tiefe und schafft so den Wohnungen zugeordnete, qualitativ hochwertige Freiräume.

Der Bodenbelag dieser individuell nutzbaren Freiräume besteht aus fugenoffen verlegten Rosten aus unbehandeltem Lärchenholz und das Balkongeländer wird durch individuell verschiebbare Lochblechpanelle ergänzt.

Somit können sich die BewohnerInnen selbst den Grad der visuellen Durchlässigkeit bei Ihren Freiräumen bestimmen und bei Bedarf verändern.



Abbildung 1.12 Wohnpark Sandgrubenweg in Bregenz (Foto Rhomberg & Partner)

Insgesamt betrachtet geht es dem Bauträger und seinem Team darum mit einer konstruktiven und organisatorischen Struktur Räume zu ermöglichen, deren Spektrum „von großzügiger Offenheit bis zu uneinsehbaren Rückzugsräumen reicht“ [Rhomberg & Partner, 2007] und bei denen „sämtliche Materialien und Bauteile einer strengen baubiologischen, bauökologischen und bauphysikalischen Bewertung unterliegen.“ [BMVIT, 2006, S.4] Ein weiterer Aspekt bei der Realisierung von diesem Projekt war, dass die baulichen und organisatorischen Strukturen ein selbstbestimmtes Leben im Alter ermöglichen. Schwellenlose Raumverbindungen und ein überdurchschnittlich hohes Maß an natürlicher Belichtung ohne störende Blendungen tragen dazu bei, diesen Anspruch zu erfüllen.

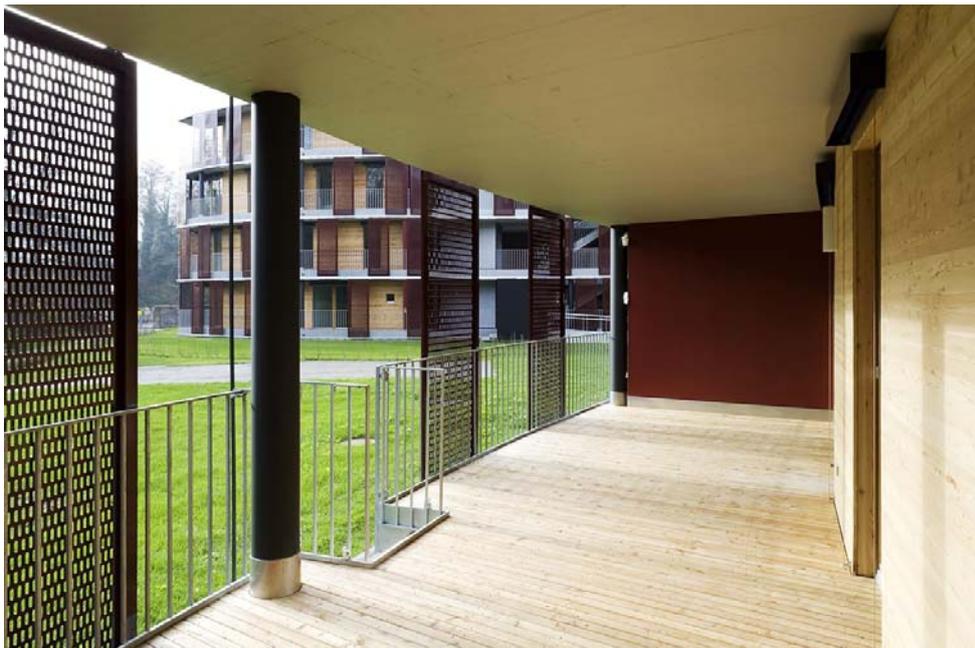


Abbildung 1.13 Wohnpark Sandgrubenweg in Bregenz (Foto Rhomberg & Partner)

## 1.5 Wohnpark Balance, Zürich-Wallisellen – Warme Hülle durch Solarfassade

Trotz der auf den ersten Blick nicht gerade attraktiven Lage im fluglärmgeplagten Agglomerationsgebiet Zürich war es das Bestreben des Schweizer Projektentwicklers Andreas Streich, preiswerte, anpassungsfähige und qualitativ gute Wohngebäude zu bauen. Dabei sollte das Prinzip der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit als Leitgedanke dienen.

Bei der Planung des Wohnparks war es das erklärte Ziel den Minergie-Standard zu erfüllen und ressourcenschonende Materialien zu verwenden. Die Gebäudehülle sollte so einfach sein, dass neu entwickelte Superdämmstoffe nachträglich eingebaut werden können. Der von den Architekten Haerle & Hubacher geplante und im Jahr 2001 fertiggestellte Wohnpark besteht aus 13 fünfgeschossigen Punkthäusern gleicher Größe.

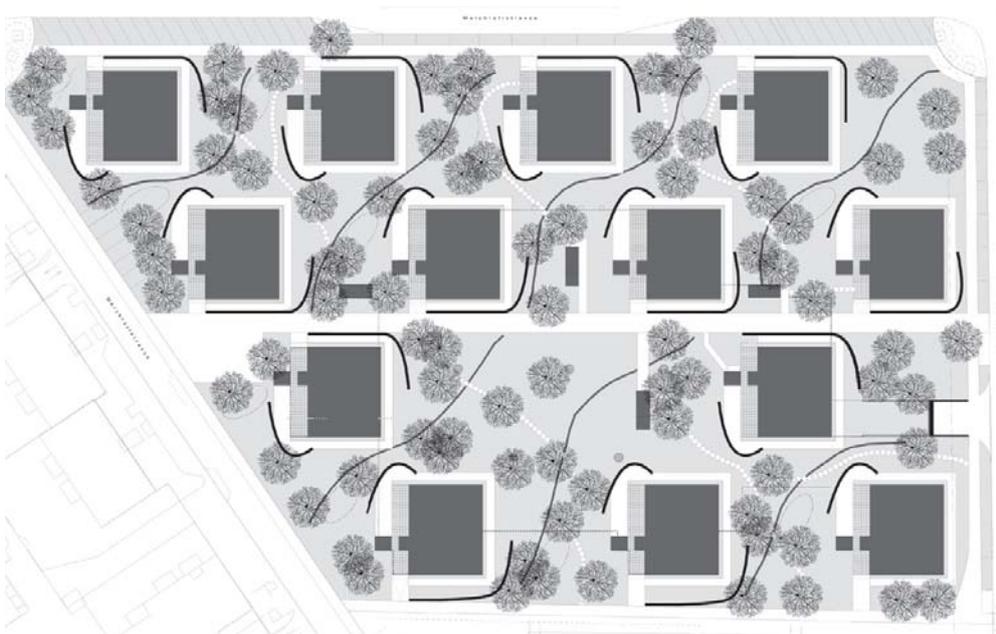


Abbildung 1.14 Wohnpark Balance in Zürich, Lageplan (Zeichnung Haerle & Hubacher)

Grundsätzlich ist je Geschoss eine relativ große Wohnung vorgesehen, die aber in zwei unabhängig begehbare Einheiten getrennt werden kann. Die Nutzungsmöglichkeiten reichen derzeit von kleinen Single- und Paarwohnungen bis zur 6 Personen-Wohngemeinschaft. Selbst die kleineren Wohnungen sind dreiseitig belichtet und ermöglichen dank der klaren Grundrisstypologie eine vollkommen individuelle Raumgestaltung.

Die vertikale Erschließung erfolgt mit einem Treppenturm, der als separater Baukörper das Wohnhaus „tangiert“ und somit nicht in das räumliche und konstruktive Gefüge der „gestapelten Wohnflächen“ eingreift. Der Treppenturm könnte bei Bedarf in gleicher Weise mit einem Liftturm ergänzt werden.

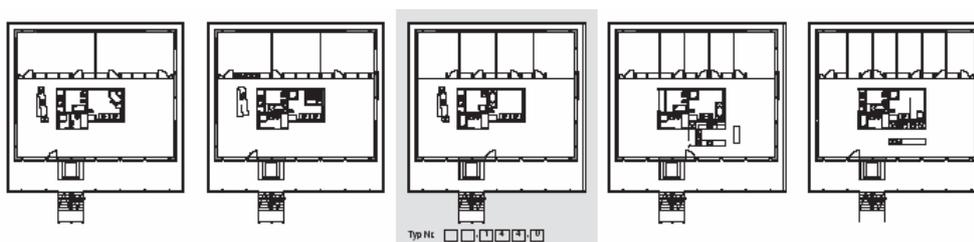


Abbildung 1.15 Wohnpark Balance in Zürich, Grundrisse (Zeichnung Haerle & Hubacher)

Hansruedi Preisig, Dozent an der Züricher Hochschule Winterthur und Mitglied der SIA Kommission für Nachhaltiges Bauen hat zusammen mit Katrin Pfäffli diesen Wohnpark ausführlich analysiert.

*„Schon in der Planungsphase wurden bei diesem Projekt frühzeitig die Voraussetzungen geschaffen, die Forderungen der Nachhaltigkeit im Gesellschaftsbereich zu erfüllen.*

*Die geschickte Situierung der Baukörper, die sorgfältige Architektur und die veränderbare Grundrissdisposition erlauben die Nutzung der Geschosswohnungen durch unterschiedlichste Haushaltsformen und für vielfältige Nutzungen.*

*Die Veränderbarkeit der Grundrisse, die Möglichkeit zur Abtrennung einer Einliegerwohnung oder die Unterteilung der gesamten Wohnung in zwei unabhängige Wohnungen, die Mitsprachemöglichkeit der Käuferschaft beim Ausbaustandard sprechen unterschiedliche Menschen in unterschiedlichen Situationen an; dadurch wird eine soziale Vielfalt innerhalb der Siedlung gefördert. Mitbestimmung und Mitgestaltung prägten die gesamte Verkaufspraxis. Auf diese Weise wird erreicht, dass sich die Bewohnerinnen und Bewohner mit den Gebäuden identifizieren und dass sie sich diese aneignen ...“ [Preisig, 2004, S.34 ff]*

Die Gebäude sind so konzipiert, dass um das (temperierte) Kerngebäude ein sogenannter „Umgang“ führt, der sich bei einer Fassadenseite aufweitet und als großzügiger Balkon – oder besser gesagt: als wohnungseigener Freiraum genutzt werden kann.

*„Die Ausbildung des Umgangs zu einer raumhaltigen Schicht ermöglicht auf der gesamten Südseite einen großzügigen Balkon von 3 m Tiefe. Er lässt sich individuell gestalten und weist einen hohen Erlebnis- und Erholungswert auf. Die allseitigen Umgänge verursachen bei der Erstellung Mehrkosten. Diese werden jedoch durch vielfältige Nutzungen als Gerüst bei der Erstellung, als gesicherte Arbeitsplattform bei periodischen Unterhaltsarbeiten sowie durch den Gewinn als Außenraum kompensiert. Die höhere Anfangsinvestition führt damit zu niedrigen Lebenszykluskosten. Die Fassaden können dank der Umgänge laufend kontrolliert und ohne großen Aufwand gepflegt werden.“ [Preisig, 2004, S.34 ff]*



Abbildung 1.16 Wohnpark Balance in Zürich (Foto H.P. Preisig)

Der Kern des Baukörpers ist ein über alle Geschosse reichender Betonschacht der statische Aufgaben übernimmt und in dem die umfangreiche Haustechnik geführt wird. Die Geschossdecken bestehen ebenfalls aus Beton und werden außen von Holzstehern mitgetragen.

Die Außenwände bestehen aus Doppel T-Ständern, die mit Zellulose ausgeblasen wurden. Der Holzanteil in der Wand ist weniger als die Hälfte wie im herkömmlichen Rahmenbau und verbessert dadurch die Dämmeigenschaften erheblich.

Die Außenwandelemente wurden von allen Seiten mit der sogenannten „ESA-Solarfassade“ ergänzt. Die Gesamtstärke des Wandaufbaus liegt bei ca. 30 cm und erreicht einen statischen U-Wert (ohne Gewinne der Solarfassade) von  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Die in dieser Solarfassade verwendete Kartonwabendämmung wird in drei Farben eingesetzt und zwar in der Anordnung, dass jene Fassaden, die einen Hof bilden in jeweils der gleichen Farbe ausgebildet sind.

Spezielles Weißglas, das mit Glaspunkthalterungen an der Unterkonstruktion befestigt ist dient als leicht zu reinigender Witterungsschutz. Durch die Gewinne der Solarfassade wird der mittlere effektive U-Wert - über die gesamte Heizperiode betrachtet – deutlich verbessert. Bei Fassaden, die nach Norden orientiert sind, erfolgt eine Verbesserung auf  $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$  - südorientierte Fassaden erreichen annähernd  $0,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . [GAP-Solar, 2007]

In ihrer Analyse schreiben Preissig und Pfäffli: *„Die Baukörper des Wohnpark Balance gleichen großen Würfeln. Die hohe Kompaktheit der Bauten hatte tiefere Baukosten zur Folge, weil die Fassadenfläche, ein kostenintensives Bauteil verhältnismäßig klein ausfällt.*

*Die Modularität und einfache Montage der verschiedenen Schichten der Fassade mittels Schraubverbindungen ergeben eine preisgünstige Konstruktion, die kaum Abfälle verursacht, neuen Wärmedämmforderungen einfach angepasst und am Ende der Lebensdauer wieder auseinander genommen werden kann.“* [Preissig, 2004, S.34 ff]



Abbildung 1.17 Wohnpark Balance in Zürich (Foto H.P. Preisig)

Vereinfacht kann gesagt werden, dass ein „nachhaltiges Gebäude“ so zu konstruieren ist, dass es neben geringem Energieverbrauch in Herstellung und Betrieb, die Möglichkeit bieten sollte, einzelne Komponenten mit einer kürzeren Lebensdauer auszutauschen bzw. zu erneuern. Dies ist nicht nur kostengünstiger, sondern erspart aufwändige und umweltbelastende Sanierungsarbeiten.

Diese Qualitäten und Möglichkeiten sind nach der Analyse von Preisig und Pfäffli bei der Wohnanlage gegeben, wenn sie schreiben: *„Die Außenwandkonstruktion kann auf verblüffend einfache Art und Weise neuen Forderungen angepasst werden: Die hinter der Verglasung zur Wärmepufferung angeordneten Kartonwaben lassen sich in Zukunft durch ein hochwärmegedämmtes neues System wie z.B. Vakuum-Isolations-Paneele einfach ersetzen. Die hohe Trennbarkeit erlaubt es, Schichten der Außenwand nicht nur kostengünstig, sondern auch wenig umweltbelastend auszuwechseln.“* [Preissig, 2004, S.34 ff]

## 2 „HAUS-DER-ZUKUNFT“ – DEMONSTRATIONSGEBÄUDE

### 2.1 WHA Spöttlgasse, Wien

- ★ Planung: Architekturbüro DI Prof. Riess
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Kulmer Bau GesmbH & Co KG
- ★ Entstanden aus dem Projekt „Holzbauweisen für den verdichteten Wohnbau“ an der TU Wien.  
Konstruktion, Tragverhalten: Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau  
Bauphysik: Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz  
Kostenanalyse, Projektkoordination: Schöberl & Pöll OEG
- ★ Erarbeitet wurden Konstruktionsvarianten für ein 5-geschoßiges Wohnbauprojekt mit 150 Wohneinheiten, das die Sozialbau, die größte österreichische gemeinnützige Bauvereinigung, in Wien errichtet hat.
- ★ Fundament, Garage und Erdgeschoß aus Beton, darüber bilden Massivholzplatten die tragende Struktur.
- ★ Der Anteil des Baustoffes Holz beträgt rund 65 Prozent, 1.025 vorgefertigte Wand- und Deckenelemente wurden in Tafelbauweise versetzt (ca. 2.500 Fichten mittlerer Größe).
- ★ Aus wärme- und schallschutztechnischen Gründen wird diese Holzstruktur außenseitig durch ein mineralisches Verbundsystem ergänzt, die Wohnungstrennwände sind in biegeweichen Vorsatzschalen aus Dämmplatten und Gipskarton eingebettet. Dieses Verfahren bedeutet: Holz ist im Endzustand zwar nur teilweise sichtbar, dennoch bildet es das konstruktive Innenleben der Wohnhäuser.



Abbildung: WHA Spöttlgasse im Rohbau (Quelle: HdZ-Bericht 34/2001)

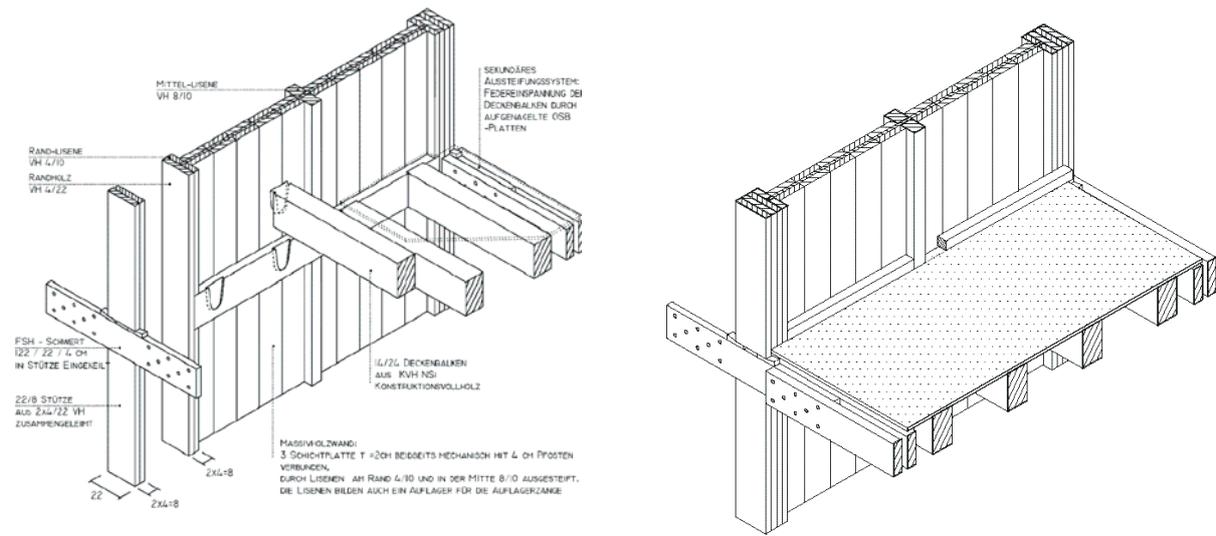


Abbildung: Montage Rohbau Knoten Wand – Decke mit Skelettstütze (Quelle: HdZ-Bericht 34/2001)

## 2.2 WHA Mühlweg, Wien (Passivhausstandard)

- ★ Planung: Dietrich / Untertrifaller Architekten ZT GmbH
- ★ Ausführende Holzbaufirma:
- ★ Ausführung in Holzmassiv-/Mischbauweise bei gleichzeitiger Umsetzung des Passivhaus-Standards im Kostenrahmen für sozialen Wohnbau.
- ★ Vorfertigung der gesamten Tragstruktur in Holz inklusive der Fassade, angeliefert mit eingebauten Fenstern bzw. Fenstertüren, Dämmung und Putzschicht.



Abbildung: gesamte Wohnhausanlage aus der Luft gesehen (Quelle: Dietrich / Untertrifaller Architekten)

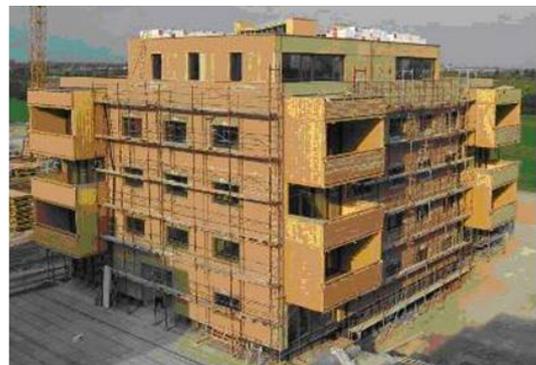


Abbildung: WHA Mühlweg als Visualisierung und im Bauzustand (Quelle: Dietrich / Untertrifaller Architekten)

## 2.3 WHA Esslinger Hauptstraße (Klima:Komfort)

- ★ Planung: Architekt DI Werner Hackermüller
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Leyrer & Graf Baugesellschaft m.b.H.
- ★ Neubau einer Wohnhausanlage bestehend aus 5 Passivhäusern
- ★ Demonstrative Umsetzung von 4 unterschiedlichen alltagstauglichen Passivhaus-Haustechniksystemen mit innovativem Einsatz von Alternativenergie zur Überprüfung auf Alltagstauglichkeit in einer Wohnanlage mit vier nahezu gleichen Baukörpern. Überprüfung des nachhaltigen Wohlfühlens und der Qualität durch mehrmalige TQ-Prüfung (Total Quality)
- ★ Viergeschossiger Holzrahmenbau, Vorfertigung zur Qualitätssicherung



Abbildung: WHA Esslinger Hauptstr. (Quelle: Arch. W. Hackermüller)



Abbildung: Baustellenfortschritt (Quelle: Arch. W. Hackermüller)

## 2.4 Büro- und Ausstellungsgebäude S-House, Böheimkirchen (Passivhausstandard)

- ★ Planung: Architekten Scheicher ZT GmbH
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Florian Hager GmbH
- ★ Passivhaus für begrenzte Nutzungsdauer, weitgehender Einsatz nachwachsender Rohstoffe, leichte Weiterverwendbarkeit und Recyclbarkeit.
- ★ Entwicklung und bauphysikalische Überprüfung von „Wandsystemen aus nachwachsenden Rohstoffen“, Vermeidung von metallischen Komponenten und fossilen Kunststoffen. Ein neues Befestigungselement aus Biokunststoff wurde entwickelt
- ★ Ökologische Baustoffe: vorgefertigte Holzmassivbauweise, Strohballendämmung, befestigt durch bionische Schrauben aus WPC (Wood Plastic Composites), Lehmputz, Strohspanplatten für den Innenausbau, Holzfenster, Natursteinböden



Abbildung: S-House (Sustainable-House), Böheimkirchen (Quelle: HdZ-Berichte 2/2005, 12/2006)



Abbildung: ökologische Materialwahl (Quelle: HdZ-Bericht 12/2006)

## 2.5 Bürogebäude Tattendorf (Passivhausstandard)

- ★ Planung: Architekt Prof. DI Reinberg, Dr. Karlheinz Hollinsky & Partner ZT GmbH
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Longin Holzbau GmbH
- ★ Büro-Passivhaus mit vielfältigen Lehmanwendungen
- ★ Kombination von Holzleichtbau mit Lehm:  
Vorgefertigte Wandelemente: Holzriegelkonstruktion (Doppelriegel) mit Strohdämmung und Beschichtung aus Biofaserlehm,  
Tramdecke mit Lehmziegellage (Dübelbaumdecke „Londyb“ mit Lehmziegellage),  
Vorteile von Holz-Leichtbau und Massivbau vereint: Hohe Wärmedämmung, geringe Wandstärken, hohe Wärmespeicherung
- ★ Einsatz von Trockenbau-Lehmplatten mit reibfertiger Lehmoberfläche als Alternative zu Gipskartonplatten mit besseren raumklimatischen Eigenschaften



Abbildung: Bürogebäude Tattendorf (Quelle HdZ-Bericht 29/2005)



Abbildung: Innenausbau (Quelle HdZ-Bericht 29/2005)

## 2.6 Gemeindezentrum Ludesch

- ★ Planung: Architekturbüro DI Hermann Kaufmann ZT GmbH
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Sutter Holzbau GesmbH und Wucher Holzbau GmbH & Co KG
- ★ Gemeindebau mit multifunktionaler Nutzung in Holzleichtbauweise aus heimischer Weißtanne
- ★ Sparsamer Umgang mit Grund, Boden und Energie, sinnvoller Einsatz von ökologischen und „gesunden“ Baumaterialien
- ★ Bauvorhaben wurde trotz zusätzlicher ökologisch motivierter Investitionen im üblichen Kostenrahmen umgesetzt (Mehrkosten von ca. 2% gegenüber „konventioneller“ Ausführung)
- ★ Beispielgebendes Modell für die konsequente Ökologisierung von öffentlichen Ausschreibungen; Transparenter Nachweis der Kosteneffizienz



Abbildung: Innenansichten (Quelle: HdZ-Bericht 51/2006)



Abbildung: Gemeindezentrum Ludesch (Quelle: HdZ-Bericht 51/2006)

### 3 DEMONSTRATIONSGEBÄUDE MIT UNBEHANDELTEN HOLZFASSADEN

#### 3.1 Sport- und Erholungsgebäude des Polizeisportvereins, Wien - alte Donau

- ★ Planung: Arch. Treberspurg und Partner ZT GmbH
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Florian Hager Holzbau GesmbH, Ybbstaler Holz & Bau GmbH
- ★ Zweigeschossiger Holzskelettbau in Niedrigenergiebauweise
- ★ Gute Einfügung in das Umfeld durch Holzfassade und passenden Baukörper
- ★ Kreislaufwirtschaft / Wiederverwendung von Bauteilen: Nutzung bestehender Fundamente und Stiegen und der fast neuwertigen Sportkegelbahn
- ★ Fassade aus unbehandeltem sägerauhem Lärchenholz
- ★ Einsatz natürlicher Baustoffe mit niedrigem Energiegehalt



Abbildung: Polizeisportverein, Wien. Foto Treberspurg & Partner Architekten Ziviltechniker

### 3.2 Passivhaussiedlung, Winklarn bei Amstetten

- ★ Planung: Arch. Poppe\*Prehal Architekten ZT GmbH
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Obermayr Holzkonstruktionen GmbH
- ★ unbehandeltes Lärchenholz bei Fassade (ev. auch bei Terrassenbelag), Leistenfassade mit Rechteckprofilen (3 cm Dicke, 4,5 cm Ansichtsfläche, 1,5 cm Fuge), fast gleichmäßige Vergrauung an allen Fassadenseiten (optisch angenehmer Eindruck), Leisten auf Konterlattung von hinten befestigt, Konterlattung direkt auf U-Konstruktion befestigt -> daher von außen keine Befestigung sichtbar
- ★ Sockelbereich: ca. 10 cm Abstand zum Geländeniveau. Die untersten drei Leisten werden wegen der intensiveren Bewitterung einen rascheren Verschleiß aufweisen und ein kürzeres Intervall für Instandhaltung und Instandsetzung benötigen. Daher sind diese Leisten sichtbar von außen an die Konterlattung geschraubt.



Abbildung: Wohnhausanlage Winklarn. Fotos: Ulla Ertl

### 3.3 FH Wieselburg, Wieselburg

- ★ Planung: neubau architektur
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Deseyve Baumeister Zimmermeister
- ★ Unbehandelte Lärche, starke Unterschiede bei Vergrauung der Fassade bes. bei Wetterseite Fassade verglichen mit Wetter abgewandten Seite und Fensterleibung



Abbildung: FH Wieselburg. Fotos: Ulla Ertl



Abbildung: FH Wieselburg. Details: Befestigung, Eckausbildung, Vergrauung. Fotos: Manuel Schweizer

### 3.4 EFH Graf, Wieselburg

- ★ Planung: Architekt DI Ernst Beneder
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Ing. Pöchlacker GmbH
- ★ Fertigstellung 2002
- ★ NÖ Holzbaupreis
- ★ Fassade: Unbehandeltes Lärchenholz (4 cm Dicke, 4 cm Ansichtsfläche), Leistenfassade mit Rautenprofil (Neigung 30°), Gleichmäßige Vergrauung der Fassade, vertikale Stoß- und Eckfugen stumpf gestoßen (Das Holzbauunternehmen gab an, dass die Eckfugen bei Leistenfassaden mittlerweile nicht mehr stumpf gestoßen werden, sondern eine 5 bis 10 mm breite Stoßfuge vorgesehen wird).
- ★ Problem bei Fensterrollkästen: Befestigung (Schrauben) weniger tief verankert, daher leichte Verdrehung der Leisten.



Abbildung: EFH Graf. Fotos: Manuel Schweizer



Abbildung: EFH Graf. Fotos: Manuel Schweizer

### 3.5 EFH Hochenauer, Melk

- ★ Planung: Martin Rührschopf Architektur
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Zimmerei Stierschneider
- ★ Materialien wurden konsequent nach ökologischen Kriterien gewählt: Ziegel für das Sockelgeschoss, Holz, Zellulose, Lehmputz im Wohngeschoss
- ★ Energieeffiziente und ökologische Holzbauweise, die vorgefertigten Bauteile wurden mit einer hinterlüfteten Lärchenfassade verkleidet



Abbildung: EFH Hochenauer (Quelle: Martin Rührschopf)



Abbildung: EFH Hochenauer (Quelle: Martin Rührschopf)

## 4 DEMONSTRATIONSOBJEKTE MIT FASSADENPLATTEN

### 4.1 MFH Brunn am Gebirge

- ★ Planung: A-plus architektur plus projektmanagement ZT GmbH
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Schwab Hermine GesmbH
- ★ Die Leichtbauweise des aufgesetzten Mehrfamilienhauses ist ein dreigeschossiger Holzständerbau (Holzrahmenbau mit Brettschichtdecken und Kreuzlagenholz-Trennwänden) in mehrschichtiger Fertigteilbauweise
- ★ kontrastreiche Fassadengestaltung durch einen orangen Silikatputz und rote Echtholz-furnierplatten



Abbildung: MFH Brunn am Gebirge (Quelle: Bau.Energie.Umwelt Cluster\_ecoplus GmbH\_Heinrich Hermes)



Abbildung: MFH Brunn am Gebirge (Quelle: Bau.Energie.Umwelt Cluster\_ecoplus GmbH\_Heinrich Hermes)

## 4.2 Pensionisten- und Pflegeheim in Stockerau

- ★ Planung: Architekt Zieser ZT GmbH
- ★ Ausführende Holzbaufirma: Grossmann Bau GmbH & CO KG
- ★ Das LPPH Stockerau ist das erste dreigeschossige Vollholzgebäude Niederösterreichs
- ★ mittels eines detaillierten Brandschutzkonzeptes sowie einer im Aufbau optimierten mehrschichtigen Konstruktionsweise wurde die Gleichwertigkeit der gekapselten Vollholzkonstruktion für die tragenden Wände im Sinne der Brandwiderstandsdauer für 90 Minuten nachgewiesen
- ★ im Pflgetrakt hinterlüftete Fassade, Holz-Mehr-Schichtplatten B1, mit trennenden Alu-Blechstreifen (schützt die Holzkanten und verhindert eine evtl. Brandausbreitung im Fassadenzwischenraum)



Abbildung: Pensionisten- und Pflegeheim Stockerau (Quelle: Zieser Architekt, © Rupert Steiner)



Abbildung: Pensionisten- und Pflegeheim Stockerau, Innenansicht (Quelle: Zieser Architekt, © Rupert Steiner)

## 5 THERMOHOLZ-DEMONSTRATIONSOBJEKTE

### 5.1 Stora Enso Timber AG, Sägewerk Ybbs

- ★ Planung und Ausführende Holzbaufirma: Ing. Pöchlhammer GmbH
- ★ Bürogebäude (1,5 Jahre alt) und Werkshalle (3 Jahre alt) mit unterschiedlichem Thermoholz-Fassadensystem versehen
- ★ Bürogebäude: Thermoholz Fichte, behandelt mit Jotun-Anstrich, geschlossene Profilbretterfassade
- ★ Werkshalle: 3 verschiedene Profile, alle Thermoholz Fichte, alle behandelt mit Jotun-Anstrich, alle geschlossene Profilbretterfassade, 1 x gebürstetes, aufgerautes Holz (gesamte Längsfassade)
- ★ Anstriche für Thermoholz: von Fa. Jotun, zähflüssiger Anstrich, längerer Verarbeitungszeit (Trocknungszeit 24 h statt 3 h), aber dafür Wartungsintervall länger (ca. 6 statt 3 Jahre)



Abbildung: Außenansicht der Fa. Stora Enso (Fotos: Ulla Ertl)

## 5.2 EFH Ybbs

- ★ Planung und Ausführende Holzbaufirma: Ing. Pöchlhammer GmbH
- ★ Fertigstellung Gebäude 2007
- ★ Fassade: Thermoholz Fichte, behandelt mit Jotun-Anstrich, geschlossene Profilbretterfassade (2,5 cm Dicke, 7 cm Ansichtsfläche), Besonderheit: Fassade vor Eckfenster ausgespart (jedes 2. Brett) weiter gezogen



Abbildung: Detailaufnahme der Fassade (Foto: Manuel Schweizer)



Abbildung: EFH Ybbs (Foto: Hannes Buschenreithner)

### 5.3 EFH Wieselburg

- ★ Planung und Ausführende Holzbaufirma: Ing. Pöchhacker GmbH
- ★ Fertigstellung Gebäude 2005
- ★ Fassade: unbehandeltes Thermoholz Fichte sowohl bei Fassade als auch Terrassenbelag, leichte unregelmäßige Vergrauung (optisch nicht störend), Leistenfassade mit Rautenprofil (3,3 cm Dicke, 4 cm Ansichtsfläche)



Abbildung: EFH Buchecker. Fotos: Ulla Ertl

## 6 EICHENHOLZ-DEMONSTRATIONSOBJEKTE

Ein Niederösterreichisches Beispiel für eine Holzfassade aus unbehandeltem Eichenholz ist die Produktionshalle der Tischlerei Böhm-Mitsch aus Spannberg, die 2005 errichtet wurde.

Weitere Beispiele für den Einsatz von Eichenholz sind [Neumüller et al., 2004]:

- ★ Holzsteg in Rapperswil am Zürichsee (2001): 841 Meter Gehebene als Trägerrost (12 mm Abstand) aus unbehandeltem Eichenholz. Pfählung aus 233 Eichenstämmen.
- ★ Fußgänger-Hängebrücke „Santa Lucia“ in Bleiburg, Kärnten (2003). Querträger und Tragbelag aus unbehandeltem splintfreiem Eichenholz
- ★ Bürogebäude „Datarius“ in Höfen, Tirol. Fassade aus unbehandeltem Eichenholz (mit Dachüberstand). Türen Treppen und Möbel aus Eiche.
- ★ Freilufttheater „Globe theatre“ in Rom (2003). 3-stöckiges Gebäude mit ca. 50 m Durchmesser in Eichenkonstruktion.
- ★ Hochschule für Holzwirtschaft in Biel, Schweiz (1999). Hinterlüftete Fassade aus unbehandelten Eichenholzplatten (mit Dachüberstand).
- ★ Kirche in Schneverdingen, Deutschland (2000). Fassade aus unbehandelten Eichenbrettstapel ohne Dachüberstand (Plus-Minus-Oberfläche)
- ★ Multifunktionale Lattenroste (wiederverwendbar, leicht zu transportieren und zu verlegen): Befestigung von Fuß- und Fahrwegen und von temporären Parkplätzen oder Veranstaltungsarealen.
- ★ Rathaus Markgröningen, Deutschland (1441). Schönster Fachwerkbau Süddeutschlands, unterste 3 Geschoße aus Eichenholz
- ★ Schloss Diessenhofen, Schweiz. Umbau der 900 Jahre alten Eichenholzkonstruktion. Das Holz konnte größtenteils wiederverwendet werden.
- ★ Traditionelle Bauernhäuser im Bregenzerwald [Peer, 2006]: Die auf dem Fundament aufliegenden Bundpfetten wurden aus Eichenholz ausgeführt, da sie in Bezug auf Feuchtigkeitseinwirkung die empfindlichsten Bauteile der Holzkonstruktion sind.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Vergrauung von unbehandelten Eichenholzfassaden:



*Abbildung.1 Eichenholzfassade unbehandelt beim MFH Sigmundhaus in Wien 19, Arch. H. Rieß (Foto M. Schweizer)*



*Abbildung.2 Eichenholzfassade unbehandelt beim MFH Sigmundhaus in Wien 19, Arch. H. Rieß (Foto M. Schweizer)*

## 7 KÜNSTLICH VERGRAUTE HOLZFASSADEN

### 7.1 Wohnhaus in Konstanz, Baujahr 1999



Abbildung.1 Leistenschalung mit grau pigmentierter Lasur (Foto M. Schweizer, 2006)

## 7.2 Sankt Franziskus Kirche in Wels



Abbildung.2 Sankt Franziskus Kirche in Wels (Foto M. Schweizer)



Abbildung.3 Sankt Franziskus Kirche in Wels (Foto M. Schweizer)



*Abbildung.4 Sankt Franziskus Kirche in Wels (Foto M. Schweizer)*

## **TEIL C**

# **KONZEPTIONELLER ENTWURF FÜR EINEN ANPASSUNGSFÄHIGEN UND RESSOURCEN- ORIENTIERTEN WOHNBAU IN HOLZBAUWEISE**

bearbeitet von Arch. DI Manuel Schweizer

Architekturbüro Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH

Intention:

*Die Gestaltung einer stets unfertigen, stets werdenden und sich immer weiter bildenden Zeit steht in einem inneren Widerspruch zu der Form, die immer etwas Fertiges, Abgeschlossenes und Endgültiges sein will. (Martin Wagner, 1932)*

Ein konzeptioneller Entwurf für einen anpassungsfähigen und ressourcenorientierten Wohnbau hat den Vorteil, dass für ein möglichst breites Spektrum an relevanten Fragestellungen praxistaugliche Lösungsvorschläge erarbeitet werden und diese nicht durch projektspezifische Parameter eingeengt werden. Ergänzend dazu sehen wir es aber auch als sinnvoll an, wenn aus diesen Überlegungen ein konkretes Projekt entwickelt werden kann. Denn nur das konkrete Projekt erlaubt eine Überprüfung.

*„Gegenüber unverbindlichen Wohnwunschbefragungen ohne Erfahrungen mit anpassbaren Wohnkonzeptionen bringt die Ermittlung konkreter Wohnerfahrungen in anpassbaren Wohnbauten und ihr Einfluss auf die Wohnwünsche und Wohnzufriedenheit wichtige Aufschlüsse für die Fortentwicklung derartiger Modelle.“ [Werner, 1977, S.322]*

Die Frage, inwieweit ein Wohnbau als Holzkonstruktion, welcher flexibel auf individuelle Bedürfnisse und auf soziale Veränderungen reagieren kann, ein Modell für die nächste Zukunft sein kann, lässt sich nur dann realistisch beantworten, wenn sich empirische Forschungen daran anschließen.

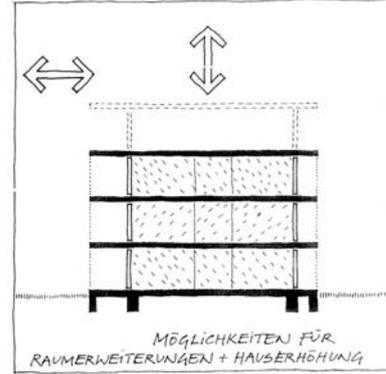
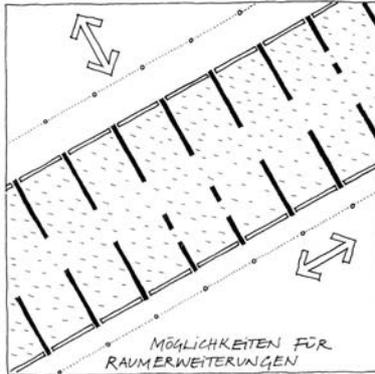
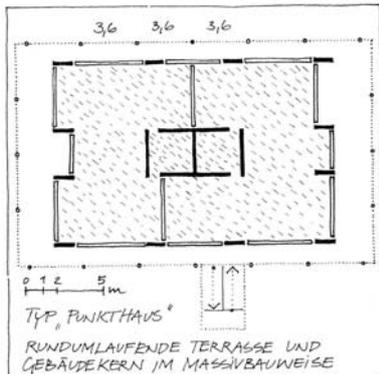
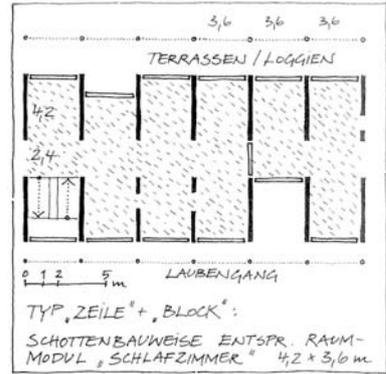
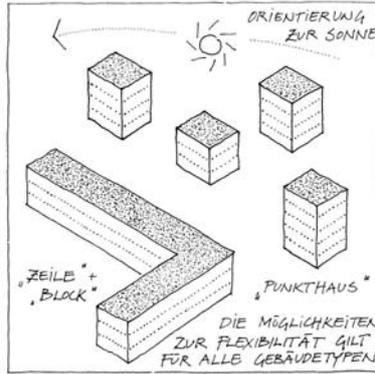
*„Um dabei zu relevanten, weiterführenden Erkenntnissen zu gelangen, müssen Experimentalbauten als lohnende Objekte für die empirische Forschung entstehen. Sie können darüber hinaus als Prototypen für die Bauplanung und die Bauwirtschaft, sowie als Informations- bzw. Demonstrationsmodelle von Alternativen im Maßstab 1:1 für potentielle Nutzer dienen. Experimentalbauten müssen wie auf einem Prüfstand getestet werden, um Fehlinvestitionen zu vermeiden.“ [Werner, 1977, S.23]*

Ein konzeptioneller Entwurf ist ein erster Schritt für solche Experimentalbauten.

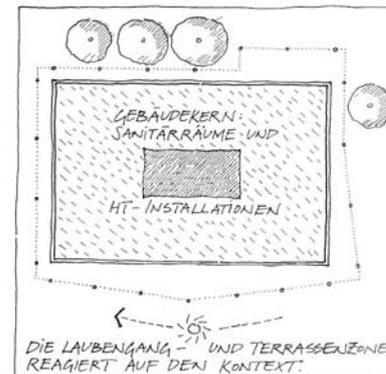
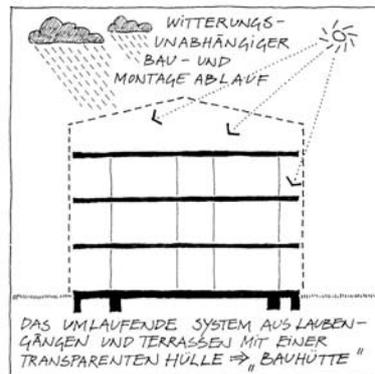
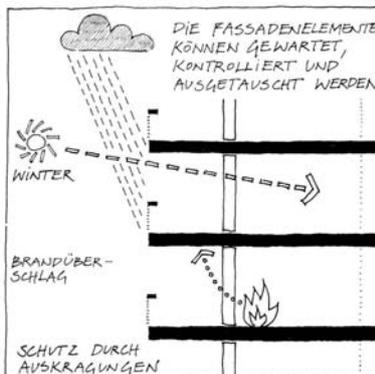
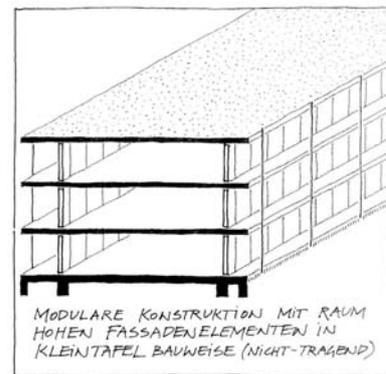
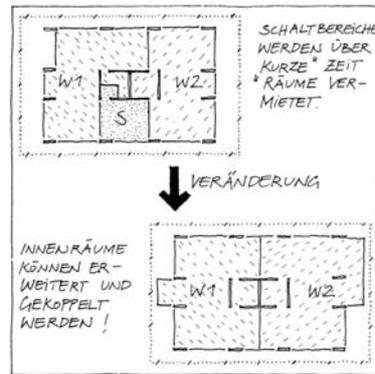
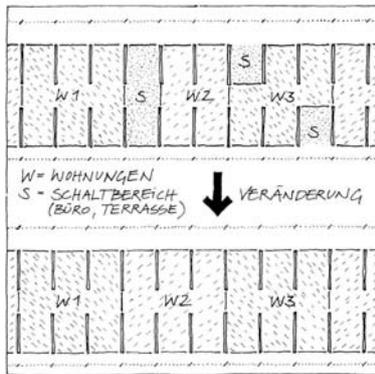
Wie in Kapitel 4 erläutert ist, sind die Haushalte in verstärktem Maße Änderungen unterworfen, die neben ihren Nutzungen vor allem die Anzahl und Art ihrer BewohnerInnen betreffen. Der im Folgenden skizzierte Entwurf soll räumliche und konstruktive Strategien aufzeigen, die sowohl bei einer punktförmigen Bebauung als auch bei einer Zeilen- und Blockbebauung anwendbar sind.

Der Gebäudetyp, der für die Zeilen- bzw. Blockbebauung eingesetzt werden kann, hat als einfachstes Konstruktionsprinzip die Schotenbauweise, bei der das Raummodul einem „gewöhnlichem“ Schlafzimmer mit zirka 4,2 m x 3,6 m entspricht. Jener Gebäudetyp, der sich für eine punktartige Bebauung eignet, hat neben einem zentralen Installations- und Sanitärkern eine tragende Struktur in Skelettbauweise als die kennzeichnenden Charakteristika.

Beide Gebäudetypen sollen ausreichend Möglichkeiten für Raumerweiterungen sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung ermöglichen. Dabei gilt es aber zu bedenken, dass auf Grund von sehr eingeschränkten Budgets, wie sie derzeit im geförderten Wohnbau üblich sind, die Erweiterungsmöglichkeiten bzw. die Flexibilität nur in jenen Bereichen angeboten werden, wo qualitative und quantitative Verbesserungen mit einfachen Konstruktionen und unkomplizierter Logistik in der Bauausführung möglich sind. Eine Terrassen- bzw. Loggiazone schafft nicht nur attraktive wohnungseigene Freiräume, sondern ist auch als „Reservefläche“ für Erweiterungen zu sehen.



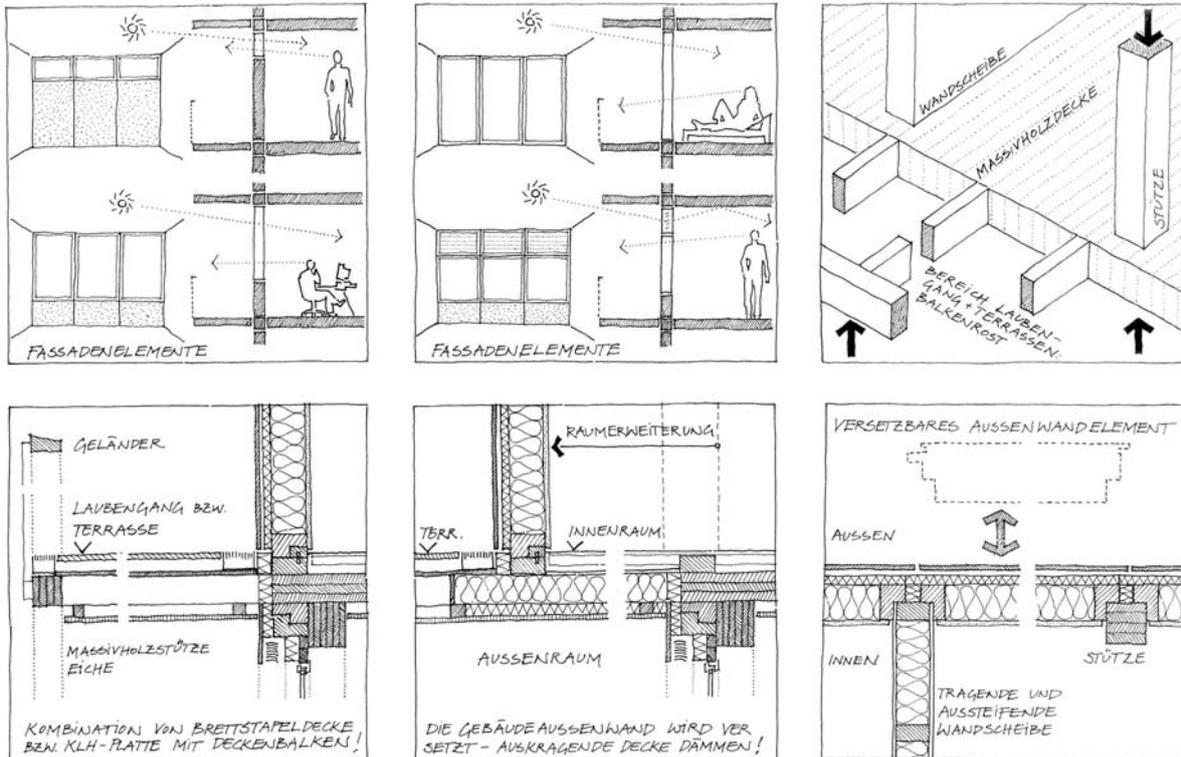
Das Potenzial der so genannten „Schaltbereiche“ (kurzfristig vermietbare Büros und Gemeinschaftsräume und Terrassen) kann allerdings immer nur dann genutzt werden, wenn benachbarte Wohneinheiten Entwicklungen haben, die miteinander korrespondieren. Somit ist diese Möglichkeit zur Wohnraumvergrößerung nur in sehr wenigen Ausnahmefällen einsetzbar. Zudem gilt es zu beachten, dass diese „Schaltbereiche“ nur über kurze Zeiträume vermietet werden dürfen, sodass absehbare Raumerweiterungen bei den benachbarten Wohnungen innerhalb einer realistischen Zeitspanne durchgeführt werden können.



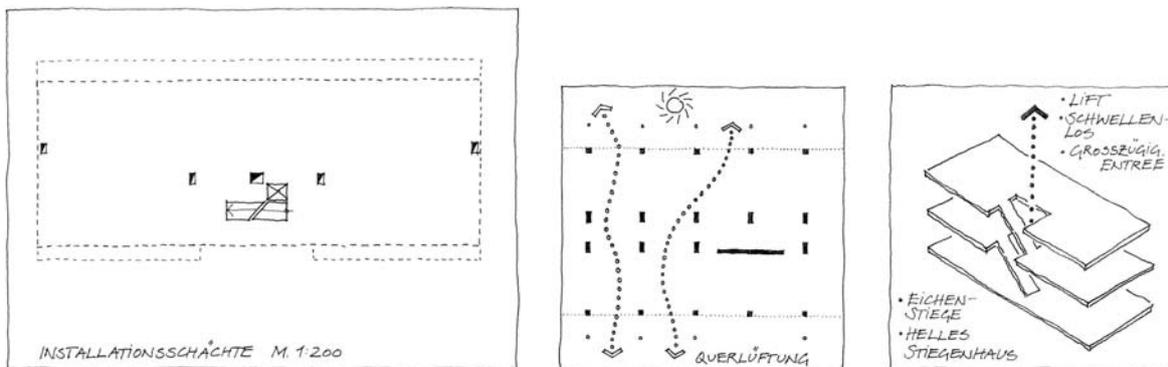
Die zum Teil weit ausragenden Terrassen dienen auch dem Witterungsschutz und können zudem für die Wartung der Fassadenelemente herangezogen werden. Werden diese Terrassen umlaufend ausgeführt, so verhindern sie Brandüberschlag, insbesondere dann, wenn diverse Teile davon in Eichenholz ausgeführt werden.

Bei hoch stehender Sommersonne erzeugen Terrassen, mit nach Orientierung angepassten Bautiefen, eine effektive und wartungsfreie Art der Verschattung.

Wenn die Laubengänge und Terrassen während der Bauphase mit einer transparenten Hülle ergänzt werden, entsteht ein witterungsgeschützter Montage-Ort, der eine sinnvolle Ergänzung zum System der Vorfertigung in der Halle garantiert.

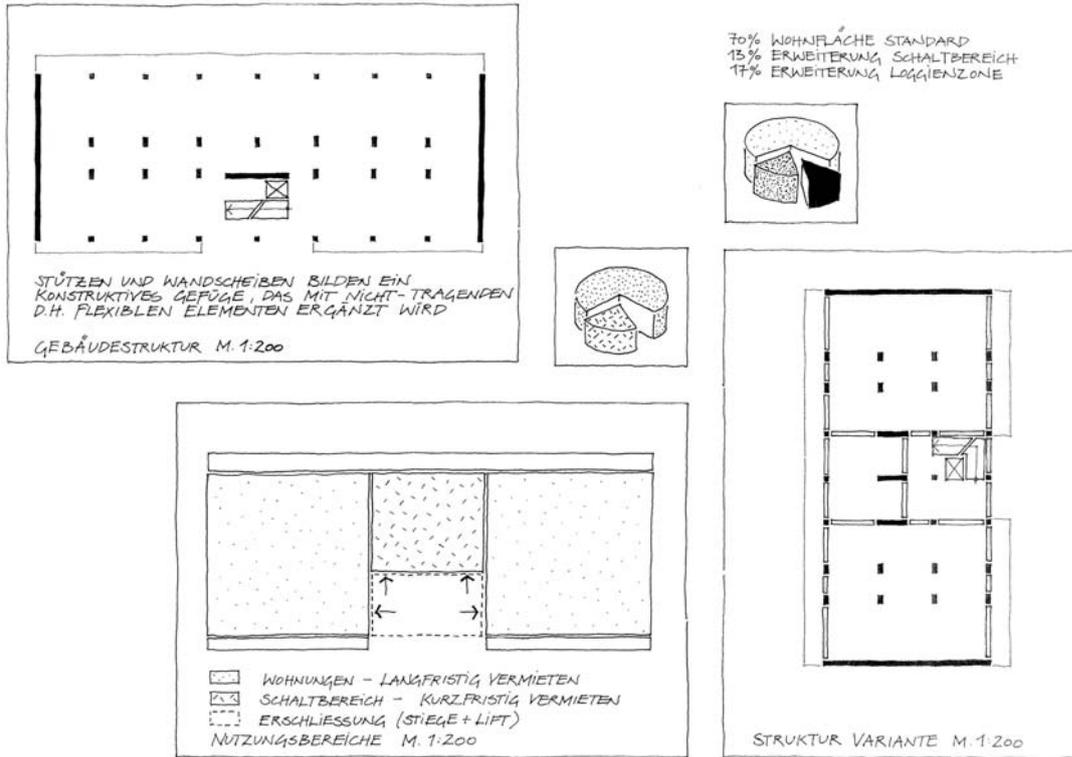


Die Fassade ist so konzipiert, dass diese in unterschiedlichen Qualitäten ausgeführt werden kann. Jede Nutzung stellt andere Ansprüche an Durchsicht, Lichtstreuung etc. Eine möglichst einfache Skelettkonstruktion, die mit wenigen Elementen, wie Platte, Stab und Riegel zusammengesetzt wird, bildet einen strukturellen Rahmen für Füllelemente, die einfach und schnell montiert und demontiert werden können. Wertvolle Raumerweiterungen lassen sich so im Bereich der Terrassen mit wenigen Ergänzungen realisieren.



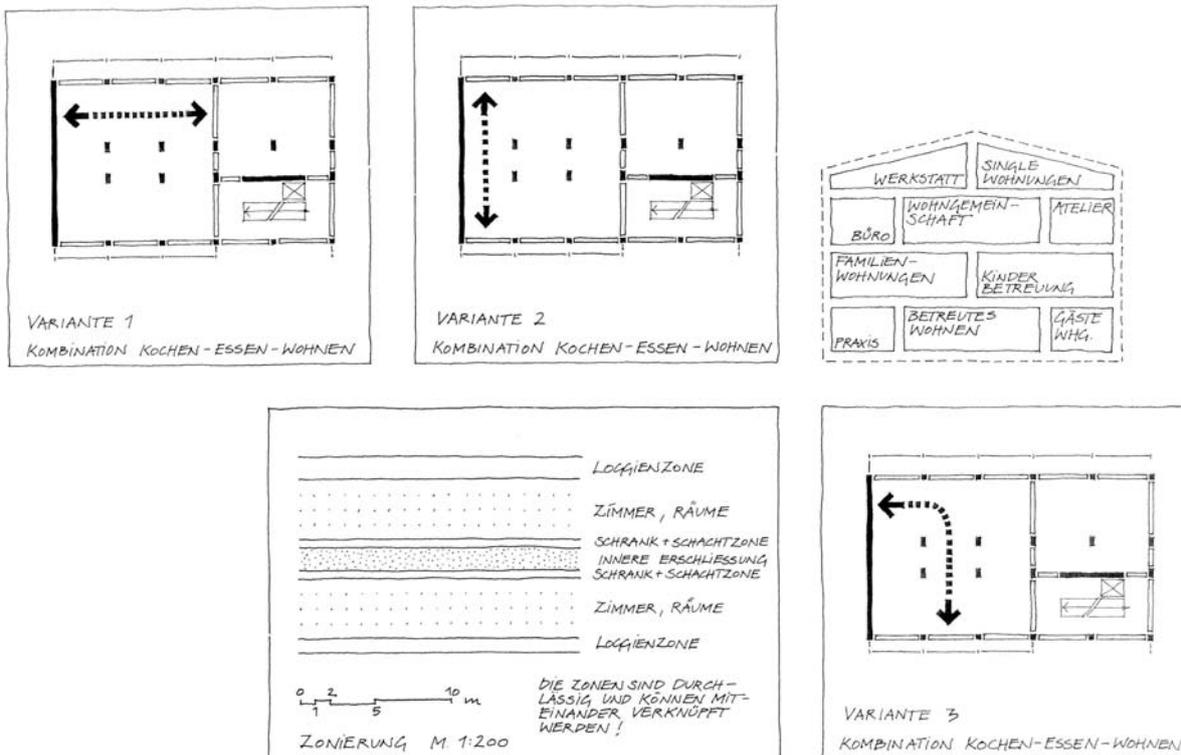
Wenige Installationsschächte und ein einfache, aber großzügige Art der Erschließung schaffen ausreichend freie Fläche, die unterschiedlich interpretiert werden kann.

Ausreichende Möglichkeiten zur Querdurchlüftung verhindern sommerliche Überwärmung. Diese konzeptionelle Qualität ist dann von Vorteil, wenn keine kontrollierten Be- und Entlüftungen bzw. keine Oberflächenkühlsysteme ausgeführt werden.

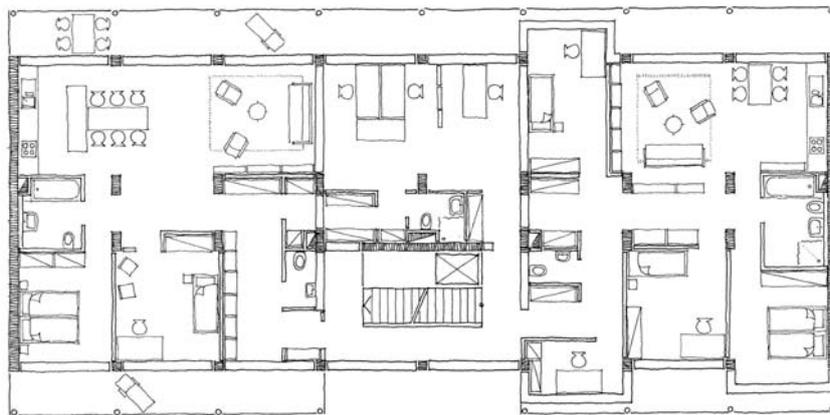
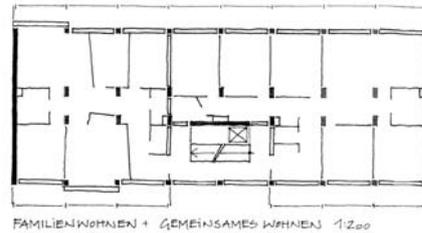


Die Kombination aus Schaltbereichen und Terrassen- bzw. Loggienzonen, die erkerartige Raumerweiterungen aufnehmen können, ermöglichen neben räumlichen Vergrößerungsmöglichkeiten auch die Voraussetzungen für einen vielfältigen Nutzungsmix, der bei attraktiven Wohn- und Siedlungsgebieten nicht zu unterschätzen ist. Die einfach nachvollziehbare Zonierung gewährleistet einerseits Übersicht und Klarheit und erlaubt andererseits verschiedene Arten der Innenraumorientierung. Dies ist hier am Beispiel der Nutzungsverschränkung „Kochen-Essen-Wohnen“ exemplarisch dargestellt.

So ist es möglich, innerhalb einer einfachen Struktur komplexe und einprägsame Orte zu schaffen, die ortsspezifische und programmatische Bindungen berücksichtigen.

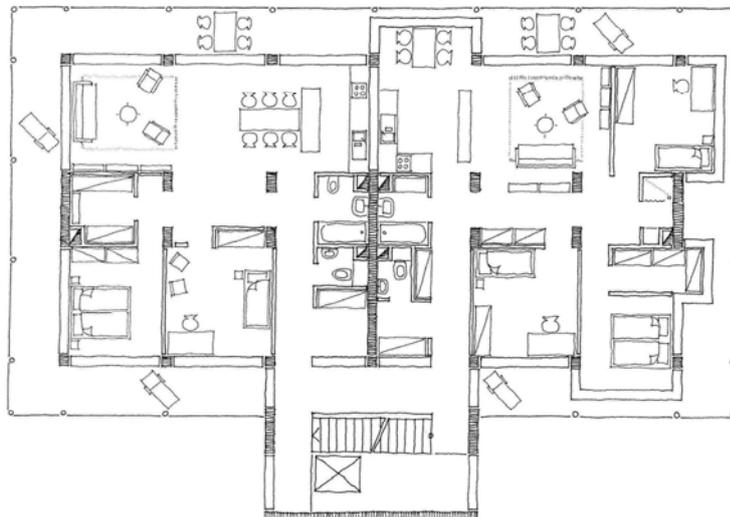
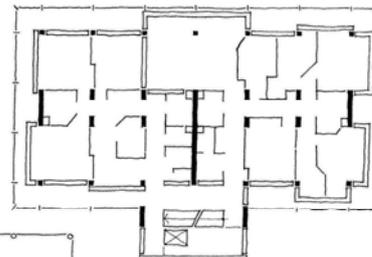


Die Terrassen- bzw. Loggienzone ist bei einem Gebäudetyp, der für die Zeilen- und Blockbauung geeignet ist, auf die Längsseiten beschränkt.  
Die Schalteinheit Büro wird immer nur für relativ kurze Zeiträume vermietet und kann auf absehbare Zeit jener Wohneinheit zugeschlagen werden, die diesen Raum benötigt.

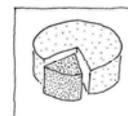


Bei einer punktförmigen Siedlungsstruktur kann die Terrassen- bzw. Loggienzone umlaufend angeordnet werden. Je nach Kontext ist diese Zone in ihrer Ausdehnung, Größe und Orientierung zu optimieren, denn anpassungsfähiger Wohnbau heißt nicht Flexibilität und Variabilität um jeden Preis. Aber oft genügen schon relativ geringe Vergrößerungsmöglichkeiten und Optionen für eine veränderbare Hülle, um der Ausdifferenzierung von Haushalts- und Wohnformen gerecht zu werden.

ORDINATION +  
GEMEINSAMES WOHNEN 1:200

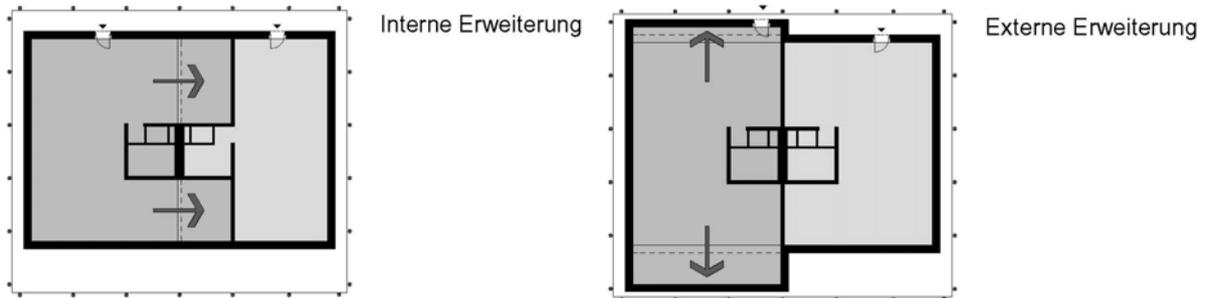


80% WOHNFLÄCHE STANDARD  
20% ERWEITERUNG LOGGIENZONE

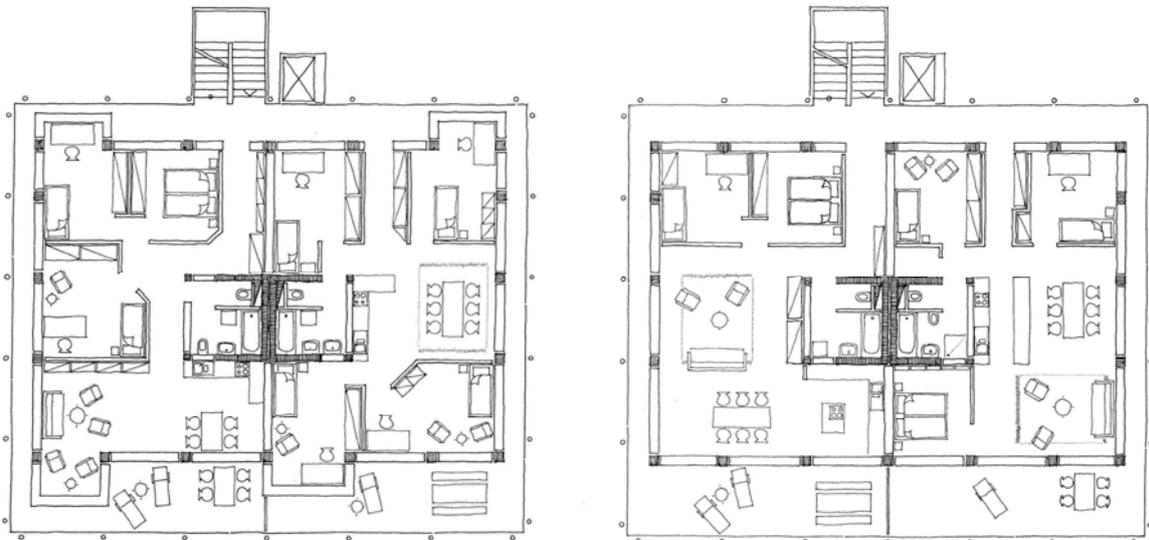


Nutzung und Erscheinungsbild:

Ein Gebäude sollte sowohl die Möglichkeit der internen als auch der externen Flexibilität anbieten. Interne Flexibilität heißt in diesem Zusammenhang die Veränderbarkeit innerhalb einer thermischen Hülle bzw. in einem unveränderlichen Volumen. Dazu gehören auch Erweiterungen, die in eine benachbarte Nutzungseinheit eingreifen, aber das Gebäudevolumen im Gesamten nicht verändern. In Ergänzung dazu bietet die externe Flexibilität quantitative und qualitative Veränderungen, die eine Gebäudehülle vergrößern bzw. verkleinern können, das heißt, das Volumen kann innerhalb einer konstruktiven Struktur variieren.



Neben technisch und statisch optimierten Konstruktionen, die von Baufirmen und Handwerkern durchgeführt werden, sollte es für die BewohnerInnen diverse Möglichkeiten geben, mit individuellen, veränderbaren, assoziativen Applikationen in das Erscheinungsbild einzugreifen. Die Holzbauweise mit ihren Bauelementen aus Massivholz und Holzwerkstoffplatten eignet sich dafür hervorragend.



Das Gebäude vermittelt bereits mit seiner signifikanten Primärstruktur im äußeren Erscheinungsbild Begriffe wie „Offenheit“ und „Erweiterbarkeit“.

Die einzelnen Baukörper können nach dem „Cluster-Prinzip“ zu größeren Einheiten zusammengefügt werden. Eine harmonische und maßstabsgerechte Einbindung in bestehende städtebauliche Situationen erfolgt so in selbstverständlicher Art und Weise.

Die unten dargestellten „Zwillingshäuser“ sind dreigeschossig und werden durch je einen Treppenturm mit Aufzug übersichtlich und einfach erschlossen.

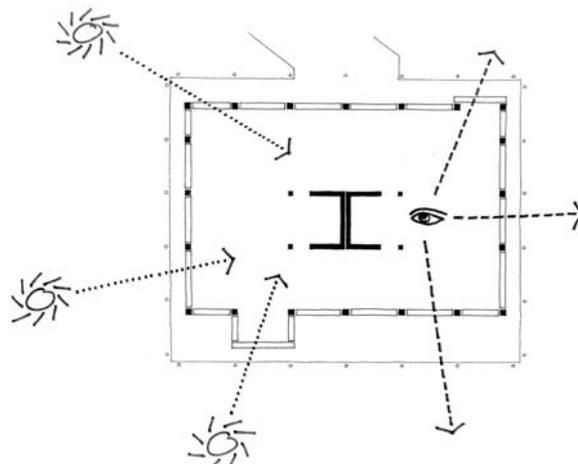


Räumliches System:

Die Gebäude sind aufgrund ihrer Holz-Skelettkonstruktion in der Nutzung anpassungsfähig. Die individuelle Interpretation innerhalb einer kollektiven Struktur wird dabei zu einem Leitgedanken. So besteht für den Bauträger die uneingeschränkte Möglichkeit, Wohnungen für unterschiedlichste Haushaltsformen bzw. Räume für variable Nutzungen anzubieten. Vorgefertigte Wandmodule mit 36 cm Wärmedämmung können über eine umlaufende Terrassen bzw. Loggienzone witterungsgeschützt und mit einfachen Verbindungsmitteln in die Holz-Skelettkonstruktion eingebaut werden.



Eine variable Fassadengestaltung eröffnet vielfältige Möglichkeiten, die den spezifischen Anforderungen angepasst werden können. Jedem Raum ist dabei ein adäquater Anteil der Freibereiche zugeordnet. Alle Räume verfügen über ausreichend Besonnung und damit über eine gute „Versorgung“ mit natürlichem Licht. Vielfältige und differenzierte Ausblicke schaffen dabei eine Wohnqualität, die jener eines Einzelhauses ebenbürtig ist.





Im Sinne einer größtmöglichen Differenzierung können sowohl klar definierte Innenräume, als auch fließend ineinander übergehende Raumbereiche geschaffen werden.

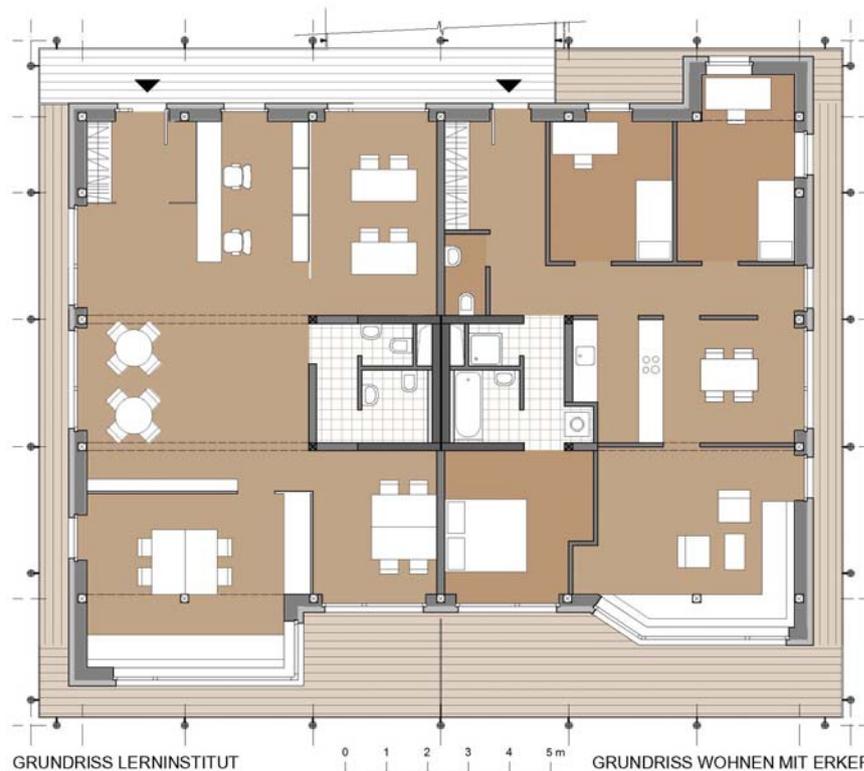


Wenn im Erdgeschoss z.B. aus Sicherheitsgründen keine Wohnungen situiert werden können, so besteht die Möglichkeit, diese Flächen für Geschäfte, Institute, Gemeinschaftsräume, Ateliers und spezifische Wohndienstleistungen zu nutzen.

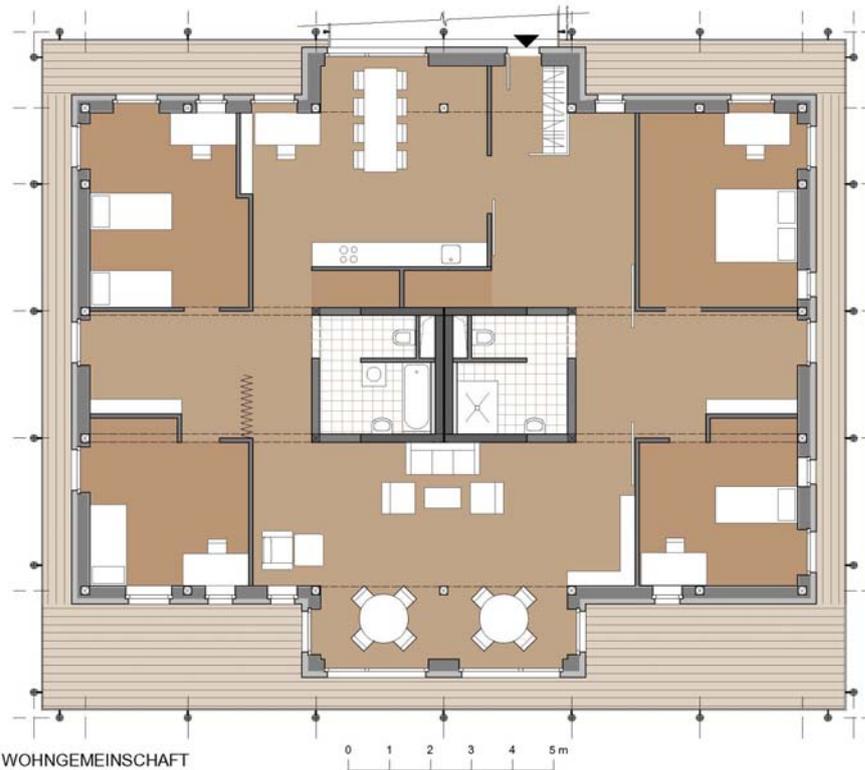
Im Hinblick auf drohende Zersiedlungstendenzen im ländlichen Raum muss das mehrgeschossige Wohnhaus auch Alternativen zum individuellen Einfamilienhaus bieten. Insbesondere bei einkommensstarken Gruppen sind differenzierte und außergewöhnliche Ansprüche zu erfüllen (wie z.B. ein zum Wellness / Fitness - Raum vergrößertes Badezimmer).



Bei den „fließenden Raumkonzepten“ werden lediglich Möbel und Paravents und niedrige Wände sowie Schiebeelemente zur Gliederung des Raumes herangezogen. Den Öffnungen in der Fassade kommt bei diesen Raumkonzepten eine besondere Bedeutung zu.



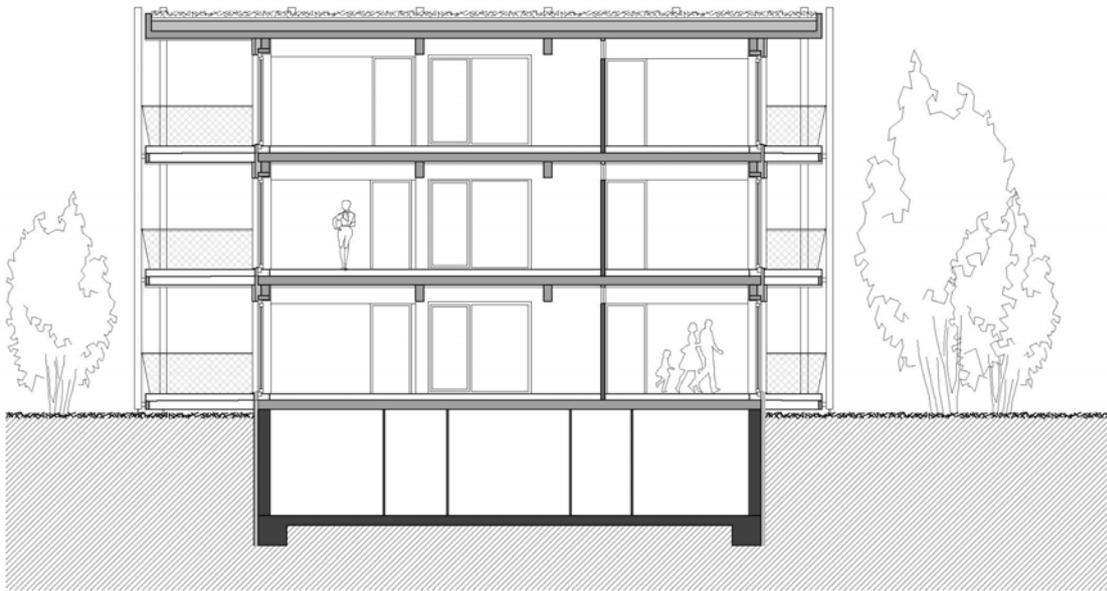
Der Erker als Erweiterung eines Raumes besitzt Raumqualitäten, die mit dem Flächen-gewinn allein nicht ausreichend beschrieben sind. Der Erker (und in spezieller Form der Wintergarten) stellt eine Vermittlungsstelle zwischen Innen und Außen dar. Er ist ein Element, das durch seine Kleinmaßstäblichkeit zur Identifizierung der Straßen- und Hausbenutzer mit dem Gebäude beiträgt. Darüber hinaus bieten Erker die Möglichkeit, die Räume auf der Windschattenseite querzulüften.



Das Modell der Wohngemeinschaft ist nicht nur bei jungen Menschen zwischen 20 und 35 Jahren attraktiv, sondern erfährt auch bei der „älteren Generation“ verstärkt Akzeptanz und Nachfrage. Ältere Menschen, die nach dem Verlust des Partners und mit einer isolierten Lebensweise nicht mehr glücklich werden, schätzen diese Art der Haushaltsführung.

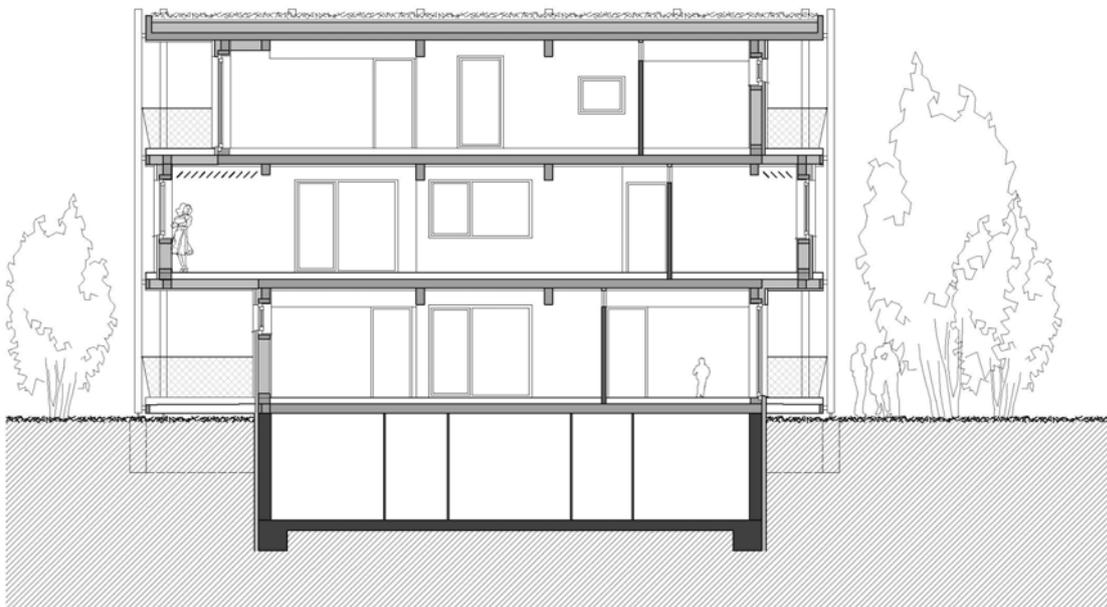


Das Gebäude ist so variabel, dass auch Büros (z.B. das oft genannte home-office), Ordinationen, Therapieräume, Labore, emissionsfreie Werkstätten etc. eingerichtet werden können. Diese Qualität der Nutzungsflexibilität und Erweiterungsfähigkeit ist empfehlenswert – besonders dann, wenn der infrastrukturelle Bedarf in Ortserweiterungsgebieten und Vorstädten zu erfüllen ist.



SCHNITT STANDARD

0 1 2 3 4 5 m



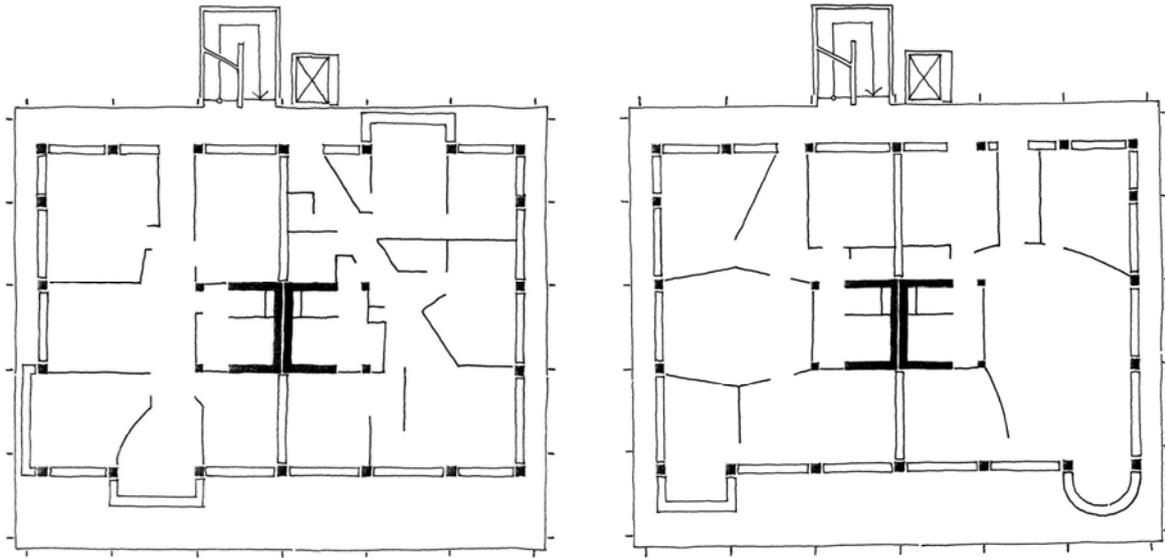
SCHNITT VARIANTE

0 1 2 3 4 5 m

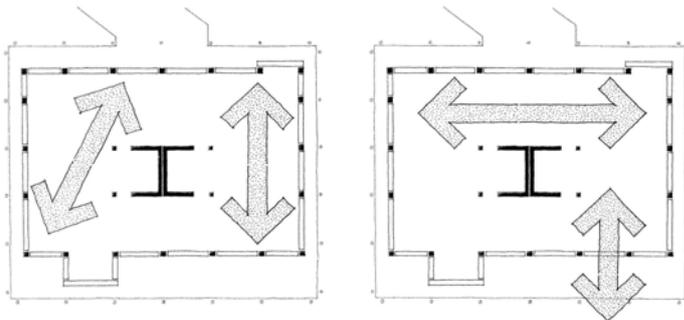
Im Querschnitt ist deutlich zu erkennen, wie die Lage und die Qualität (Ein- und Ausblicke Lichtdurchlässigkeit,) der Fassadenelemente, als die am stärksten wirksamen Raumbegrenzungen verändert werden können.

Die Unterzüge gliedern den Raum und bieten Orientierungshilfen für die Positionierung von raumtrennenden Wänden, Paravents, Möbeln und Schiebelementen.

Die Raumerweiterungen und besonders die Erker können eine etwas niedrigere Raumhöhe erhalten, die sich an der Unterkante der Holz-Unterzüge orientiert. Diese niedrigeren Deckenfelder können sowohl als opake abgehängte Decke, als auch mit perforierten oder transluzenten Materialien ausgeführt werden und bieten Möglichkeiten zum Einbau von indirekter Beleuchtung oder „versteckten“ Lautsprechern bei hochqualitativen Audioanlagen.



Diagonale Raumfolgen als Kombination von Fluren und Zimmern sowie zentrale Wohnräume als Verteiler zur unabhängigen Erschließung von sogenannten „Rückzugsräumen“ bieten den BewohnerInnen eine Summe an Variationsmöglichkeiten, die auch den Fachmeinungen von PlanerInnen diametral gegenüberstehen können.



ANSICHT SÜD

0 2 4 6 8 10m

Ein Kranz aus 10-12 m hohen Rundstützen definiert das äußere Volumen der Baukörper. Die einzelnen Geschossebenen erscheinen wie unabhängig voneinander in diesen „Stützen-Kranz“ eingehängt. Die Brüstungen sind aus einem feinmaschigen Netz zwischen die Stützen gespannt und können z.B. als Kletterhilfe für eine partielle Fassadenbegrünung herangezogen werden.

Diese Terrassen- und Loggienzone mit ihren individuellen Freiräumen dient somit als „visueller Filter“ gegenüber den dahinter liegenden Außenwandelementen.

Erschließung:

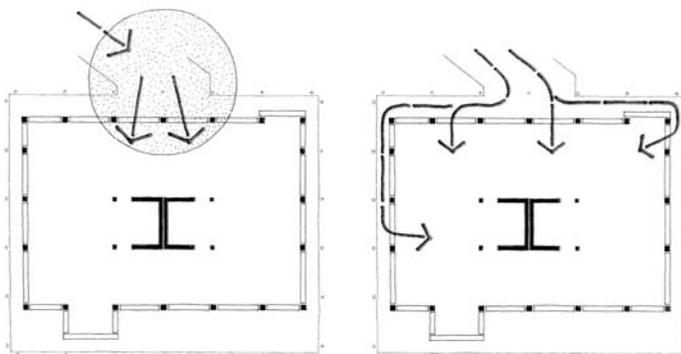
Die vertikale Erschließung der „Zwillingshäuser“ erfolgt mit einem Stiegenhaus, dem ein Aufzugsturm beige stellt ist. Diese sind als unabhängige Bauelemente ausgebildet und tangieren lediglich mit Brücken - als ihren horizontalen Ergänzungen - die beiden Gebäude. Sie greifen somit weder in das räumliche, noch in das konstruktive Gefüge der „gestapelten multifunktionalen Nutzflächen“ ein.



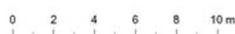
Die Treppenanlage ist so konzipiert, dass sich zwischen den Geschossebenen der beiden Gebäude ein halbgesschossiger Versatz ergibt. Die Unabhängigkeit in der Wahrnehmung der Gebäude bleibt so, trotz gemeinsamer Erschließung, in gewissem Maße gewahrt.

Dies ist relevant, da die den Eingängen vorgelagerten Flächen so bemessen sind, dass sich eigenständig identifizierbare Schwellenbereiche zwischen Öffentlich und Privat abbilden.

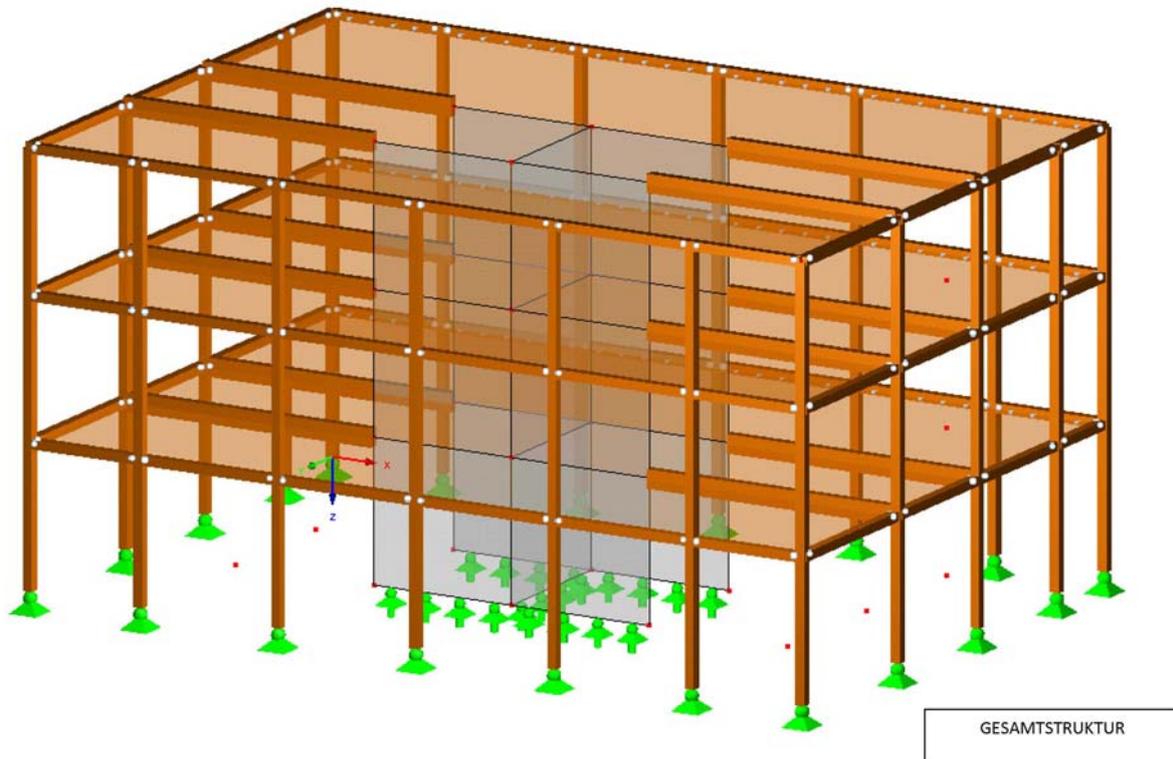
Die mit transparenten Platten witterungsgeschützten Brücken schließen an die Terrassen- bzw. Loggienzone an und ermöglichen diverse Arten von Zugangsmöglichkeiten. Dies wird dann interessant, wenn wohnungsbegleitende Büro- und Gewerbeflächen oder unabhängig begehbare Teilwohnbereiche (z.B. für Jugendliche oder SeniorInnen) erschlossen werden.



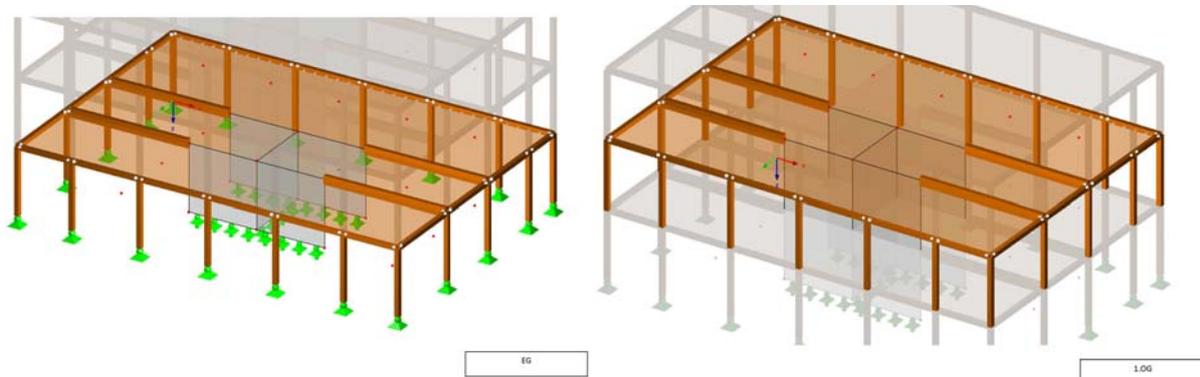
ANSICHT NORD



Statisches System:



Bei gegenständlichem Tragwerk handelt es sich um eine Holzskelettstruktur, die durch einen Stahlbetonkern ausgesteift wird. Die vertikale Lastabtragung erfolgt über die in Querrichtung einachsig gespannten Diagonaldübelholzdecken. Diese leiten die Kräfte mittels Unterzüge und Stützen zu den Fundamenten ab. Die horizontale Lastabtragung erfolgt durch Ausbildung der Holzdecken als schubstarre Scheiben, die die auftretenden Kräfte an den biege- und torsionssteifen Stahlbetonkern weiterleiten. Im Zuge der Detailstatik kann es zur Unterstützung der Deckenscheiben noch erforderlich werden, einzelne Stützen- und Unterzugverbindungen biegesteif auszubilden, um deren Rahmenwirkung zu aktivieren.



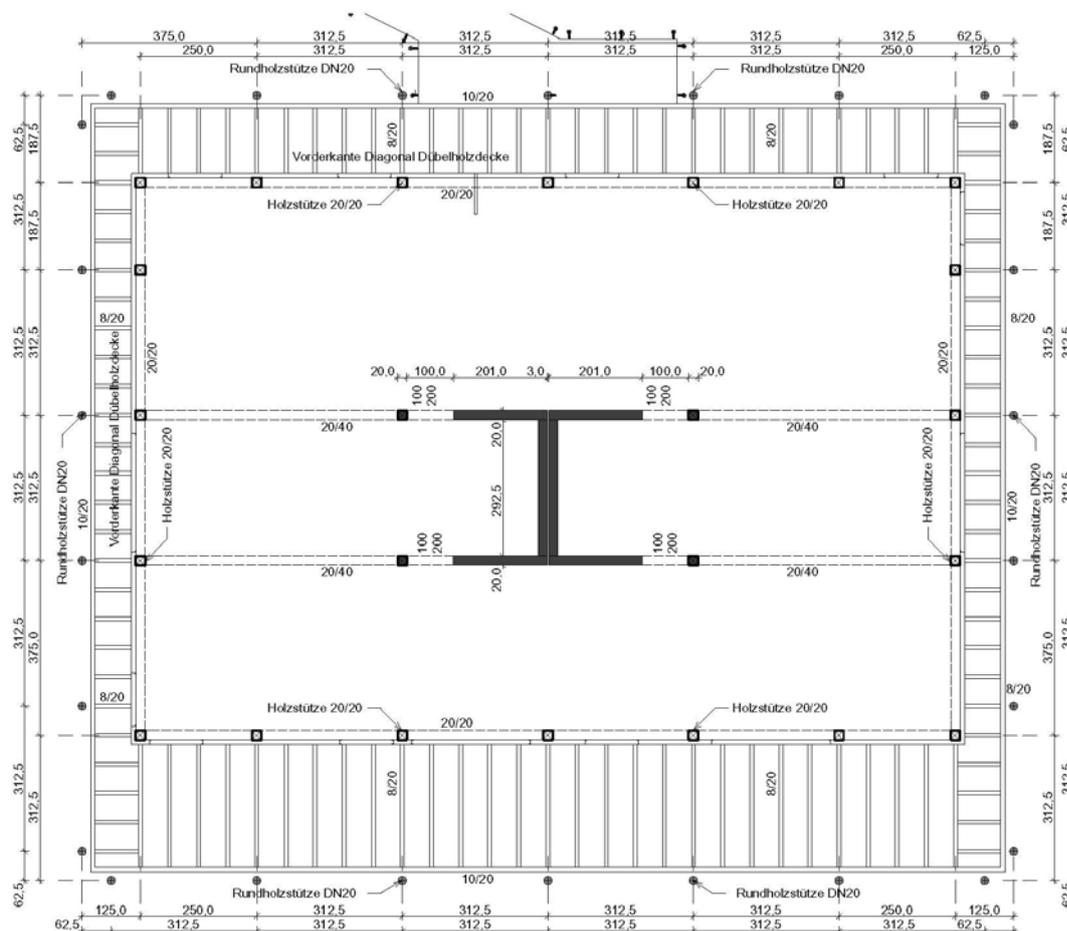
### Konstruktives System:

Die Gebäude sind Holzkonstruktionen mit einem stabilisierenden Kern aus Ortbeton, der die Installationsschächte und die Sanitärräume aufnimmt. Die Stützen der umlaufenden Terrassen- bzw. Loggienzone (Erweiterungsflächen) sind aus Eichenholz in „brandhemmender“ Ausführung hergestellt. In Niederösterreich gibt es eine große Menge an Eichenholz, das aufgrund seiner mittelmäßigen Qualität nicht im Fenster- und Möbelbau verwendet wird und somit für diesen Einsatzbereich prädestiniert erscheint.

Die Stützen sind aus Konstruktionsholz konzipiert; dies sind kerngetrennte oder kernfrei eingeschnittene Hölzer, die Rücken an Rücken mit einer stehenden Fuge verleimt werden. Dieses Konstruktionsholz ist auch unter dem Namen „Duo-Balken“ im Holzhandel erhältlich.

Die Steher, die in den Außenwandelementen eingebaut sind, werden aus Konstruktionsvollholz hergestellt. Ein wichtiger Unterschied zum sonstigen Bauschnittholz ist, dass Konstruktionsvollholz in Vorzugsquerschnitten hergestellt und bei Produzenten und Händlern als Lagerware vorgehalten wird.

(Weiterführende Informationen dazu siehe: pro:holz Austria, Holzskelett- und Holzmassivbauweise, ISSN 1680-4252)



Die Geschosdecken sind mit Diagonaldübelschindelholzelementen geplant. Diese Bauelemente aus lokal verfügbarem Schnittholz werden ohne Klebstoffe und metallische Verbindungsmittel hergestellt. Die Verbindung der einzelnen Hölzer erfolgt mit diagonal eingetriebenen Hartholzdübeln. Durch die Spreizwirkung dieser Dübel werden Querkraftkräfte, die durch das Quellen und Schwinden des Holzes auftreten auf ein Minimum reduziert. Eine Rostkonstruktion aus Konstruktionsvollholz bildet die Terrassen- bzw. Loggienzone. Dieser Rost wird mit Metallverbindern an den Stirnseiten der Diagonaldübelschindelholzdecken befestigt.

„Die Verwendung vorgefertigter Bauteile, welche auch unter Nutzung von minderwertigen Qualitäten hergestellt werden können, tragen zu einer Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Wertschöpfung bei.“ [Merl, 2006, S.1073]

### Materialwahl:

Bei der Wahl der Materialien wird darauf geachtet, dass im Sinne der Vermeidung von Schadstoffen möglichst keine Klebstoffe und keine Imprägnierungen verwendet werden.

Die Bauteile und die einzelnen Bauelemente sollen möglichst ohne großen Aufwand weiter bzw. wieder verwendet werden können. Nach Ablauf ihrer verschiedenen Einsätze sollen die Baustoffe uneingeschränkt der thermischen Verwertung zugeführt werden.

Bei der Auswahl der Rohstoffe und Baustoffe werden die folgenden Kriterien berücksichtigt und bewertet:

- regionale Wertschöpfung
- weitgehende Verwendung von heimischen Hölzern
- konstruktiver Holzschutz – keine Holzanstriche und keine Holzimprägnierungen
- Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen
- Verzicht auf PVC, auf Lösungsmittel, auf HFKW und auf formaldehydhaltige Werkstoffe
- Schnittholz ist möglichst unveredelt zu verwenden

Die Auswahl der Materialien und die Entwicklung von entsprechenden Baukonstruktionen erfolgt nach den folgend beschriebenen Überlegungen: *„Die Kenntnis um den handwerklichen Umgang mit Holz und dessen Eigenschaften, dessen materialgerechte Verwendung und die Umsetzung organisatorischen und konstruktiven Holzschutzes ermöglicht es weitgehend, Holz unbehandelt ohne Einbußen in der Lebensdauer einsetzen zu können. – Die Planer müssen sich im Entwurfsprozess bewusst sein, dass eingebaute Materialien in Zukunft wieder als Ressource für weitere Produkte und schließlich zur Energieerzeugung genutzt werden können. Die Bauwerke stellen somit ein großes Ressourcenreservoir für die Zukunft dar, deren zukünftige Nutzung wesentlich von der Art des Einbaus abhängt.“* [Merl, 2006, S.1074]

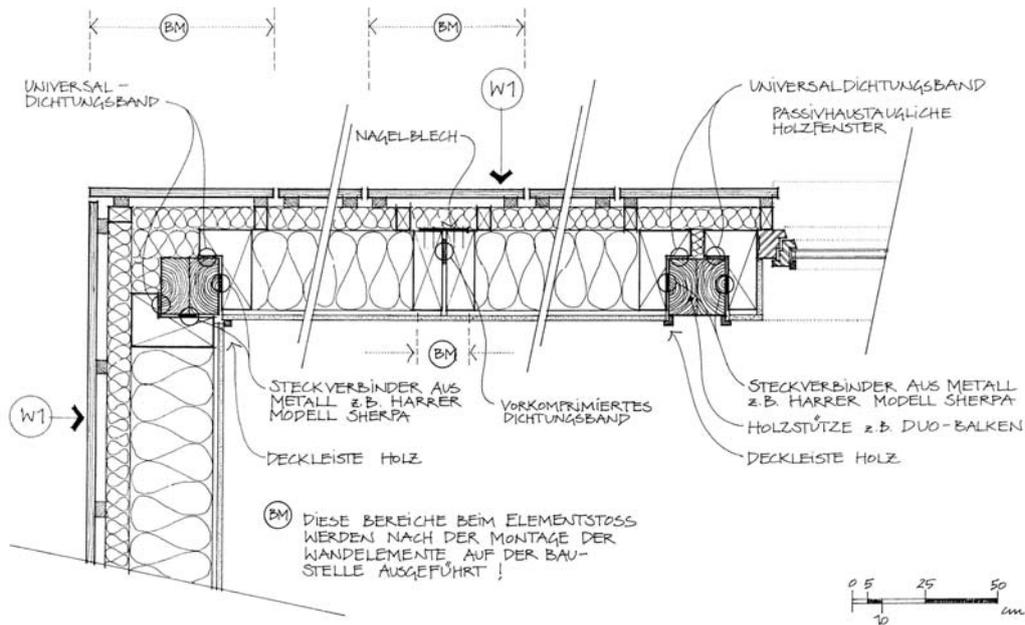
Dies heißt für diesen konzeptionellen Entwurf konkret:

- Diagonalschalung aus Schnittholz anstatt von Spanplatten und Faserplatten
- Zelluloseflocken, Holzfaserdämmplatten oder Hanffaserdämmplatten anstatt Polystyrol- und Mineralwolle-Dämmung
- Perliteschüttung anstatt EPS-Dämmplatten
- Diagonaldübelholzdecken anstatt Kreuzlagenholz und genagelten bzw. verleimten Brettstapeldecken
- Thermisch behandeltes Holz anstatt imprägniertem und beschichtetem Massivholz und Werkstoffplatten
- Thermisch behandeltes Holz anstatt sogenanntem „Tropenholz“
- Lösbare, mechanische Befestigungen anstatt verklebten Befestigungen
- Holzabdeckleisten anstatt PVC- oder Silikonfugenmasse
- Passivhaustaugliche Holzfenster anstatt Holz-Alufenstern und Kunststofffenstern
- Massivholzparkett anstatt von PVC-, Gummi- und Nadelfilzbelägen
- Naturölversiegelung anstatt Kunstharzversiegelung
- Flexible Polyolefine anstatt bituminöse Abdichtungen

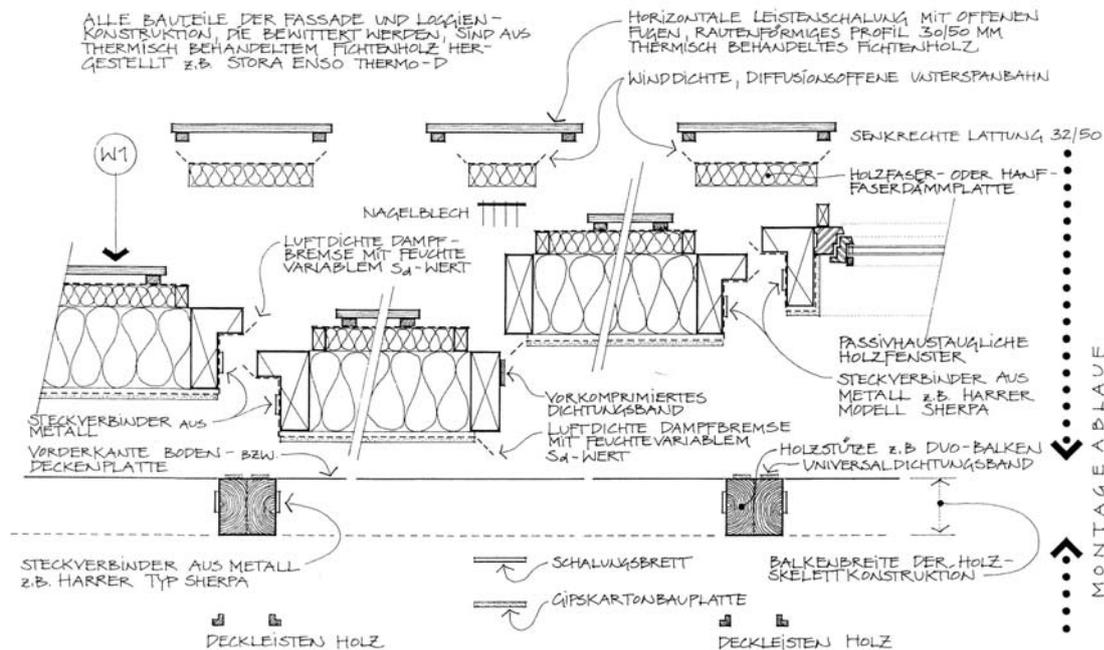
*„Das eingebaute Holz sollte aus der Region stammen, in der es verarbeitet, verwendet und schließlich thermisch verwertet wird, um die Regionaleffizienz zu erhöhen. – Es reicht Ideen und Know-how zu transportieren, geeignete Materialien zum Bauen stehen überall, auch regional zur Verfügung.“* [Merl, 2006, S.1074]

Das für die Gebäude zu benötigende Konstruktions- und Fassadenholz kann über die lokalen Agrargemeinschaften in der Umgebung bezogen werden. Sowohl an den außen sichtbaren Bauelementen und Flächen, als auch im Innenausbau kommt vorwiegend Holz zur Anwendung. Durch unterschiedliche Bearbeitungsmethoden, die von sägerau über gebürstet, gehobelt, geschliffen bis zu geölt reichen, kann ein großes Spektrum an visuellen und haptischen Qualitäten erzielt werden.

Detailzeichnungen:

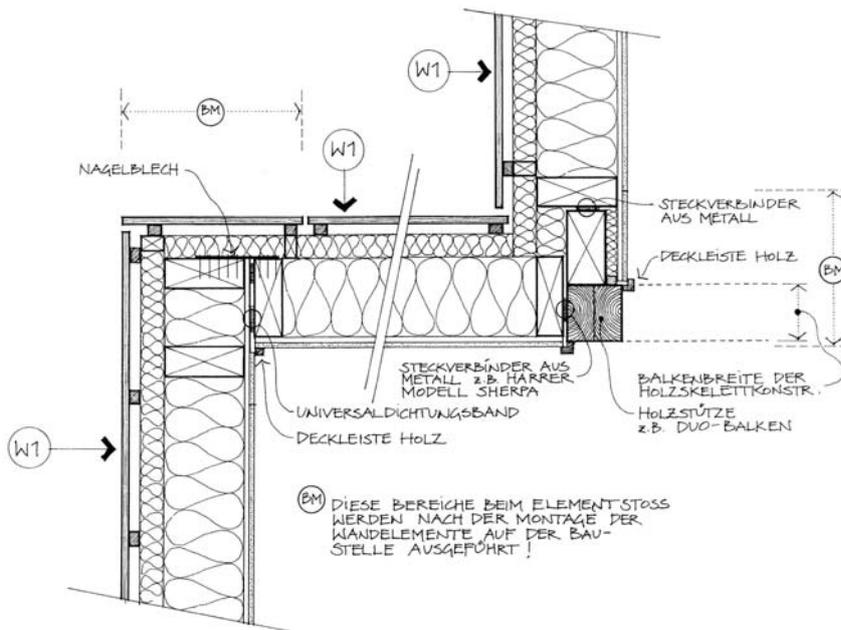


Die Außenwandkonstruktionen sind aus einzelnen Elementen zusammengesetzt. In Ergänzung zu jener Wärmedämmung, die zwischen den Stehern eingebracht ist, verläuft in der äußeren Ebene eine 8 cm dicke Schicht aus Holzfasero- oder Hanffaserdämmplatten, die eine Überdämmung von Stoßfugen und Fensterstöcken gewährleistet.

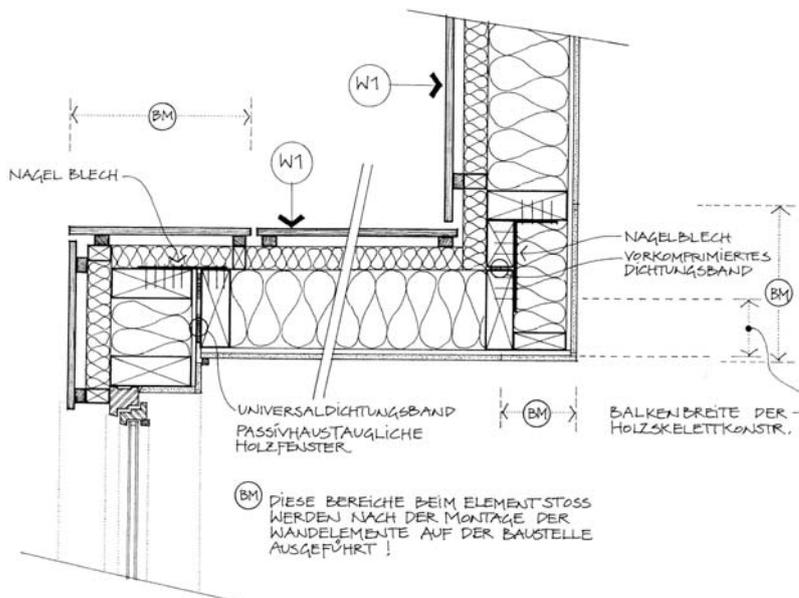


Die Leisten aus thermisch modifiziertem Nadelholz werden am einfachsten und schnellsten mit Stahlstiften an der senkrechten Lattung befestigt. Thermisch modifiziertes Holz hat den Vorteil gegenüber unbehandeltem Nadelholz, dass es als sehr dimensionsstabil und weitgehend resistent gegenüber Verwitterung und Befall von Mikroorganismen bezeichnet wird.

*“Eine stärkere Berücksichtigung von Wiederverwertung und Werkstoffrecycling in der Bauwirtschaft als bisher wird sich jedenfalls rechnen. Denn beachtet man, dass die Bauwirtschaft in Zukunft mit sich rasch ändernden Nutzerpräferenzen konfrontiert wird, wächst die Anforderung Gebäude so zu konzipieren, dass sie mit relativ wenig Aufwand wieder verwertbar oder aufrüstbar sind, ohne sie als Ganzes zu demontieren.“ [Walch, 2001, S.38]*



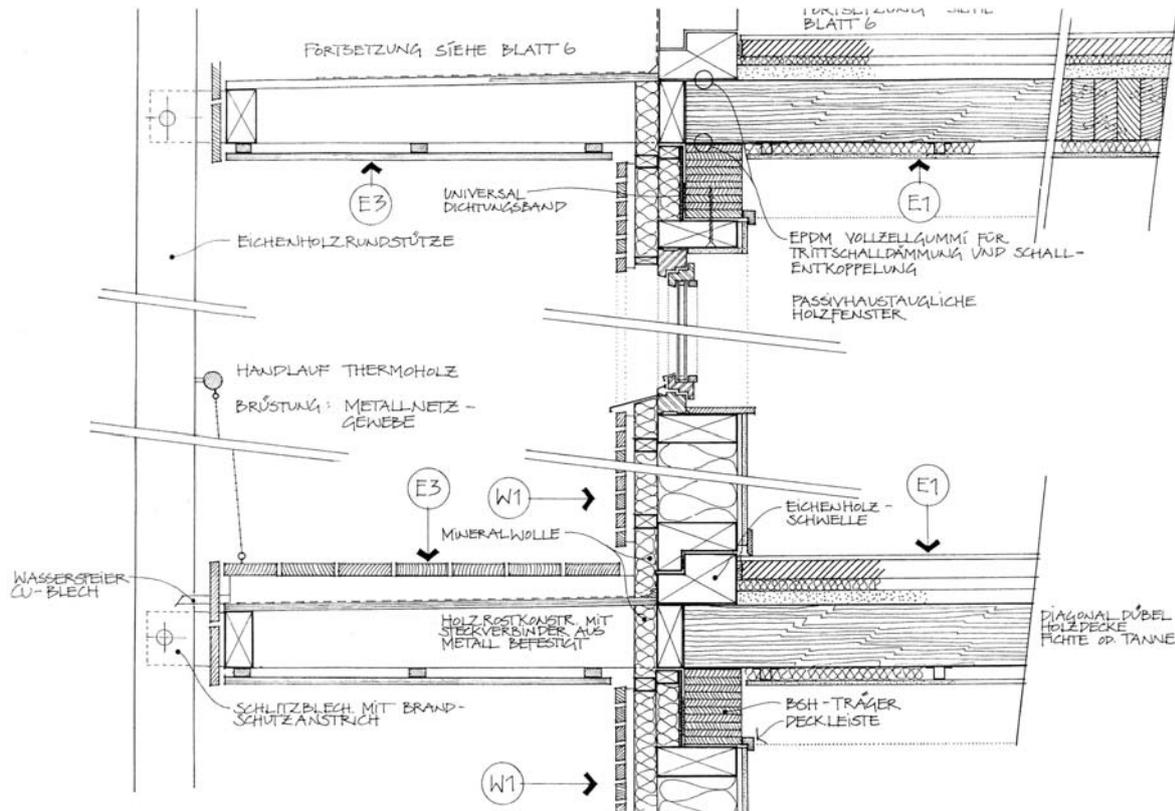
Die Wandkonstruktionen sind aus gängigen Materialien zusammengesetzt, die es den BewohnerInnen ermöglichen mit „Feinanpassungen“ den Oberflächenreiz im Erscheinungsbild individuell zu variieren.



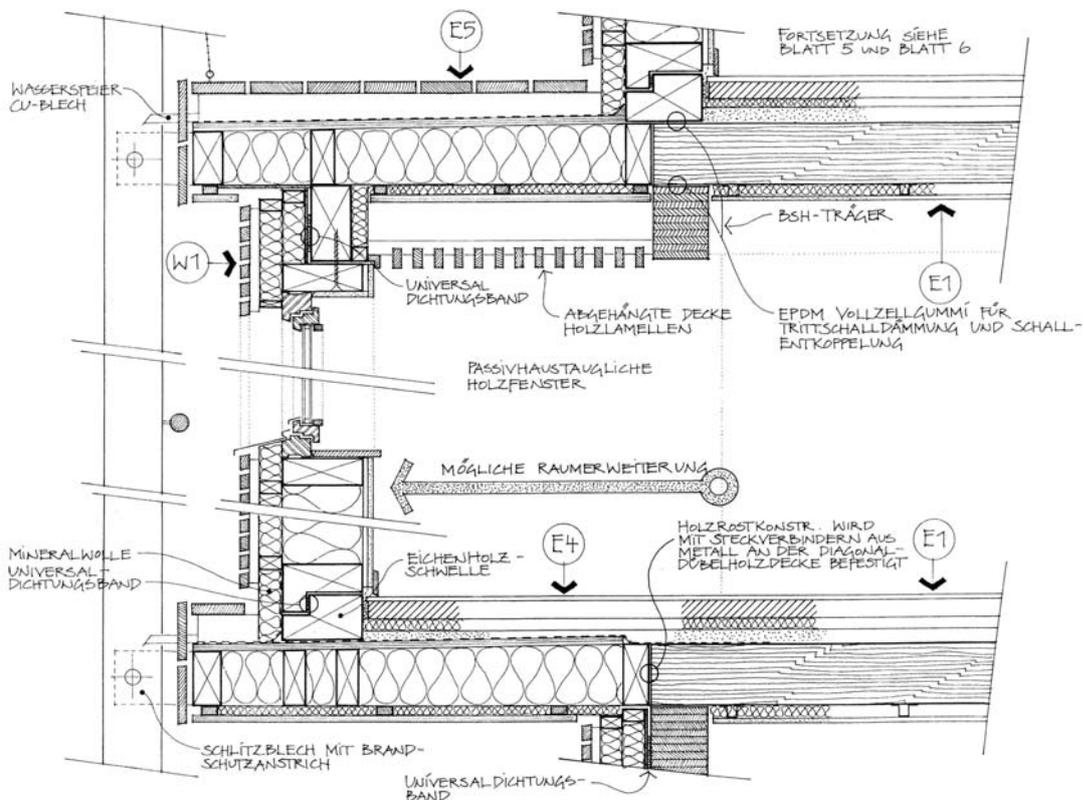
Bei Holzsystemen aus Stäben findet nicht nur der Abbund industriell statt, vielmehr werden die Stäbe mit den entsprechenden Verbindungselementen so vorbereitet, dass vor Ort nur noch Schraub- und Steckarbeiten zu verrichten sind. Stützen und Träger sollen vor Witterung geschützt auf die Baustelle geliefert werden.



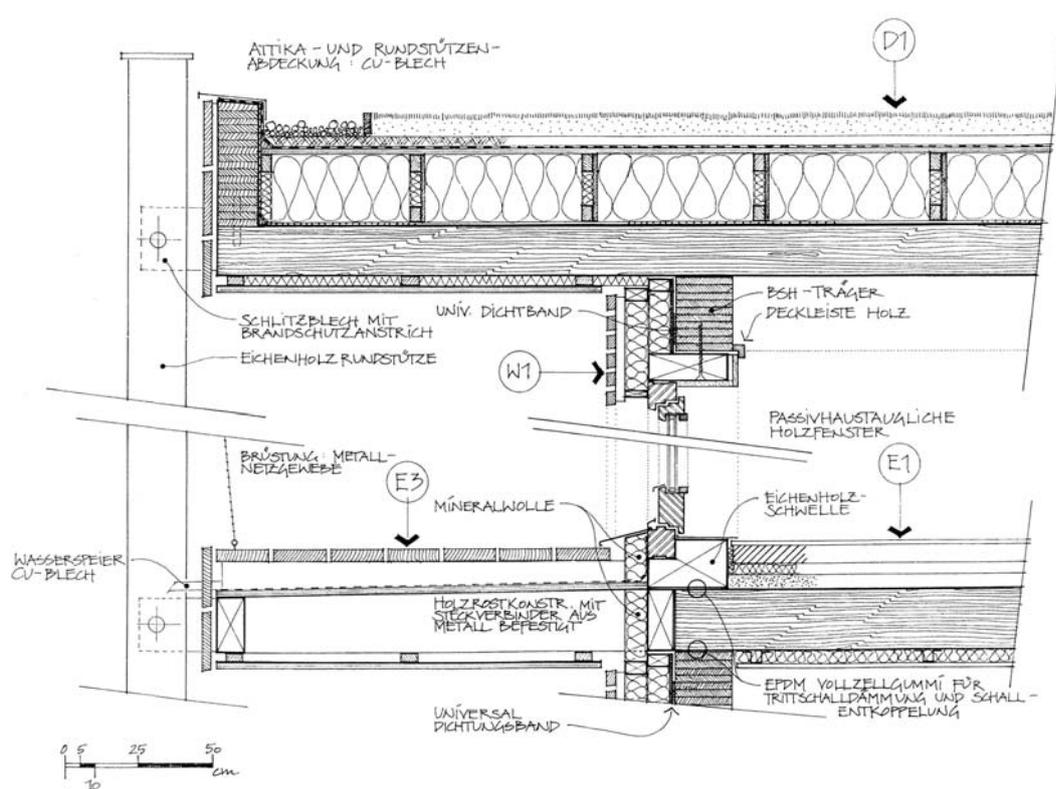
„Weiche Ecke“ der offenen Fugen in der Leistenschalung



Die thermisch modifizierte Holzleisten der Fassade sollen nicht mit Anstrichen oder Imprägnierungen beschichtet werden, da sie im Vergleich zu unbehandeltem Schnittholz, durch ihre dunklere Färbung angenehmer vergrauen.



Allerdings führen die zum Teil weit ausragenden Geschoßdecken zu eher unterschiedlicher Vergrauung. Eine horizontal verlaufende Leistenschalung mit offenen Fugen erscheint uns in diesem Kontext als die geeignete Fassade, um optische Ungleichmäßigkeiten zu kaschieren.



Die rund umlaufenden Terrassen und Loggien mit unterschiedlicher Tiefe verursachen beim Bau gewisse Mehrkosten. Diese werden jedoch durch die vielfältigen Nutzungen als Gerüst bei der Erstellung, bei periodischen Kontroll- und Unterhaltsarbeiten und beim Umbau der Fassade, sowie durch den Gewinn an individuell nutzbaren Freiräumen unterschiedlicher Qualität mehr als kompensiert.

Der Bodenbelag besteht aus fugenoffen verlegten Rosten, die mit thermisch behandeltem Fichtenholz belegt sind. Die Befestigung der Bodenbretter erfolgt mit aufgeschraubten Metallaschen, die eine passgenaue Montage und eine schnelle Demontage ermöglichen. Diese Art der Fixierung erfolgt in verdeckter Form, d.h. die Befestigungen bzw. die Bohrungen sind nicht der Witterung ausgesetzt. (z.B. Produkt X-Press der Fa. Fuchs Metalltechnik)

### Aufbauten:

Außenwand W1 (von außen nach innen)

- 3,0 cm Horizontale Leistenschalung mit offenen Fugen, rautenförmiges Profil, 30/50 mm, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)
- 3,2 cm senkrechte Lattung für die Hinterlüftung, 32/50 mm, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)
- 0,03 cm winddichte, diffusionsoffene Unterspanbahn aus Polyäthylen mit Acrylschicht oder PP-Microfaser Vlies, UV-beständig,  $s_d = 0,05$  m, temperaturbeständig von -40 Grad Celsius bis +80 Grad Celsius
- 8,0 cm Holzfaserdämmplatte oder Hanffaserdämmplatten zwischen Holzleisten 40/80 mm
- 28,0 cm Zellosedämmung, eingeblasen zwischen Holzstaffel 100/280 mm
- 1,8 cm diagonal verlegte Schalung aus Fichtenholz oder Tannenholzbrettern
- 0,05 cm Dampfbremse aus Recycling-Zellulose mit Glasseidengewebe oder Polypropylenvlies mit PP-Armierung, feuchtevariabler  $s_d$ -Wert
- 1,5 cm Gipskartonbauplatte

Dachaufbau D1 (von oben nach unten)

- 7,0 cm Extensivsubstrat
- 3,0 cm Drainageschicht aus Blähschiefer
- 0,03 cm Dachabdichtung, flexible Polyolefine, verschweißt, 2-lagig verlegt, wurzelfest, kälteflexibel
- 2,4 cm 3-Schichtplatte thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D), im Gefälle verlegt
- 24,0 cm Steinwolledämmung zwischen TJI-Trägern, obere Kante im Gefälle
- 0,05 cm Dampfbremse aus Recycling-Zellulose mit Glasseidengewebe oder Polypropylenvlies mit PP-Armierung, feuchtevariabler  $s_d$ -Wert
- 18,0 cm Diagonaldübelholzdecke, Fichte oder Tanne, Sichtqualität, gespundet mit Kamm und Nut

Deckenaufbau E1 (von oben nach unten)

- 2,2 cm Massivholzparkett, Eiche oder Fichte oder Schwarzkiefer, geölt und gewachst, schwimmend verlegt
- 5,8 cm Zement-Estrich – geeignet für Fussbodenheizung  
Polyäthylen-Folie
- 3,0 cm Steinwolle-Trittschalldämmung, am Rand: Polyäthylen-Schaumstoffstreifen
- 5,0 cm ungebundener mineralischer Schüttdämmstoff, wasserabweisend
- 22,0 cm Diagonaldübelholzdecke, Fichte oder Tanne, Nicht-Sichtqualität, Sägeroh-Stumpf-Profil
- 4,0 cm flexible Holzfaserdämmplatten zwischen Federbügelkonstruktion
- 1,5 cm Gipskartonbauplatte

Deckenaufbau E2 in Nassräumen (von oben nach unten)

- 2,2 cm Massivholzparkett aus thermisch behandeltem Holz (z.B. STORA ENSO Thermowood), schwimmend verlegt
- 5,8 cm Zement-Estrich – geeignet für Fussbodenheizung  
Polyäthylen-Folie
- 3,0 cm Steinwolle-Trittschalldämmung, am Rand: Polyäthylen-Schaumstoffstreifen
- 5,0 cm ungebundener mineralischer Schüttdämmstoff, wasserabweisend
- 22,0 cm Diagonaldübelholzdecke, Fichte oder Tanne, Nicht-Sichtqualität, Sägeroh-Stumpf-Profil
- 4,0 cm flexible Holzfaserdämmplatten zwischen Federbügelkonstruktion
- 1,5 cm Gipskartonbauplatte

Deckenaufbau E3 (von oben nach unten)

- 4,0 cm Holzbohlenbelag mit offenen Fugen aus thermisch behandeltem Holz (z.B. STORA ENSO Thermo-Deck), Befestigung mit X-Press-System o. glw.
- 6,3 cm Keilpfosten aus thermisch behandeltem Holz
- 0,03 cm Dachabdichtung, flexible Polyolefine, verschweißt, 2-lagig verlegt
- 2,4 cm 3-Schichtplatte thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D), im Gefälle verlegt
- 19,0 cm Massivholzträger, Fichte oder Tanne, obere Kante im Gefälle
- 3,2 cm Lattung 32/50 mm aus thermisch behandeltem Fichtenholz
- 1,9 cm Nut + Feder – Schalung 19 x 118/142, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)

Deckenaufbau E4 (von oben nach unten)

- 2,2 cm Massivholzparkett, Eiche oder Fichte oder Schwarzkiefer, geölt und gewachst, schwimmend verlegt
- 5,8 cm Zement-Estrich – geeignet für Fussbodenheizung  
Polyäthylen-Folie
- 3,0 cm Steinwolle-Trittschalldämmung
- 5,0 cm ungebundener mineralischer Schüttdämmstoff, wasserabweisend
- 0,03 cm Dachabdichtung, flexible Polyolefine, verschweißt, 2-lagig verlegt, wurzelfest, kälteflexibel
- 2,4 cm 3-Schichtplatte thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D), im Gefälle
- 19,0 cm Steinwollendämmung zwischen Massivholzträger, Fichte oder Tanne, obere Kante im Gefälle
- 3,2 cm Lattung 32/50 mm aus thermisch behandeltem Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D), dazwischen Steinwollendämmung
- 0,05 cm Dampfbremse aus Recycling-Zellulose mit Glasseidengewebe oder Polypropylenvlies mit PP-Armierung, feuchtevariabler  $s_d$ -Wert
- 1,9 cm Nut + Feder – Schalung 19 x 118/142, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)

Deckenaufbau E5 (von oben nach unten)

- 4,0 cm Holzbohlenbelag mit offenen Fugen aus thermisch behandeltem Holz (z.B. STORA ENSO Thermo-Deck), Befestigung mit X-Press-System o. glw.
- 6,3 cm Keilpfosten aus thermisch behandeltem Holz
- 0,03 cm Dachabdichtung, flexible Polyolefine, verschweißt, 2-lagig verlegt, wurzelfest, kälteflexibel
- 2,4 cm 3-Schichtplatte thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D), im Gefälle verlegt
- 19,0 cm Steinwollendämmung zwischen Massivholzträger, Fichte oder Tanne, obere Kante im Gefälle
- 3,2 cm Lattung 32/50 mm aus thermisch behandeltem Holz (z.B. STORA ENSO Thermo-D), dazwischen Steinwollendämmung
- 1,9 cm Nut + Feder – Schalung 19 x 118/142, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D),
- 0,05 cm Dampfbremse aus Recycling-Zellulose mit Glasseidengewebe oder Polypropylenvlies mit PP-Armierung, feuchtevariabler  $s_d$ -Wert
- 1,5 cm Gipskartonbauplatte

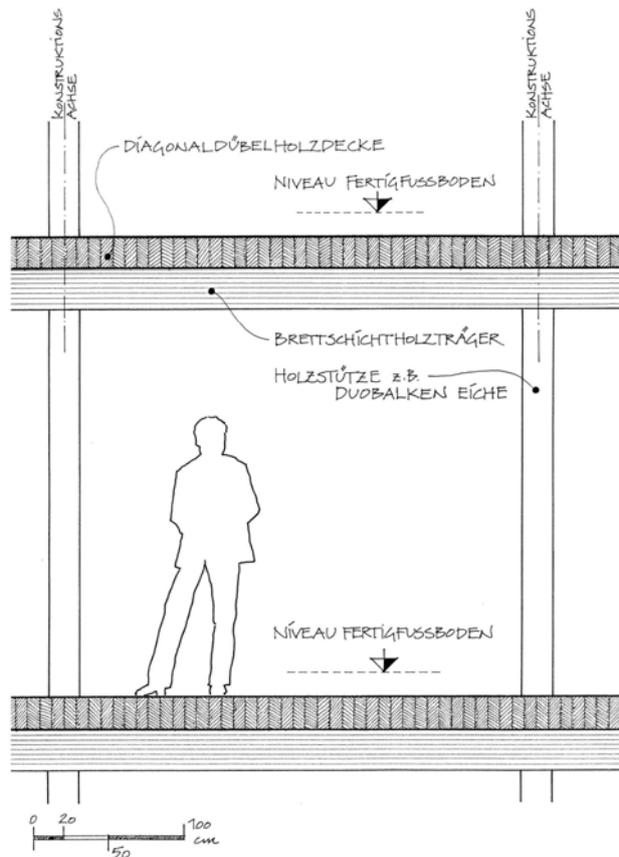
Wohnungstrennwand W2

- 2,5 cm 2 x GKF Feuerschutzplatten
- 5,0 cm Schwingbügelkonstruktion, dazwischen Mineralwollendämmung
- 1,9 cm 3- Schichtplatte thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)
- 8,0 cm Holzständerkonstruktion 8/8, dazwischen Mineralwollendämmung
- 1,9 cm 3- Schichtplatte thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)
- 5,0 cm Schwingbügelkonstruktion, dazwischen Mineralwollendämmung
- 2,5 cm 2 x GKF Feuerschutzplatten

### Außenwände / Fassaden:

Im Holzskelettbau werden Tragstruktur und Wandelemente unabhängig vorgefertigt. Die Größe der Elemente müssen mit Sicht auf den Montageprozess festgelegt werden. Fertigung nach Naturmaß ist mit den heute üblichen CAD-Planungen und den CNC-gestützten Fertigungsmethoden ohne zusätzlichen Aufwand in zeit- und kostensparender Weise möglich. Eine wesentliche Qualität der Skelettbauweise mit ihren statisch nicht wirksamen Außenwandelementen besteht darin, dass die Qualitäten der Hülle von den NutzerInnen – im Rahmen der gesetzlichen Möglichkeiten - selbst bestimmt werden können.

Je nach Nutzung werden unterschiedliche Fassadenausbildungen notwendig. So haben Fassaden bei Wohnräumen ganz andere Anforderungen zu erfüllen, wie z.B. die Fassade bei einem Kinderspielraum. Die Fassaden von Büros, Ordinationen und Werkstätten haben wiederum andere Qualitäten in Bezug auf Lichtführung, Ausblick, Blendfreiheit zu erfüllen.

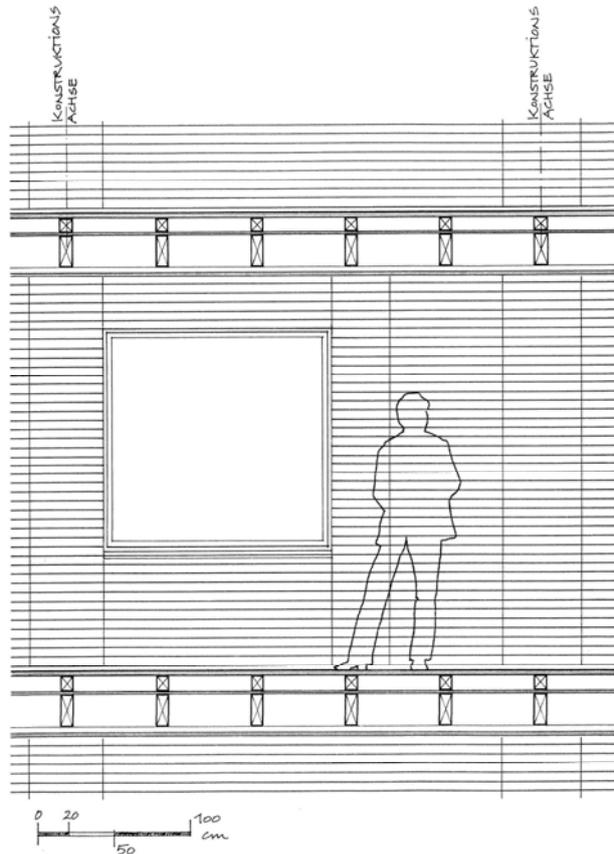


konstruktive Struktur

Die Außenwandkonstruktion ist so ausgelegt, dass Anpassungen an sich laufend verändernde Standards und Umweltbedingungen durchführbar sind. Verbesserungen in den Bereichen „Wärmedämmung“, „Wärmebrückenminimierung“, „Luftdichtheit“, „Schalldämmung“, „Lichtlenkung“, „Wärmespeichervermögen“ werden aufgrund aktueller technischer Entwicklungen in der Zukunft relevant sein. Beispiele, die sich derzeit in Entwicklung befinden bzw. von denen Prototypen hergestellt wurden:

- PCM - phase changing materials - für den Scheibenzwischenraum
- optisch durchlässiger Flachkollektor
- in den Scheibenzwischenraum implementiertes Prismenglas
- halbtransparente Photovoltaik Elemente mit gelasierter Lochstruktur
- farbige multikristalline Siliziumzellen
- variabel einstellbare Lichtlenkprismen
- elektrochromes und fotochromes Glas
- Vakuum-Wärmedämmung

Die Außenwände werden aus raumhohen Elementen in Kleintafelbauweise in einer modularen Konstruktion zusammengefügt – idealerweise so, dass die Montage und Demontage einfach, schnell und weitgehend zerstörungsfrei erfolgen kann. Die Elemente sind so aufgebaut und werden so zusammengefügt, dass sie wiederholt an unterschiedlichen Orten und in verschiedenen Kontexten eingesetzt werden können.



Ansicht von Außen (Schnitt durch Terrasse)

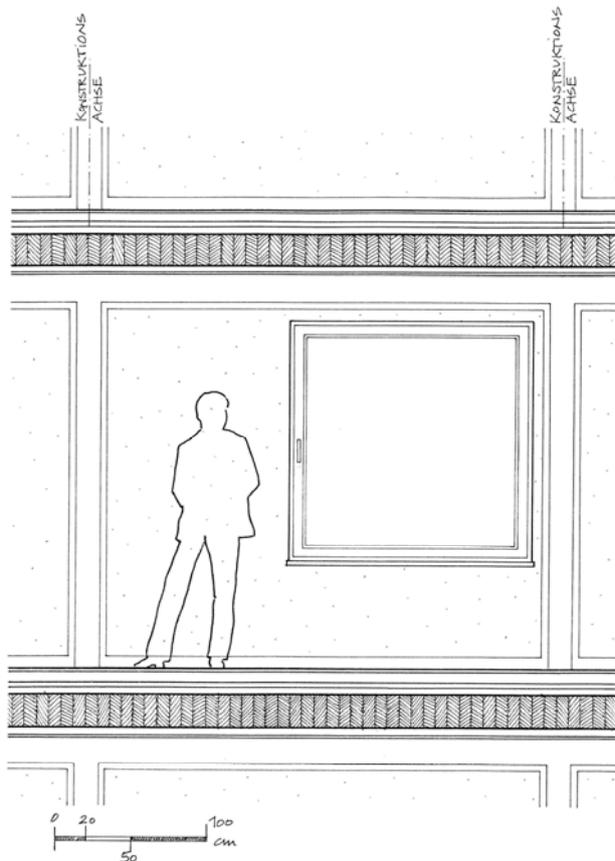
Werden bei der Realisierung von Holzbauwerken vorgefertigte Elemente eingesetzt, so soll beim Transport in Bezug auf Möglichkeiten und Kosten besondere Rücksicht genommen werden. Der Zeit- und Kostenaufwand bei Montagearbeiten ist unter anderem abhängig von den Bauteilgewichten und –abmessungen. Die Entscheidung über Transportwege und die Wahl des Transportmittels muss deswegen schon im Vorfeld getroffen werden.

Die Wandelemente sollen gemäß einem detaillierten Montagezeitplan geliefert werden, damit die ersparte Zeit durch die Vorfertigung nicht durch Koordinationsprobleme verloren geht.

Für die Identifikation der Holzfertigteilelemente kann für die Phasen Fertigung, Montage und Demontage, sowie für die Lagerung, den Transport und den Einbau ein Informationssystem („infocode-Chip“) auf der Basis eines nichtflüchtigen Speichers im Holzfertigteil eingebaut werden. Das Eingeben und Lesen der Daten erfolgt dabei berührungslos über eine induktive Schnittstelle.

Die Terrassen- bzw. Loggienzone mit individuellen Freiräumen dient einerseits als „visueller Filter“ gegenüber den dahinter liegenden Außenwandelementen und kann andererseits anstelle von temporären Fassadengerüsten für laufende Wartungs- und Umbauarbeiten als Servicezone herangezogen werden.

In dieser Zone können von den BewohnerInnen individuell unterschiedliche Arten der außen liegenden flexiblen Sonnenschutzmaßnahmen installiert werden. Dafür eignen sich bewegliche Jalousien und Markisen aus textilen Materialien oder Klapp- bzw. Schiebeläden aus thermisch behandeltem Holz.



Ansicht von Innen

Jene Stellen, an denen die Außenwandelemente zusammengefügt werden, bleiben sowohl außen, d.h. an der Fassade, als auch im Innenraum spürbar.

An den Fassaden sind dies vertikal verlaufende Fugen in der horizontal verlaufenden Leistenchalung. Die hinterlüftete Fassade besteht aus thermisch behandelten Holzleisten mit rautenförmigem Querschnitt. Diese sind verdeckt an einer senkrechten Lattung (für die Hinterlüftung) befestigt. Der „Fassaden-Schirm“ wird über diese Lattung witterungsgeschützt mit der dahinter liegenden Wandkonstruktion verschraubt.

Im Innenraum werden die Wandflächen von jenen Holzleisten, die Stoßfugen abdecken, gegliedert und unterstützen so ein am menschlichen Maßstab orientiertes Erscheinungsbild.

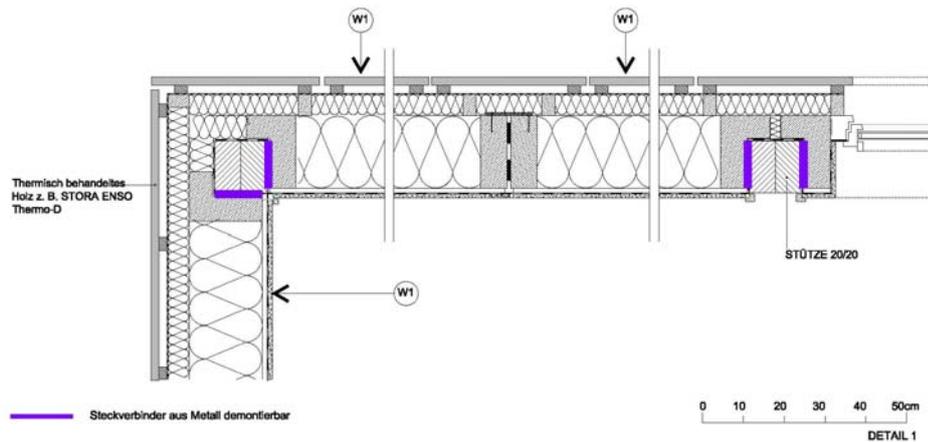
Die Erfahrungen, der jüngeren Vergangenheit zeigen, dass für die praktische Ausrichtung einfach und schnell versetzbarer Wände, die einzelnen Elemente nur so groß sein dürfen, dass sie von zwei Personen montiert bzw. demontiert werden können.

Die Qualität, Größe und Formate der Fenster und Verglasungen können entsprechend den materialtechnischen und statischen Möglichkeiten frei gewählt werden.

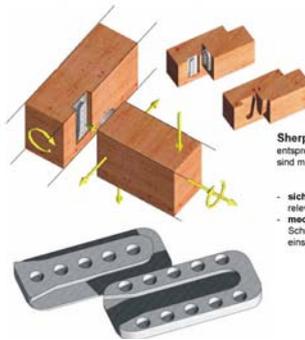
Eine Gestaltungssatzung kann dabei helfen, so allzu großen „Wildwuchs“ zu verhindern! Allerdings ist darauf zu achten, dass eine entsprechende Gestaltungssatzung, die z.B. von der bau-genehmigenden Instanz erlassen wird, für jeden nachvollziehbar argumentiert wird.

Die Vorteile der vorgefertigten Elementbauweise sind:

- Vorfertigung im Trockenen - zum Beispiel in einer luftkontrollierten Produktionshalle
- Reduktion der Montagedauer vor Ort
- Serienfertigung
- Spezialisierung, Arbeitsteilung, Mechanisierung
- Ablauforganisation
- Kostenoptimierung
- Materialeffizienz (weniger Abfall, da Anpassarbeiten weitgehend entfallen und entstehender Abfall im Vorfertigungswerk kann weiter verwendet werden)



**Sherpa – Analogie zu Schwalbenschwanz-Verbindungen**  
 Der Sherpa nutzt die Vorteile – und optimiert diese durch seine spezifische Form!

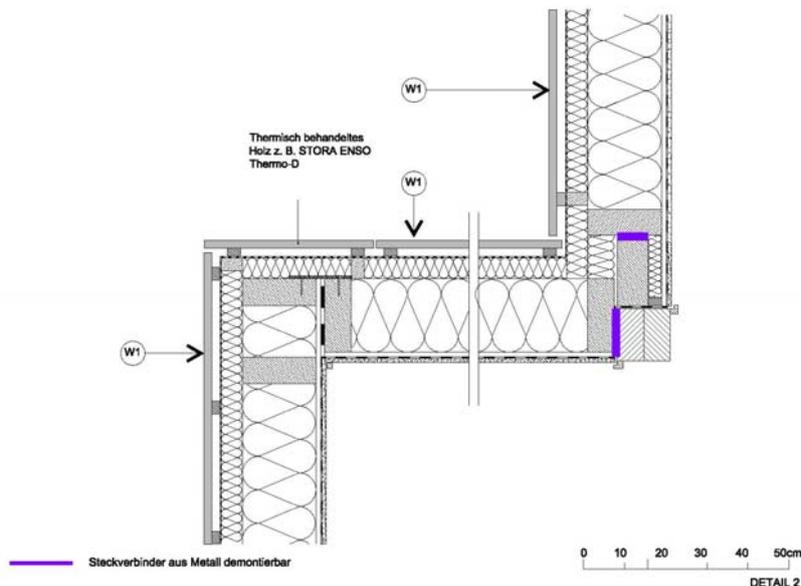


Sherpa ist umgedreht  
 entsprechend den spezifischen Eigenschaften des Holzes  
 sind mehr Schrauben im Hinnholz!

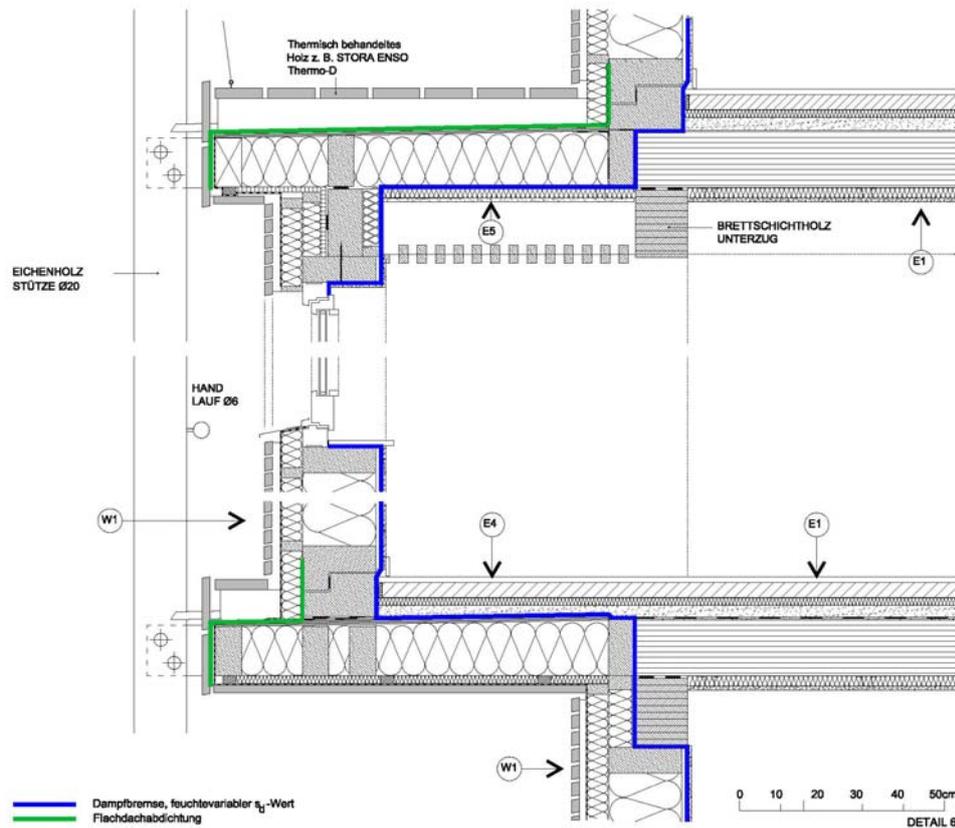
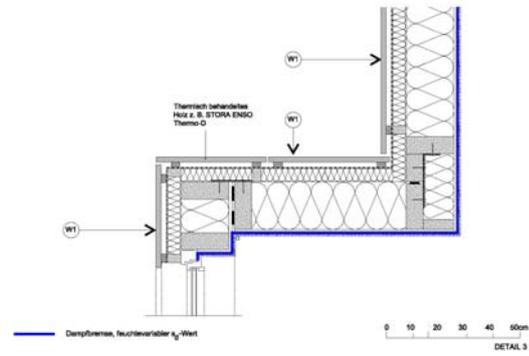
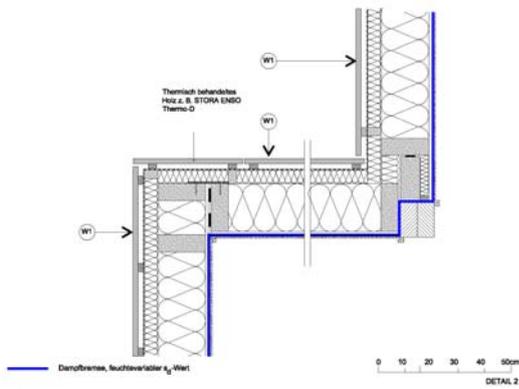
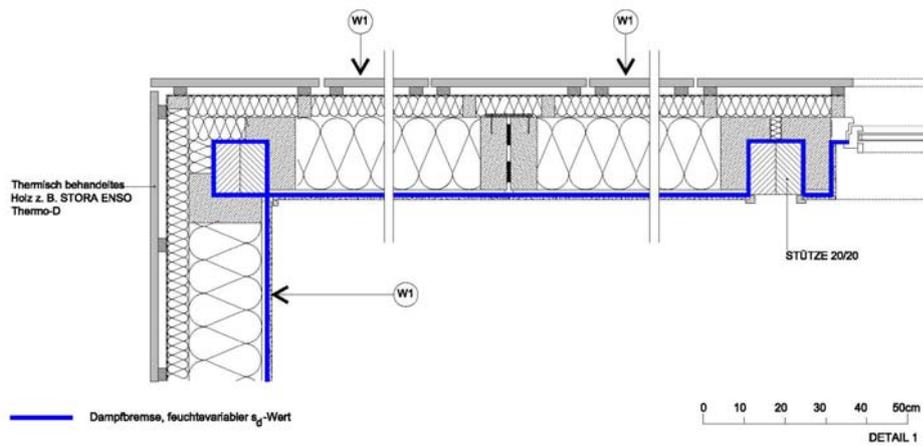
- sichtbar / verdeckt  
 relevant bei Sichtkonstruktionen bzw. Brandschutz!
- mechanisch / geklebt  
 Schraubverbindung oder Verklebung – vielseitig einsetzbar!

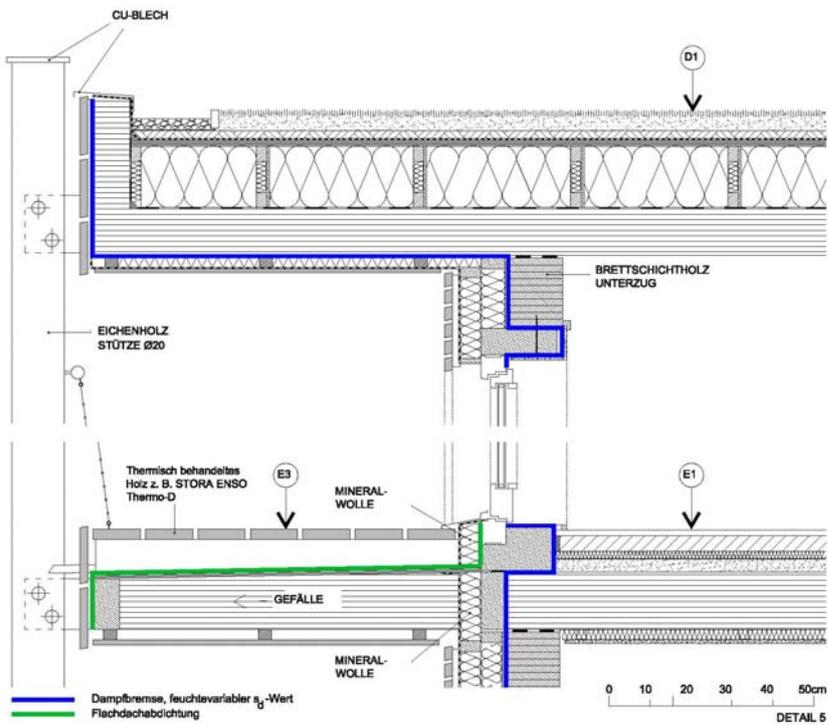
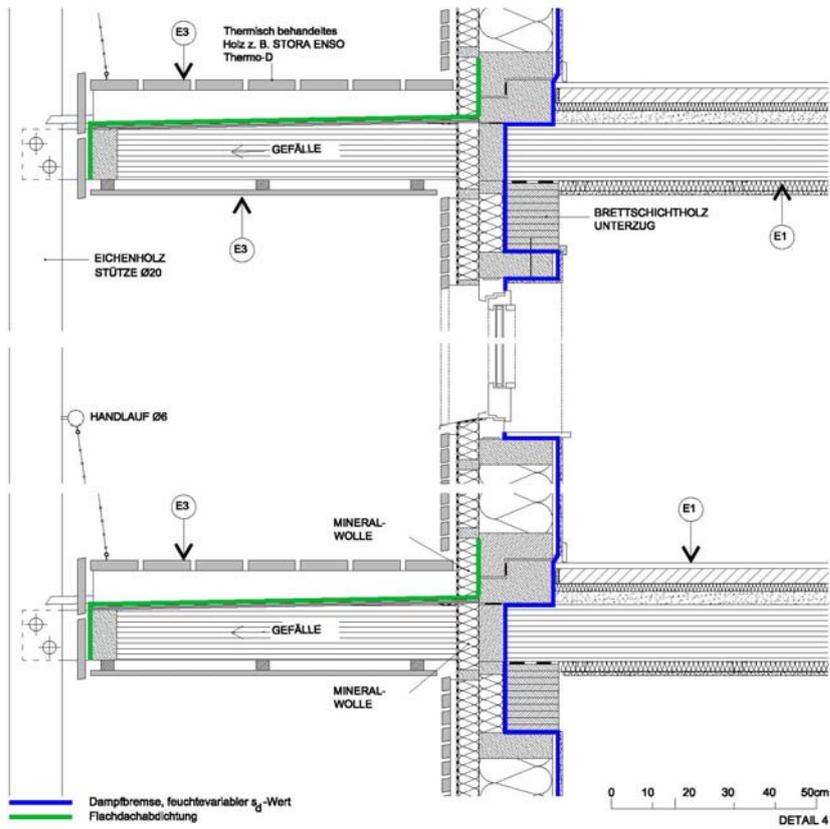
Die Befestigung der Außenwandelemente an der Holzskelettkonstruktion erfolgt mit Metall-Schiebeverbindungen, die bei Bedarf gelöst und die Elemente so entkoppelt werden können. (z.B. Produkt Sherpa der Fa. Harrer)

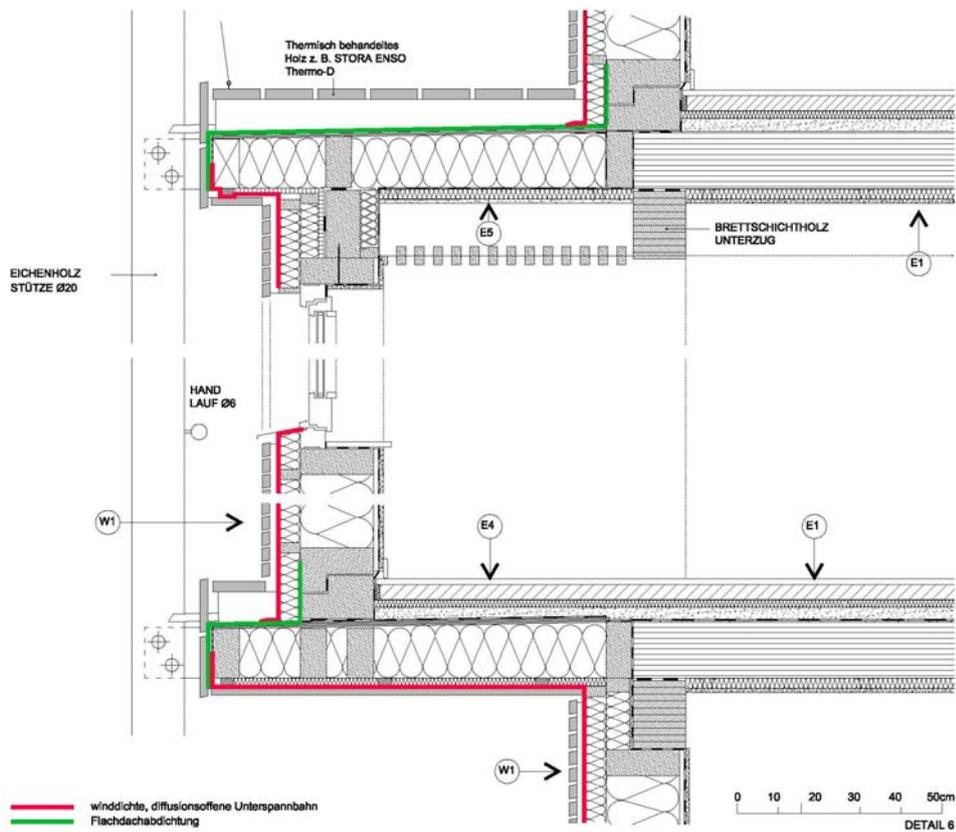
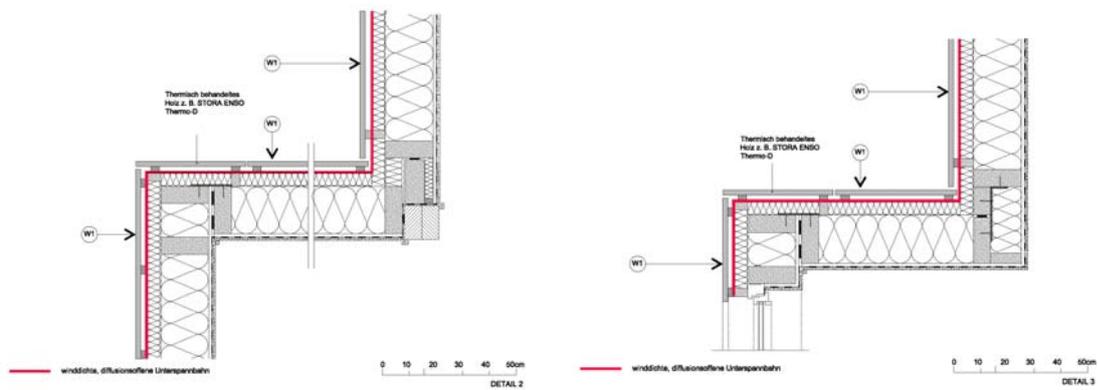
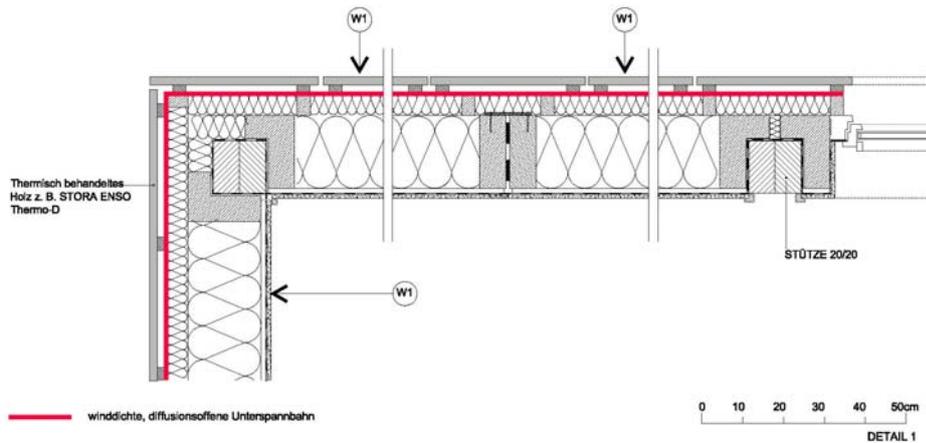
Untereinander sind die einzelnen Außenwandelemente mit verzinkten Nagelblechen befestigt. Bei der Verwendung von verzinkten Drahtstiften, selbstbohrenden Schrauben aus verzinktem Kaltstaudraht und Edelstahlschrauben mit integriertem Bohrkopf sind die jeweiligen Randabstände zu beachten. Sobald eine Vorbohrung durchgeführt wird – was sich bei thermisch modifiziertem Holz grundsätzlich empfiehlt - so kann der minimale Randabstand etwas geringer gewählt werden.

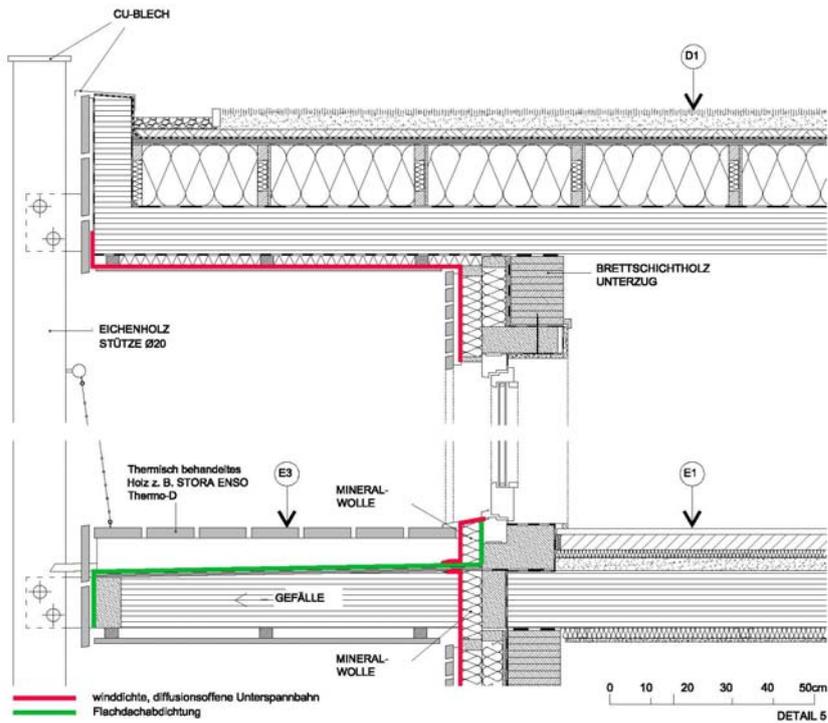
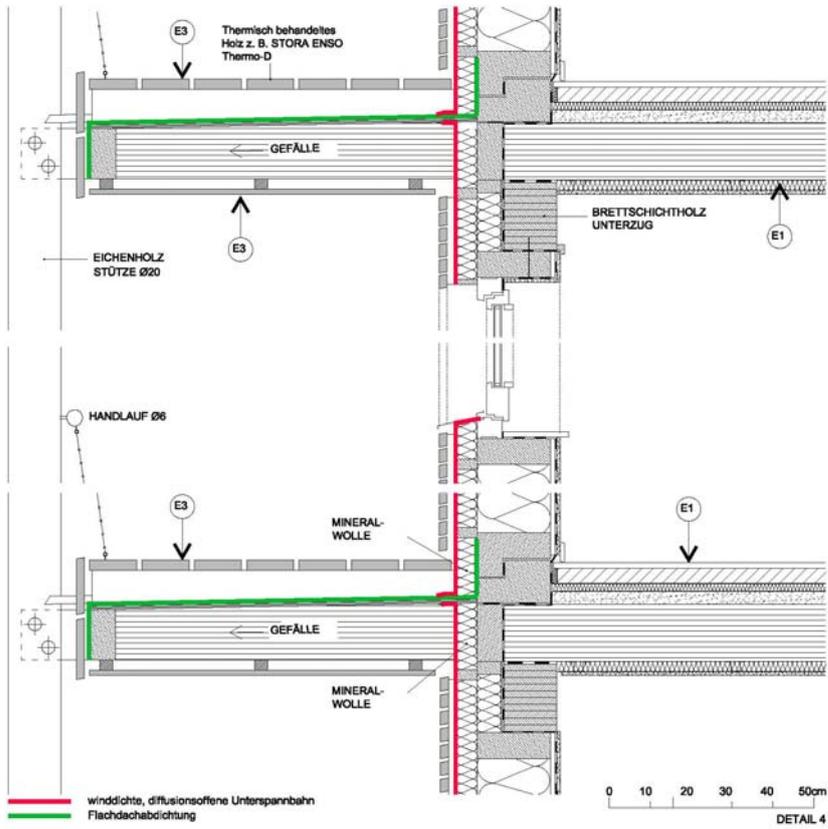


Wärmeschutz, Windschutz und Luftdichtheit:

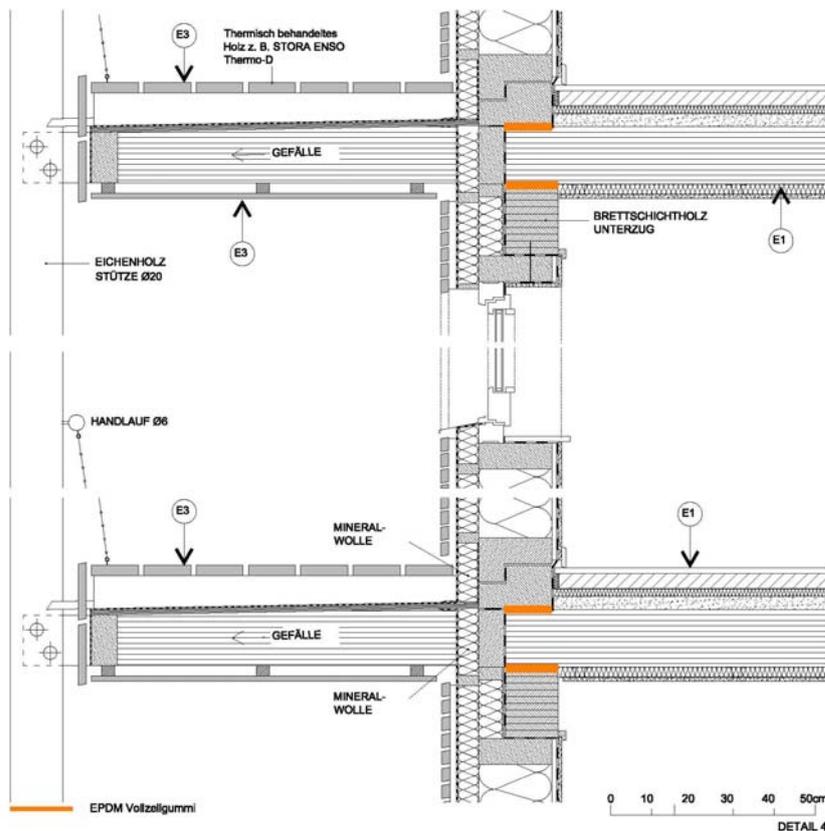






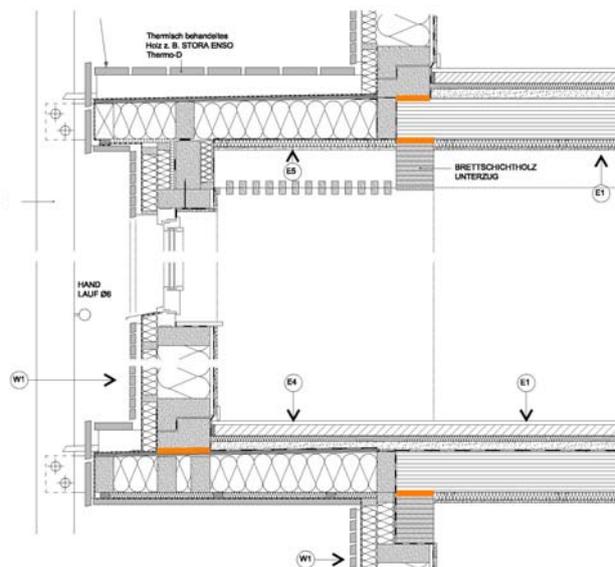


Schallschutz:



In der neuen Auflage der Ö-Norm B 8115-4 sind eine Reihe von Holzdeckenkonstruktionen mit der Angabe des bewerteten Schalldämm-Maßes und des bewerteten Normtrittschall-Pegels dargestellt. Diese Darstellungen zeigen, dass mit Holzdecken ein hoher Luft- und Trittschallschutz erreicht werden kann. Es kann damit der in Österreich gemäß Ö-Norm B 8115-2 geforderte Schallschutz zwischen Wohnungen problemlos erfüllt werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass bei allen Bauarten eine „schwere“ Baustoffschicht eingebaut und die Untersichten aus Gipskartonplatten elastisch befestigt sind. [Lang, 2005, S.20]

Die Entkoppelung von Decken, Unterzügen und Schwellen geschieht am effektivsten und sichersten mit durchlaufenden Bändern aus EPDM-Vollzellgummi. Hierbei ist darauf zu achten, dass die so genannten „Flankenübertragungen“, z.B. beim Anschluss „Trennwand – Außenwand“ die o. a. Maßnahmen nicht abschwächen bzw. unbrauchbar werden lassen.



### Brandschutz und Rettungswege:

Die Gebäude werden von einem wettergeschützten Stiegenhaus und stockwerksweise angeordneten Verbindungsbrücken erschlossen. Dieses Erschließungsbauwerk ist als nichtbrennbare Konstruktion aus mineralischen Baustoffen und Glas geplant.

Aus gestalterischen Gründen werden die Bodenplatten der Verbindungsbrücken auf Stahlstützen gelagert, die mit einem aufschäumenden Brandschutzanstrich versehen sind.

Eine Alternative dazu, die allerdings in jedem Einzelfall genauer überprüft werden muss, ist die gesamte Konstruktion aus massivem Eichenholz herzustellen. Bei der Dimensionierung der einzelnen Bauteile muss, ein der gewählten Brandwiderstandsdauer entsprechender Abbrand berücksichtigt werden.

Die Personen können auf direktem Weg über das Stiegenhaus flüchten. Da das Stiegenhaus lediglich als wettergeschützte Konstruktion und nicht als vollkommen abgetrennter Innenraum konzipiert ist, kann eine Verqualmung im Brandfall ausgeschlossen werden.

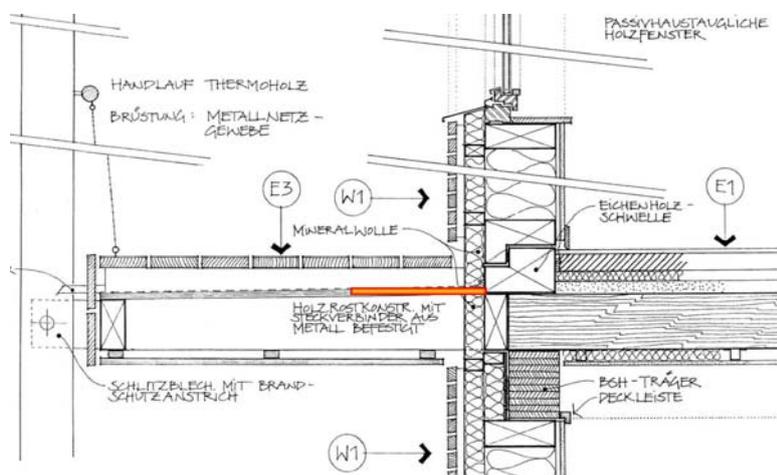
Darüber hinaus ist die umlaufende Terrassen- bzw. Loggienzone als Rettungsweg zu betrachten, der von allen Seiten mit einer Rettungsleiter der Feuerwehr „bedient“ werden kann.

Somit erscheint es, wenn wir das gesamte Gebäude betrachten als vertretbar, die Konstruktion des Gebäudes als „brandhemmend“ zu konzipieren. Gemäß den Ö-Normen EN 13501-1 und EN 13501-2 bedeutet dies bei einem Gebäude der Gebäudeklasse G2: REI 30 für raumabschließende und tragende Wände, R 30 für Holzstützen und Holzbalken sowie EI 30 für nicht-tragende, raumabschließende Wände.

*„Sichtholzkonstruktionen erfüllen in der Regel diese Qualifikation, wenn der erforderliche Mindestquerschnitt eingehalten wird.“ [Ambrozy, 2005, S.142]*

Für die vorgehängte hinterlüftete Fassade gilt die Qualität D-d1 (Euroklassen). Thermisch modifiziertes Holz wird in der Brandklasse d eingeordnet und kann daher im gesamten Fassadenbereich verwendet werden.

Die Ö-Norm B 3806 legt Anforderungen an das Brandverhalten von Bauprodukten im Sinne der Europäischen Klassen gemäß Ö-Norm EN 13501-1 fest. Diese Norm ist auch Bestandteil der Richtlinie 2 „Brandschutz“, welche die zukünftigen bautechnischen Anforderungen regeln wird. In dieser Norm ist für Fassaden ein positiver Nachweis gemäß Ö-Norm B 3800-5 vorgeschrieben, sofern nicht nachweisfreie Varianten zur Anwendung kommen. Für vorgehängte hinterlüftete oder belüftete Fassaden gilt dieser Nachweis erfüllt, wenn zwischen den Geschossen eine mindestens 20 cm ausragende Brandschutzabschottung aus einem durchgehenden Profil aus Stahlblech (Mindeststärke 1mm) oder brandschutztechnisch Gleichwertigem ausgebildet wird. (z.B. ein Massivholzbrett mit einer Mindeststärke von 40 mm und einer vorragenden Breite von 200 mm) Eine Konstruktion, die diese Anforderung erfüllt, wird ohne Schwierigkeiten in die umlaufende Terrassen- bzw. Loggienzone integriert.



Maßnahmen zur Verhinderung von Brandüberschlag

Bei der Ausbildung von Holz-Metall Verbindungen ist darauf zu achten, dass Stahlteile nicht über den Holzquerschnitt hinausragen. Je größer die brandbeanspruchte Fläche des Stahl-Verbindungsmitels ist, umso mehr Wärme leiten diese in die tragenden Holzteile ab und erzeugen dabei einen erhöhten Abbrand. Aktuelle Brandversuche zeigen aber auch, dass un-

geschützte Holzverbindungen (Holz-Stahl-Holzverbindung mit Stahlstabdübel 12 und 20 mm Durchmesser) jederzeit Feuerwiderstandsdauern von über 30 Minuten erreichen.

Jene Schlitzbleche, die den Holzrost der Terrassen und Loggien mit den Eichenholz-Rundstützen verbinden, können mit einem aufschäumenden Brandschutzanstrich lackiert werden. Die Metallschiebeverbindungen (z.B. Produkt Sherpa der Fa. Harrer), die den Holzrost mit der Diagonaldübelholzdecke kraftschlüssig verbinden, sind allseitig von Holz abgedeckt. Sie sind daher nicht direkt dem Brand bzw. der Wärmeeinwirkung ausgesetzt.

Bei einem konkreten Bauvorhaben empfehlen wir, dass frühzeitig (idealerweise in der Vor-entwurfsphase) erfahrene Brandschutzfachleute und die genehmigenden Behörden in die Planung eingebunden werden. Wie einige vor kurzem realisierte Bauprojekte zeigen, sind projektspezifisch entwickelte Brandschutz- und Rettungskonzepte im Holzbau sinnvoll, weil wenige gezielt gesetzte Maßnahmen die größte Effizienz erreichen. (aktuelle Beispiele sind die Hauptschule in Klaus / Vorarlberg und das Veranstaltungszentrum „Höss-Halle“ in Hinterstoder / Oberösterreich)

(Weiterführende Informationen dazu siehe: pro:holz Austria, Brandschutztechnische Ausführung von Holzfassaden, ISSN 1814-3180)



Rettungswege um die Gebäude

### Gebäudetechnik:

Alle wasserführenden Installationsleitungen sollen so eingebaut werden, dass bei einem Gebrechen die tragenden Holzkonstruktionen nicht durch Feuchtigkeit dauerhaft beschädigt werden. Dafür eignen sich am besten die sogenannten Rohr in Rohrsysteme.

Bei der Sanitärplanung ist das dauerhaft luft- und wasserdichte Verschließen der Installationsdurchführungen zu beachten.

An den Außenwandelementen sind aufgrund der gewünschten Flexibilität betreffend Lage, Art und Breite dieser Elemente keine Installationen zu führen.

Die Temperierung der Innenräume erfolgt mit einer Niedertemperatur – Fußbodenheizung.

Die Elektroleitungen werden - entsprechend dem Gebot der Flexibilität - in Kabelkanälen und speziell geformten Sockelleisten geführt.

Betreffend Brandschutz gilt es darauf hinzuweisen, dass Kabelabschottungen und Rohrab-schottungen in der Qualität EI 30 auszuführen sind.

Der statisch wirksame Betonkern kann zur aktiven Bauteiltemperierung (wärmen und kühlen) herangezogen werden.

(Weiterführende Informationen dazu siehe: pro:holz Austria, Holzskelett- und Holzmassivbauweise, ISSN 1680-4252)



Zusammenfassend betrachtet entwickelt sich die Konzeption und die Konstruktion aus dem Wunsch nach Anpassungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit sowie an den materiellen Ressourcen des Standortes und seiner Umgebung und orientiert sich an den Erfordernissen eines überregionalen und dynamischen Immobilienmarktes, wie er sich nicht nur in Niederösterreich etabliert hat.

*„Nachhaltige Gebäude bieten Sicherheit, Geborgenheit, ermöglichen durch ihre räumliche Anordnung soziale Kontakte und Integration sowie Rückzug, Regeneration und Identifikation. Es sind Orte, die Menschen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Herkunft ein Zuhause bieten vermögen.“ [Preisig, 2004, S.34]*

Die Planung von Gebäuden in vorgefertigter Holzbauweise verlangt eine enge Zusammenarbeit zwischen den planenden ArchitektInnen, den IngenieurInnen und dem ausführenden Holzbauunternehmen. Daher verstehen sich diese Zeichnungen nur als Anregung für ein konkretes Bauvorhaben - eine detaillierte projektbezogene Planung ist unerlässlich!

Teamorientiertes Planen ist die Voraussetzung für die Umsetzung dieser Bauprozesse, die das Planen im Holzbau in den vergangenen zehn Jahren stark verändert haben. Gefragt ist dabei nicht mehr die koordinierte Summe von Einzelleistungen, sondern eine integrierte Gesamtleistung völlig unterschiedlicher Fachrichtungen. Nur so lassen sich beispielsweise die Forderungen nach anpassungsfähigen, ressourcenorientierten und energieeffizienten Bauten mit der Forderung nach kostengünstigem Bau und Betrieb vereinbaren.

*Die wohnung war nie fertig; sie entwickelte sich mit uns und wir in ihr. Wohl war kein stil darin. Das heißt kein fremder, kein alter. Aber einen stil hatte die wohnung, den stil ihrer bewohner, den stil der familie. (Adolf Loos, 1899)*

# TEIL D

## THERMISCH MODIFIZIERTES HOLZ

bearbeitet von Robert Stingl,

Institut für Holzforschung, BOKU Wien

Universität für Bodenkultur Wien

Ansprechpartner: Univ.Prof. Alfred Teischinger und Robert Stingl  
in Kooperation mit der HTL Mödling (Abteilung Holztechnik)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen der thermischen Modifikation</b>	<b>3</b>
1.1	Einleitung	3
1.2	Kurzer geschichtlicher Rückblick	3
1.3	Chemisch-physikalische Veränderungen im Holz während der thermischen Behandlung	5
1.4	Beschreibung der Modifikationsprozesse	7
1.5	Holzeigenschaften von thermisch modifiziertem Holz	11
1.6	Normung und Standardisierung von thermisch modifiziertem Holz	17
1.7	Meinungen zum thermisch modifiziertem Holz	17
1.8	Anwendungsbeispiele	19
<b>2</b>	<b>Dauerhaftigkeit von thermisch modifiziertem Holz (mit / ohne Erdkontakt)</b>	<b>22</b>
2.1	Dauerhaftigkeit von thermisch modifizierten Holz ohne Erdkontakt ("lap-joint"-Verfahren)	22
2.2	Dauerhaftigkeit von thermisch modifizierten Holz im Erdkontakt	28
<b>3</b>	<b>Verhalten von thermisch modifiziertem Holz bei natürlicher und künstlicher Bewitterung</b>	<b>34</b>
3.1	Einleitung	34
3.2	Verhalten bei künstlicher Bewitterung	35
3.3	Verhalten bei natürlicher Bewitterung im Innenraum	40
3.4	Verhalten bei natürlicher Bewitterung im Außenbereich	43
<b>4</b>	<b>Untersuchung von üblichen Befestigungsmethoden</b>	<b>78</b>
4.1	Optimierung des Randabstandes des Befestigungsmittels	78
4.2	Klimabeständigkeit der verschiedenen Befestigungsmittel	83

# 1 Grundlagen der thermischen Modifikation

## 1.1 Einleitung

Der Begriff Modifikation hatte viele Bedeutungen, so kann er zum Beispiel die Veränderungen bzw. Weiterentwicklungen von Gebrauchsdingen zur Verbesserungen ihrer Nutzbarkeit oder verschiedene chemische Erscheinungsformen von Substanzen oder Materialien beschreiben.

Für die Modifikation von Holz sind derzeit mehrere Verfahren vorhanden (Abb 1). Einige werden bereits industriell umgesetzt, andere hingegen befinden sich noch im labortechnischen Stadium und werden erst in den nächsten Jahren ihre praktische Anwendung finden.

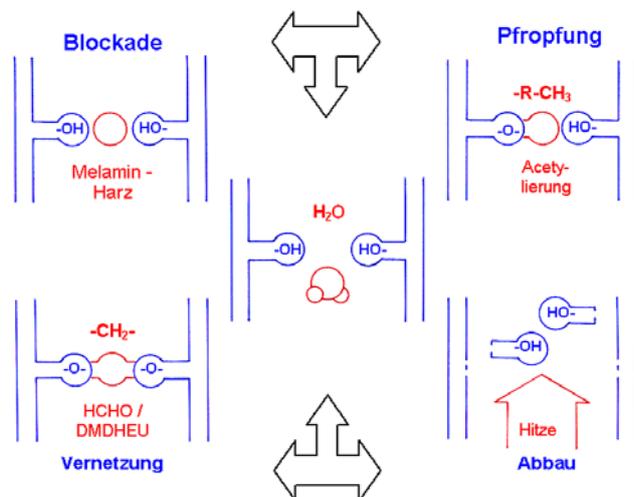


Abb 1 - verschiedene Formen der Holzmodifikation (Stefke, Teischinger 2002)

Unter der thermischen Modifikation oder der Hitzebehandlung von Holz versteht man ein spezielles Vergütungsverfahren. Durch Einbringung von Energie bzw. Hitze wird die chemische Zusammensetzung und Struktur des Holzes so massiv geändert, dass gewünschte (auch unerwünschte) Änderungen der Materialeigenschaften eintreten.

## 1.2 Kurzer geschichtlicher Rückblick

Die Erkenntnis, dass durch Hitzeeinwirkung auf Holz dessen Eigenschaften verändert werden können, ist schon seit Jahrtausenden bekannt. Ein typisches Beispiel hierfür sind alte Zäune, wo durch Erwärmen der von Zweigen eine verbesserte Verformbarkeit erreicht wurde (Abb 2).



Abb 2 - Befestigung der Zaunlatten mittels hitzebehandelter Zweige

1830 begann der deutsche Tischlermeister Michael Thonet mit der Entwicklung von Bugholzmöbel. Auch hier wurde Buchenholz unter Druck und Wärme erhitzt und anschließend in eine gewünschte Form gebracht. Der nach Österreich ausgewanderte Thonet erreichte mit seinen Möbeln weltweite Anerkennung und schuf die ersten industriell maßengefertigten Möbel (Abb 3).

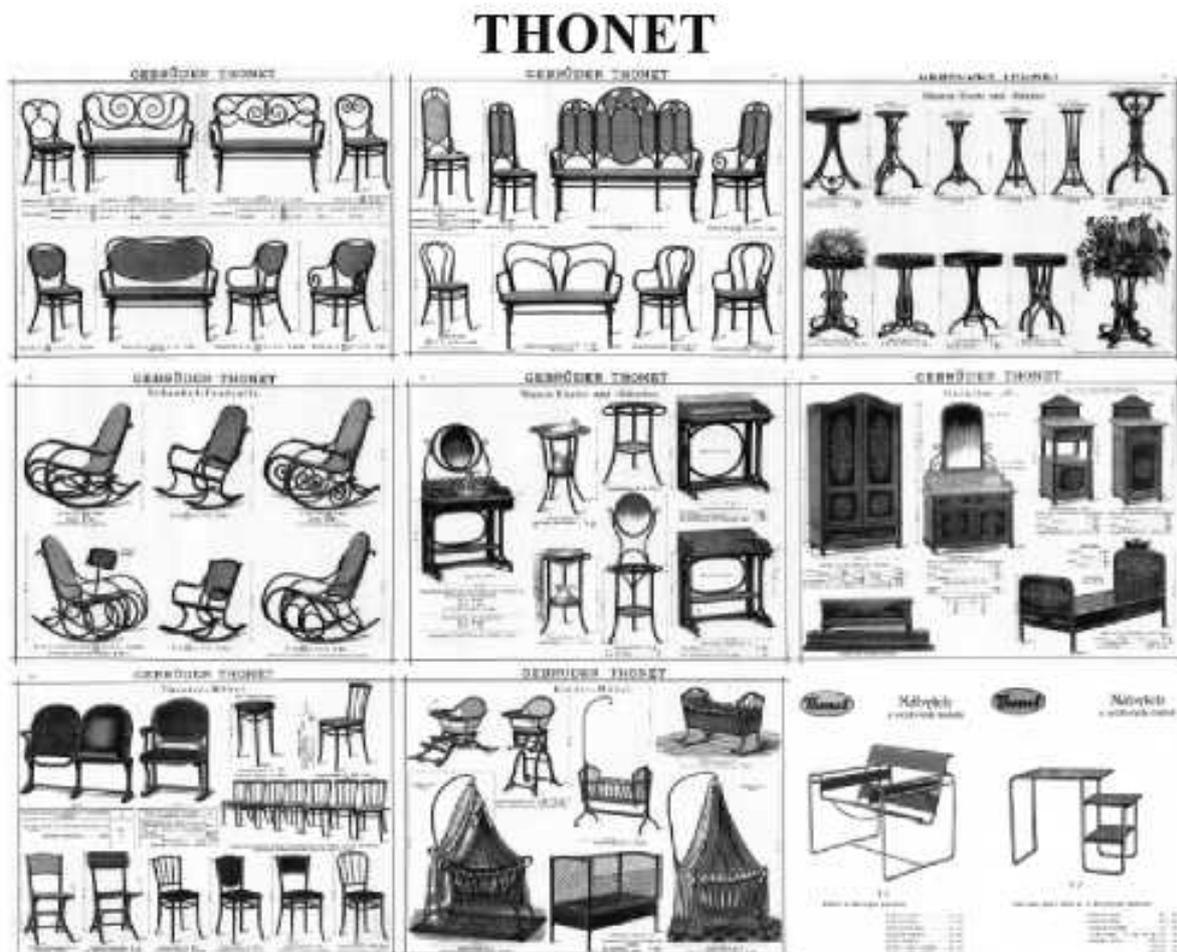


Abb 3 - Produktübersicht der Gebrüder Thonet aus dem Jahre 1867 (Schmutzler 1996)

Zu Beginn des vorigen Jahrhunderts untersuchte der Chemiker und Holztechnologie Tiemann Hölzer nach einer Hochtemperaturtrocknung bei 150°C und stellte eine erhöhte Dimensionsstabilität fest (Tiemann 1920). Auf diesem Wissen aufbauend entwickelten und

patentierten 1946 die beiden US-Wissenschaftler Stamm und Hansen das erste industriell gefertigte thermisch modifizierte Holz mit dem Namen "Staywood". Dieses Produkt konnte sich aber am amerikanischen Markt nie behaupten. In den folgenden Jahrzehnten gab es immer wieder neue Anläufe, ein Produkt bis zur Marktreife zu entwickeln.

In den frühen Achtziger-Jahren des letzten Jahrhunderts wurde in den Niederlanden von der dort ansässigen Mineralölindustrie (Royal Dutch Shell) Untersuchungen von neuen Einsatzmöglichkeiten von Holz finanziell unterstützt. Nach mehrjährigen Forschungsarbeiten im Centre for Timber Research in Delft und an der SHR Timber Research in Wageningen konnte "PLATO®WOOD" präsentiert werden. Dieses thermisch modifizierte Holz konnte am Markt platziert werden und löste eine breite Forschungswelle in ganz Europa aus (Abb 4). Mittlerweile werden bereits in 6 europäischen Staaten hitzebehandelte Hölzer erzeugt und einigen weiteren Ländern werden derzeit konkrete Projekt umgesetzt.

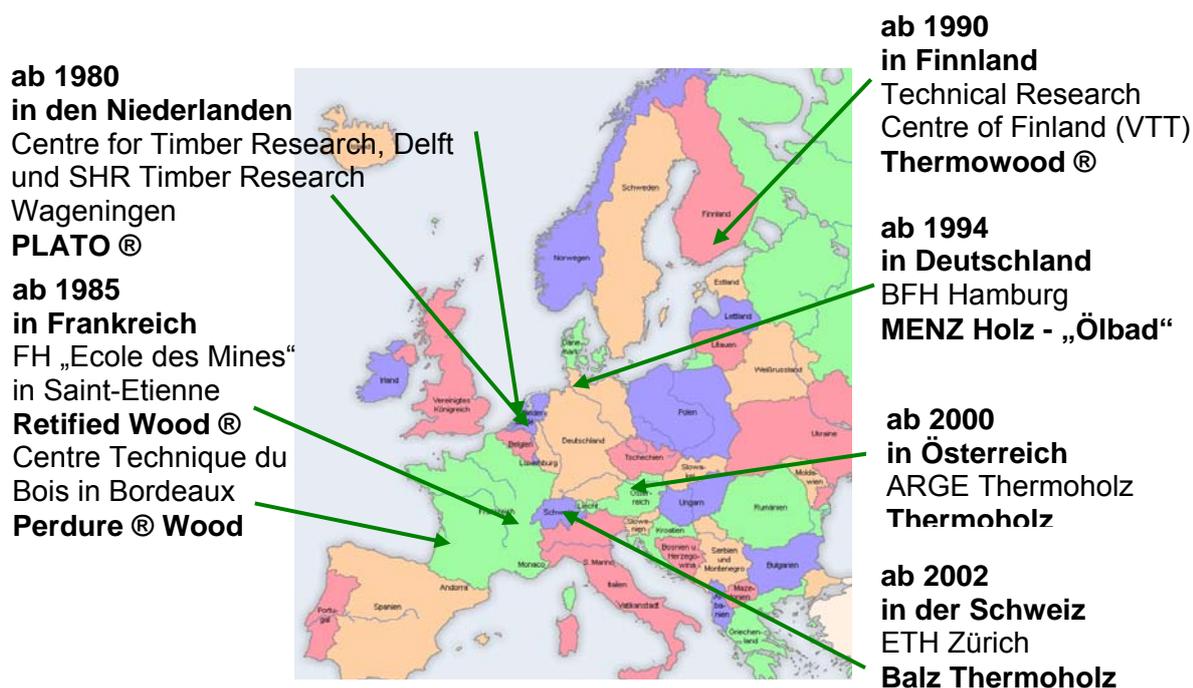


Abb 4 - Entwicklungs- bzw. Produktionsstätten von thermisch modifiziertem Holz (Stingl et al. 2002)

### 1.3 Chemisch-physikalische Veränderungen im Holz während der thermischen Behandlung

Holz besteht vor allem aus Zellulose, Hemizellulose, Lignin und Inhaltsstoffen, die allesamt von verschiedenen Organismen abgebaut werden können. Die meisten aller Pilze benötigen Wasser, Sauerstoff und Zellwandmaterial, um ihren Nährstoffkreislauf aufrecht zu erhalten. Die thermische Modifikation versucht nun, ohne Einbringung von Stoffen mit biozider Wirkung, eine Schutzwirkung zu erzielen. Es gilt dabei, die Zellwandstruktur so zu ändern, dass ein enzymatischer Abbau verhindert wird.

Die reaktivsten Bestandteile des Holzes sind die Hydroxygruppen. Eine Modifizierung und der damit verbundene Abbau dieser Gruppen bringt den großen Vorteil mit sich, dass jene Teile der Zellwand (OH-Gruppen) verändert werden, welche für die Wasserbindung hauptsächlich verantwortlich sind. Da sich daraufhin keine Wassermoleküle in den Mikrofibrillen anlagern können, wird die Quellung bzw. das Schwinden der Zellwand verhindert. Zusätzlich wird durch die Zerstörung dieser hydrophilen OH-Gruppen eine neue Vernetzung innerhalb der molekularen Struktur erreicht, die zu einer weiteren Dimensionsstabilisierung führt (Tjeerdsma, Boonstra et al. 1998, Wienhaus 1999).

Erhitzt man Holz, so setzt in Gegenwart von Wasser bereits bei 100°C eine temperaturinduzierte Hydrolyse von Zellwandbestandteilen ein. Bis zu einer Temperatur von 130 °C verläuft dieser Prozess sehr langsam. Erhöhung der Temperatur kommt es zu einer massiven Beschleunigung der Reaktion und zu einem deutlichen Masseverlust (Bourgoit, Guyonnet 1988) (Abb 6). Das thermisch modifizierte Holz weist einen gesenkten Elementargehalt von Sauerstoff und Wasserstoff, während der Kohlenstoffgehalt erhöht ist, auf (Wienhaus 1999). Die Hitzebehandlungsprozesse werden in einem Temperaturbereich von 160 - 230 °C durchgeführt, wobei der Modifikationseinfluss der einzelnen Holzsubstanzen auf die Holzeigenschaften sehr unterschiedlich ist (Abb 5).



Abb 5 - Einfluss der einzelnen Holzsubstanzen auf die Holzeigenschaften (Jänisch 2004)

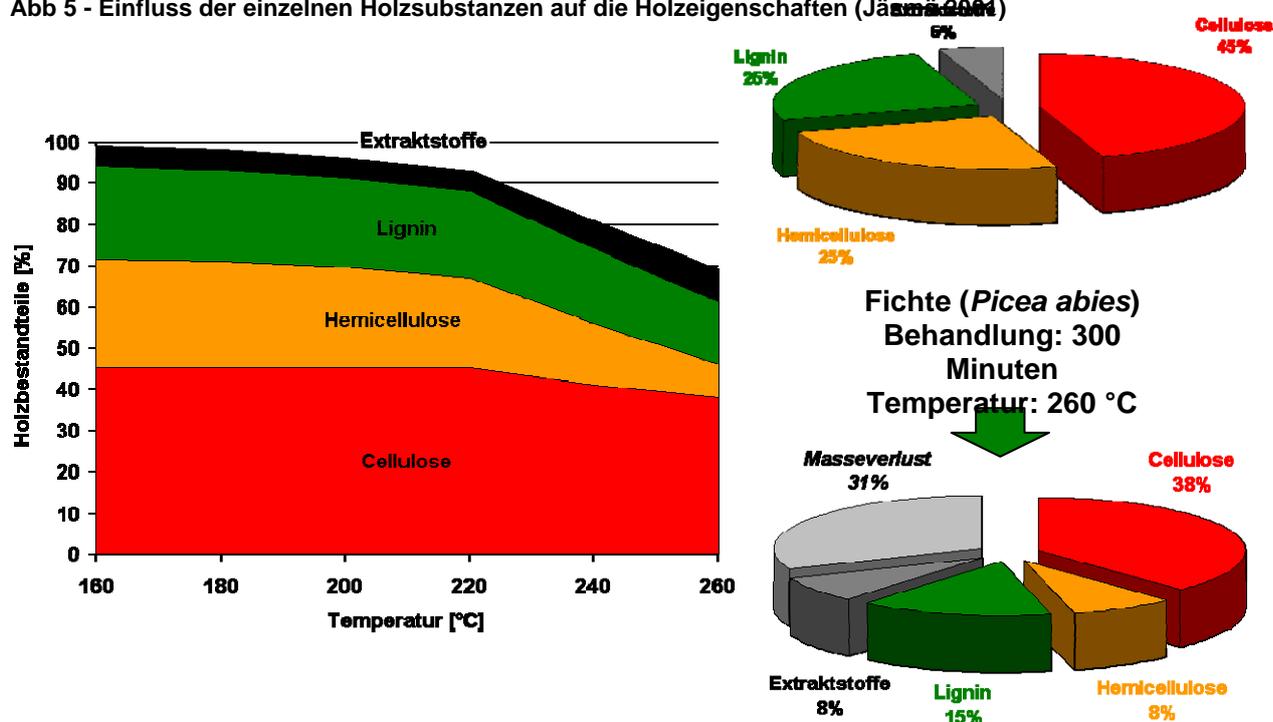


Abb 6 - Abbau von Zellwandsubstanzen bis zu einer Temperatur von 260°C

## 1.4 Beschreibung der Modifikationsprozesse

Auf den folgenden Seiten werden alle europäischen Modifikationsverfahren kurz beschrieben und sollen einen Überblick über Produktionskapazitäten, Preise oder den verschiedenen Varianten der Prozessführung aufzeigen.

### PLATO® - Verfahren (Providing Lasting Advanced Timber Option)

Erzeuger: Plato International BV - Arnhem / NL ([www.platowood.nl](http://www.platowood.nl))  
Jahreskapazität: 70.000 m<sup>3</sup>  
Produktionskosten: 100 Euro/m<sup>3</sup>  
Markt: Niederlande, Norddeutschland, Japan  
Prozess: 4 - 5 Stunden Thermolyse  
          bei 150 – 200°C; 8 – 10 bar Druck; wasserdampfgesättigt  
3 - 5 Tage Konventionstrocknung bis 10 % Holzfeuchte  
14 - 16 Stunden Aushärtung bei 160 - 200 °C, Normaldruck

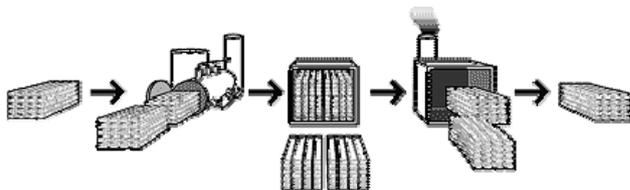


Abb 7 - Produktionsschema von PLATO®WOOD

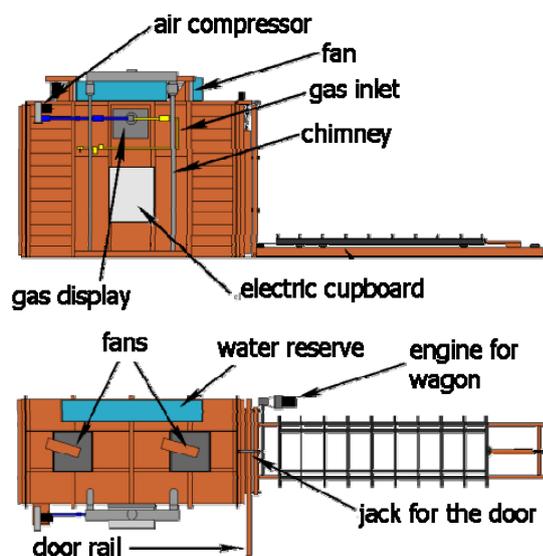
### Retified Wood® (vernetztes Holz)

Erzeuger: NOW (New Option Wood) – Saint-Etienne / F und weiteren 4 Standorten  
Entwicklung: FH „Ecole des Mines“ in Saint-Etienne / F  
Jahreskapazität: 20.000 m<sup>3</sup>  
Produktionskosten: ca. 155 Euro/m<sup>3</sup>  
Markt: Frankreich, Schweiz  
Holz: Kiefer, Pappel, Birke  
Prozess: Konventionstrocknung bis 12 % Holzfeuchte  
          8 - 10 Stunden Modifikation  
          bei 210 - 240 °C, in einer Stickstoff-Atmosphäre (O<sub>2</sub> > 2%)



**Abb 8 - Produktionsanlage von Retified Wood®  
Perdure® Wood (dauerhaftes Holz)**

Erzeuger: BCI-MBS - Saint-Clair du Rhône / F  
Entwicklung: Centre Technique du Bois in Bordeaux / F  
Jahreskapazität: 5.000 m<sup>3</sup>  
Produktionskosten: ca. 100 Euro/m<sup>3</sup>  
Markt: Frankreich, Spanien  
Prozess: Konventionstrocknung bis 12 % Holzfeuchte  
6 - 8 Stunden Modifikation  
bei 230 °C, in einer Wasserdampf-Atmosphäre



**Abb 8 - schematisch Darstellung der Produktionsanlage von Perdure® Wood**

### Vergütung im Ölbad

Erzeuger: MENZ Holz – Ehrenberg-Reulbach / D  
Entwicklung: Bundesversuchsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft - Hamburg / D  
Jahreskapazität: 8.000 m<sup>3</sup>  
Produktionskosten: ca. 90 Euro/m<sup>3</sup>  
Markt: Deutschland  
Holz: Fichte, Kiefer  
Prozess: 2 - 4 Stunden Modifikation bei 180 – 220 °C,  
in einem Lein-, Sonnenblumen oder Raps-Ölbad

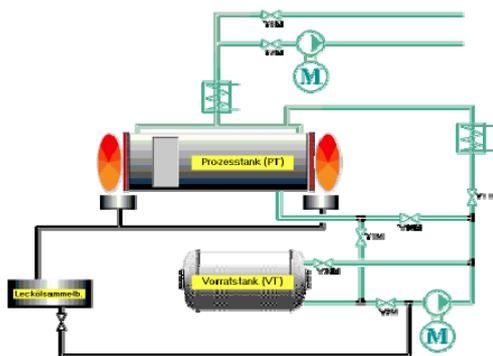


Abb 8 - Kessel der Produktionsanlage und schematisch Darstellung der Steuerung

### Thermowood®

Erzeuger: 12 Mitglieder der Lämpöpuuyhdistys Ry  
 (Finnish Heat Treatment Timber Association - [www.thermowood.fi](http://www.thermowood.fi))  
 Entwicklung: Technical Research Centre of Finland (VTT)  
 Jahreskapazität: ca. 720.000 m<sup>3</sup>  
 Produktionskosten: ca. 100 bis zu 180 Euro/m<sup>3</sup>  
 Markt: weltweit (Japan, Saudi-Arabien, Chile, Neuseeland,...)  
 Holz: Fichte, Kiefer, Birke, Pappel, Lärche, Esche, Buche, Erle, Eukalyptus  
 Prozess: Konventionstrocknung bei 100 °C / 130 °C, bis fast 0 % Holzfeuchte  
 2 - 3 Stunden Modifikation bei 215 °C, in einer Wasserdampf-

### Atmosphäre

### Abkühlung

- PRODUCTION PLANTS
  1. Ekosampo Oy
  2. Metsäliitto Finforest
  3. Heinolan Ruskopuu Oy
  4. Oy Brown Wood Ltd
  5. Oy Lunawood Ltd
  6. HJT-Holz Oy
  7. Stellac Wood Mikkeli Oy
  8. Stora Enso Timber Oy Ltd
  9. Suomen Lämpöpuu Oy
- KILN MANUFACTURERS
  10. Jartek Termo Oy
  11. Stellac Oy
  12. Valutec Oy
- OFFICES
  13. Metsäliitto Finforest
  14. Stora Enso Timber Oy
  15. UPM-Kymmene Wood
  16. Finnish ThermoWood Association

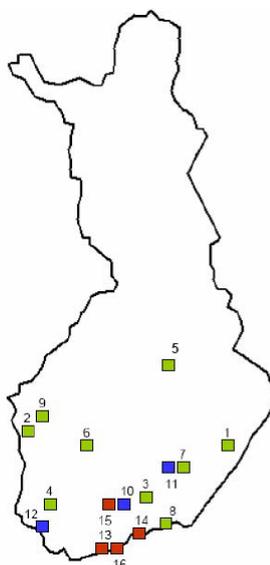


Abb 9 – Mitglieder der Finnish Heat Treatment Timber Association (Ala-Viikari 2007)

## Thermoholz

Erzeuger:	Mitteramskogler - Gafrenz / A MAFI – Schneegattern / A
Entwicklung:	ARGE Thermoholz
Jahreskapazität:	5.000 – 10.000 m <sup>3</sup>
Produktionskosten:	ca. 80 - 130 Euro/m <sup>3</sup>
Holz:	Buche, Kiefer, europäische Holzarten
Prozess:	Konventionstrocknung 2 - 6 Stunden Modifikation bei 230 °C, in Wasserdampf-Atmosphäre Abkühlung

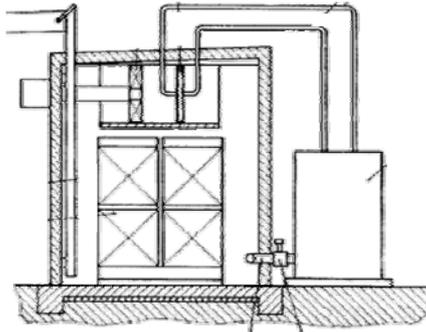


Abb 10 - Produktionsanlage und schematisch Darstellung der Steuerung

## Wärmestabilisiertes Holz (Thermoholz)

Erzeuger:	Balz Holz AG – Langnau i. E. / CH
Entwicklung:	ETH Zürich
Jahreskapazität:	ca. 5.000 m <sup>3</sup>
Produktionskosten:	ca. 100 - 120 Euro/m <sup>3</sup>
Holz:	Fichte, Tanne, Kiefer, Douglasie, Ahorn, Buche, Esche
Prozess:	Konventionstrocknung 2 - 6 Stunden Modifikation bei 150 - 200 °C, 8 – 10 bar Druck, in Stickstoff-Atmosphäre Abkühlung



Abb 11 - Produktionsanlage von "Wärmestabilisiertem Holz"

## Schlussfolgerung und Ausblick

Alle oben beschriebenen Verfahren haben den Sprung aus dem Versuchslabor in die industrielle Produktion geschafft. Da bei allen Herstellern ständig Produktionsengpässe auftreten und daher die Kapazitäten kontinuierlich ausgebaut werden, haben sich sämtliche Verfahren durchgesetzt und bewährt. Eine Beurteilung, welcher Prozess sich besser eignet, ist nur schwer möglich.

Aus Sicht der Produktionsmengen bzw. -kapazitäten hat sich das VTT-Verfahren aus Finnland mit ca. 80% europäischem Marktanteil am Besten etabliert. Da die Nachfrage noch immer größer ist als die derzeitigen Produktionsmengen, sind bei fast allen Produzenten Kapazitätserweiterungen (bis zu 100%) geplant oder bereits in der Bauphase.

## 1.5 Holzeigenschaften von thermisch modifiziertem Holz

Auf den folgenden Seiten werden einige verbesserte, aber auch verschlechterte, Holzeigenschaften dargestellt, die auch die Veränderung durch die Modifikation zeigen sollen.

### Holzausgleichsfeuchte

Durch den Abbau der Hydroxygruppen während der Hitzebehandlung wird die Einlagerung von Wasser in die Zellstruktur stark unterbunden. Dies führt zu einer Verringerung der Holzausgleichsfeuchte von bis zu 50% des Ausgangswertes (Abb 12) und hat einen deutlichen Einfluss auf das Quell- und Schwindverhalten.

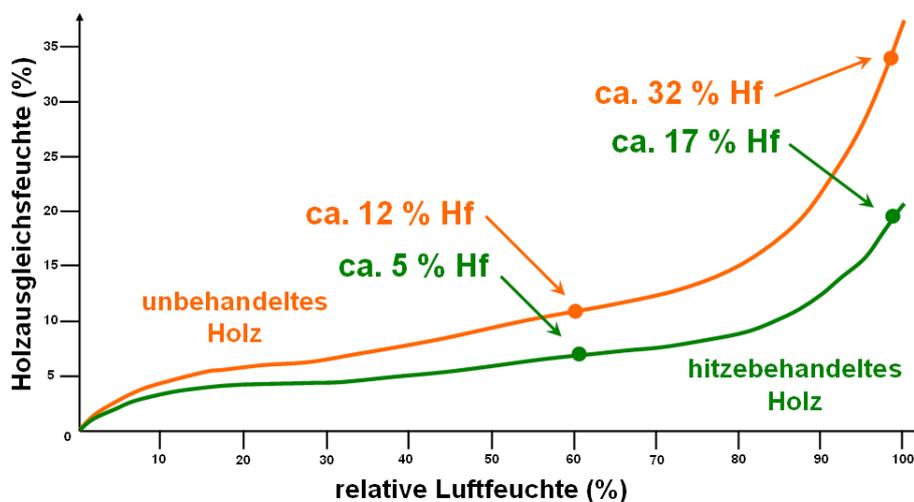


Abb 12 - Reduzierung der Holzausgleichsfeuchte von Kiefer bei einer 4stündigen Hitzebehandlung bei 212°C

### Quell- und Schwindmaß (Dimensionsstabilität)

Durch die Verringerung der Feuchteaufnahmefähigkeit wird das Quell- und Schwindmaß deutlich reduziert. Diese Verbesserung der Dimensionsstabilität ermöglicht den Einsatz bei maßgenauen Bauteilen oder im Außenbereich.

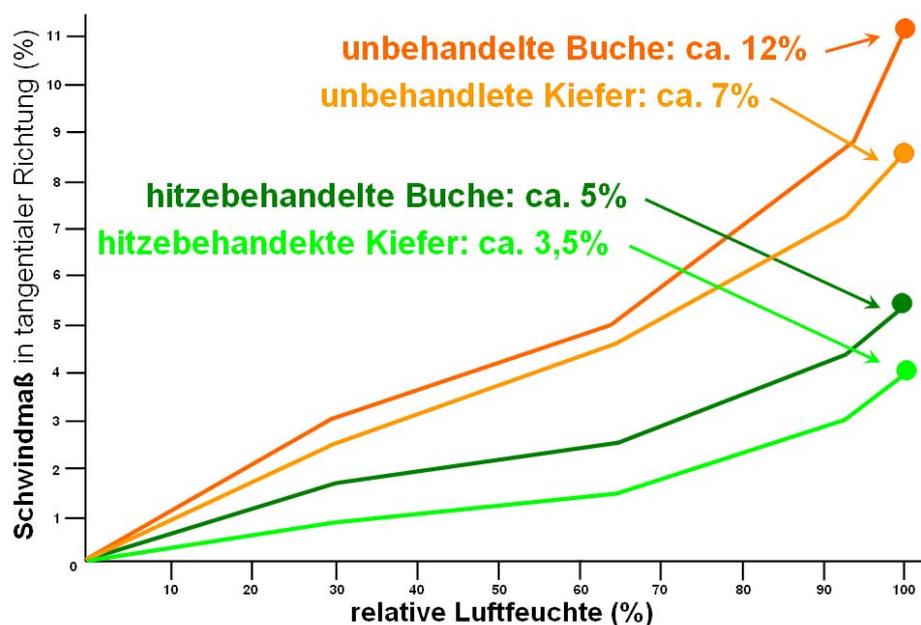


Abb 13 - Verbesserung der Dimensionsstabilität von Buche und Kiefer (4stündigen Behandlung bei 212 °C)

### Biologische Dauerhaftigkeit gegenüber Insekten und Pilzen (nicht im Erdkontakt)

Durch den Abbau bzw. strukturelle Umgestaltung von vielen Zellwandbauteilen ist ein enzymatischer Abbau dieser für die meisten Organismen unmöglich. Daher ist ein Befall durch heimische Pilze und Insekten äußerst unwahrscheinlich. Bereits bei einer 12stündigen Behandlungstemperatur von 165°C mittels des FWD-Verfahrens (Feuchte-Wärme-Druck-Verfahren nach Burmester 1973, 1974a,b) konnte eine Reduzierung des Holzabbaus durch Pilze (unbehandeltes Holz 35 - 45% Holzmasseabbau) (Abb 14) auf wenige Prozent festgestellt werden. Durch Erhöhung der Temperatur (ab 210 °C) ist ein Befall durch Pilze (Abb 15) oder heimischen Insekten (Abb 16) absolut auszuschließen.

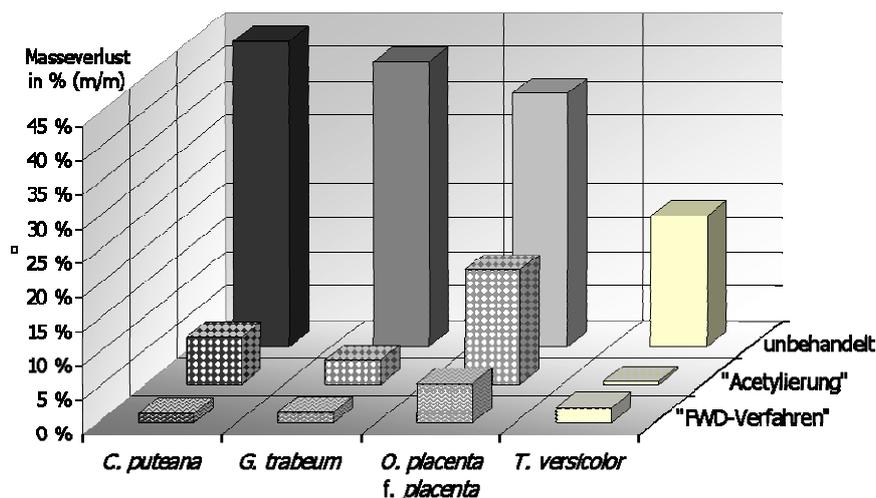


Abb 14 - Verbesserung der Pilzresistenz von Fichtenholz mit Hilfe einer chemischen Modifikation (Acetylierung) und des Feuchte-Wärme-Druckverfahrens (FWD) (Ladner, Halmschlagler 2002)

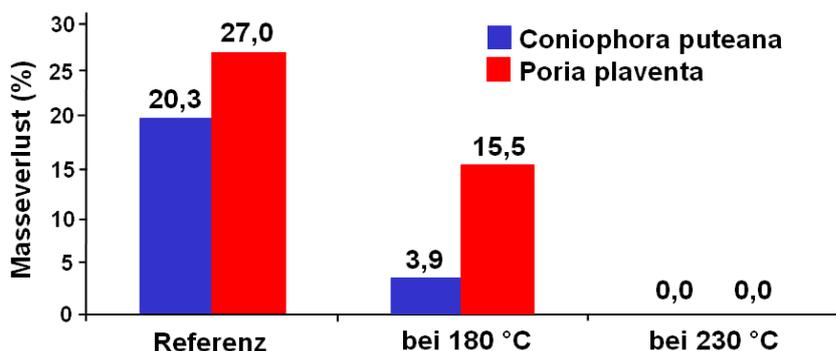


Abb 15 - Verbesserung der Pilzresistenz von Buche nach einer 4stündigen Hitzebehandlung bei 212 °C

Hausbock				kein Befall	kein Befall
bunte Nagekäfer				leichter Befall	kein Befall
Termiten				Befall	leichter Befall
				180°C	230°C

Abb 16 - Verbesserung der Resistenz gegen heimische Insekten (4stündigen Hitzebehandlung bei 212 °C)

### Biologische Dauerhaftigkeit im Erdkontakt

Die Beanspruchung von Holzbauteilen wird nach EN 335 - Teil 1 & 2 "Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen" in 5 Gefährdungsklassen (Tab 1) unterteilt. Hölzer, die teilweise oder ständig im Erdkontakt stehen, sind in der Klasse 4 beschrieben. Unabhängig von den Gefährdungsklassen wird jede Holzart in eine Dauerhaftigkeitsklasse (nach EN 350 - Teil 1 und 2 "Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz") eingereiht (Tab 2). Die meisten thermisch modifizierten Hölzer besitzen zwar bessere Werte als unbehandelte Hölzer, erreichen aber trotzdem nur die Dauerhaftigkeitsklasse 2 bis 3. Eine Ausnahme ist das Modifikationsverfahren im Ölbad, hier konnte zumindest Klasse 2 erreicht werden. Das FWD-Verfahren, welches sich erst im labortechnischen Stadium befindet, erreichte die besten Werte (Abb 17).

Tab 1 - Gefährdungsklassen von Holz und Holzwerkstoffen nach EN 335-1

Gefährdungsklasse	Beanspruchung (Einbausituation)
1	ohne Erdkontakt, abgedeckt, immer trocken
2	ohne Erdkontakt, abgedeckt, gelegentliche Befeuchtung möglich
3	ohne Erdkontakt, nicht abgedeckt (Außenbauteile mit starker Bewitterung, Innenbauteile in Nassräumen)
4	mit Erdkontakt, Süßwasserkontakt (Außenbauteile, teilweise oder ganz im Erdreich oder Beton, Wasserbauteile)
5	Meerwasserkontakt, Kühltürmhölzer

Tab 2 - Dauerhaftigkeitsklassen nach EN 350-2 (Lebenserwartung für Gefährdungsklasse 4)

Dauerhaftigkeitsklasse	Definition	Lebenserwartung unter gemäßigten Klimabedingungen
1	sehr dauerhaft	über 25 Jahre
2	dauerhaft	15 bis 25 Jahre
3	mäßig dauerhaft	10 - 15 Jahre
4	wenig dauerhaft	5 bis 10 Jahre
5	nicht dauerhaft	weniger als 5 Jahre

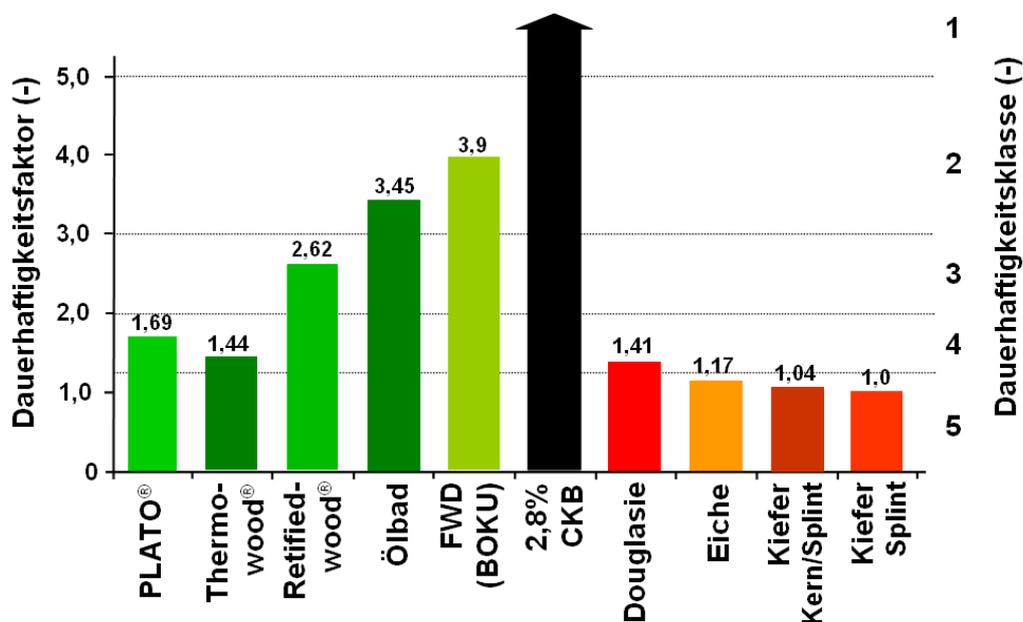


Abb 17 - Dauerhaftigkeitsklassen von unbehandelten und hitzebehandelten Hölzern

## Farbeinstellung während der Modifikation

Während der thermischen Modifikation werden Inhaltsstoffe des Holzes umstrukturiert. Dies hat, neben der Veränderung der physikalischen Eigenschaften, auch eine Wandlung der Farbe zur Folge. Mit zunehmender Temperatur bzw. Behandlungsdauer wird die Farbe des hitzebehandelten Holzes dunkler, rotbraun und farbintensiver (Abb 18).

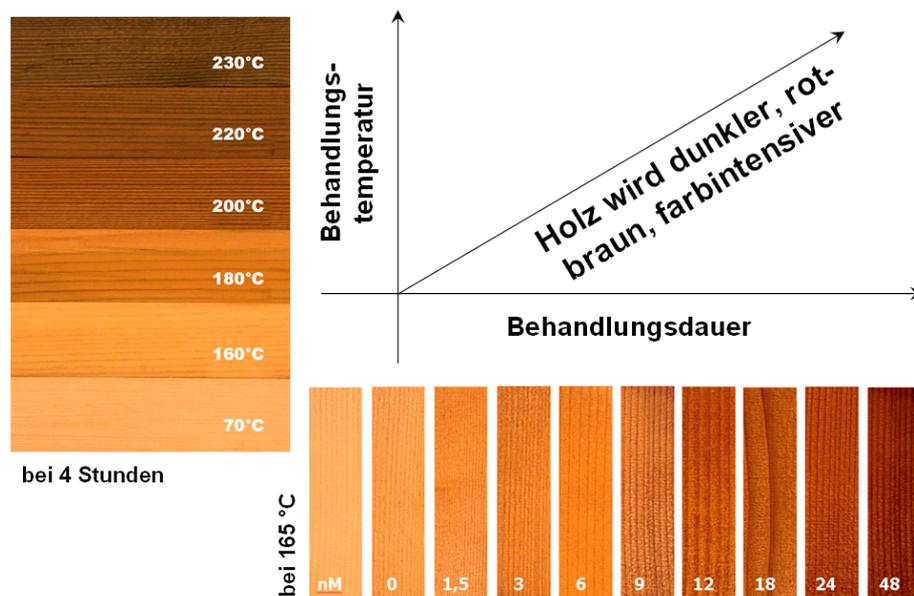


Abb 18 - Farbveränderungen von Fichtenholz während der thermischen Modifikation (Patzelt et al. 2002) (bei 4stündiger Behandlung zwischen 70 - 230°C und bei 165 °C von 0 - 48 Stunden)

## Witterungsbeständigkeit der natürlichen Holzfarbe

Ähnlich wie unbehandeltes Holz, verwittert thermisch modifiziertes Holz bei Sonneneinstrahlung und Beregung in einen grauen Farbton. Die Abwitterungsgeschwindigkeit ist ebenfalls mit der von unbehandeltem Holz vergleichbar. Deutliche Unterschiede zeigen sich in der Rissbildung. Auf Grund der geringeren Feuchtigkeitsaufnahme weist hitzebehandeltes Holz ein wesentlich besseres Stehvermögen auf und zeigt eine geringere Rissbildung.

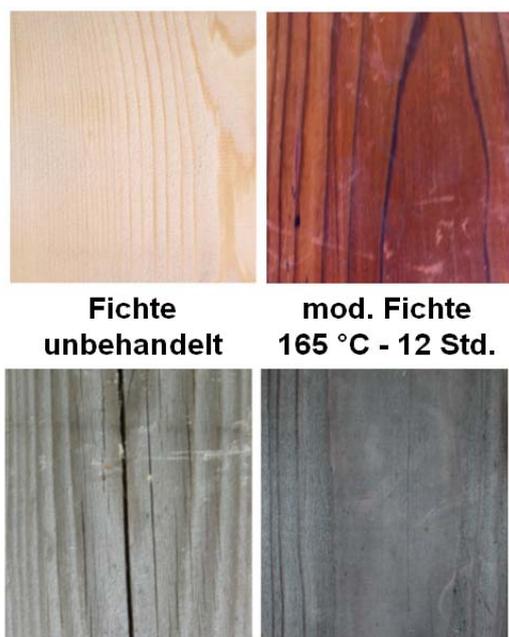


Abb 19 - einjährige Bewitterung von unbehandeltem und modifiziertem Fichtenholz (Patzelt et al. 2002)

### Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften

Auf Grund der massiven Hitzeinwirkung auf das Holz wird die Zellwandstruktur geschwächt. Die hat zur Folge, dass die Festigkeitswerte mit zunehmender Temperatur stark reduziert werden. Wegen der hohen Sprödigkeit und massiven des Verlustes der Biegefestigkeit ist ein konstruktiv stark beanspruchter Einsatz von hitzebehandeltem Holz oft auszuschließen. In diesem Zusammenhang muss die Prozessvariante berücksichtigt werden, denn zwischen den einzelnen Produkten herrschen diesbezüglich große Unterschiede (Abb 20).

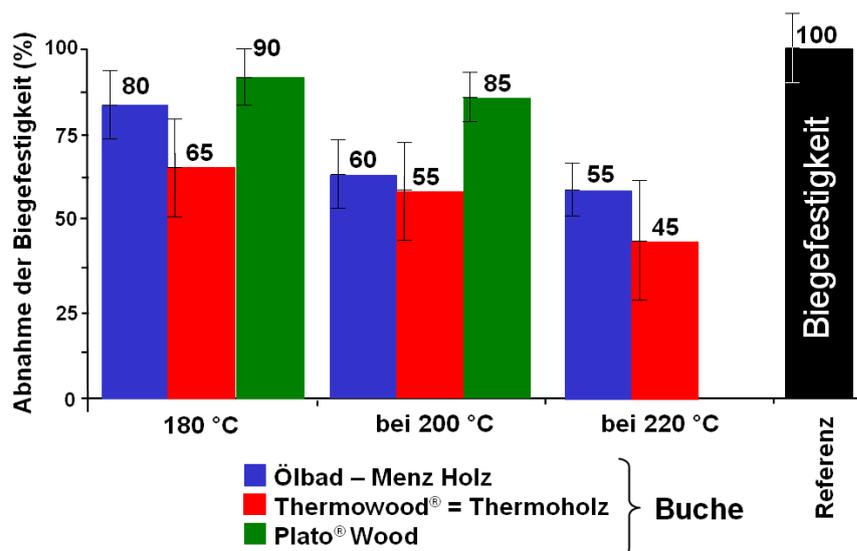


Abb 20 - Reduzierung der Biegefestigkeit von Buchenholz auf Grund verschiedener thermischer Modifikationsverfahren

## 1.6 Normung und Standardisierung von thermisch modifiziertem Holz

Die Modifizierung von Holz kann als eine der bedeutendsten Innovationen der letzten Jahre in der Holzforschung und Holzwirtschaft angesehen werden. Thermisch modifiziertes Holz oder TMT (Thermally Modified Timber), im deutschen Sprachraum auch als Thermoholz bezeichnet, ist auf dem heimischen Holzmarkt immer noch eine neue, zum Teil unbekanntere Produktgruppe. TMT ist als Gruppe neuer Holzarten anzusehen, die sich jeweils nach Holzart, Modifizierungsverfahren und Behandlungsstufe unterscheiden.

Dem Anstieg europäischer Produktionskapazitäten und dem damit einhergehenden wachsenden Bedürfnis nach Regeln bzw. einer Normung für diese neuartigen Hölzer, wurde durch das CEN Rechnung getragen und 2004 die Arbeitsgruppe CEN/TC175/WG3/TG6 "Thermally Modified Timber" gegründet. Ziel ist die Erarbeitung einer Europäischen Technischen Spezifikation für TMT (CEN/WI 175-108), die gegebenenfalls später in eine europäische Produktnorm weitergeführt werden soll. Das Dokument „Thermal Modified Timber – Definitions and characteristics“ (TC 175 WI 00175118) wurde im November 2006 veröffentlicht. Durch das spezifische Eigenschaftsprofil thermisch modifizierter Hölzer im Unterschied zum naturbelassenen Holz (Festigkeit, Gleichgewichtsfeuchten) sind viele bestehende oder derzeit entwickelte Normen nicht bzw. nur teilweise auf TMT anwendbar, andererseits entstehen formale Anwendungsbeschränkungen für TMT, obwohl dieses in der Praxis bereits für diese Zwecke eingesetzt wird. Probleme sind insbesondere hinsichtlich der erforderlichen CE-Kennzeichnung zu erwarten. Um Schäden zu vermeiden, sollte auch in verschiedene Normen aufgenommen werden, ob und wie TMT einsetzbar ist (Scheidung et. al., 2007).

Das Normungsvorhaben soll seinen Ausgangspunkt bei der thermischen Modifizierung bzw. den danach hergestellten Hölzern haben. Es soll jedoch auch für andere innovative Verfahren der Holzmodifizierung offen sein, die sich derzeit noch in der Entwicklungs- bzw. Einführungsphase befinden. Beispiel hierfür ist insbesondere die Vernetzung, aber auch die Acetylierung. Damit soll der innovative Ansatz unterstrichen werden.

## 1.7 Meinungen zum thermisch modifiziertem Holz

Mit Unterstützung des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung wurde an der ETH Zürich von der Arbeitsgruppe Holzphysik ein Projekt zu den Erfahrungen der Abnehmer mit Thermoholz lanciert. Hierbei wurden Architekten und Vertreter der Holzindustrie in Deutschland, der Schweiz und in Österreich zu Vor- und Nachteilen bzw. zu den Marktchancen von thermisch modifiziertem Holz befragt (Junghans, Niemz 2005).

Eine Grundidee für die Entwicklung von hitzebehandeltem Holz war, einen Holzwerkstoff mit hoher Dimensionsstabilität und Dauerhaftigkeit zu schaffen. Diese Erwartung ist - laut dieser Befragung - erfüllt worden. Weiters wird TMT (Thermally Modified Timber) als ökologisch eingeschätzt und die dunklere Verfärbung des Holzes während des Prozesses als sehr positiv empfunden (Abb 21).

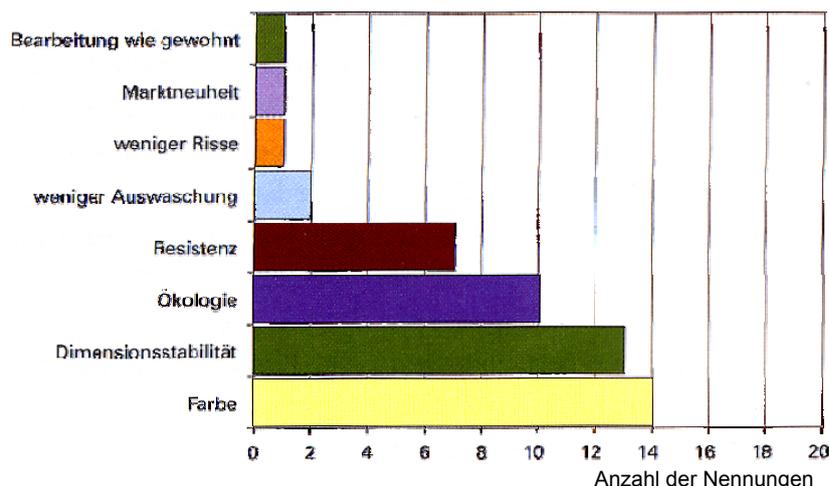


Abb 21 - Befragungsergebnis zum Thema "Vorteile von thermisch modifiziertem Holz" bei Architekten und der Holzindustrie in Deutschland, der Schweiz und in Österreich (Junghans, Niemz 2005)

Der hohe Preis von thermisch modifiziertem Holz wird als Nachteil eingeschätzt, da sich dieses Produkt somit nicht als Massenware am Markt etablieren lässt. Weiters werden die Festigkeitsminderung bzw. die Sprödigkeit negativ beurteilt (Abb 22).

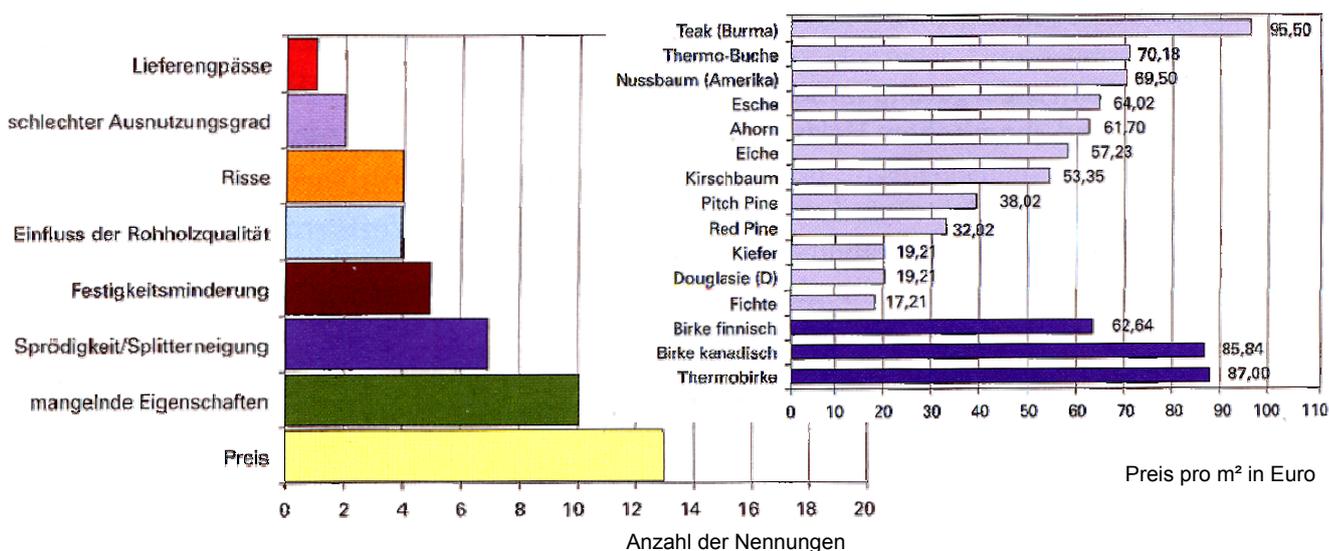


Abb 22 - Befragungsergebnis zum Thema "Nachteile von thermisch modifiziertem Holz" bei Architekten und der Holzindustrie in Deutschland, der Schweiz und in Österreich und ein Preisvergleich von Massivholzdieleböden (Junghans, Niemz 2005)

## 1.8 Anwendungsbeispiele

### Außenbereich - Fassade

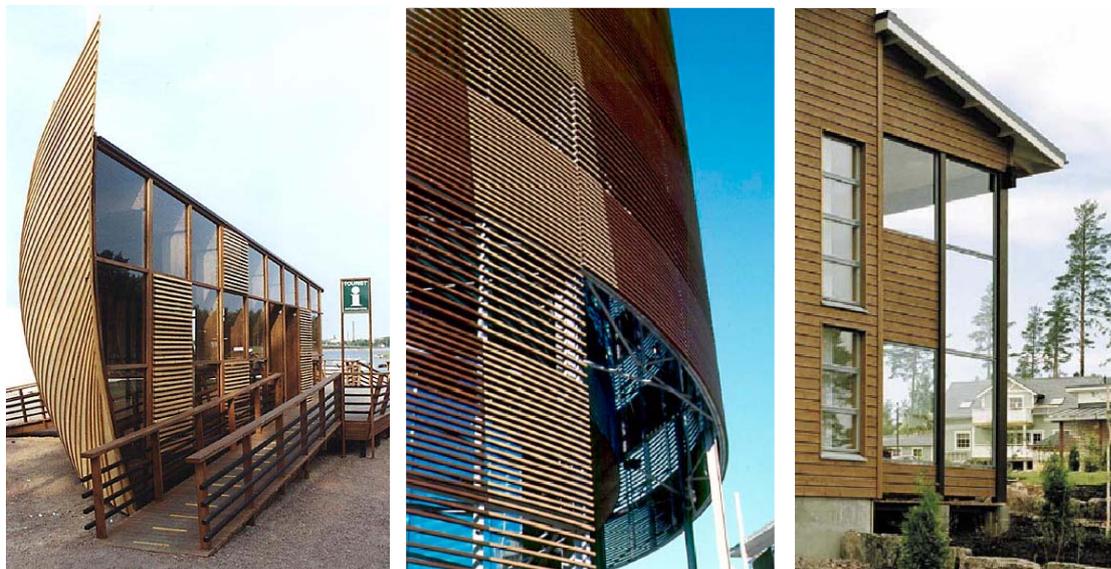


Abb 23, 24, 25 - Baumesse Kotka 2002, Kiefer, Lunawood / FI (links); Verwaltungsgebäude McDonald in Helsinki, Thermowood / FI (Mitte); Außenschalung, Pappel, Thermowood / FI (rechts)

### Außenbereich - Terrasse

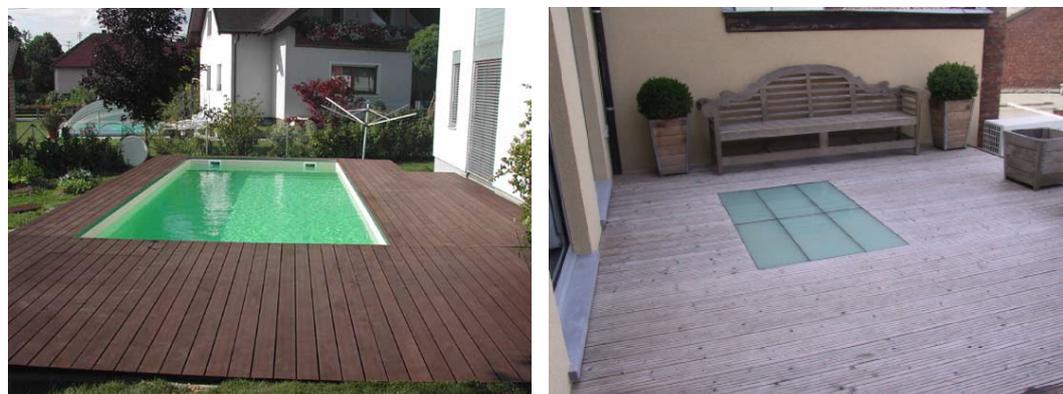


Abb 26 & 27 - Terrassenboden, Buche Mitteramskogler / A (links); vergrauter Terrassenboden, Kiefer, Thermowood / FI

## Fenster und Türen

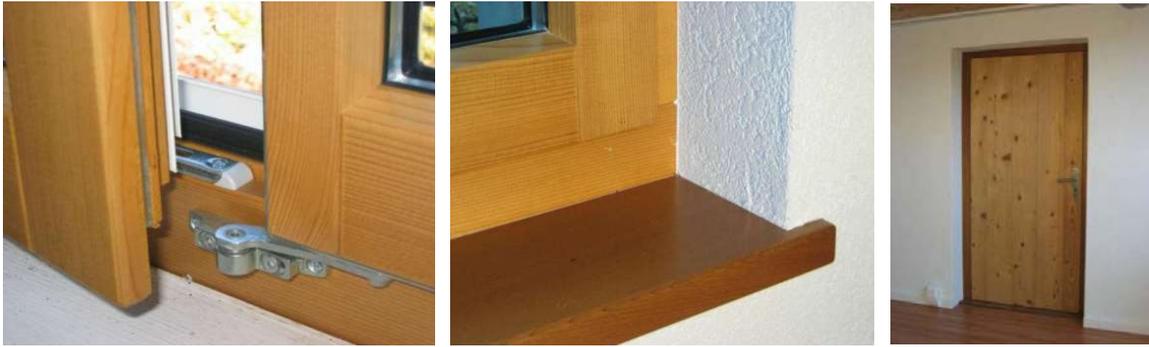


Abb 28, 29, 30 - Holz-Alu-Fenster (links), Fensterbank (Mitte), Innentür (rechts), Fichte und Buche, Balz Holz AG / CH

## Innenbereich - Fußboden



Abb 31 & 32 - verschiedene Holzarten, unterschiedlich modifiziert, Lunawood / FI (links); Fußboden Vulcano: Eiche, Esche, Kastanie MAFI / A (rechts)

## Sauna und Nassbereich



Abb 33, 34, 35 - Sauna aus Kiefer und Espe, Thermowood / FI (links); Badezimmer, Esche, Thermoholz / A (Mitte); Badebeckenkonstruktionen und Verschalung, Kiefer, Lunawood / FI (rechts)

## Küchen und Möbelbau

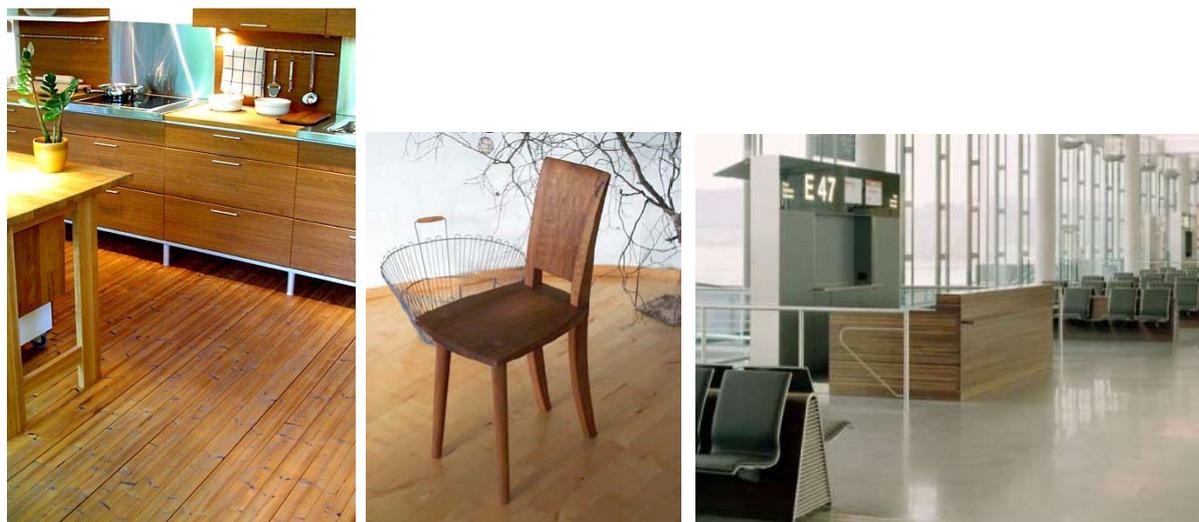


Abb 36, 37, 38 - Fußboden und Küchenbauteile, Kiefer und Birke, Lunawood / FI (links); Sessel, Pappel, Jartek Oy / FI (Mitte); Theke am Züricher Flughafen, Fichte, Balz Holz AG / CH (rechts)

## 2 Dauerhaftigkeit von thermisch modifiziertem Holz (mit / ohne Erdkontakt)

### 2.1 Dauerhaftigkeit von thermisch modifiziertem Holz ohne Erdkontakt ("lap-joint"-Verfahren)

#### Einleitung und Erklärung

Für die Untersuchung der Dauerhaftigkeit von modifiziertem Holz wurde die EN 12037 "Holzschutzmittel - Freilandversuch zur Bestimmung der relativen Wirksamkeit eines Holzschutzmittels ohne Erdkontakt - Verfahren mit horizontaler Überblattung" herangezogen. Diese Norm dient eigentlich zur Bestimmung der Wirksamkeit von Schutzmittel im Außenbereich, entspricht aber auch dem Anwendungsbereich von hitzebehandeltem Holz (Rapp, Augusta 2000).

Eingesetzt wurden bei diesem 5jährigen Freilandversuch so genannte "lap-joint"-Proben (Abb 39). Diese ermöglichten eine Simulation von Holzbauteilen im Außenbereich mit auftretendem Mikroorganismen-Angriff (ohne Erdkontakt) und beschrieben die Beanspruchung nach Gefährdungsklasse 3 laut EN 335-1 (Tab 1).

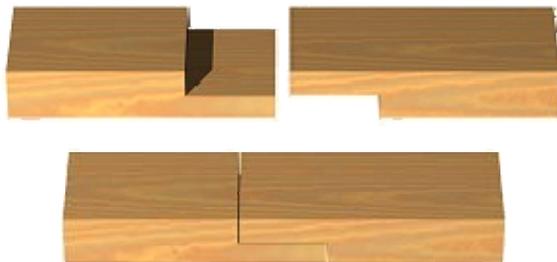


Abb 39 - "lap-joint"-Proben laut EN 12037 zur Bestimmung der Witterungsbeständigkeit ohne Erdkontakt

#### Versuchsablauf

Für diese Untersuchungen wurde am Institut für Holzforschung (BOKU Wien) Fichtenholz bei einer Temperatur von 165°C, 8 bar Druck, unter Stickstoffatmosphäre, 24 Stunden thermisch modifiziert. Aus diesem Material konnten 23 "lap-joint"-Proben hergestellt werden.

Im April 2001 wurde das Probenmaterial im Rahmen des Projektes "Modifiziertes Holz - Eigenschaften und Märkte" (unter der Leitung von Frau Dr. Margareta Patzelt) im Versuchsgarten Essling (verwaltete durch das Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien) der Bewitterung preis gegeben. Als Referenz wurden Proben aus unbehandelter Fichte und Kiefer in die Bewertung mit aufgenommen. In den Jahren 2002, 2004, 2006 und 2007 wurden die Proben kontrolliert und die Anzeichen der Verwitterung nach einem vorher festgelegten Bewertungsschema (Tab 4) aufgezeichnet.

Von der nahe gelegenen Wetterstation Raasdorf konnten wichtige meteorologische Daten für die Auswertung herangezogen werden (Tab 3).



Abb 40, 41, 42, 43 - Ansicht der tragenden Konstruktion (links); Einspannung der "lap-joint"-Proben (Mitte); Draufsicht auf das Probenmaterial bei Bewitterungsstart (rechts)

Tab 3 - meteorologischen Daten von April 2001 – Oktober 2007 der Wetterstation Raasdorf

durchschnittliche Kennwerte	
Temperatur (2 m über dem Boden)	10,95°C
Bodentemperatur (ca. 20 cm Tiefe)	10,10 °C
Luftfeuchtigkeit	76,32 %
Niederschlag	1,45 mm/Tag
Windgeschwindigkeit	6,15 km/h
Globalstrahlung	84,86 W/m <sup>2</sup>

Tab 4 - Bewertungsschema nach EN 12037 für "lap-joint"-Proben im Freilandversuch

Bewertungsziffer	Beschreibung	Bewertungskriterien
0	gesund	keine Anzeichen einer durch Mikroorganismen, Erweichung oder Festigkeitsverlust verursachten Verfärbungen
1	geringer Angriff	leichte Verfärbungen, häufig dunkel und streifenförmig, keine deutlichen Erweichungen oder Festigkeitsverluste des Holzes
2	mäßiger Angriff	deutliche Verfärbungen, aber in getrennten Flecken und Streifen mit kleinen Flächen von Zerstörungen (weiches, geschwächtes Holz), deren Gesamtfläche 3 cm <sup>2</sup> nicht überschreitet
3	schwerer Angriff	ausgeprägte Erweichungen und Schwächung des Holzes, typisch für Zerstörung durch Pilze, mit ausgedehnten Flecken oder Streifen, deren Gesamtfläche 3 cm <sup>2</sup> überschreitet
4	Ausfall	sehr schwere und ausgedehnte Fäulnis, Teilstück(e) können häufig leicht abgebrochen werden

## Auswertung und Ergebnisse

Die Bewertung der Bewitterung bzw. der Beanspruchung durch Mikroorganismen erfolgte mit Hilfe des in Tabelle 4 beschriebenen Bewertungsschemas. Hierbei wurde getrennt von einander die bewitterte Ober- oder Außenfläche (E) und die Überlappungs- oder Verbindungsfläche (J) beschrieben.

### Ober- oder Außenfläche (E)

Hier wurden die der Bewitterung preisgegeben Oberflächen der "lap-joint"-Proben nach einem, drei und fünf Jahren bewertet (Tab 5).

Tab 5 - Auswertung der Oberflächenbewitterung von "lap-joint"-Proben nach einem, drei und fünf Jahren (K ... Kiefern-Referenz-Proben, F ... Fichten-Referenz-Proben, M ... Modifizierten Proben)

	1. Jahr (2002)			3. Jahre (2004)			5. Jahre (2006)			6. Jahre (2007)		
	K	F	M	K	F	M	K	F	M	K	F	M
<b>Mittlere Bewertungsziffer <math>V^{NE}</math></b>	0,1 4	0,0 9	<b>0,0</b> <b>0</b>	0,4 5	0,6 5	<b>0,0</b> <b>0</b>	1,3 6	1,3 0	<b>0,0</b> <b>0</b>	2,6 4	2,0 0	<b>0,0</b> <b>0</b>
<b>Minimaler Wert</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Maximaler Wert</b>	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
<b>Standardabweichung</b>	0,3 4	0,2 8	0	0,5 8	0,6 3	0	0,8 8	0,8 6	0	0,9 3	0,9 8	0

Nach einem Jahr Bewitterung zeigte die Holzart Kiefer bei drei Proben und die unbehandelte Fichte bei zwei Proben leichte punktuelle Verfärbungen, wobei kein Festigkeitsverlust zu verzeichnen war. Das modifizierte Fichtenholz wies bei keiner Probe Veränderungen auf (Tab 5, Abb 44). Die Oberflächen aller Proben (auch das modifizierte Holz) waren bereits deutlich vergraut. Rissbildungen hingegen waren nur bei den unbehandelten Proben klar zu erkennen (Abb 19 & 45).

Die Verwitterung der Referenzproben aus Fichte und Kiefer verlief im gleichen Ausmaß. Nach drei Jahren zeigten ca. 50% der Proben Fleckenbildungen. Nur vereinzelt konnten kleinere Flächen mit geschwächtem Holz festgestellt werden

Nach fünf Jahren konnte auf cirka einem Drittel der Fichten- und Kiefernproben deutliche bis ausgeprägte Erweichungen (Schadstellen) verzeichnet werden. Einige Proben zeigten oft massive Angriffsspuren von Mikroorganismen. Die Oberflächen der thermisch modifizierten Proben hingegen wiesen auch nach fünf Jahren auf keine Anzeichen eines Pilzbefalls hin. Alle Proben wurden mit "gesund" (Bewertungsziffer 0) eingestuft (Tab 5, Abb 44 & 46).

Ein Jahr später – nach sechs Jahren – hat sich die Verwitterung bzw. der Abbau der Holzsubstanz bei Kiefer gegenüber Fichte stark beschleunigt. 50% aller Kiefernproben wurden mit der Bewertungsziffer 3 oder 4 beurteilt. Bei beiden Referenzen konnten aber bei einigen Proben bereits ganze Holzteile ohne Kraftaufwand (auf Grund der stark fortgeschrittenen Verrottung) gelöst werden. Das modifizierte zeigte auch nach sechs Jahren Verwitterung keine Spuren von Mikroorganismen (Tab 5, Abb 44).

Nach drei Jahren waren alle Proben an der Oberfläche vollständig vergraut. Die unbehandelten Proben hatten tiefe Risse und die typische Waschbrettstruktur. Die

modifizierten Proben hingegen zeigten eine relativ glatte und rissfreie Oberfläche. Das Aussehen der Referenzproben - zwischen drei und fünf Jahren Bewitterung - hat sich kaum verändert, lediglich die Rissbildung schritt leicht voran. Die modifizierten Fichtenproben zeigten zwar nach fünf Jahren eine geringe Rissbildung, die aber wesentlich kleiner ausfiel, als bei den dazugehörigen unbehandelten Referenzproben (Abb 46).

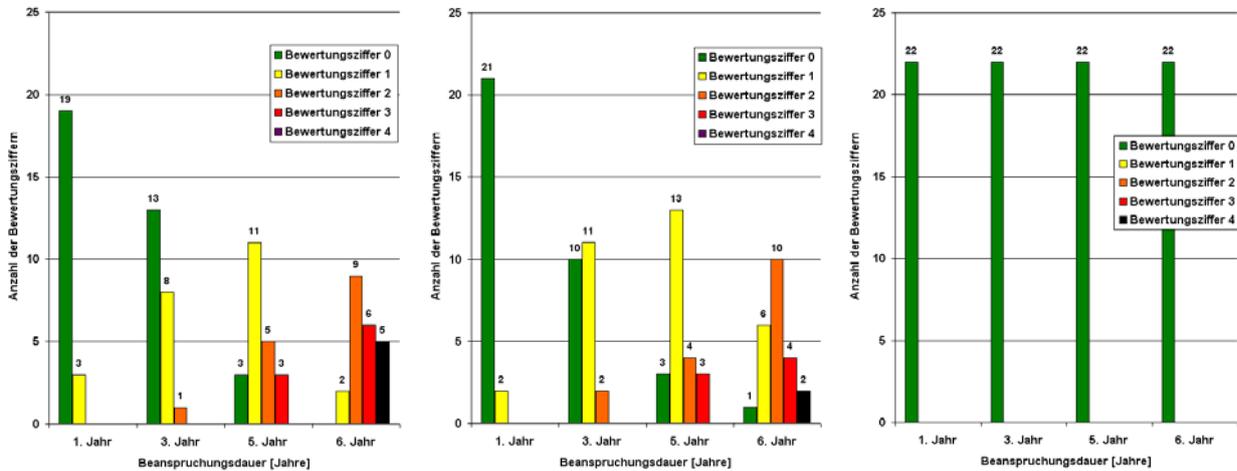


Abb 44 - Verteilung der Oberflächenbewertungen (nach Bewertungsziffern) von Kiefer (links), von unbehandelter Fichte (Mitte) und von thermisch modifiziertem Holz (rechts)

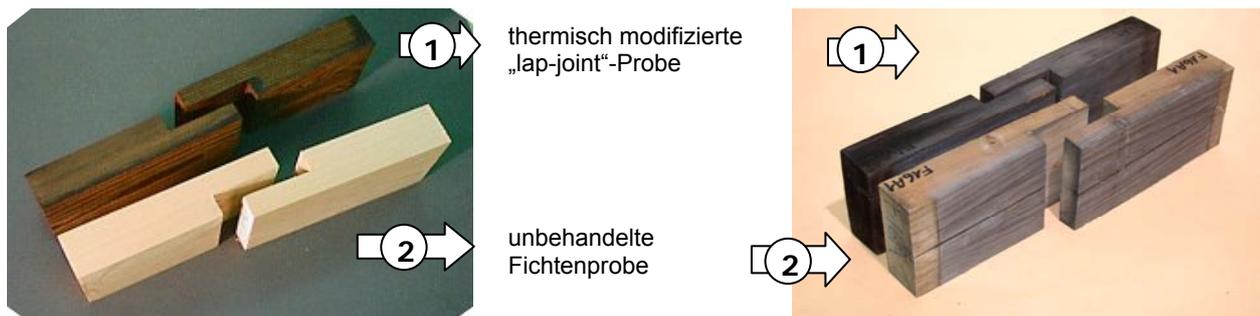


Abb 45 - modifiziertes und unbehandeltes Probenmaterial nach einem Jahr Bewitterung



**modifiziertes Fichtenholz**

oben: der Witterung ausgesetzte Seite mit starker Vergrauung und geringer Rissbildung (vorhandene Risse im Randbereich sind bereits während des Modifikationsprozesses entstanden)  
unten: der Witterung abgewandte Seite, mit leichtem Verlust der Farbintensität

**unbehandeltes Fichtenholz**

oben: der Witterung ausgesetzte Seite mit starker und gleichmäßiger Vergrauung und massiver Rissbildung (Ausgangsmaterial war rissfrei!)  
unten: der Witterung abgewandte Seite, wo ein deutlicher Verlust der Farbintensität zu verzeichnen ist.

Abb 46 - modifiziertes und unbehandeltes Probenmaterial nach fünf Jahren Bewitterung der Oberfläche

## Verbindungsflächen (J)

Hier wurden die überlappende Verbindungsflächen (J) der beiden "lap-joint"-Probenteile nach einem, drei und fünf Jahren bewertet.

Tab 6 - Auswertung der Verbindungsflächen von "lap-joint"-Proben nach einem, drei und fünf Jahren (K ... Kiefern-Referenz-Proben, F ... Fichten-Referenz-Proben, M ... Modifizierten Proben)

	1. Jahr (2002)			3. Jahre (2004)			5. Jahre (2006)			6. Jahre (2007)		
	K	F	M	K	F	M	K	F	M	K	F	M
<b>Mittlere Bewertungsziffer <math>V^{nJ}</math></b>	0,1 8	0,1 7	<b>0,0</b> <b>0</b>	0,7 7	0,7 8	<b>0,0</b> <b>0</b>	1,7 3	1,5 2	<b>0,0</b> <b>0</b>	3,0 9	2,6 1	<b>0,0</b> <b>9</b>
<b>Minimaler Wert</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Maximaler Wert</b>	1	1	0	2	2	0	3	4	0	4	4	1
<b>Standardabweichung</b>	0,3 9	0,3 8	0	0,6 7	0,7 8	0	1,0 1	1,2 5	0	1,0 4	1,1 7	0,2 9

Nach einem Jahr Bewitterung zeigten jeweils bei der Kiefer und der Fichte 4 Proben leichte Verfärbungen, wobei kein Festigkeitsverlust zu verzeichnen war (Tab 6, Abb 47). Das modifizierte Fichtenholz wies bei keiner Probe Veränderungen auf. Alle Verbindungsflächen zeigten annähernd die gleiche Farbe, im Vergleich zum Versuchsbeginn.

Das Verhalten der unbehandelten Referenzproben aus Kiefer und Fichte war über die 5jährige Bewitterungsdauer annähernd gleich. Bei beiden Varianten kam es zu einer stetigen Erhöhung der Bewertungsziffer - das bedeutet, dass mehr und mehr Proben von Mikroorganismen befallen wurden und auf den betroffenen Proben eine stetige Vermehrung von Pilzen augenscheinlich war. Die letzte Beurteilung (nach 5 Jahren) zeigte, dass mindestens 50% aller Proben mäßig bis schwer angegriffen wurden, wobei bei den Fichtenproben sogar ein Ausfall (Probe durch den Pilzbefall im Bereich der Verbindungsfläche absolut zerstört) verzeichnet wurde. Die thermisch modifizierten Hölzer hingegen wiesen bei keiner Probe auf keinen Befall von Mikroorganismen hin und wurden somit mit Bewertungsziffer 0 beurteilt (Abb 48).

Die Beschaffenheit der Referenzproben hat sich nach sechs Jahren drastisch verschlechtert. Bis zu 80% der Proben wiesen einen massiven Befall von holzerstörenden Pilzen auf. Bei den modifizierten Hölzern hingegen sind lediglich an zwei Proben leichte Spuren von Mikroorganismen zu erkennen (Abb 47).

Das unbeschädigte Holz - modifiziert oder unbehandelt - der Verbindungsflächen zeigte nur eine geringe Farbveränderung gegenüber dem Versuchsstart. Die befallenen Flächen färbten sich dunkel und zeigten die typischen Merkmale eines Pilzbefalls (Abb 48).

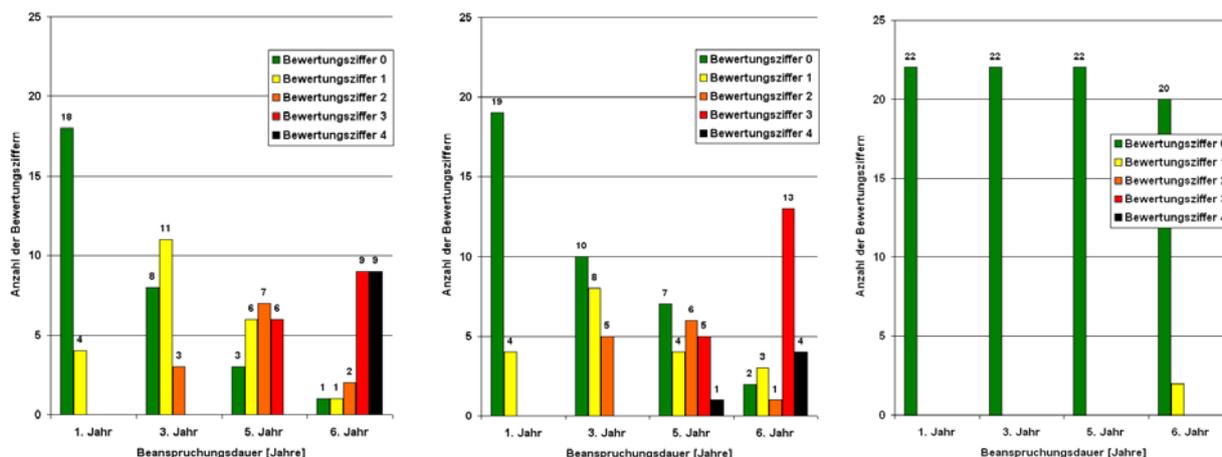
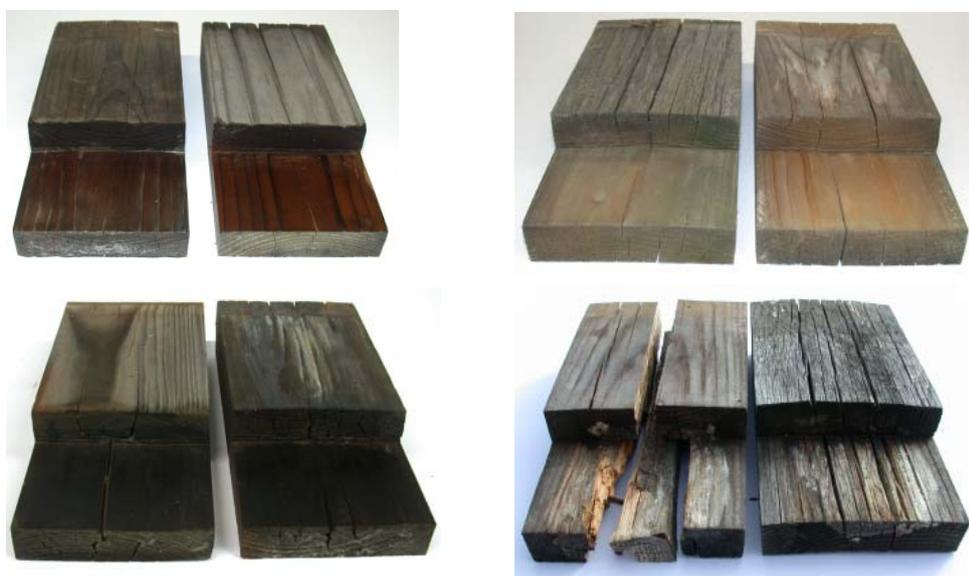


Abb 47 - Verteilung der Verbindungsflächenbewertungen (nach Bewertungsziffern) von Kiefer (links), von unbehandeltem Fichte (Mitte) und von thermisch modifiziertem Holz (rechts)



**modifiziertes Fichtenholz**  
 oben: Bewertungsziffer 0  
 unten: Bewertungsziffer 03

**unbehandeltes Fichtenholz**  
 oben: Bewertungsziffer 0  
 unten: Bewertungsziffer 4

Abb 48 - modifiziertes und unbehandeltes Probenmaterial nach fünf Jahren Bewitterung der Verbindungsfläche

## Zusammenfassung

Die thermisch modifizierten Proben wiesen eine sehr hohe Dauerhaftigkeit auf. Dieser 6jährige Freiland-Bewitterungsversuch zeigte deutlich den Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Proben. Die Referenzproben - Fichte und Kiefersplintholz - verzeichneten einen deutlich Befall von Mikroorganismen (bis hin zur vollständiger Zerstörung der Proben), sowohl auf der Oberfläche (direkte Bewitterung) als auch bei den Verbindungsflächen der "lap-joint"-Proben. Die thermisch modifizierten Proben hingegen haben bis zum Ende der Untersuchung nur einen minimalen und zu vernachlässigen Pilzbefall gezeigt.

Weitere Daten, Tabellen und Abbildungen zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit von thermisch modifiziertem Holz ohne Erdkontakt befinden sich im Anhang 1.

## 2.2 Dauerhaftigkeit von thermisch modifizierten Holz im Erdkontakt

### Einleitung und Erklärung

Für die Untersuchung der Dauerhaftigkeit im Erdkontakt von modifiziertem Holz wurde die EN 252 "Holzschutzmittel - Freiland-Prüfverfahren zur Bestimmung der relativen Schutzwirkung eines Holzschutzmittels im Erdkontakt" herangezogen. Diese Norm dient eigentlich zur Bestimmung der Wirksamkeit von Schutzmittel gegen Pilzbefall im Erdkontakt, entspricht aber auch dem Anwendungsbereich von hitzebehandeltem Holz (Welzbacher, Rapp 2005).

Um die Pilzresistenz zu bestimmen, wurden unbehandelte und modifizierte Holzstäbe (500 x 50 x 25 mm) (Abb 50) zur Hälfte im Erdreich eingegraben. Somit konnte der Einsatz von Holzbauteilen im Erdkontakt und der damit verbundene Mikroorganismen-Angriff simuliert werden und der Versuch beschrieb die Beanspruchung nach Gefährdungsklasse 4 laut EN 335-1 (Tab 1).

### Versuchsablauf

Für diese Untersuchungen wurde am Institut für Holzforschung (BOKU Wien) Fichtenholz bei einer Temperatur von 165°C, 8 bar Druck, unter Stickstoffatmosphäre, 24 Stunden thermisch modifiziert. Aus diesem Material konnten 24 Holzstäbe hergestellt werden.

Im April 2001 wurde das Probenmaterial im Rahmen des Projektes "Modifiziertes Holz - Eigenschaften und Märkte" (unter der Leitung von Frau Dr. Margareta Patzelt) im Versuchsgarten Essling (verwaltete durch das Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien) im natürlich vorkommenden Erdreich eingegraben (Abb 49 & 51). Als Referenz wurden Proben aus unbehandelter Fichte und Kiefer in die Bewertung mit aufgenommen. In den Jahren 2002, 2004 und 2006 wurden die Proben kontrolliert und die Anzeichen eines Pilzbefalls nach einem vorher festgelegten Bewertungsschema (Tab 7) aufgezeichnet.

Von der nahe gelegenen Wetterstation Raasdorf konnten wichtige meteorologische Daten für die Auswertung herangezogen werden (Tab 3).



Abb 49, 50, 51 - vorbereitetes Versuchsfeld (oben links); Probenmaterial (unten links); fertig gestellte Versuchsanordnung (rechts)

Tab 7 - Bewertungsschema nach EN 252 für Erdkontakt-Proben im Freilandversuch

Bewertungs- ziffer	Beschreibung	Bewertungskriterien
0	kein Angriff	Keinerlei Veränderung, die mit den dem Prüfer auf dem Versuchsfeld zur Verfügung stehenden Mitteln wahrnehmbar sind.
1	leichter Angriff	Wahrnehmbare Veränderungen, die aber in ihrem Umfang und ihrer Lage oder Verteilung begrenzt sind: Veränderungen, die äußerlich nur durch Farbveränderungen oder sehr oberflächigen Zerstörungen erkennbar sind; Weichwerden des Holzes bis zu einer augenscheinlichen Tiefe von etwa 1 mm ist das häufigste Merkmal.
2	mittlerer Angriff	Deutliche Veränderungen mäßigen Umfangs mit folgenden Erscheinungsbild: Veränderungen in Form von Weichwerden des Holzes bis zu einer augenscheinlichen Tiefe von 2 - 3 mm im ganzen Bereich oder Teilen des Holzstabes von der Erdgleiche an abwärts.
3	starker Angriff	Starke Veränderungen: erheblicher, großflächiger Abbau bis zu einer Tiefe von 3 - 5 mm (z.B. Moderfäule oder anderer Abbau auf allen Oberflächen der Proben im Bereich der Erdgleiche und darunter) oder Weichwerden des Holzes bis zu einer größeren Tiefe (10 - 15 mm) auf einem begrenzten Bereich der Oberfläche (d.h. Weißfäule auf wenigen Quadratmillimetern).
4	Ausfall	Durchbrechen des Holzstabes bei der Schlagprüfung im Versuchsfeld.

## Auswertung und Ergebnisse

Die Bewertung der Erdkontaktuntersuchung bzw. der Beanspruchung durch Mikroorganismen erfolgte mit Hilfe des oben beschriebenen Bewertungsschemas (Tab 7). Hierbei wurde zuerst eine Schlagprüfung durchgeführt, die darin bestand, den Prüfstab ohne großen Kraftaufwand zu brechen. Anschließend wurden alle Oberflächen (im Erdkontakt) visuell beurteilt, um den Grad des Pilzbefalls zu ermitteln. Diese Überprüfung erfolgte nach einem, drei und fünf Jahren (Tab 8).

Tab 8 - Auswertung (nach EN 252) der Erdkontakt-Proben nach einem, drei und fünf Jahren  
(K ... Kiefern-Referenz-Proben, F ... Fichten-Referenz-Proben, M ... Modifizierten Proben)

	1. Jahr (2002)			3. Jahre (2004)			5. Jahre (2006)		
	K	F	M	K	F	M	K	F	M
<b>Mittlere Bewertungsziffer</b>	0,54	0,63	<b>0,00</b>	1,04	1,09	<b>0,09</b>	2,12	2,19	<b>0,36</b>
<b>Minimaler Wert</b>	0	0	0	0	0	0	1	2	0
<b>Maximaler Wert</b>	2	2	0	2	2	1	3	3	1
<b>Standardabweichung</b>	0,64	0,56	0	0,68	0,65	0,28	0,61	0,42	0,48

Bereits nach einem Jahr im Erdkontakt zeigten die Referenzproben aus Fichte und Kiefer die ersten Anzeichen eines Pilzbefalls. Es konnten deutliche Verfärbungen festgestellt werden, wobei nur bei wenigen Stäben ein deutlicher Abbau von Holzsubstanz zu erkennen war. Die thermisch modifizierten Proben zeigten keine Anzeichen eines Befalls. Nach Entfernen des haftenden Erdreichs an der Probenoberfläche waren diese noch hobelglatt und es konnte sogar die Hilfsbeschriftungen mit Bleistift noch gelesen werden).

Nach drei Jahren im Erdreich waren nur noch wenige Referenzproben unversehrt. Bei beiden Holzarten war ein Großteil deutlich verfärbt und zeigten leichte oberflächliche Zerstörungen. Der Anteil der Proben mit mittlerem Angriff (Bewertungsziffer 2) ist deutlich angestiegen. Nur zwei modifizierte Stäbe wiesen leichte Verfärbungen auf und sind somit mit der Bewertungsziffer 1 beurteilt worden. Es konnte aber keine deutliche Zerstörung der Oberfläche nachgewiesen werden.

Nach 5 Jahren im Erdkontakt und Versuchende: Die Referenzstäbe aus Fichte oder Kiefer zeigten ein sehr ähnliches Verhalten. Ein Großteil (ca. 60%) wurden mit der Bewertungsziffer 2 (mittlerer Angriff) bewertet. Mindestens 20% der Proben zeigten einen starken Angriff mit erheblichen und großflächigen Abbau der Holzsubstanz. Bei diesen Proben kann angenommen werden, dass binnen weniger Monate der Ausfall (Bewertungsziffer 4) bevorstand. Circa  $\frac{2}{3}$  der thermisch modifizierten Proben waren nach der 5jährigen Verweildauer im Erdreich vollkommen unbeschädigt und zeigten keine Spuren einer Farbveränderung oder anderer Anzeichen eines Pilzangriffs. Die restlichen Proben wiesen leichte Verfärbungen auf, nur bei zwei Proben konnten die ersten kleinen Stellen einer Oberflächenzerstörung bemerkt werden (Tab 8, Abb 52 & 53).



**Bewertungsziffer 0 - kein Angriff**

Keine Anzeichen von Farbveränderungen oder Pilzbefalls

thermisch modifizierte Fichte



**Bewertungsziffer 1 - leichter Angriff**

Leichte Farbveränderungen und erste leichte oberflächliche Zerstörungen des Holzes

thermisch modifizierte Fichte



**Bewertungsziffer 2 - mittlerer Angriff**

Weichwerden des Holzes bis zu einer Tiefe von 3 mm im ganzen Bereich des Holzstabes von der Erdgleiche abwärts

unbehandelte Fichte



**Bewertungsziffer 3 - starker Angriff**

Großflächiger Abbau von Holzsubstanz tiefer als 3 mm und Weichwerden bis zu einer Tiefe von 15 mm im ganzen Bereich des Holzstabes von der Erdgleiche abwärts

unbehandelte Kiefer

Abb 52 - Erdkontaktproben mit Bewertungsziffern 0 (kein Angriff) - 3 (starker Angriff)

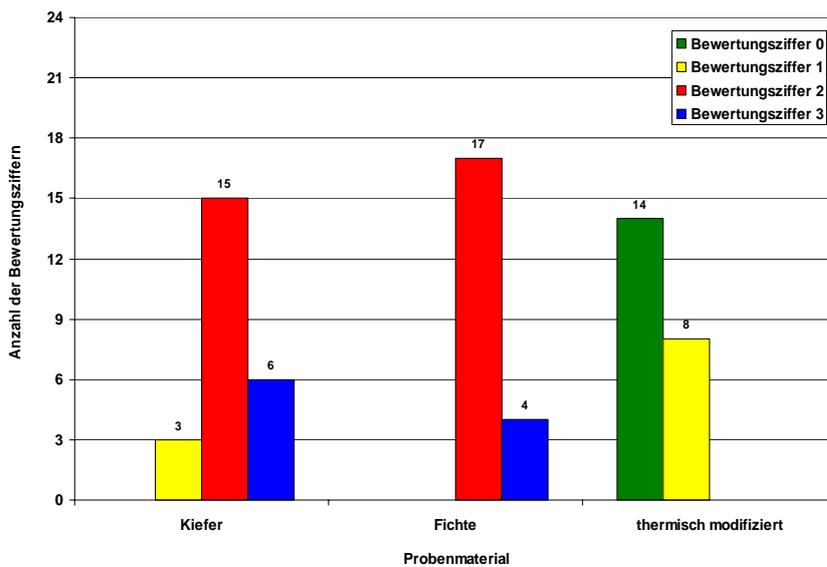
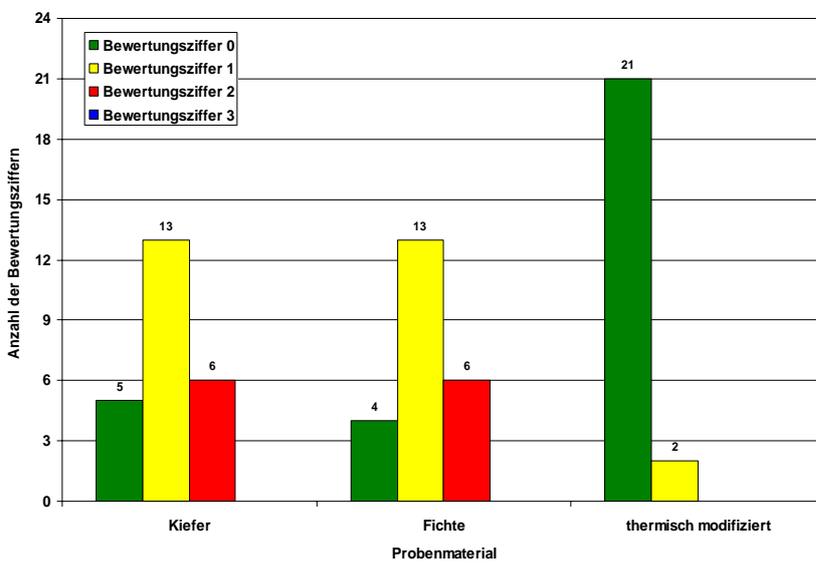
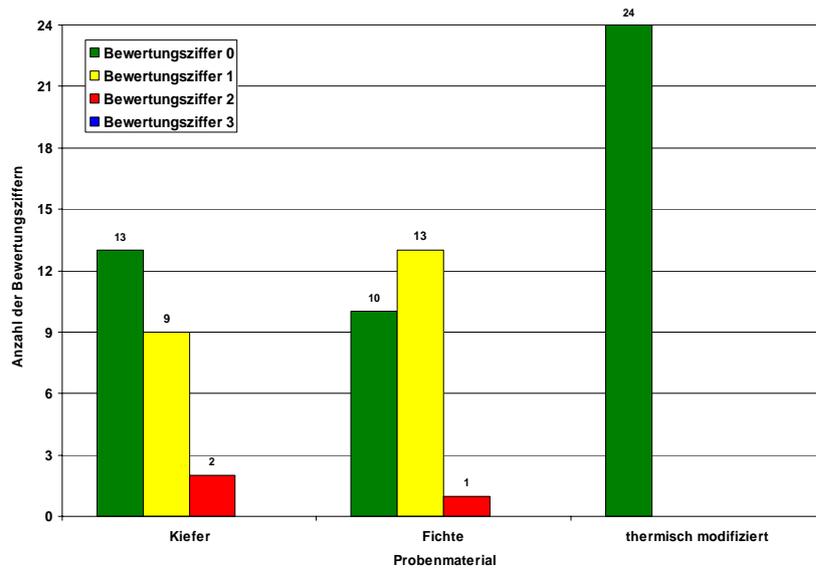


Abb 53 - Verteilung der Bewertungsziffern von Kiefer, von unbehandelter Fichte und von thermisch modifiziertem Holz nach einem Jahr (oben), nach drei Jahren (Mitte) und fünf Jahren (unten)  
Zusammenfassung

Die thermisch modifizierten Proben wiesen eine hohe Dauerhaftigkeit im Erdkontakt auf. Dieser 5jährige Freiland-Erdkontakt-Versuch zeigte deutlich den Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Proben. Die Referenzproben - Fichte und Kieferholz - verzeichneten einen massiven und vollflächigen Befall von Mikroorganismen auf. Trotz Literaturangaben, die auf ein nur mäßig gutes Verhalten im Erdkontakt hinwiesen, sind die thermisch modifizierten Proben fast durchgehend vom Pilzbefall verschont geblieben.

Weitere Daten, Tabellen und Abbildungen zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit von thermisch modifiziertem Holz ohne Erdkontakt befinden sich im Anhang 2.

### **3 Verhalten von thermisch modifiziertem Holz bei natürlicher und künstlicher Bewitterung**

#### **3.1 Einleitung**

Thermisch modifiziertes Holz hat ein breites Spektrum an Einsatzbereichen (siehe Kapitel 1.8 Anwendungsbeispiele), dass von extrem bewitterten Außenbereich bis zur möglichst farbstabilen Innenanwendung reicht. In den folgenden Kapiteln wird versucht, diese Witterungsbedingungen nachzuempfinden und durch regelmäßige Messungen die auftretenden Farbveränderungen zu dokumentieren.

##### Untersuchungen im Innenbereich

Bei diesem Versuch wurde Probenmaterial hinter einer Glasfassade dem Sonnenlicht preisgegeben. Somit konnte der Einfluss von Regen bzw. Schnee und teilweise von Luftverschmutzung ausgeschlossen werden. Diese Beanspruchung tritt hauptsächlich bei Möbel oder Fußbodenbelägen auf, wo die Farbechtheit oft als wichtiges Kriterium aufscheint.

##### Untersuchung im Außenbereich

Die Vergrauung von unbehandeltem Holz in der Außenanwendung ist eine Tatsache. Bei diesen Versuchen soll dieses Abwitterungsverhalten mit Hilfe von Zahlen und Abbildungen dokumentiert werden, sodass sich der Konsument bereits vor dem Kauf ein realistisches Bild seines Fassaden- oder Bodenmaterials machen kann. Hierzu wurde einerseits eine beschleunigte und künstliche Bewitterung herangezogen, die nach genormten Parametern arbeitet und somit besser vergleichbar ist und andererseits wurden architektonisch und bautechnisch übliche Fassadenelemente einer natürlichen Bewitterung ausgesetzt, die vor allem besser der bildlichen Dokumentation dienen.

##### Holzwahl

Für diese Untersuchungen wurde Thermowood® D aus Fichtenholz verwendet. Zur Modifikation wurde das VTT-Verfahren bei einer Temperatur von 212°C herangezogen (siehe Kapitel 1.4 Beschreibung der Modifikationsprozesse und Anhang 3 Beschreibung von Thermowood® der Firma Stora Enso). Dieses Produkt wurde speziell für den Außenbereich mit höheren Beanspruchungen entwickelt und wird bereits vielfach eingesetzt. Als Referenz wurde unbehandeltes und größtenteils fehlerfreies Fichtenholz verwendet.

##### Oberflächenbeschichtung

Ein Teil der Proben wurde ohne Oberflächenanstrich der Witterung preisgegeben. Die beiden weiteren Gruppen wurden mit einer graupigmentierten Dünnschichtlasur (wasserlöslicher Alkyd-Acrylatharz- Greywood-Anstrich der Firma DANSKE), die eine natürliche Vergrauung des Holzes nachempfindet, oder mit einer Dünnschichtlasur mit chemischer Vergrauung (Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel Greywood Express der Firma DANSKE), das eine raschere und gleichmäßigere Vergrauung erzielt, gestrichen (siehe Anhang 4 Technische Informationen und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Oberflächenschichtungen).

## 3.2 Verhalten bei künstlicher Bewitterung

### Einleitung

Das Problem der Freibewitterung ist, dass auf Grund der unterschiedlichen Wetterlagen keine vergleichbaren bzw. reproduzierbaren Ergebnisse ermittelt werden können. Bei diesen Untersuchungen ist immer nur ein Vergleich mit Referenzproben möglich. Mit Hilfe einer künstlichen und standardisierten Bewitterung konnte dieses Problem gelöst werden. Diese Art der Untersuchung ermöglicht zeitaufwendige Freiversuche unter Laborbedingungen durchzuführen.

### Material

Holzwahl

Für diese Untersuchungen wurde Thermowood® D aus Fichtenholz verwendet. Zur Modifikation wurde das VTT-Verfahren bei einer Temperatur von 212°C herangezogen (siehe Kapitel 1.4 Beschreibung der Modifikationsprozesse und Anhang 3 Beschreibung von Thermowood® der Firma Stora Enso). Als Referenz wurde unbehandeltes und fehlerfreies Fichtenholz verwendet.

### Oberflächenbeschichtung

Ein Drittel der Proben wurde ohne Oberflächenanstrich der Witterung preisgegeben. Die beiden weiteren Gruppen wurden mit einer graupigmentierten Dünnschichtlasur (wasserlöslicher Alkyd-Acrylatharz- Greywood-Anstrich der Firma DANSKE), die eine natürliche Vergrauung des Holzes nachempfindet, oder mit einer Dünnschichtlasur mit chemischer Vergrauung (Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel Greywood Express der Firma DANSKE), das eine raschere und gleichmäßigere Vergrauung erzielt, gestrichen (siehe Anhang 4 Technische Informationen und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Oberflächenschichtungen). Auf Grund der starken künstlichen Bewitterung wurde um 50% mehr der vorgeschriebenen Auftragsmenge verwendet.

### Versuchsverlauf und Durchführung

Auf Basis der EN 927-6 (2006) "Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 6: Künstliche Bewitterung von Holzbeschichtungen mit fluoreszierenden UV-Lampen und Wasser" und mit der Hilfe eines QUV - Weathering Tester (Firma: Q-Panel - LAB Products, siehe Anhang 5 Technische Beschreibung des QUV - Weathering Tester) (Abb 54) wurde eine technisch herbeigeführte Bewitterung des Probenmaterials durchgeführt.



**Abb 54 - QUV - Weathering Tester mit eingespannten Proben während der künstlichen Bewitterung**

Die Bewitterung dauerte 2016 Stunden, das entspricht zwölf Wochenzyklen. Ein Zyklus (Dauer 168 Stunden) besteht aus einer 24stündigen Konditionierphase bei 45°C und 100% relativer Luftfeuchte und anschließenden 48 Intervallen mit UV-Lichtbestrahlung (Dauer 2,5 Stunden) und einer Besprühung mit Wasser (Dauer 0,5 Stunden).

In regelmäßigen zeitlichen Abständen wurde an der Oberfläche mittels eines Spektralfotometer (CODEC 400 der Firma PHYMA) die Farbe bzw. die Farbveränderung bestimmt.

### **Auswertung und Ergebnisse**

Ausgewertet wurde mit dem L\*a\*b\*- bzw. L\*Ch Farbsystem. Es handelt sich hierbei um ein standardisiertes, gleichabständiges, geräteunabhängiges System, welches auf der menschlichen Wahrnehmung aufbaut (basierend auf ISO 7724-3).

Die a- und b-Achse bilden eine Ebene, wobei die Skala beider Achsen einen Bereich von -128 bis +127 umfasst. Auf der a\*-Achse liegen alle Grün- und Rottöne. Hierbei repräsentieren negative a-Werte grüne und positive a-Werte rote Farben. Auf der b-Achse befinden sich im negativen Bereich alle Blau- und im positiven Bereich alle Gelbtöne. Farborte, die auf derselben Kreislinie um die L\*-Achse liegen, besitzen die gleiche Buntheit C\* (Chroma), und Farborte, die auf demselben Radiusstrahl liegen, haben den gleichen Farb- oder Buntton h (Hue). Vertikal zur a- und b-Ebene verläuft die Helligkeitsachse (L: Luminance). Ein L- Wert von 0 erzeugt Schwarz und ein L-Wert von 100 Weiß. Die Farben sind für den Menschen nur in einem farbspezifisch unterschiedlichen Bereich wahrnehmbar. So kann sichtbares Gelb b\*-Werte von über 100 erreichen, Blau hingegen nur b\*-Werte um -50. Daher ergibt sich eine sehr unregelmäßige Form des Farbraums, die durch die übliche Darstellungsweise als Zylinder oder Kugel stark vereinfacht wiedergegeben werden kann (Abb 55).

Der L\*Ch-Farbraum ist kein eigener Farbraum. Es werden nur anstelle der kartesischen Koordinaten a\*, b\* die Polarkoordinaten C (Buntheit, relative Farbsättigung) und h in [°] (Bunttonwinkel, Winkel des Farbtons) angegeben. Die Helligkeit L\* bleibt dabei unverändert (Abb 56) (Patzelt et al 2002).

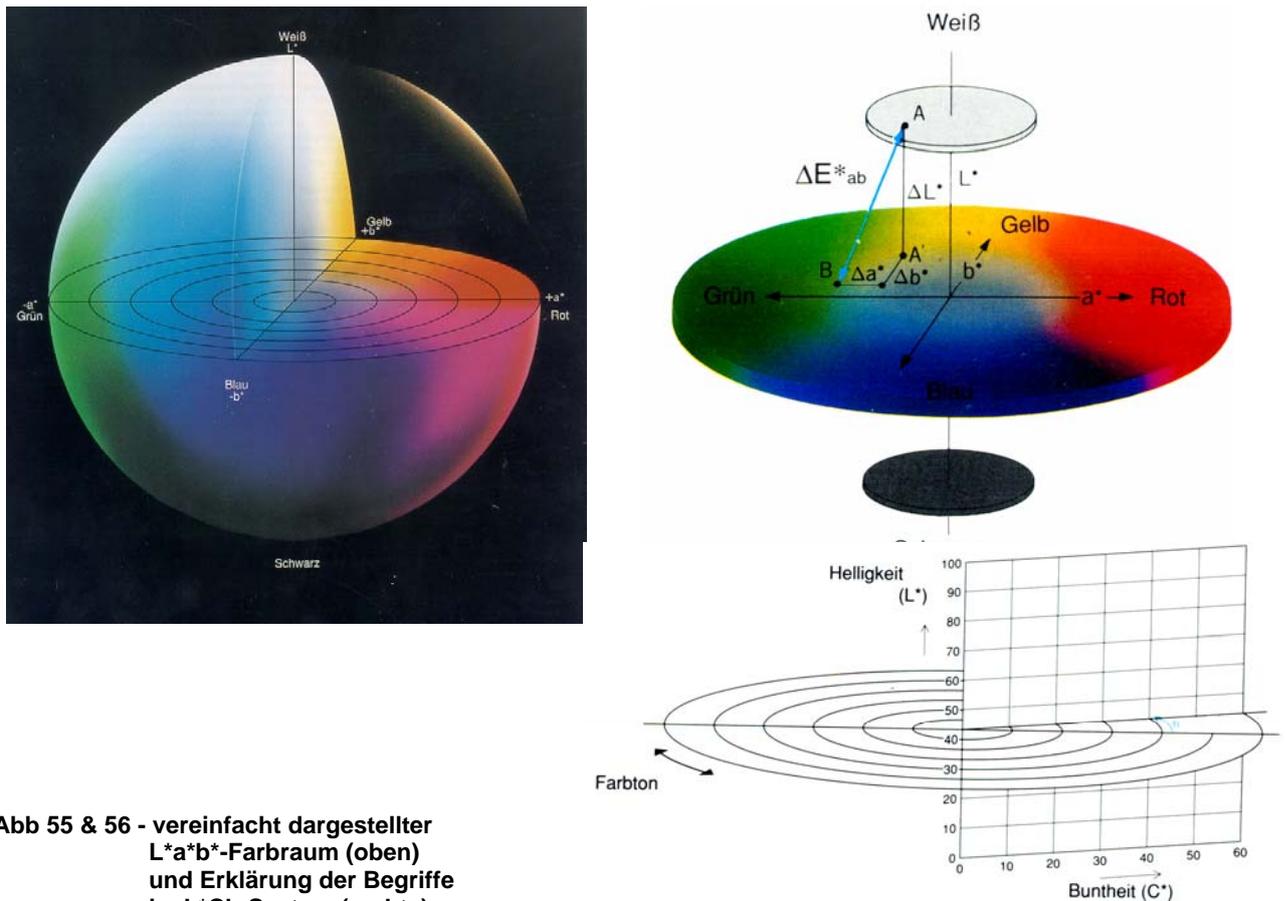


Abb 55 & 56 - vereinfacht dargestellter L\*a\*b\*-Farbraum (oben) und Erklärung der Begriffe im L\*Ch-System (rechts)

Vergleich von unbehandeltem mit modifiziertem Fichtenholz

In Abbildung 57 & 58 sind die Ausgangsfarben bzw. die Farbveränderungen während der Bewitterung aufgetragen. Der Ausgangsfarbton (h) der beiden Proben Gruppen war ein mittelkräftiges Gelb-Orange und beide unterschieden sich nur sehr gering. Der große Farbunterschied lässt sich mit der großen Differenz von fast 25% in der Helligkeit ( $L^*$ ) erklären - das thermisch modifizierte Holz ist dunkler.

Während der Bewitterung haben sich die Farben der beiden Proben Gruppen deutlich angenähert. Bei Beiden hat die Farbsättigung (C) zwischen 70% und 75% abgenommen, wobei sich der Gelbanteil ( $b^*$ -Achse) deutlicher stärker, gegenüber dem Rotanteil ( $a^*$ -Achse), reduziert hat. Eine eindeutige Zunahme der Helligkeit ( $L^*$ ) war bei der modifizierten Fichte (ca. 20%), eine geringe bei unbehandeltem Holz (ca. 10%) zu sehen. Der Farbton hat sich bei Beiden auf einen Wert von ca.  $70^\circ$  (das entspricht Orange) hinbewegt. Die Farbveränderungen ( $\Delta E^*$ ) war bei unbehandeltem Fichtenholz nach ca. 1000 Stunden abgeschlossen - während der weiteren Behandlung war der Unterschied fast nicht mehr wahrzunehmen. Die starke Zunahme der Farbsättigung bzw. das Absinken der Helligkeit zu Beginn der künstlichen Bewitterung lässt sich mit dem Phänomen der „Sonnenbräune“ erklären. Das bedeutet, die Farbpigmente im Holz werden bereits stark umgebaut, aber noch nicht ausgewaschen. Das thermisch modifizierte Holz hingegen hat während der gesamten Behandlungsdauer stetig seine Farbe verändert, wobei auch diese ab Stunde 1000 geringer geworden ist. Nach einer Bewitterungsdauer von 500 Stunden konnte eine deutliche Fleckenbildung (unregelmäßige Farbveränderung) festgestellt werden. Diese - auch unter natürlichen Bewitterungsbedingungen entstehende - Farbunterschiede haben sich bereits nach weiteren 500 Stunden im QUV - Weathering Tester egalisiert (Abb 59).

Der Versuch hat gezeigt, dass thermisch modifizierte Hölzer ebenso wie naturbelassenes Holz vergrauen. Die Geschwindigkeit dieser Farbveränderung schreitet sogar schneller voran, im Vergleich zu unbehandeltem Holz.

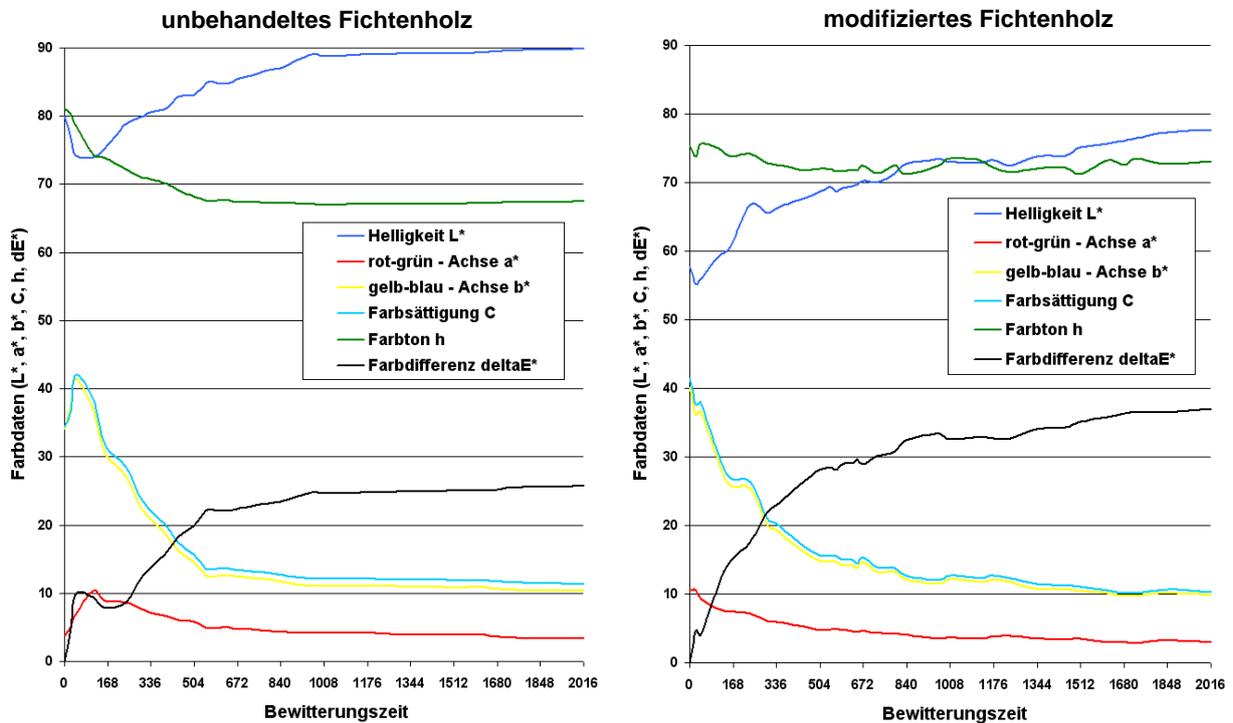


Abb 57 & 58 - Farbveränderungen von unbehandeltem Fichtenholz (links) und von thermisch modifiziertem Fichtenholz (rechts) nach einer ca. 2000stündigen künstlichen Bewitterung

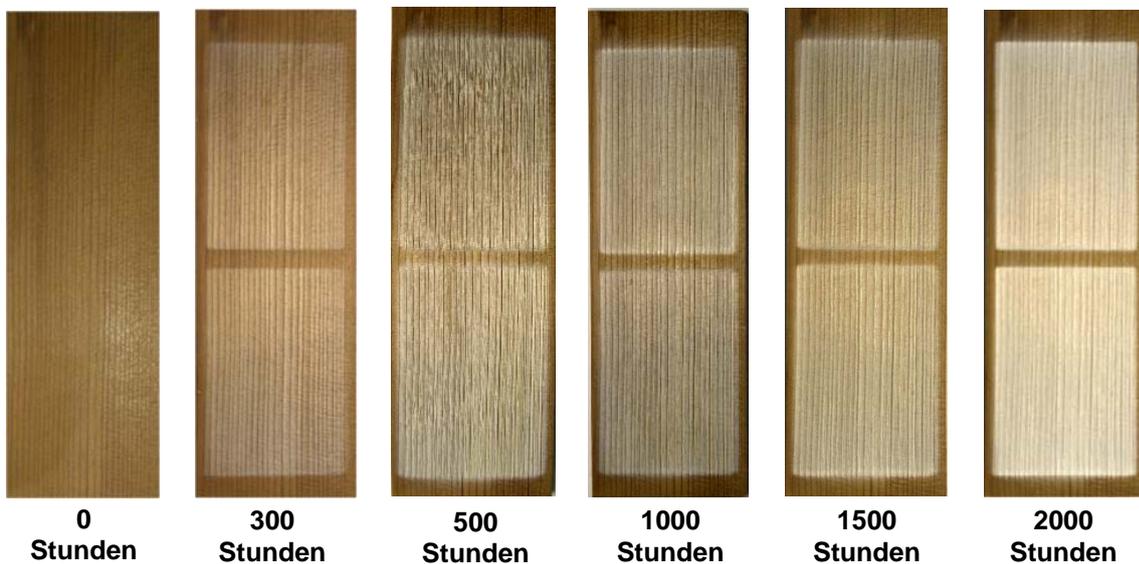


Abb 59 – Farbveränderungen von thermisch modifizierter Fichte während der künstlichen Bewitterung

## Modifiziertes Fichtenholz mit verschiedenen Oberflächenbeschichtungen

Abbildung 60 zeigt die Farbveränderungen von modifiziertem Fichtenholz mit einer leicht hydrophoben Holzimprägnierung, die eine rasche und gleichmäßige Vergrauung bewirken soll (genaue Produktdaten - siehe Anhang 4). In den ersten 20 Stunden der künstlichen Bewitterung ist die Farbsättigung (C) massiv reduziert worden und das Holz ist wesentlich dunkler geworden. Während der folgenden Behandlungsdauer von ca. 1500 Stunden ist die Farbsättigkeit (C) stetig gesunken - hier wobei besonders der b\*-Achsenanteil (Gelbton) und die Helligkeit (L) fast linear gestiegen. Gegen Abschluss dieses Versuches hat sich die Farbe auf einen fast konstanten Wert hinbewegt. Vergleicht man diesen Verlauf des Vergauens mit dem der modifizierten Fichte, so lässt sich feststellen, dass beide einen ähnliches Verhalten an den Tag legen. Auch die endgültige bzw. konstante Farbe weisen fast die gleichen Werte auf.

Weiters wurde Proben mit einer grauen Alkyd-Acrylatharz-Beschichtung versehen (genaue Produktdaten - siehe Anhang 4), die die natürliche Vergrauung von Holz nachempfunden sollte. Dieses Beschichtungsmaterial zeigte in den ersten 800 Stunden eine sehr hohe Farbstabilität. In der weiteren Folge wurden die Farben leicht satter, wobei der Blauanteil (negativer Wert auf der b\*-Achse) zunahm. Erst ab diesem Zeitpunkt konnte der Farbunterschied mit dem menschlichen Auge detektiert werden (Abb 61). Der Farbton mit ca. 270° weist auf einen leichten Blaustich hin (Abb 55 und 56).

Das oberflächenbehandelte Material zeichnete sich durch geringere Farbunterschiede auf den einzelnen Proben aus. Innerhalb der jeweils 10 Messpunkten der Proben waren die Differenzen wesentlich geringen, dass in der Praxis eine schwächere Fleckenbildung bedeutet.

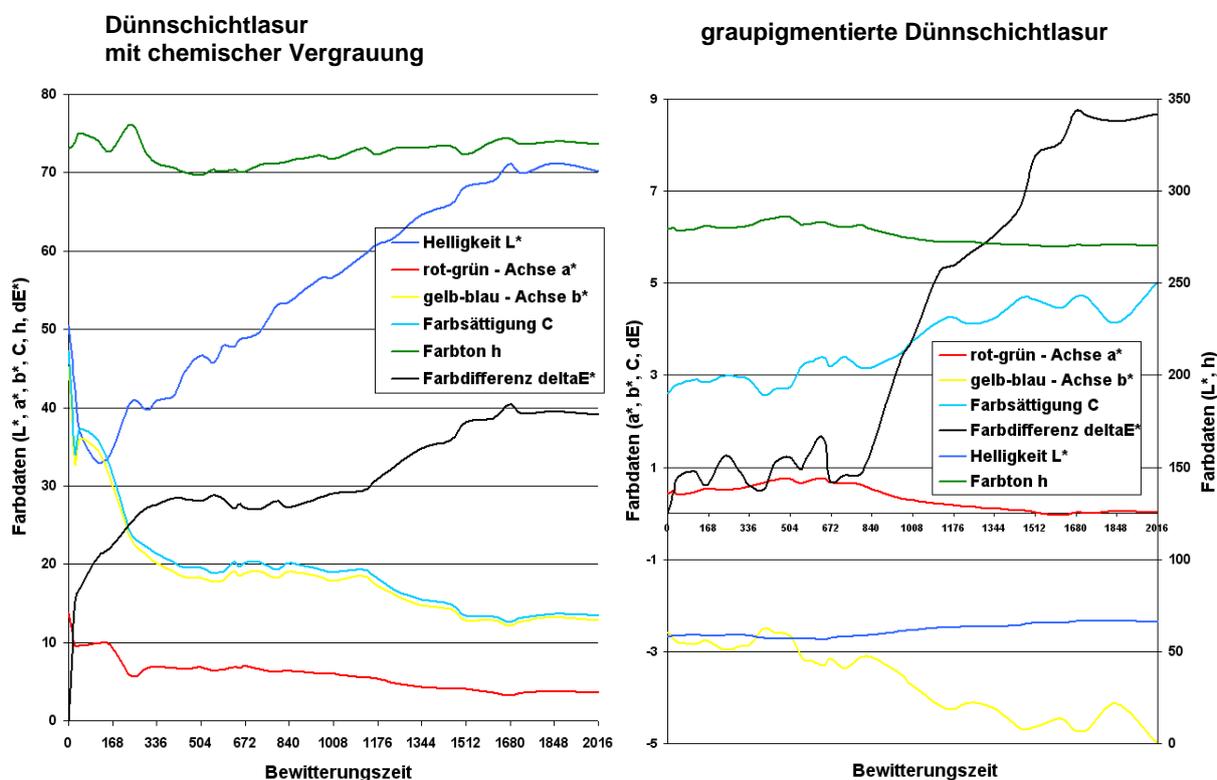


Abb 60 & 61 - Farbveränderungen von modifiziertem Fichtenholz mit einer Dünnschichtlasur mit chemischer Vergrauung (Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel - DANSKE Greywood Express) (links) und einer graupigmentierten Dünnschichtlasur (Alkyd-Acrylatharz-Beschichtung - DANSKE Greywood) (rechts) nach einer ca. 2000stündigen künstlichen Bewitterung

### 3.3 Verhalten bei natürlicher Bewitterung im Innenraum

#### Einleitung

Thermisch modifiziertes Holz wird auch in Innenräumen bzw. im geschützten Bereich vor Niederschlag eingesetzt. Aus diesem Grund wurde ein Teilbereich dieser Untersuchungen der Vergrauung bzw. der Farbveränderung im Innenbereich gewidmet.

#### Material

Holzwahl

Für diese Untersuchungen wurde Thermowood® D aus Fichtenholz verwendet. Zur Modifikation wurde das VTT-Verfahren bei einer Temperatur von 212°C herangezogen (siehe Kapitel 1.4 Beschreibung der Modifikationsprozesse und Anhang 3 Beschreibung von Thermowood® der Firma Stora Enso). Als Referenz wurde unbehandeltes und fehlerfreies Fichtenholz verwendet.

#### Oberflächenbeschichtung

Ein Drittel der Proben wurde ohne Oberflächenanstrich der Witterung preisgegeben. Die beiden weiteren Gruppen wurden mit einer graupigmentierten Dünnschichtlasur (wasserlöslicher Alkyd-Acrylatharz- Greywood-Anstrich der Firma DANSKE), die eine natürliche Vergrauung des Holzes nachempfunden, oder mit einer Dünnschichtlasur mit chemischer Vergrauung (Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel Greywood Express der Firma DANSKE), die eine raschere und gleichmäßigere Vergrauung erzielt, gestrichen (siehe Anhang 4 Technische Informationen und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Oberflächenschichtungen).

#### Versuchsverlauf und Durchführung

Das geschliffene und teilweise oberflächenbehandelte Probenmaterial wurde zu 50% in Alufolie eingehüllt, um die Vergrauung bzw. die Farbveränderung besser zu veranschaulichen (Abb 62). Anschließend wurden die Proben hinter der Glasfassade (nur leicht UV-Licht absorbierendes Thermo- und Sicherheitsglas) des Schwackhöfer-Hauses (Universität für Bodenkultur Wien) in südlicher Richtung positioniert (Abb 63) und der Sonnenstrahlung ausgesetzt. Alle vier bis acht Wochen wurde die Oberfläche beurteilt und die Farbe gemessen.



Abb 62 & 63 - Ausschnitt der Versuchsanordnung (links) für die Untersuchung der Farbveränderungen im Innenbereich hinter einer Glasfassade des Schwackhöfer-Hauses / Universität für Bodenkultur Wien (rechts)

### Auswertung und Ergebnisse

Bereits nach 50 Tage Sonnenbescheinung konnten an den thermisch modifizierten Proben deutliche Farbveränderungen festgestellt werden. Die Farben wurden heller und die Farbsattheit (C) hat deutlich nachgelassen. Die Helligkeit (L\*) ist in den weiteren 100 Tagen um ca. 10% angestiegen, Die Farbsättigung (C) hat sich um den Wert 35 eingespielt und ist somit um ca. 7% gesunken (Abb 66).

Probenmaterial mit einer „Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel“-Beschichtung zeigten einen ähnlichen Verlauf, wobei die beiden Kurven (Helligkeit und Farbsattheit) um ca. 8 – 10% versetzt sind – dies von Beginn des Versuches an. Material mit einer graupigmentierten Dünnschichtlasur (Alkyd-Acrylatharz) hingegen zeigte während der 365 Tage fast keine Veränderung.

Das Referenzmaterial – unbehandelte und geschliffene Fichte – verlor während der ganzen Bewitterung kontinuierlich an Helligkeit (L\* ca. -15%). Die Farbsattheit (C\*) hat in den ersten 150 Tagen stark nachgegeben und sich im weiteren Verlauf nur mehr wenig verändert.(Abb 64 & 65).

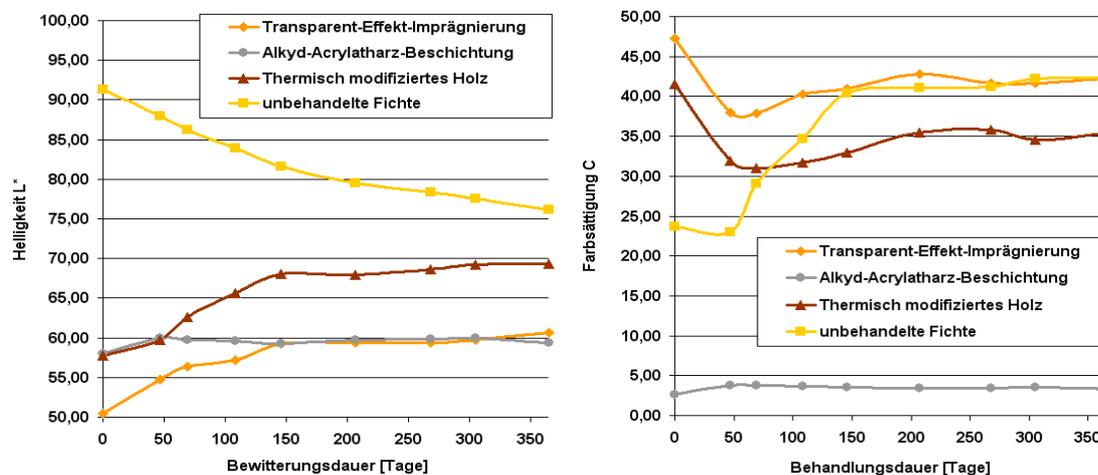


Abb 64 & 65 - Farbveränderungen bei natürlicher Bewitterung im Innenbereich nach einem Jahr

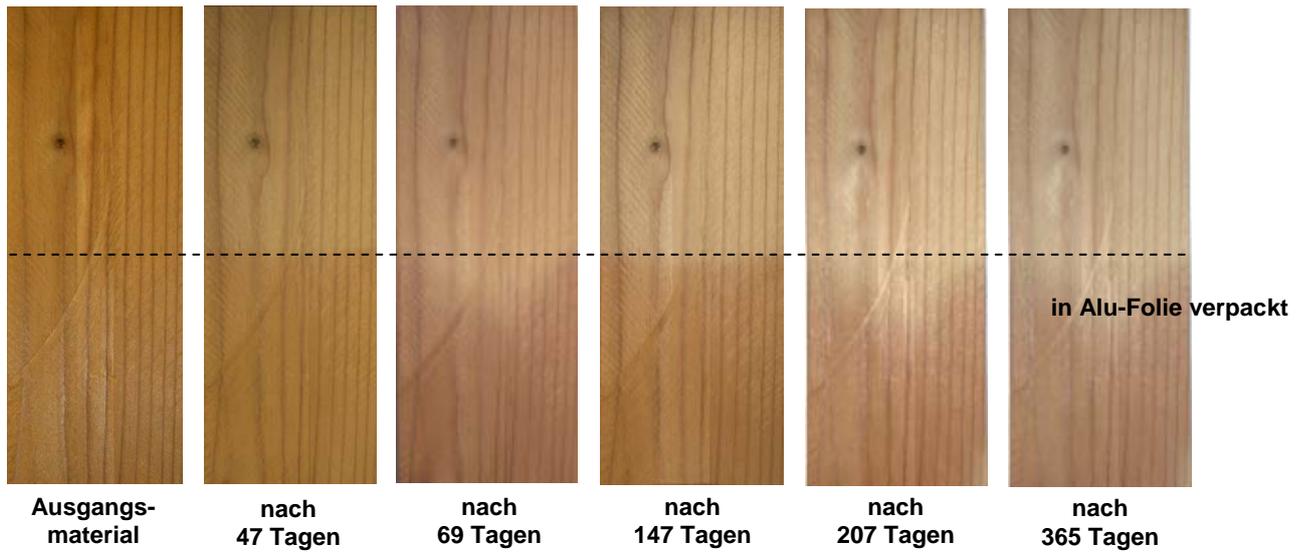


Abb 66 - Farbveränderungen von thermisch modifiziertem Fichtenholz im Innenbereich (hinter Glas)

### 3.4 Verhalten bei natürlicher Bewitterung im Außenbereich

#### Einleitung

Neben der künstlichen Bewitterung wurde ein weiterer Versuch gestartet, wobei Fassadenelemente der natürlichen Bewitterung ausgesetzt wurde. Hier sollte gezeigt werden, wie sich thermisch modifiziertes Holz (mit und ohne Oberflächenbehandlung) im Außenbereich verhält, welche Konstruktionsart der Fassade Vorzüge und Schwächen zeigt und welches Befestigungsmittel am günstigsten erscheint. Hierzu wurden an der HTBLuVA (Abteilung Holztechnik) in Mödling verschiedene Fassadenvarianten errichtet und der dort vorherrschenden Witterung preisgegeben.

#### Material

##### Holzwahl

Für diese Untersuchungen wurde Thermowood® D aus Fichtenholz verwendet. Zur Modifikation wurde das VTT-Verfahren bei einer Temperatur von 212°C herangezogen (siehe Kapitel 1.4 Beschreibung der Modifikationsprozesse und Anhang 3 Beschreibung von Thermowood® der Firma Stora Enso). Als Referenz wurde unbehandeltes und fehlerfreies Fichtenholz verwendet.

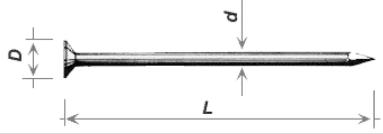
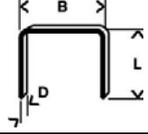
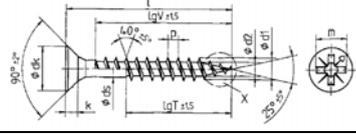
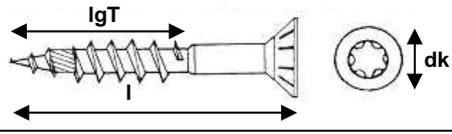
##### Oberflächenbeschichtung

Ein Teil der Proben wurde ohne Oberflächenanstrich der Witterung preisgegeben. Die beiden weiteren Gruppen wurden mit einer graupigmentierten Dünnschichtlasur (wasserlöslicher Alkyd-Acrylatharz- Greywood-Anstrich der Firma DANSKE), die eine natürliche Vergrauung des Holzes nachempfunden, oder mit einer Dünnschichtlasur mit chemischer Vergrauung (Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel Greywood Express der Firma DANSKE), die eine raschere und gleichmäßigere Vergrauung erzielt, gestrichen (siehe Anhang 4 Technische Informationen und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Oberflächenschichtungen).

##### Befestigungsmittel

Bei dieser Untersuchung sollen auch die Anwendungsmöglichkeiten verschiedener Befestigungsmittel beurteilt werden. Dazu wurden vier - in der Bauwirtschaft üblich eingesetzte - Arten der Verbindung zwischen Fassadenmaterial und Unterkonstruktion eingesetzt (Tab 9).

Tab 9 - Beschreibung der eingesetzten Befestigungsmittel

Beschreibung der Verbindungsmittel	Darstellung der Verbindungsmittel
<b>Drahtstift</b> aus Kaltstauchdraht; verzinkt; leichter Senkkopf (geriffelt); Durchmesser $d = 2,6$ mm; Senkkopfdurchmesser $D = 6,1$ mm; Länge $L = 60$ mm	
<b>Klammern</b> bzw. Tacker aus verzinktem Stahl; Länge $L = 38$ mm; Breite $B = 5,7$ mm; Stärke $D = 1,2$ mm	
<b>SPAX-S</b> - selbstbohrende Schraube aus Kaltstauchdraht mit Teilgewinde; verzinkt; Senkkopf mit Kreuzschlitz-Antrieb (Typ Z2); Durchmesser $d_s = 3,5$ mm; Senkopfdurchmesser $dk = 9,6$ mm; Länge $l = 60$ mm; Teilgewindelänge $lgT = 35$ mm	
<b>Edelstahlschraube</b> (V4A); gleitbeschichtet; integrierten Bohrkopf; verstärkter Flachsenkopf (Durchmesser $dk = 9,6$ mm) mit Fräsrippen; TZD-Sternantrieb; Durchmesser $d_s = 3,6$ mm; Länge $l = 90$ mm; Teilgewindelänge $lgT = 60$ mm	

### Kontaktmaterial

Im Fassadenbau werden Fensterlaibungen, Anschlüsse oder Eckausbildungen oft aus verschiedenen Materialien ausgeführt. Aus diesem Grund wurden und werden die Auswirkungen der Auswaschungsprodukte von modifiziertem Holz auf Kupferblech, auf verzinkte und korrosionsbeständige Stahlbleche, auf Aluminiumblech und auf Kunststoffe (Polypropylen und Polyethylen) untersucht.

### Versuchsverlauf und Durchführung

Mit Unterstützung der HTBLuVA Mödling (Abteilung Holztechnik) wurden 7 Varianten (+2 Referenzen) von Fassadenkonstruktionen in Elementgröße (1 x 1,5 m) erreicht. Auf einer Richtung Westen (Hauptwetterseite) bzw. Osten ausgerichteten Grundkonstruktion (Abb 67) wurden diese unter einem kleinen Vordach (Abb 68) befestigt. Im Abstand von ca. 30 Tagen (nach einer mehrtägigen Schönwetterperiode) wurden die Elemente begutachtet und farbvermessen.



Abb 67 - Aufbauarbeiten der Fassadenelemente - Grundkonstruktion an der HTBLuVA Mödling



Abb 68 - fertig gestellte Fassadenelemente mit kleinem Vordach

## Auswertung und Ergebnisse

Im ersten Teil der Auswertung werden alle Fassadenelemente (jeweils west- und ostwärts ausgerichtet) getrennt bewertet und dokumentiert. In weitere Folge werden Details, die Befestigungsmittel und das Kontaktmaterial näher beschrieben. Die Ergebnisse befassen sich mit einer Bewitterungsdauer von einem Jahr – beginnend im November 06 und endend im November 07. Das genaue Datenmaterial kann im Anhang 7 eingesehen werden.

### Referenzfassaden aus unbehandeltem Fichte mit/ohne Oberflächenbehandlung

Um einen Vergleich mit unbehandeltem Holz zu erhalten wurde ein Element (Nr. 4) aus unbehandeltem Fichte (sägerau oder gehobelt) errichtet. Weiters wurde ein kleines Element (Nr. 8) hinzugefügt, wo auf unbehandeltem und gehobeltem Fichte zwei verschiedene Oberflächenanstriche aufgebracht wurden.

Elementbeschreibung:

Element 4:

Referenz ohne Oberflächenbehandlung

Material: unbehandelte Fichte

Dimensionen: kleine Latten 20 x 20 mm  
mittlere Latten 50 x 20 mm  
große Latten 100 x 20 mm

Oberflächenbehandlung:

sägerau oder gehobelt /  
keine Oberflächenbehandlung

Befestigungsmittel:

verdeckt von hinten geschraubt mit SPAX-S

Kontaktmaterial: keines

Bodenabstand: 5 cm bzw. 30 cm

Element 8:

Referenz mit Oberflächenbehandlung

Material: unbehandelte Fichte

Dimensionen: Bretter 100 x 18 mm

Oberflächenbehandlung:

gehobelt und profiliert  
mit Alkyd-Acrylatharz- Beschichtung  
und Dünnschichtlasur mit chem. Vergrauung

Befestigungsmittel:

verzinkte Drahtstifte

Kontaktmaterial: keines

Bodenabstand: 30 cm

Beschreibung der Fassaden und deren Verwitterungsverhalten:

Die beiden Elemente (west- und ostwärts orientiert) aus unbehandelter Fichte (ohne Oberflächenbehandlung) zeigten einen typischen Verwitterungsverlauf. Die Helligkeit ( $L^*$ ) hat bei sägerauen oder gehobelten bzw. unabhängig von der Orientierung nach Westen oder Osten um ca. 8 bis 10 nachgegeben. Deutliche Unterschiede wies die Farbsattheit (C) auf. Es konnte zwar fast kein Einfluss der Oberflächenstruktur (gehobelt oder sägerau) festgestellt werden, aber die westwärts gerichtete Fassade hat ca. um 20% Farbsättigung eingebüsst und die in die gegen setzte Himmelsrichtung nur um ca. 8%. Im Zusammenhang mit der Abnahme der Farbsättigung konnte weiters aufgezeigt werden, das Gelbanteil ( $b^*$ ) stärker als der Rotanteil ( $a^*$ ) reduziert wurde (Abb 69 & 70 und 73 bis 76). Der Verlauf der Verwitterung – über ein ganzes Jahr gesehen – war annähernd linear, nur die Abnahme der Farbsättigung verlief in den Sommermonaten etwas starker.

Die beiden kleineren Fassadenelemente aus unbehandelter Fichte mit einer Alkyd-Acrylatharz- Beschichtung bzw. Dünnschichtlasur mit dem Effekt einer beschleunigten Vergrauung zeigten ein sehr unterschiedliches Verhalten. Die Alkyd-Acrylatharz Dünnschichtlasur zeigte die ersten zehn Monate keine Reaktion. In den letzten zwei Monaten wies das Material erste Schäden auf, die sich durch Ablösen der Beschichtung bemerkbar machten. Das unter der Lasur liegende Holz hat noch die Originalfarbe und somit hat sich die Farbsättigung (C) erhöht (Abb 71 und 70 bis 80).

Das zweite Oberflächenbehandlungsmittel (Dünnschichtlasur mit Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel zur Beschleunigung der Vergrauung) hat seine Wirkung verfehlt. Der zeitliche Verlauf der Vergrauung war ähnlich zu der, der unbehandelten Fichte – also keineswegs schneller! Die Farbsättigung hat sich auf den gleichen Wert als bei unbehandelter Fichte eingependelt, nur die Helligkeit ist an der westwärts gerichtete Fassade stärker abgesunken ( $L^* = \text{ca. } 50$ ) (Abb 72 und 70 bis 80).

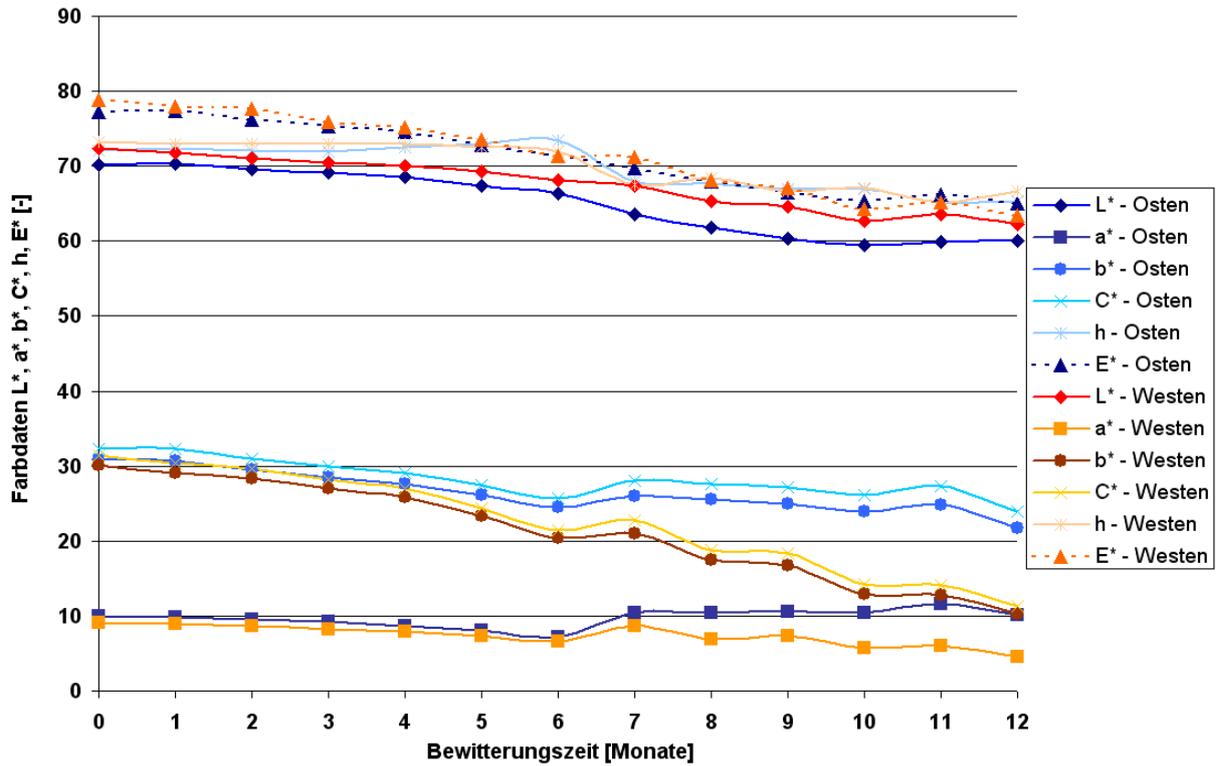


Abb 69 – Farbmessung zum Element aus unbehandelter und sägerauer Fichte (Element 4); ost- und westwärts ausgerichtet; Bewitterungsdauer: 12 Monate

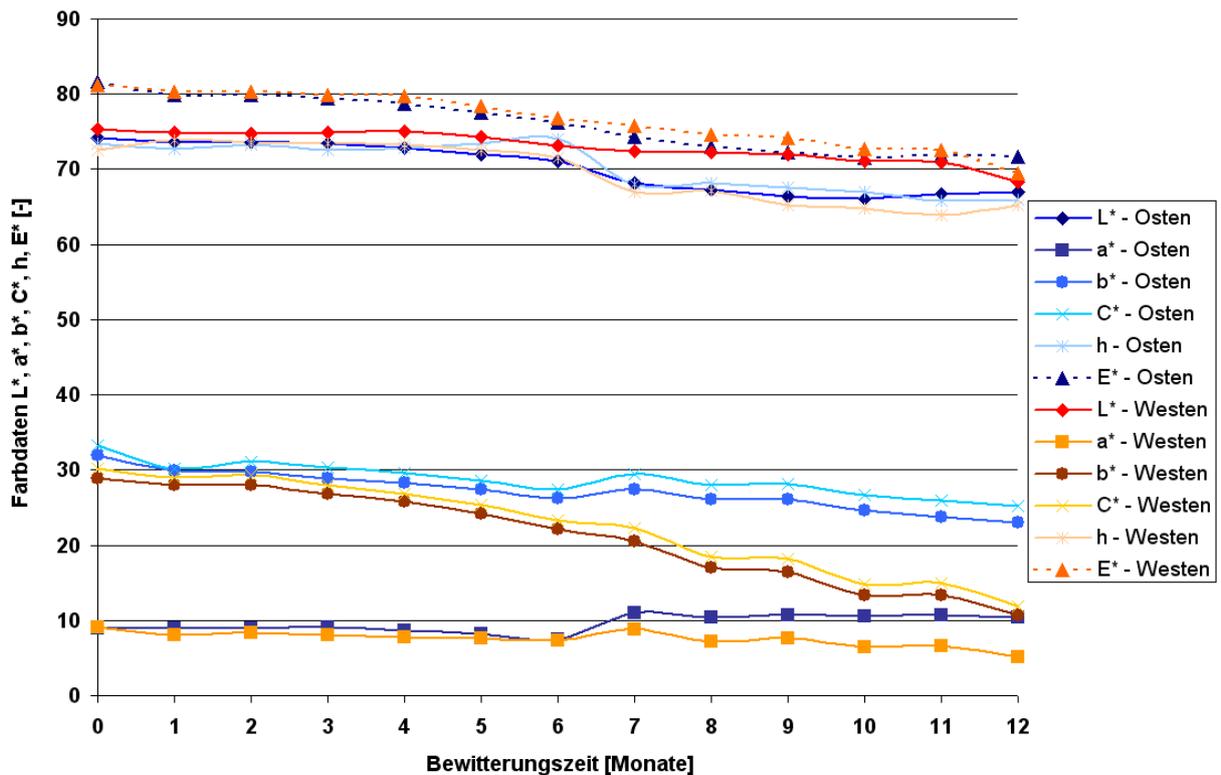


Abb 70 – Farbmessung zum Element aus unbehandelter und gehobelter Fichte (Element 4); ost- und westwärts ausgerichtet; Bewitterungsdauer: 12 Monate

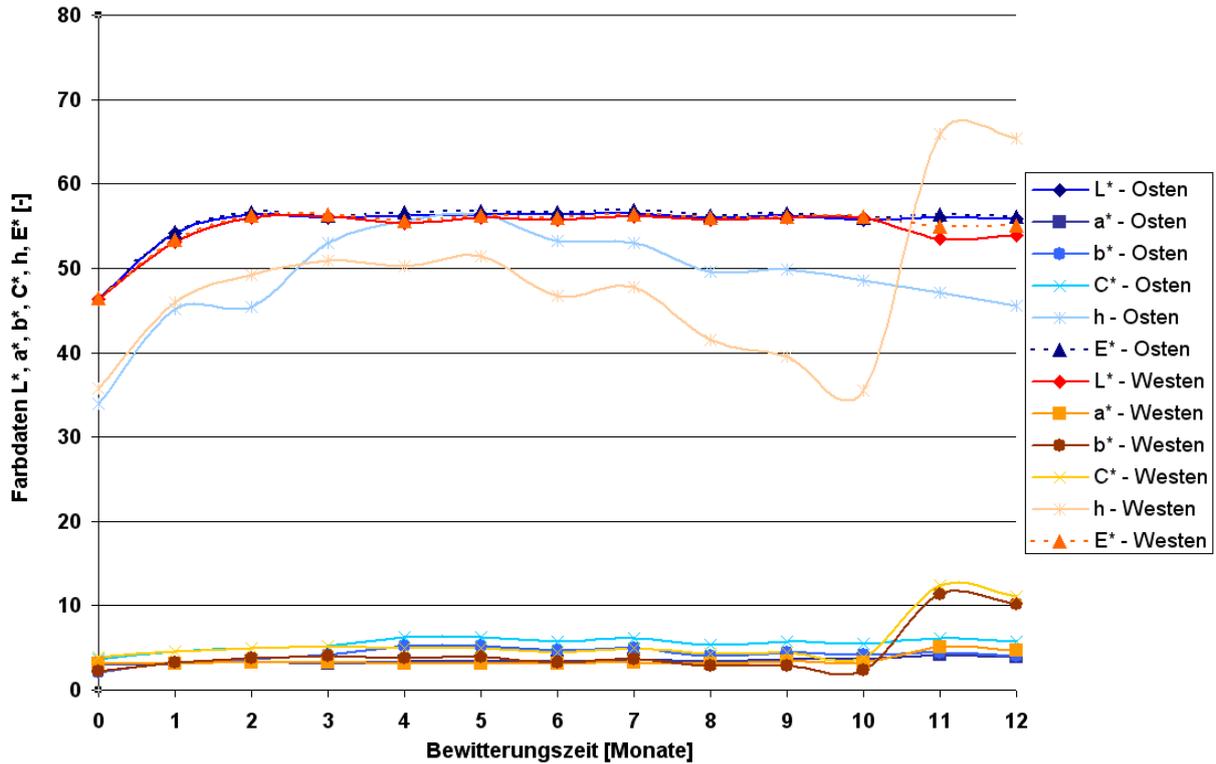


Abb 71 – Farbmessung zum Element aus unbehandelter und gehobelter Fichte (Element 4); ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: Alkyd-Acrylatharz- Beschichtung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

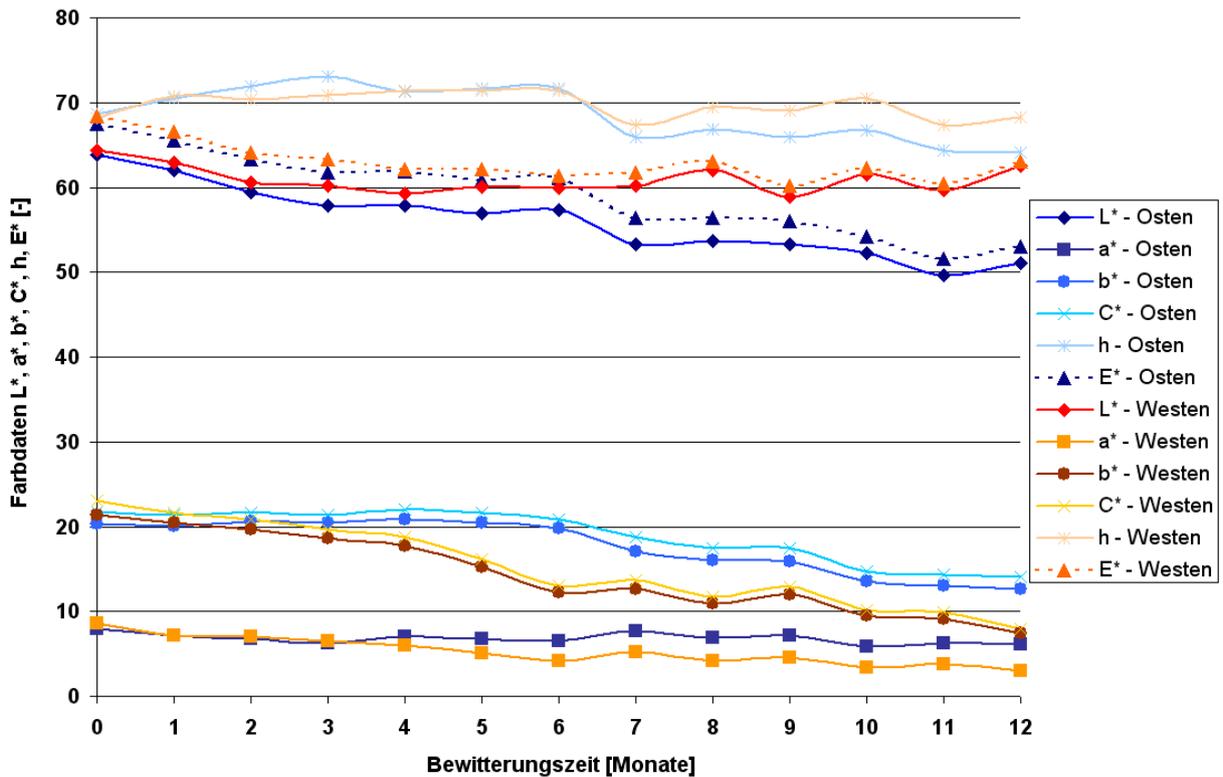


Abb 72 – Farbmessung zum Element aus unbehandelter und gehobelter Fichte (Element 4); ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: Dünnschichtlasur mit beschleunigter chemischer Vergrauung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

ostwärts ausgerichtet



westwärts ausgerichtet



Nov. 06



Nov. 07

Abb 73 - 76 – Elemente aus unbehandelter und sägerauer bzw. gehobelter Fichte (Element 4);  
ost- und westwärts ausgerichtet; Bewitterungsdauer: 12 Monate

ostwärts  
ausgerichtet



westwärts  
ausgerichtet



Nov. 06



Nov. 07

Abb 77 - 80 – Elemente aus unbehandelter und gehobelter Fichte (Element 8); ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: Dünnschichtlasur mit beschleunigter chemischer Vergrauung und Alkyd-Acrylatharz- Beschichtung (grau gestrichene Oberfläche); Bewitterungsdauer: 12 Monate

Elemente aus liegenden Schalungsteilen - thermisch modifizierte Fichte ohne Oberflächenbehandlung

Bei Element Nr. 1 und Nr. 2 wurden horizontal und freigestellte Latten bzw. Bretter mit unterschiedlichen Breiten verwendet. Die Oberfläche ist sägerau und besitzt keinen Oberflächenanstrich. Zur Befestigung dienten SPAX-S, Edelstahlschrauben und verzinkte Stahldorne, alle von vorne und sichtbar geschraubt.

Elementbeschreibung:

Element 1:  
liegende Schalung

Material: thermisch modifizierte Fichte  
Dimensionen: kleine Lattung 20 x 20 mm  
Brettattung 50 x 20 mm

Oberflächenbehandlung:  
sägerau / keine Oberflächenbehandlung

Befestigungsmittel:  
SPAX-S und Edelstahlschrauben

Kontaktmaterial: verzinktes Stahlblech  
Bodenabstand: 30 cm

Element 2:  
liegende Schalung

Material: thermisch modifizierte Fichte  
Dimensionen: kleine Brettattung 50 x 20 mm  
große Brettattung 100 x 20 mm

Oberflächenbehandlung:  
sägerau / keine Oberflächenbehandlung

Befestigungsmittel:  
verdeckt von hinten geschraubt mit SPAX-S,  
verzinkte Stahldorne mit metrischem  
Gewinde, Beilagscheibe, Sechskant-Mutter

Kontaktmaterial: korrosionsbeständiges  
Stahlblech  
Bodenabstand: 30 cm

Beschreibung der Fassaden und deren Verwitterungsverhalten:

Vier Elemente (jeweils west- und ostwärts orientiert) aus thermisch modifizierter und sägerauer Fichte (ohne Oberflächenbehandlung) wurden aus liegenden Latten bzw. Brettern errichtet. Die Breite der einzelnen Holzteile variierte zwischen 20 und 100 mm und stellt üblich verwendete Dimensionen im Bauwesen dar.

Grundsätzlich ist der Verlauf der Verwitterung zwischen schmälere und breitere Holzteilen – jeweils für eine Orientierung – sehr ähnlich. Auf der Ostseite (der Witterung abgeneigte Himmelsrichtung) hat sich die Farbsättigung (C) nur sehr wenig verändert. Die Helligkeit (L\*) hingegen sich unterschiedlich entwickelt – bei den breiten Brettern kam es zu einer deutlich Zunahme (+ 15%), bei den schmälere Holzzeilen lediglich um ca. 5%. An der Westseite (=Witterungsseite) hat die Farbsättigung deutlich abgenommen (-15%), unabhängig ob breite oder schmale Fassadenteile. Die Helligkeit hat sich ähnlich der der Ostseite verhalten und es haben sich zum Versuchsende hin fast gleiche Werte eingestellt. Der Farbton lag bei allen Fassadenelementen ca. bei 70° - dieser orange Farbe stellt einen üblichen Wert bei Holz dar (Abb 81 – 90).

Bei der Farbsättigung (C) zeichnete sich die Orientierung der Elemente als ausschlaggebend aus, bei der Helligkeit (L\*) hingegen war die Holzteilbreite ein wichtiger Einflussfaktor.

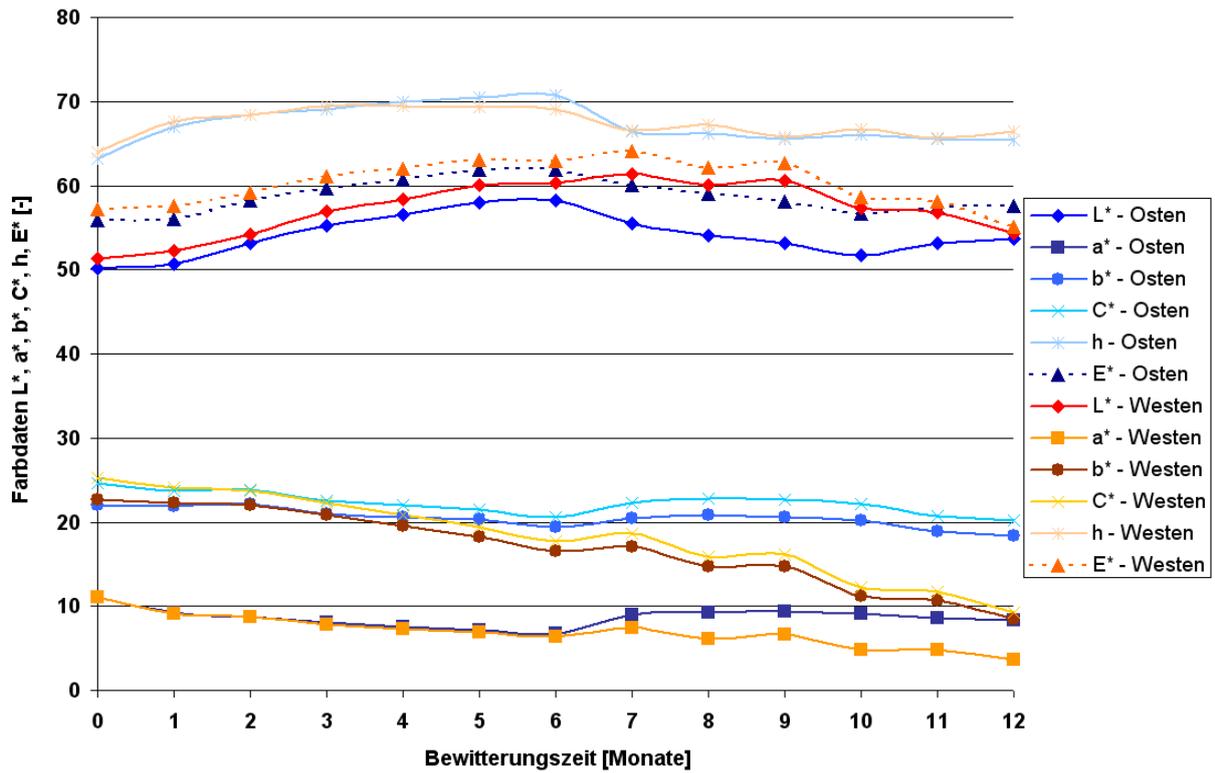


Abb 81 – Farbmessung zum Element aus modifizierter und sägerauer Fichte (Element 1); einzelne Bretter: 50 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

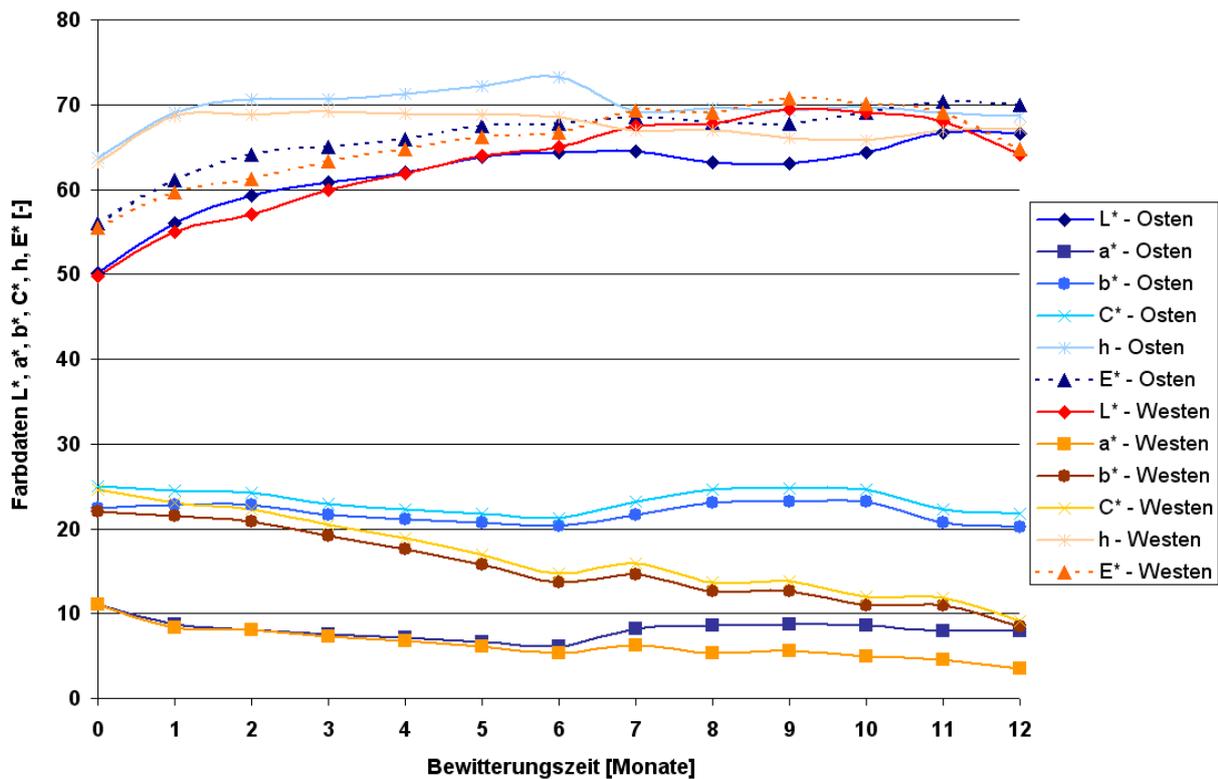


Abb 82 – Farbmessung zum Element aus modifizierter und sägerauer Fichte (Element 2); einzelne Bretter: 100 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

ostwärts ausgerichtet



westwärts ausgerichtet



Nov. 06



Nov. 07

Abb 83 - 86 – Elemente aus modifizierter und sägerauer Fichte (Element 1); einzelne Leisten oder Bretter: 20 x 20 bzw. 50 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12

ostwärts ausgerichtet



westwärts ausgerichtet



Nov. 06



Nov. 07

Abb 87 - 90 – Elemente aus modifizierter und sägerauer Fichte (Element 2); einzelne Bretter: 50 x 20 bzw. 100 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12

Element aus gestülpten Schalungsteilen - thermisch modifizierte Fichte ohne Oberflächenbehandlung

Das Element Nr. 3 wurde als horizontale Stülpschalung aus sägerauen Brettern (ohne Oberflächenanstrich) ausgeführt. Zur Befestigung wurden mit Luftdruck eingeschossene verzinkte Klammern herangezogen.

Elementbeschreibung:

Element 3:

Horizontale Stülpschalung

Material: thermisch modifizierte Fichte

Dimensionen: kleine Schalung 50 x 20 mm

große Brettlattung 100 x 20 mm

Oberflächenbehandlung:

sägerau / keine Oberflächenbehandlung

Befestigungsmittel:

mit Luftdruck eingeschossene Klammern

Kontaktmaterial: Kupferblech

Bodenabstand: 30 cm

Beschreibung der Fassaden und deren Verwitterungsverhalten:

Zwei Elemente (jeweils west- und ostwärts orientiert) aus thermisch modifizierter und sägerauer Fichte (ohne Oberflächenbehandlung) wurden als Stülpschalung ausgeführt. Die Breite der einzelnen Holzteile variierte zwischen 50 und 100 mm.

Der zeitliche Verlauf der Verwitterung zwischen schmälere und breitere Holzteilen – jeweils für eine Orientierung – verlief sehr ähnlich. Die ostwärts ausgerichtete Fassade zeigte nach 12 Monaten keine Änderung in der Farbsättigung (C), die Helligkeit ist um 6 – 8% angestiegen. Das Element der gegengesetzten Himmelsrichtung (Westen) wies einen wesentlich stärkeren Verlust der Farbsattheit aus und ist um ca. 15% gefallen. Die Helligkeit ist um ca. 10% gestiegen und hat sich gleichen Bereich, als das zweite Element, eingespielt (Abb 91 – 96).

Es ist kein merklicher Unterschied im Vergrauen des Holzes zwischen Brettern verschiedener Breiten oder zur Konstruktionsweise der Fassade (Abb 81 und 82) festzustellen.

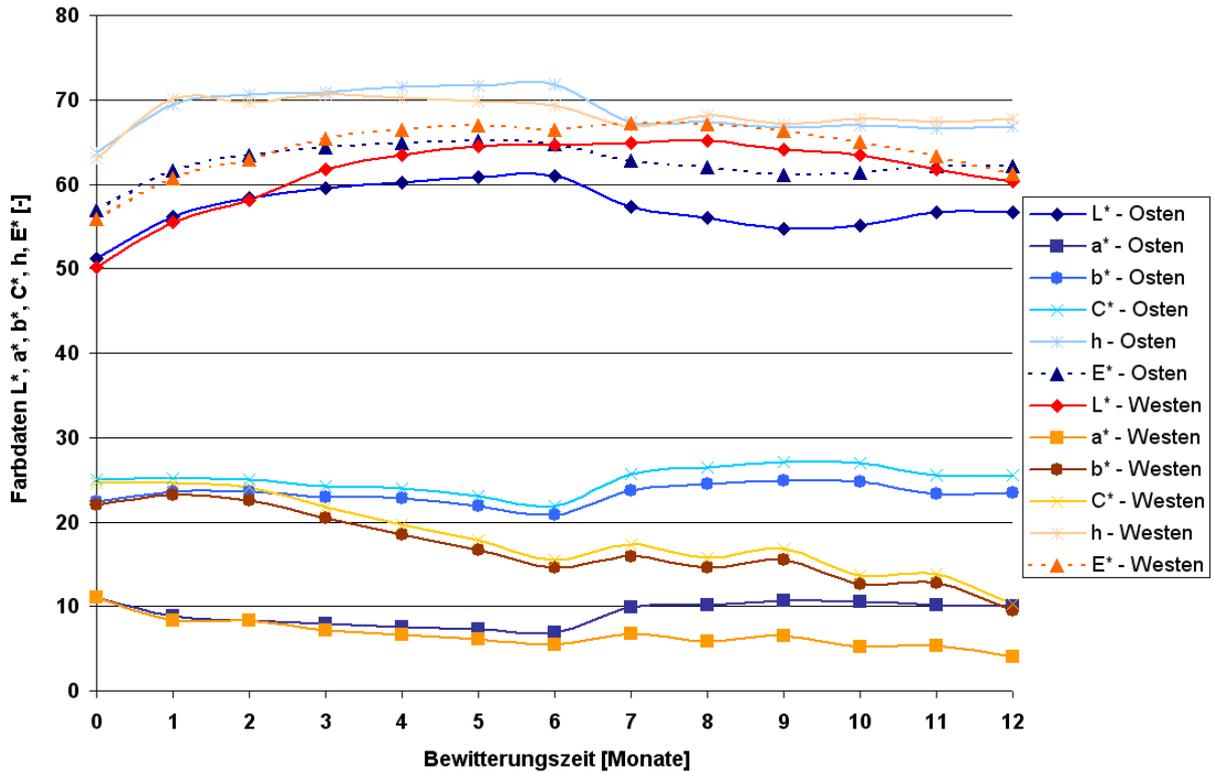


Abb 91 – Farbmessung zum Element aus modifizierter, sägerauer gestülpter Fichte (Element 3); einzelne Bretter: 50 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

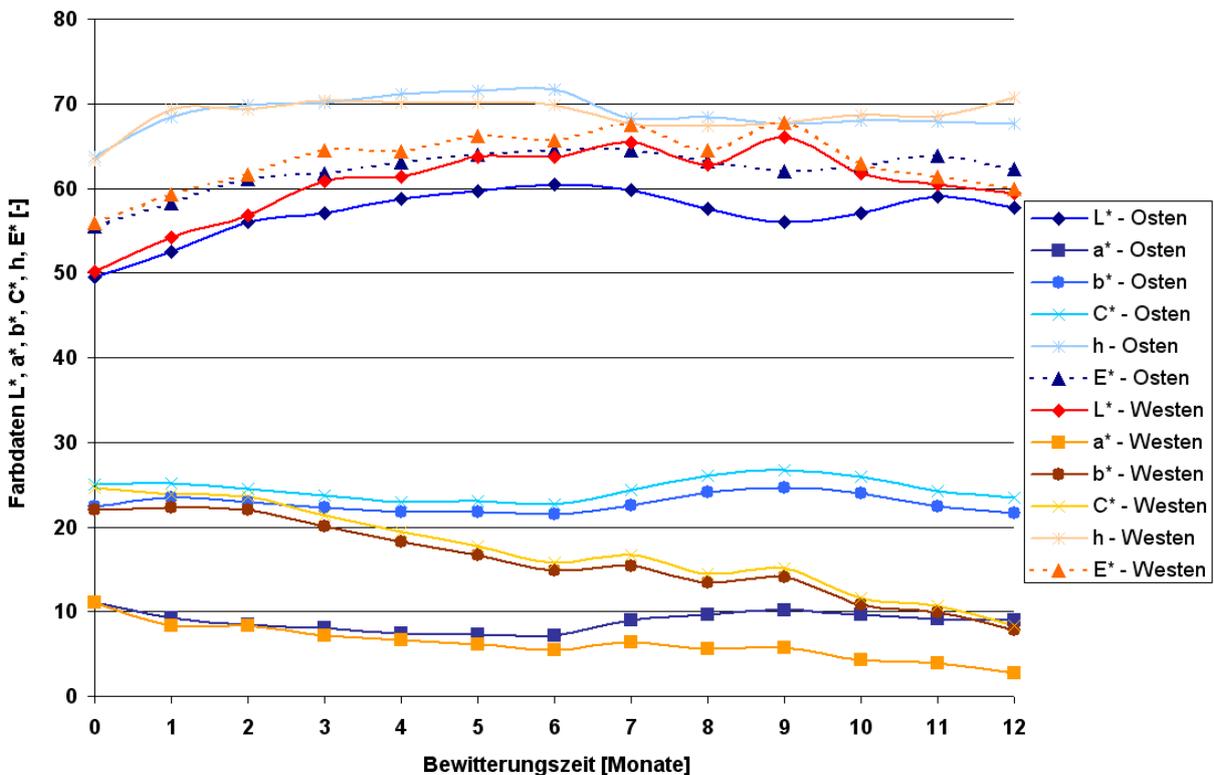


Abb 92 – Farbmessung zum Element aus modifizierter, sägerauer gestülpter Fichte (Element 3); einzelne Bretter: 100 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

ostwärts ausgerichtet



westwärts ausgerichtet



Nov. 06



Nov. 07

Abb 93 - 96 – Element aus modifizierter, sägerauer gestülpter Fichte (Element 3);  
einzelne Bretter: 50 bzw. 100 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet;  
keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

Elemente aus stehenden Schalungsteilen - thermisch modifizierte Fichte ohne Oberflächenbehandlung

Bei Element Nr. 5 und Nr. 6 wurden stehende Holzteile verwendet. Einerseits wurde eine Deckbrettschalung mit sägerauen und thermisch modifizierten Brettern und andererseits eine gehobelte Profilbretterschalung errichtet. Für die Befestigung wurden mit Luftdruck eingeschossene verzinkte Klammern und SPAX-S verwendet.

Elementbeschreibung:

Element 5:

stehende Brettschalung

Material: thermisch modifizierte Fichte

Dimensionen: Bretter 80 x 20 mm

Oberflächenbehandlung:

sägerau / keine Oberflächenbehandlung

Befestigungsmittel:

mit Luftdruck eingeschossene Klammern

Kontaktmaterial: Aluminiumblech

Bodenabstand: 30 cm

Element 6:

stehende Profilbretterschalung

Material: thermisch modifizierte Fichte

Dimensionen: Profilbretter 100 x 18 mm

Oberflächenbehandlung:

gehobelt / keine Oberflächenbehandlung

Befestigungsmittel:

verdeckt von hinten geschraubt mit SPAX-S

Kontaktmaterial: Polyethylen, Polypropylen

Bodenabstand: 30 cm

Beschreibung der Fassaden und deren Verwitterungsverhalten:

Die stehende Deckbrettschalung (Element 5) hat ebenfalls – wie die Elemente aus thermisch modifiziertem Holz vorher – auf der ostwärts gewandten Seite fast keine Farbtintensität (C) eingebüsst. Die Helligkeit (L\*) hingegen hat zugenommen – ca. um 5 - 6%. Das zweite Element der gleichen Bauweise (westwärts gerichtet) hat bei der Farbsättigung stark nachgelassen – um ca. 15%. Ebenfalls hat die Helligkeit stark zugelegt und verzeichnete eine Steigerung um mehr als 15%. Der Farbton hat sich bei allen Varianten auf einen Wert um 70° eingestellt, das einer Orangen-Farbe entspricht (Abb 97 – 98 und 101 – 104).

Es konnte kein Unterschied zwischen den Deckbrettern (vorne liegend) und den dahinter montierten Holzteilen wahrgenommen werden. Die Farbveränderung bzw. die Vergrauung ist annähernd gleich verlaufen.

Die zweite Konstruktionsvariante in stehender Ausführung erfolgte mit Profilbrettern. Hier zeigte sich das gleiche Ergebnis, wie bei der Decklattenschaltung. Ostseitig ist die Farbsättigung (C) wieder die Ausgangswerte erreicht, die Helligkeit (L\*) hat zugenommen. Westseitig kam es zu einer starken Reduzierung der Farbsättigung und die Helligkeit hat stärker zugenommen, als auf der gegen gesetzten Himmelsrichtung (Abb 99 und 105 - 108).

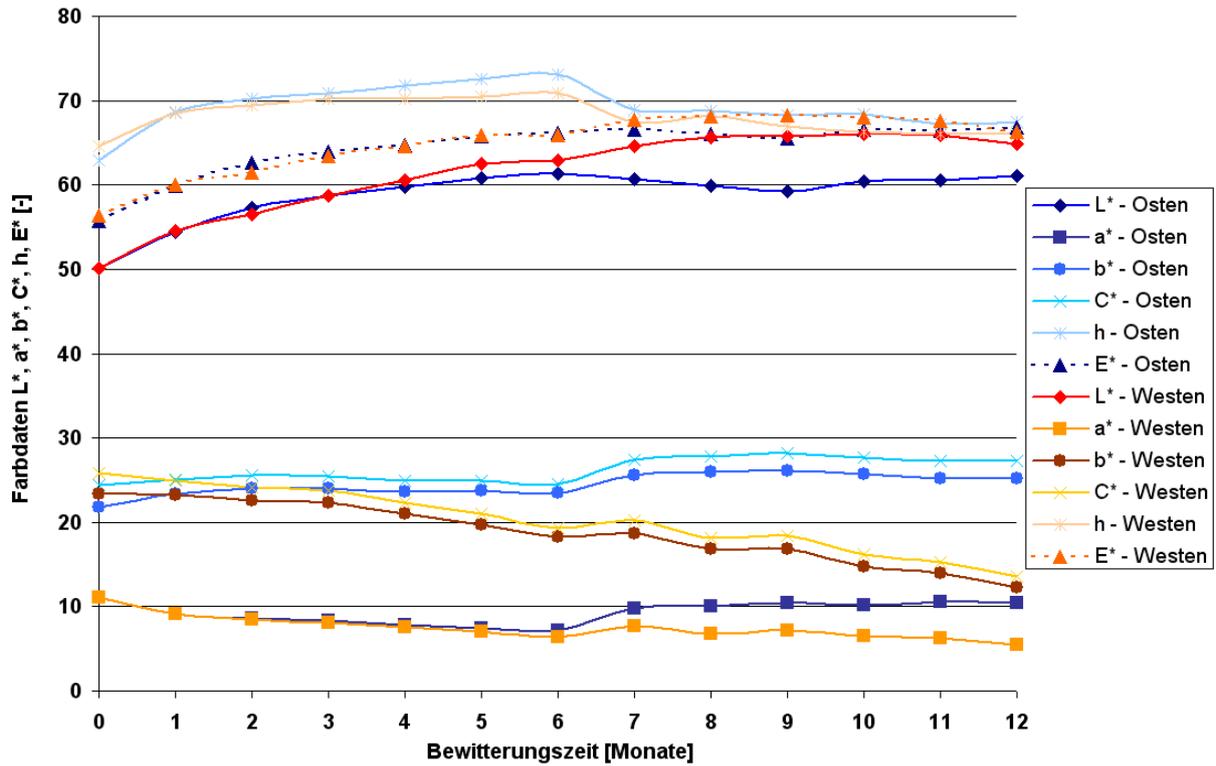


Abb 97 – Farbmessung zum Element aus modifizierter, sägerauer stehender Fichtenschalung (Element 5); einzelne Bretter: 80 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; in der Schalung hinten liegenden Bretter; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

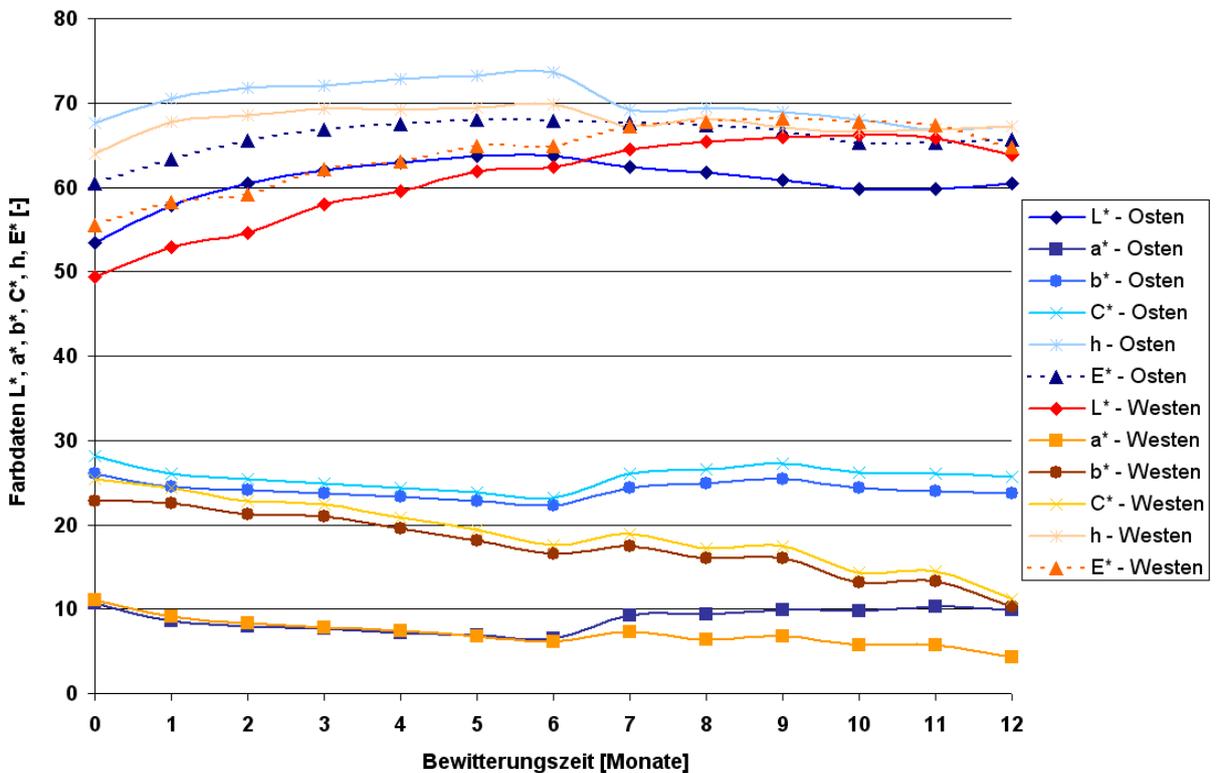


Abb 98 – Farbmessung zum Element aus modifizierter, sägerauer stehender Fichtenschalung (Element 5); einzelne Bretter: 80 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; in der Schalung vorne liegenden Bretter; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

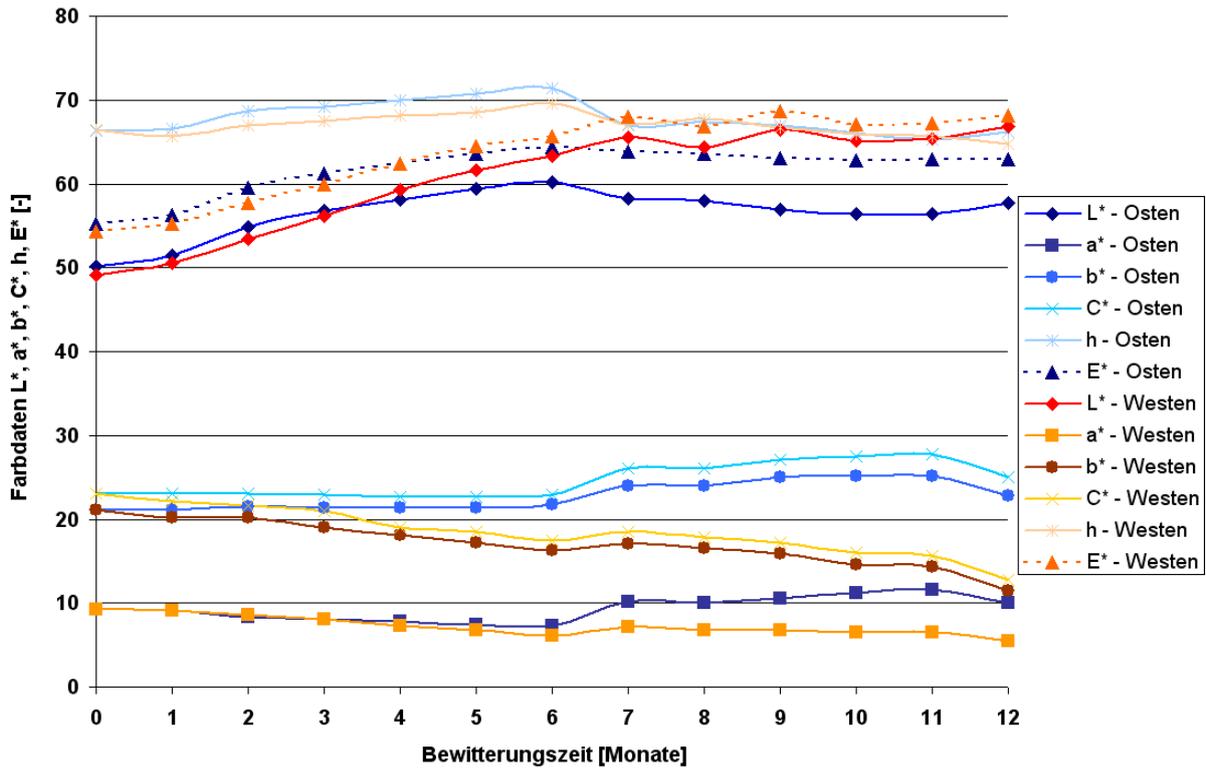


Abb 99 – Farbmessung zum Element aus modifizierter, gehobelter und profilierter, stehender Fichtenschalung (Element 6); einzelne Bretter: 100 x 18 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

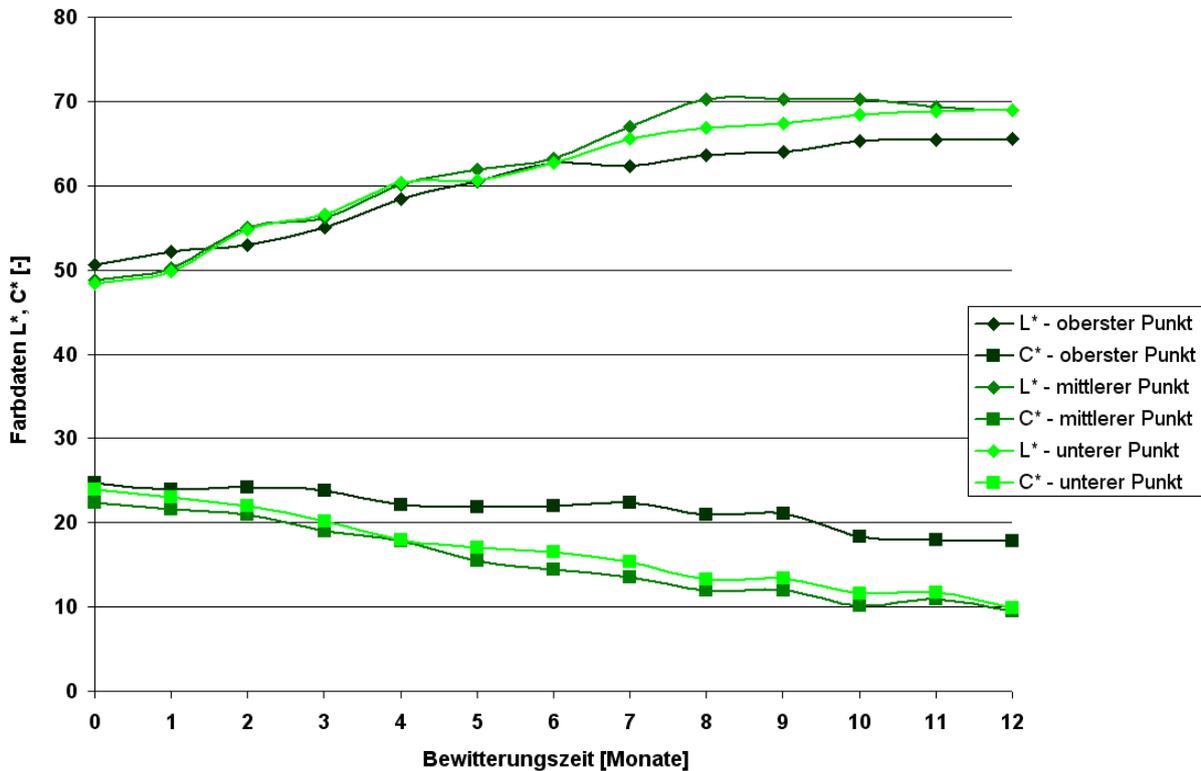


Abb 100 – Farbmessung einzelner Messpunkte (oben, Mitte und unten am Element) von einer modifizierten, gehobelten und profilierten, stehenden Fichtenschalung (Element 6); einzelne Bretter: 100 x 18 mm; westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

ostwärts ausgerichtet



westwärts ausgerichtet



Nov. 06



Nov. 07

Abb 101 - 104 – Element aus modifizierter, sägerauer und stehender Fichtenschalung (Element 5); einzelne Bretter: 80 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; in der Schalung vorne liegenden Bretter; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

ostwärts ausgerichtet

westwärts ausgerichtet



Nov. 06



Nov. 07

Abb 105 - 108 – Element aus modifizierter, gehobelter bzw. profilierter und stehender Fichtenschalung (Element 6); einzelne Bretter: 100 x 18 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

Elemente aus stehenden und liegenden Schalungsteilen - thermisch modifizierte Fichte mit verschiedener Oberflächenbehandlung

Bei Element Nr. 7 und Nr. 9 wurden speziell zwei Oberflächenbehandlungsmittel untersucht. Angewendet wurde ein Alkyd-Acrylatharz Anstrich, der eine fast deckende graue Farbgebung gewährleistet und somit das Vergrauen vorzeitig simuliert und eine Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel (Dünnschichtlasur), mit dessen chemischen Inhaltsstoffen eine rasche Vergrauung herbeigeführt wird. Die Elemente wurden als liegende Profilbretterschalung oder als stehende Lattenschalung bzw. Decklattenschalung ausgeführt. Als Verbindungsmittel wurden verzinkte Drahtstifte, SPAX-S und Edelstahlschrauben herangezogen.

Elementbeschreibung:

Element 7:  
liegende Profilbretterschalung  
Material: thermisch modifizierte Fichte  
Dimensionen: Bretter 100 x 18 mm  
  
Oberflächenbehandlung: gehobelt mit  
1/3 ohne Oberflächenbehandlung  
1/3 Alkyd-Acrylatharz - Beschichtung  
1/3 Dünnschichtlasur (chem. Vergrauung)  
  
Befestigungsmittel:  
verzinkte Drahtstifte  
Kontaktmaterial: keines  
Bodenabstand: 30 cm

Element 9:  
stehende Lattenschalung, Decklattenschalung  
Material: thermisch modifizierte Fichte  
Dimensionen: Bretter 100 x 20 mm  
Latten 20 x 20 mm  
  
Oberflächenbehandlung: sägerau mit  
1/3 ohne Oberflächenbehandlung  
1/3 Alkyd-Acrylatharz - Beschichtung  
1/3 Dünnschichtlasur (chem. Vergrauung)  
  
Befestigungsmittel:  
SPAX-S und Edelstahlschrauben  
Kontaktmaterial: keines  
Bodenabstand: 5 cm

Beschreibung der Fassaden und deren Verwitterungsverhalten:

An den Konstruktionsvarianten „liegende Profilbretterschalung“ (Element 7) und „stehende Lattenschalung bzw. Decklattenschalung“ (Element 9) wurden folgenden Oberflächenbehandlungsmittel angewendet:

- Alkyd-Acrylatharz Anstrich, der eine fast deckende graue Farbgebung gewährleistet und somit das Vergrauen vorzeitig simuliert – durch das langsame Verwittern der Farbe hat das dahinter unbehandelte Holz genug Zeit, um natürlich zu vergrauen und somit ein einheitliches Farbbild zu ergeben.
- Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel (auf Basis einer Dünnschichtlasur), mit dessen chemischen Inhaltsstoffen eine rasche Vergrauung herbeigeführt wird und somit die „Fleckenbildung“ (ungleichmäßiges Vergrauen) unterbindet.

Als Referenz oder unmittelbarer Vergleich wurde bei allen Konstruktionsvarianten ein unbehandelter Teil beigelegt. Dieser zeigte das übliche Bild der Vergrauung von thermisch modifiziertem Holz und wird hier nicht näher beschrieben.

Die Alkyd-Acrylatharz Beschichtung erwies sich in den ersten acht Monaten als sehr dauerhaft und Farbbeständig. Lediglich der Helligkeit (L\*) hat leicht zugenommen. Bis zu diesem Zeitpunkt haben sich die Kennwerte aller Versuchsstellen kaum unterscheiden. In den letzten vier Monaten begannen bei der Profilschalung die ersten deutlichen Verwitterungserscheinungen – die Farbe löste sich stellenweise vom Untergrund und das thermisch modifizierte Holz kam zum Vorschein und begann ebenfalls zu vergrauen. Daher auch der leichte Anstieg der Farbsättigung (C) bei dieser Konstruktionsart. (Abb 110). Die Helligkeit (L\*) veränderte sich kaum und zeigte nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten.

Das Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel hat seine Wirkung verfehlt. Das Probenmaterial hat zwar an Farbintensität (C) verloren und die Helligkeit (L\*) hat zugenommen, doch ein beschleunigter Vergrauungsprozess konnte nicht festgestellt werden und es konnte ebenfalls eine „Fleckenbildung“ wahrgenommen werden. Der Verlauf des Vergrauens kann in seinen Grundzügen der mit der einer unbehandelten thermisch modifizierten Fichte verglichen werden.

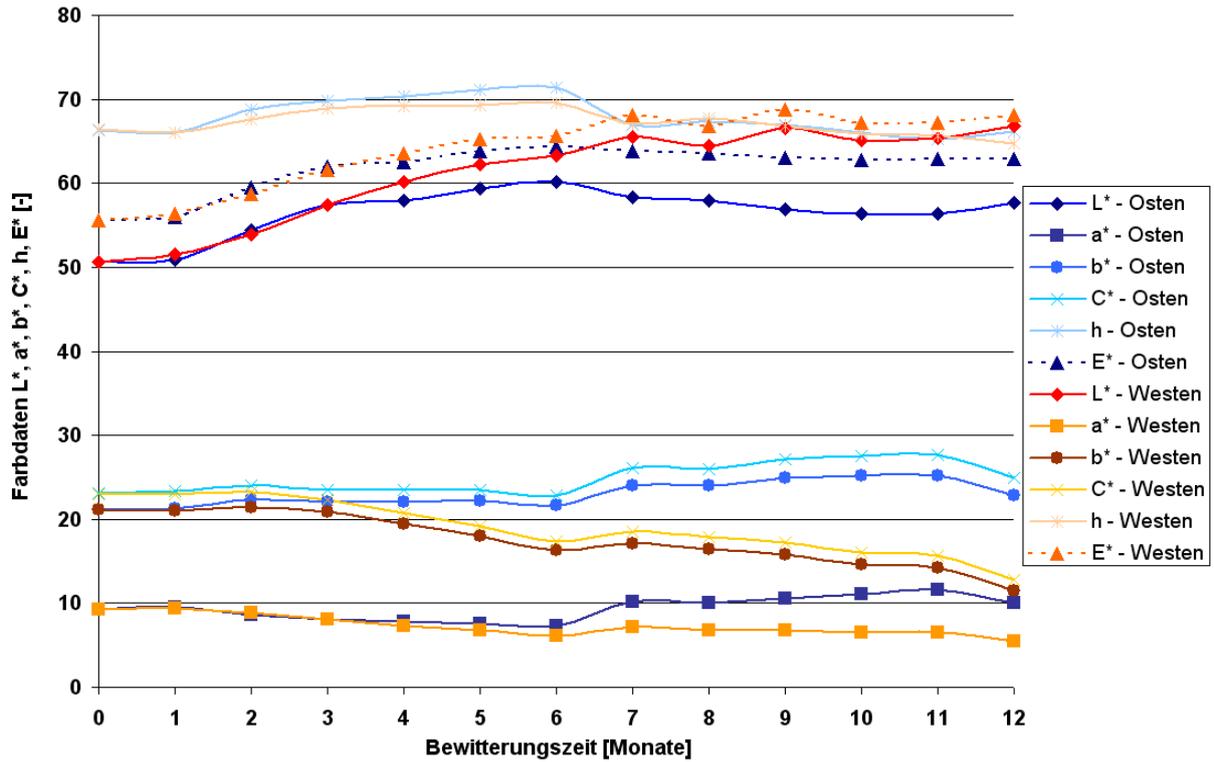


Abb 109 – Farbmessung zum Element aus modifizierter, gehobelter bzw. profilierter und liegender Fichtenschalung (Element 7); einzelne Bretter: 100 x 18 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

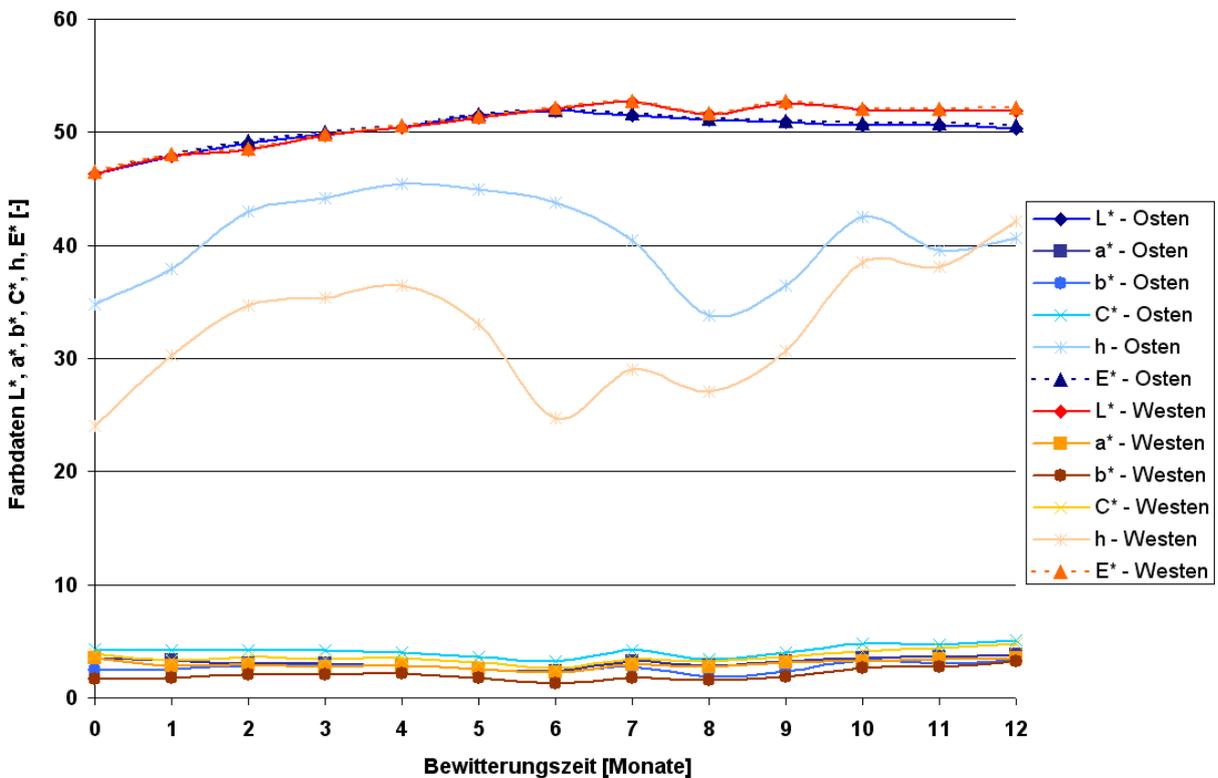


Abb 110 – Farbmessung zum Element aus modifizierter, gehobelter bzw. profilierter und liegender Fichtenschalung (Element 7); einzelne Bretter: 100 x 18 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: Alkyd-Acrylatharz - Beschichtung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

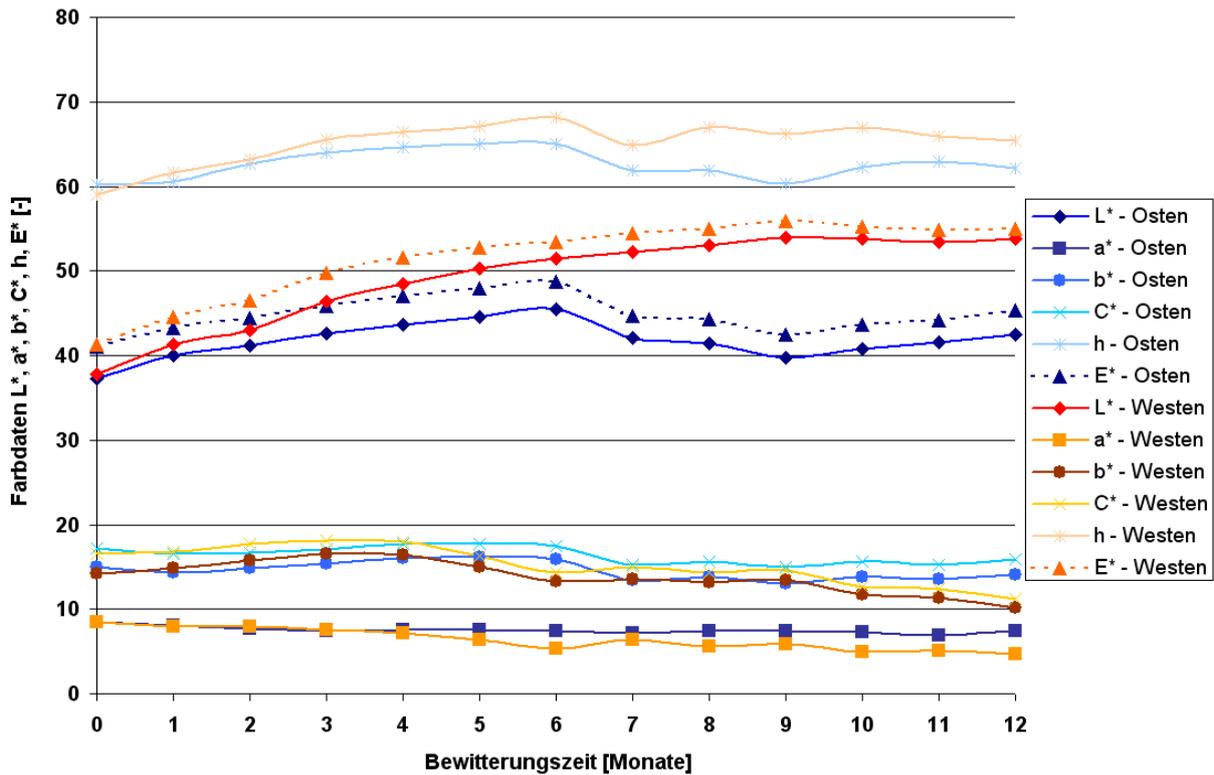


Abb 111 – Farbmessung zum Element aus modifizierter, gehobelter bzw. profilierter und liegender Fichtenschalung (Element 7); einzelne Bretter: 100 x 18 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel (Dünnschichtlasur) zur chemischen Vergrauung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

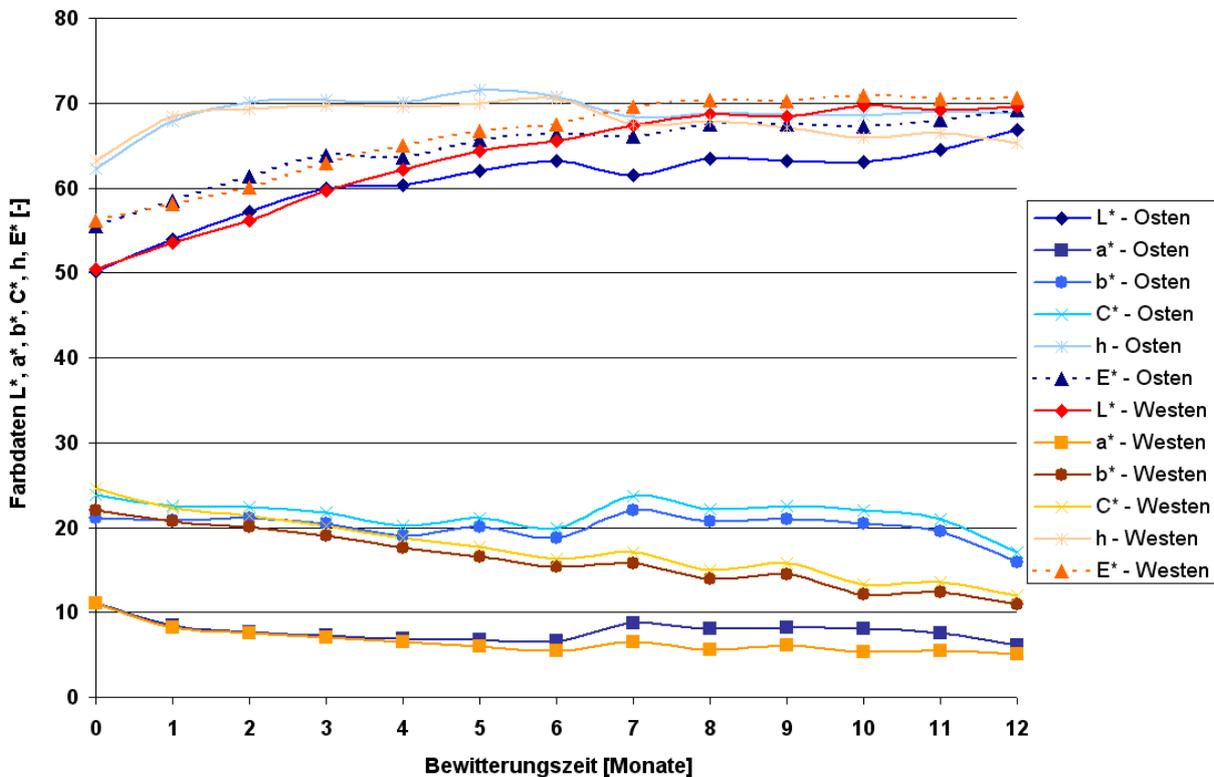


Abb 112 – Farbmessung zum Element aus modifizierter und sägerauer Decklattenschalung (Element 9); einzelne Bretter bzw. Latten: 100 x 20 mm und 20 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; keine Oberflächenbehandlung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

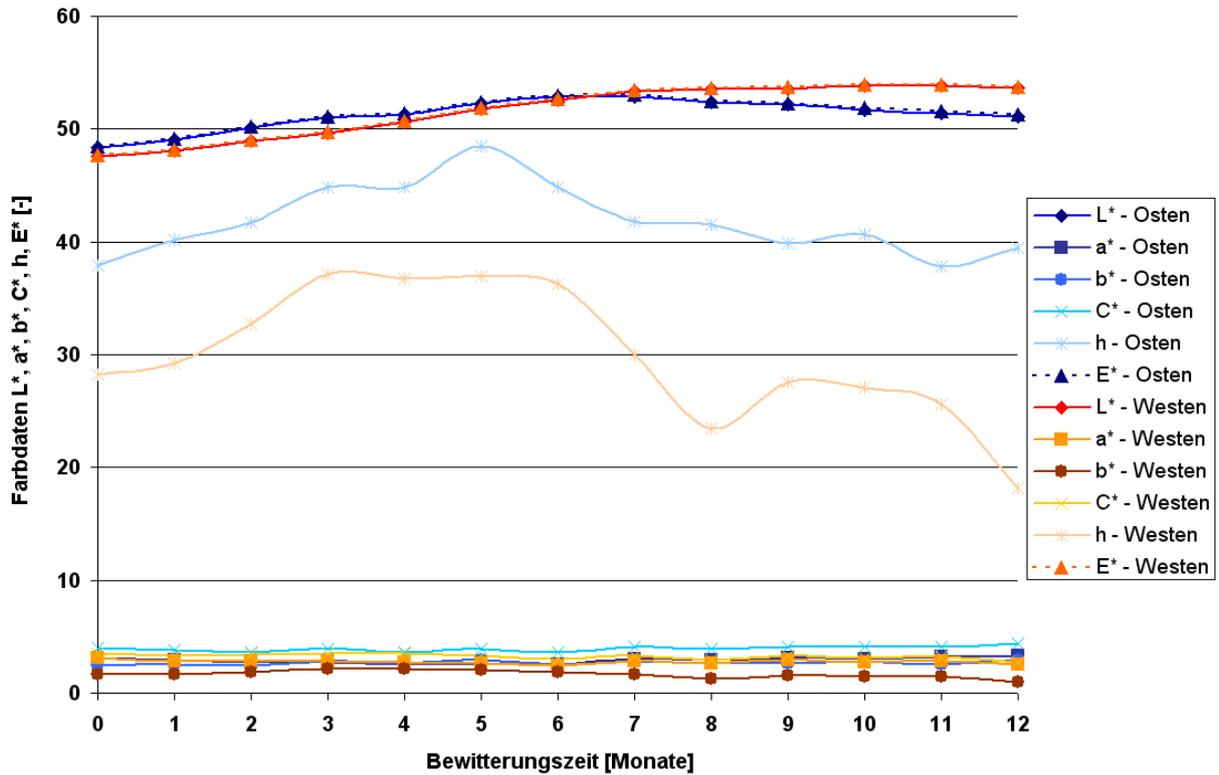


Abb 113 – Farbmessung zum Element aus modifizierter und sägerauer Decklattenschalung (Element 9); einzelne Bretter bzw. Latten: 100 x 20 mm und 20 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: Alkyd-Acrylatharz - Beschichtung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

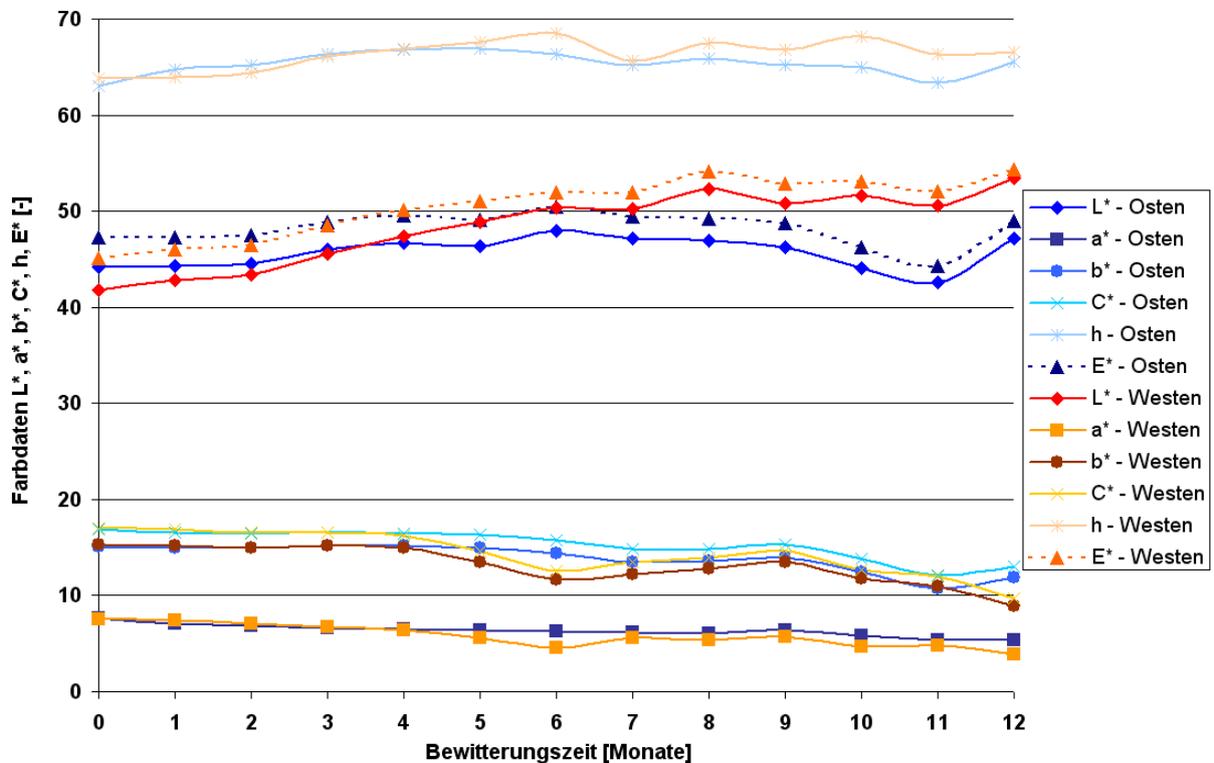


Abb 114 – Farbmessung zum Element aus modifizierter und sägerauer Decklattenschalung (Element 9); einzelne Bretter bzw. Latten: 100 x 20 mm und 20 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel (Dünnschichtlasur) zur chemischen Vergrauung; Bewitterungsdauer: 12 Monate

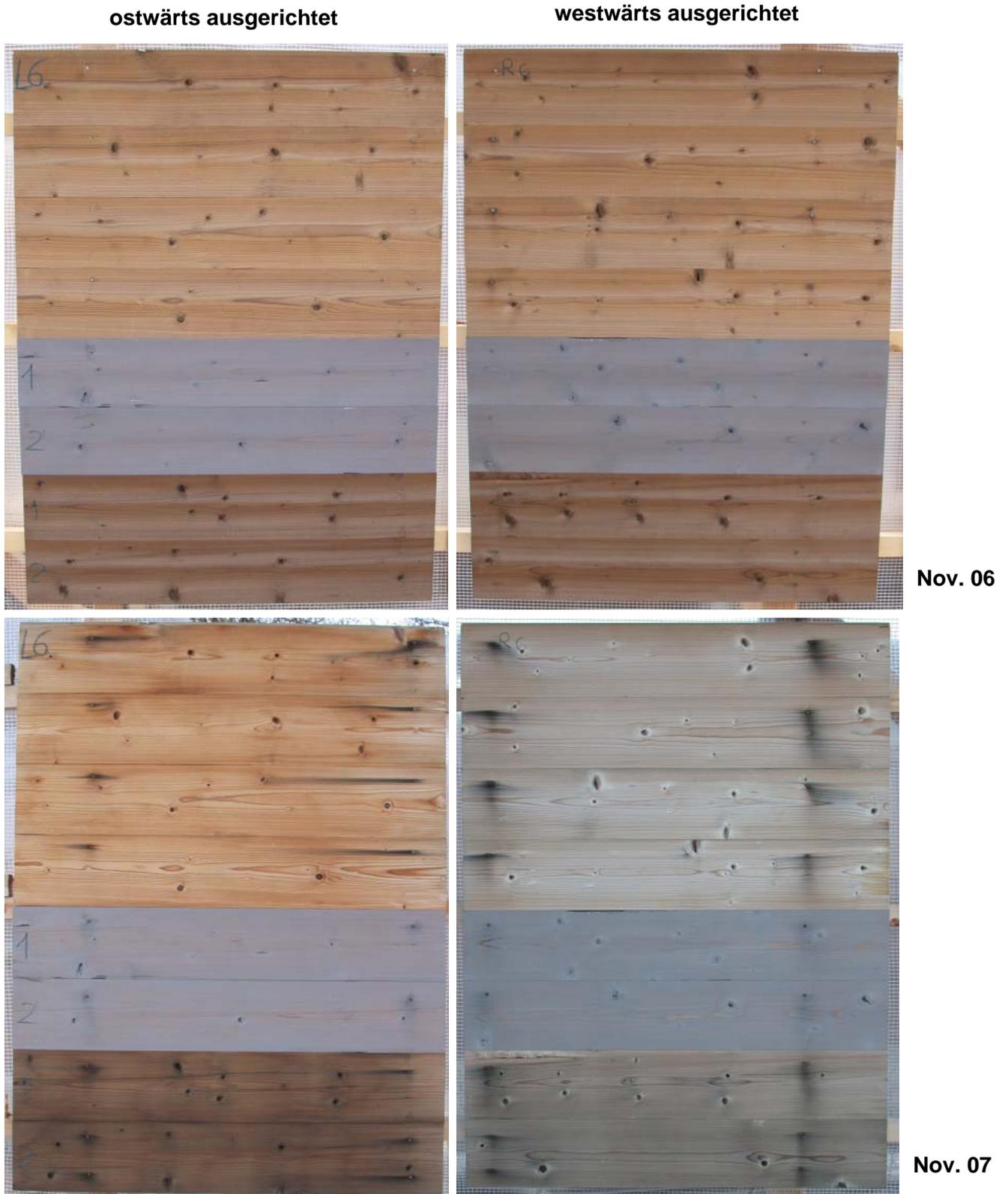


Abb 115 - 118 – Element aus modifizierter, gehobelter bzw. profilierter und liegender Fichtenschalung (Element 7); einzelne Bretter: 100 x 18 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: keine (oben), Alkyd-Acrylatharz - Beschichtung (Mitte), Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel (Dünnschichtlasur) zur chemischen Vergrauung (unten); Bewitterungsdauer: 12 Monate

ostwärts ausgerichtet



westwärts ausgerichtet



Nov. 06



Nov. 07

Abb 119 - 122 – Element aus modifizierter und sägerauer Decklattenschalung (Element 9); einzelne Bretter bzw. Latten: 100 x 20 mm und 20 x 20 mm; ost- und westwärts ausgerichtet; Oberflächenbehandlung: keine (hell), Alkyd-Acrylatharz - Beschichtung (grau), Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel (Dünnschichtlasur) zur chemischen Vergrauung (dunkel); Bewitterungsdauer: 12 Monate

## Blick auf Details

### Rissbildung oder Ablösen von Fladerschichten

Nach 12 Monaten Bewitterung und dem Durchlaufen von Hitze-, Regen- oder Frostperioden konnten nur vereinzelt Rissbildungen verzeichnet werden. Hauptsächlich sind die Risse in Ästen (oft waren hier bereits Initialrisse von Seiten der Produktion vorhanden) oder um Äste (bei stark abweichenden Faserverlauf) sowie bei Verbindungsmitteln (hier waren ebenfalls vorab oft feine Risse durch das Eindringen der Nägel oder Schrauben vorhanden – Abb 123D rote Linien) anzutreffen gewesen. Seltener konnten Risse an den Enden (ausgehend von der Stirnfläche – Abb 123C) oder in Mitten (Abb 123A) der Konstruktionshölzer registriert werden.

Zusätzlich zu den Rissen musste vereinzelt festgestellt werden, dass sich dünne Fladerschichten (die durch das Auftrennen von Bretter entstehen können) ablösen. Dies trat in den letzten Monaten auf und ist in den meisten Fällen auf westwärts orientierten Elementen zu bemerken (Abb 123B).



Abb 123 – Rissbildung (A, C, D) oder Ablösen von Fladerschichten (B) an thermisch modifiziertem Holz nach 12 Monaten Bewitterung

Verwerfen, Schüsseln oder Verdrehen

Während des gesamten Beobachtungszeitraumes konnten keine Verwerfungen oder Verdrehungen in axialer Richtung oder quer dazu registriert werden. Weiters konnte kein Verschüsseln der einzelnen Konstruktionshölzer bemerkt werden. Auf Grund der eingeschränkten Möglichkeit Feuchte aufzunehmen und das daraus resultierende geringe Quell- und Schwindmaß, lies das thermisch modifizierten Hölzer „ruhig“ = formstabil bleiben.



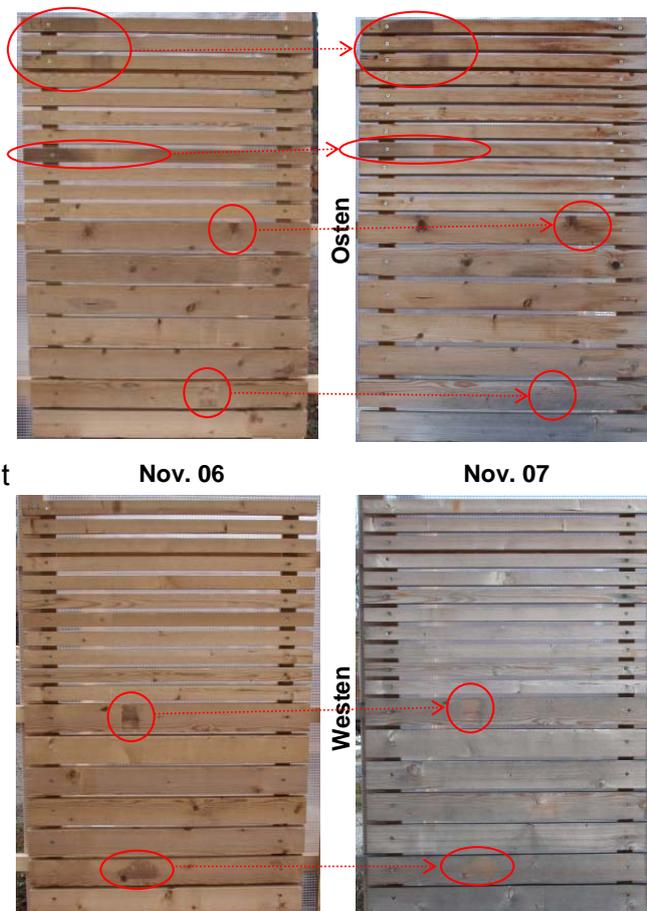
**Abb 124 - Blick parallel zu den thermisch modifizierten Lamellen der einzelnen Fassadenelement nach 12 Monaten Bewitterung**

„Fleckenbildung“

„Fleckenbildung“ – als die unregelmäßige Vergrauung der Holzoberfläche – tritt verstärkt während des Vergrauungsprozesses auf und wird durch das Entstehen der grauen Patina geschwächt und oft bis zu Unkenntlichkeit reduziert.

Ausgangspunkt von Flecken sind oft Verfärbungen, die bereits bei der Produktion oder Lagerung (z.B. Stapellatte) entstehen. Weiters können um Umfeld von großen Ästen oder Harzgallen unerwünschte Farbänderungen auftreten (Abb 125 & 126).

Bei großen Witterungsbeanspruchungen durch Regen (meist westseitig) schreitet die Vergrauung schnell voran und die Fleckenbildung bleibt größtenteils aus. An Fassadenseiten, wo keine typische Vergrauung entsteht (süd- oder ostwärts wo sich eher ein „Sonnenbrand“ einstellt), ist mit einer länger andauernden „Fleckigkeit“ zu rechnen.



**Abb 125 & 126 – „Fleckenbildung“ auf Grund von Holzgallen (li) und weiter Gründe für unregelmäßige Vergrauung der Holzoberfläche (re)**

### Befall durch Mikroorganismen

Innerhalb der letzten zwei Monate (Oktober und November 07) konnte ein leichter Befall durch Mikroorganismen auf den westlich orientierten Fassadenteilen festgestellt werden. Dies lässt sich vermutlich auf die geringere Sonneneinstrahlung und auf das hohe Luftfeuchte-Angebot zurückführen. Diese kleinen schwarzen Punkte (Abb 127) sind vorerst nur bei näherem Betrachten erkennbar, die weitere Entwicklung wird die weiterführende Untersuchung zeigen.



**Abb 127 - Befall durch Mikroorganismen**

### Spritzwasserbereich und Dachvorsprung

Im Bauwesen ist ein Spritzwasserabstand von ca. 30 cm üblich. Es zeigte sich ein deutlich anderer Verlauf im Vergrauungsprozess, die beanspruchten Holzteile verlieren schneller an Farbintensität und bekommen eine dunkelgraue Patina, die sich oft stark vom Rest der Konstruktion farblich abhebt. Der gleiche Effekt konnte bei Verblechungen und anderen baulichen Trennungen festgestellt werden, wo das Spritzwasser unmittelbar die Fassadenoberfläche erreichte (Abb 128).



Der geringe Dachüberstand (Abb 68) von ca. 20 cm hatte bereits Auswirkung auf die Farbentwicklung auf den Fassadenelementen. Es kam im beschatteten Bereich (Abb 129) zu einer geringeren Abnahme der Farbintensität und die Helligkeit ist weniger angestiegen (Abb 100). Die Traufe zeichnete sich also eindeutig ab.



**Abb 128 & 129 - Auswirkungen des Spritzwassers auf den direkt bewitterten Fassadenbereich (oben) und die unterschiedliche Vergrauung im Traufenbereich (unten)**

## Verbindungsmittel

Bei der monatlichen Beurteilung der Fassaden wurde ebenfalls das Verhalten der Befestigungsmittel und die Auswirkungen auf das umliegende Holz aufgezeichnet. Das Verhalten der Befestigungsmittel war unabhängig von der Orientierung der Fassadenelemente und wird im Folgenden einzeln beschrieben:

### Drahtstifte aus Kaltstauchdraht, verzinkt

Drahtstifte zeigten bereits nach kürzester Zeit (binnen ein bis zwei Monate) deutliche Spuren von Korrosion. Lange schwarze Streifen entlang des Faserverlaufes, die teilweise tief in die Holzstruktur eindringen, sind die Folge (Abb 130).

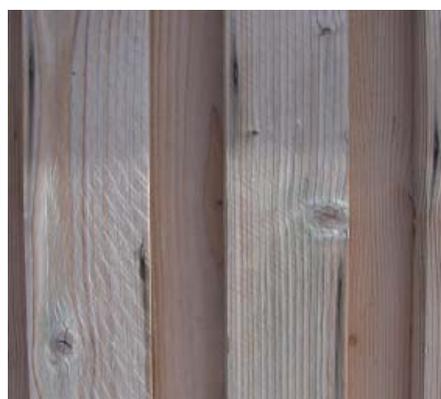
**Abb 130 – Spuren der Korrosion von Drahtstiften auf der Holzoberfläche**



### Klammern bzw. Tacker aus verzinktem Stahl

Mit Druckluft eingeschossene Klammern zeigten ein sehr unterschiedliches Verhalten. Am selben Element mit den gleichen Witterungsbedingungen kam es teilweise zu massiven Korrosionsschäden, andere Klammern wiederum konnten keine Veränderungen festgestellt werden (Abb 131).

**Abb 131 – Korrosionsschäden durch Klammern an der Holzoberfläche**



### Dorne aus verzinktem Stahl mit Sechskant-Mutter

Die verzinkten Stahldorne zeigten erst nach acht Monaten im stark bewitterten Bereich leichte Korrosionserscheinungen. Dies lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass beim aufschrauben der Mutter die Verzinkung des Dorns leicht verletzt wurde und bei starkem Regen die korrodierten Reststoffe in und auf das Holz gelangen.

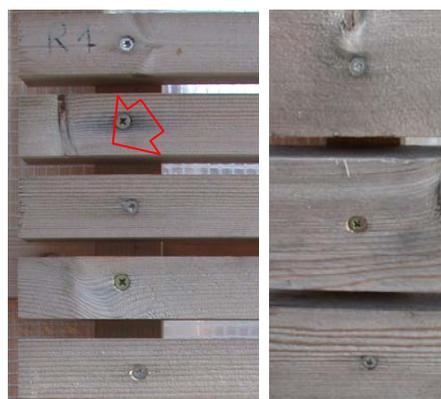
**Abb 132 – leichte Korrosionsspuren auf der stark bewitterten Holzoberfläche (re), ansonsten keine Schäden (li)**



### SPAX-S - mit korrosionsbeständige Oberfläche und Edelstahlschraube (V4A)

Edelstahlschrauben zeigten während des gesamten Versuches keine Veränderungen. Bei SPAX-Schrauben konnte nur bei Verletzung der Oberfläche (besonders am Schraubenkopf) Korrosionsschäden festgestellt werden (Abb 133).

**Abb 133 – Edelstahlschrauben und SPAX-S als Verbindungsmittel mit leichten Korrosionsschäden**



Kontaktmaterial

Zur Untersuchung, ob die Auswaschungsprodukte von thermisch modifiziertem Holz auf andere – am Bau übliche – Materialien hat, wurden verschiedene Werkstoffe unter die Fassadenelemente platziert und beobachtet.

Bei keinem Werkstoff – unabhängig der Orientierung der Fassaden – konnte ein auffälliges Verhalten festgestellt werden. Es haben sich zwar die Farben leicht verändert, der Glanz hat teilweise abgenommen oder sich eine natürliche Patina gebildet – dies sind aber ganz natürliche Verwitterungserscheinungen und wurden von der thermisch modifizierten Fichte nicht beeinflusst.

Tab 10 – Kontaktmaterial vor und nach der Untersuchung (nach 12 Monaten Bewitterung)

Material	November 06	November 07
verzinktes Stahlblech		
korrosionsbeständiges Stahlblech		
Kupferblech		
Aluminiumblech		
Polyethylen		
Polypropylen		

## Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Ergebnisse widerspiegeln das Verwitterungsverhalten von thermisch modifizierter Fichte in einem Zeitraum von zwölf Monaten (November 06 bis November 07).

### Farbveränderungen

Bereits nach einem Monat (trüber November mit wenig Sonneneinstrahlung) konnte eine messbare (für das menschliche Auge mäßig erkennbare) Veränderung der Holzfarbe festgestellt werden. Daraus lässt sich schließen, dass bereits geringe Mengen an UV-Strahlung zu einem Um- bzw. Abbau der Oberflächenfarbpigmente führt. Nach drei Herbst- bzw. Wintermonaten konnte eine deutliche Zunahme der Helligkeit und eine Abnahme der Farbsättigung registriert werden. Diese Art der Farbveränderung wird eben als „Vergrauung von Holz“ bezeichnet. Ab diesem Zeitpunkt haben sich die Fassadenelement-Paare – je nach Orientierung – unterschiedlich weiterentwickelt.

An den westlich orientierten Fassaden hat die Reduzierung der Farbsättigung und die Zunahme der Helligkeit bis zum Ende der Untersuchung angehalten. Die ostwärts gerichteten Fassaden hatten eine Trendumkehr – die Farben wurden wieder kräftiger und dunkler. Schlussendlich wurden die stark bewitterten Fassaden einheitlich grau und die gegengesetzt gerichteten Elemente haben sich gegenüber den Ausgangsfarben nur wenig verändert.

### Auswirkung der Orientierung der Fassaden

Die Fassadenelemente sind westwärts (der Witterung zugeneigten Himmelsrichtungen) bzw. ostwärts (nur morgens Sonne mit wenig Niederschlag, der die Fassaden auswäscht) ausgerichtet. In den ersten Monaten, wo nur geringer Schneefall und wenig Niederschlag zu verzeichnen waren, hatte die unterschiedliche Orientierung keine Auswirkung. Im Monat Mai hingegen, wo starke und lang andauernde Regenfälle bzw. Platzregen mit Windböen aufgetreten sind, ist an der Westseite die Vergrauung unvermindert fortgeschritten, an der Ostseite konnte aber eine gegenläufige Entwicklung festgestellt werden. Die Farben wurden wieder intensiver und deutlich rötlicher. Hier spricht man vom „Sonnenbrand“ einer Holzfassade. Dieser entsteht bei starker UV-Strahlungsbelastung und wenig Niederschlag, der die veränderten und aus dem Holzverbund gelösten Farbpigmente auswaschen könnte.

### Rissbildungen und Ablösen von dünnen Fladerschichten

Bei der Schlussbeurteilung im November 07 konnten nur wenige Risse festgestellt werden. Hauptsächlich waren diese um Äste oder im Zusammenhang mit Verbindungsmittel zu finden. Nur selten konnten Risse in Mitten von fehlerfreien Brettern oder am Ende der Bretter beobachtet werden.

Zusätzlich zu den wenigen Rissen musste vereinzelt festgestellt werden, dass sich dünne Fladerschichten (die beim Auftrennen von Brettern im Fladerschnitt entstehen können) von der Holzoberfläche lösten.

### Verwerfen, Verdrehen oder Schüsseln

Während des gesamten Beobachtungszeitraumes konnten keine Verwerfungen oder Verdrehungen in axialer Richtung oder quer dazu registriert werden. Weiters konnte kein Verschüsseln der einzelnen Konstruktionshölzer bemerkt werden. Die verwendeten thermisch modifizierten Hölzer erwiesen sich als äußerst formstabil.

## „Fleckenbildung“

Bereits bei der künstlichen Bewitterung konnte nach ca. 500 Stunden Behandlungsdauer (entspricht ca. einem ½ Jahr tatsächlicher Bewitterung) eine unregelmäßige Farbveränderung beobachtet werden. Das gleiche Phänomen konnte auch – besonders an den ostwärts orientierten Teilen - auf den großen Fassadenelementen festgestellt werden. Je stärker die Vergrauung fortschreitet, umso weniger Farbunregelmäßigkeiten konnten beobachtet werden und ein einheitlich vergrautes Bild entstand.

### Oberflächenbehandlung

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden zwei Oberflächenbehandlungen beurteilt. Einerseits ein pigmentierter Anstrich, der eine sofortige gleichmäßige graue Oberfläche gewährleisten soll und andererseits ein Anstrich, der die natürliche Vergrauung beschleunigt und somit die „Fleckenbildung“ so weit als möglich verhindert.

Die graupigmentierte Dünnschichtlasur (wasserlösliches Alkyd-Acrylatharz) der Firma DANSKE hat seine Aufgabe gut erfüllt. An den östlich orientierten Fassaden konnte noch keine Verwitterung erkannt werden. An den westwärts gerichteten Fassaden haben sich bereits kleine Flächen gelöst. Das dahinter liegende Holz vergraut und es konnte nur ein geringer Farbunterschied verzeichnet werden.

Das Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel (Greywood Express der Firma DANSKE) hat seine Aufgabe der schnellen Vergrauung nicht erfüllt. Das thermisch modifizierte Holz hat zu Beginn einen starken Braunton erhalten und ist anschließend ähnlich wie das unbehandelte Holz vergraut.

## Auswirkung des Dachüberstandes oder des Spritzwasserbereiches

Aufgrund der Schattenbildung durch den absichtlich konstruierten Dachüberstandes konnte teilweise eine deutlich unterschiedliche Farbentwicklung beobachtet werden. Besonders in den Sommermonaten, wo durch den steileren Sonnenstand die Beschattungszone vergrößert wurde, zeichnete sich im oberen Bereich der Elemente ein farbintensiverer Bereich ab. Im Spritzwasserbereich (bei Elementen mit Bodenabstand kleiner als 5 cm) hingegen konnte die genau gegen gesetzte Entwicklung beobachtet werden. Verstärkte Auswaschung der Farbpigmente führte binnen kürzester Zeit zu einem absolut vergrauten Bereich am unteren Ende der Fassadenelemente.

## Befestigungsmittel - statische Eigenschaften

Alle fünf untersuchten Befestigungsmittel (Nägel, SPAX, Klammern, Stahldorn und Edelstahlschrauben) haben während der Winter- und Sommermonate ihre statische Aufgabe, die Verbindung zwischen Fassadenmaterial und Unterkonstruktion aufrechtzuerhalten, ohne Mängel erfüllt.

## Befestigungsmittel - Auswirkungen auf die Fassadenoberfläche

Hier zeichneten sich deutliche Unterschiede in der Wahl des Befestigungsmittels ab. Bei der Verwendung von Edelstahlschrauben konnten auf der Holzoberfläche keine Verfärbungen festgestellt werden. Bei der Wahl von SPAX als Befestigungsmittel konnte vereinzelt ein leichter Korrosionsschaden beobachtet werden, immer wenn der Schraubenkopf verletzt wurde. Hingegen bei Nägel oder Klammern wurden oft großflächige oder lang gezogene Dunkelfärbungen, die von Korrosionsrückständen herrühren, beobachtet werden.

### Auswirkung der Auswaschungsprodukte auf andere Bauteile

Aufgrund der bereits stark vorgeschrittenen Vergrauung kann davon ausgegangen werden, dass Auswaschungsprodukte des thermisch modifizierten Fichtenholzes auf die untersuchten Materialien eingewirkt haben. Es konnte aber bei keinem Werkstoff Auswirkungen (z.B. Fleck- oder Rostbildung) beobachtet werden.

## 4 Untersuchung von üblichen Befestigungsmethoden

### 4.1 Optimierung des Randabstandes des Befestigungsmittels

#### Einleitung

Die Hitzebehandlung des Holzes hat den Nachteil, dass die Festigkeitseigenschaften gemindert werden. Die Spaltfestigkeit von thermisch modifiziertem Fichtenholz gegenüber unbehandeltem Holz wird bis zu einem Drittel reduziert (Manninen 2004) (Abb 134). Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die verwendete Befestigungsmittel, da eine Beschädigung des Holzes durch unsachgemäße Verwendung wahrscheinlicher auftreten wird. Aus diesem Grund wurden drei verschiedene und im Bauwesen üblich eingesetzte Arten von Verbindungsmitteln untersucht.

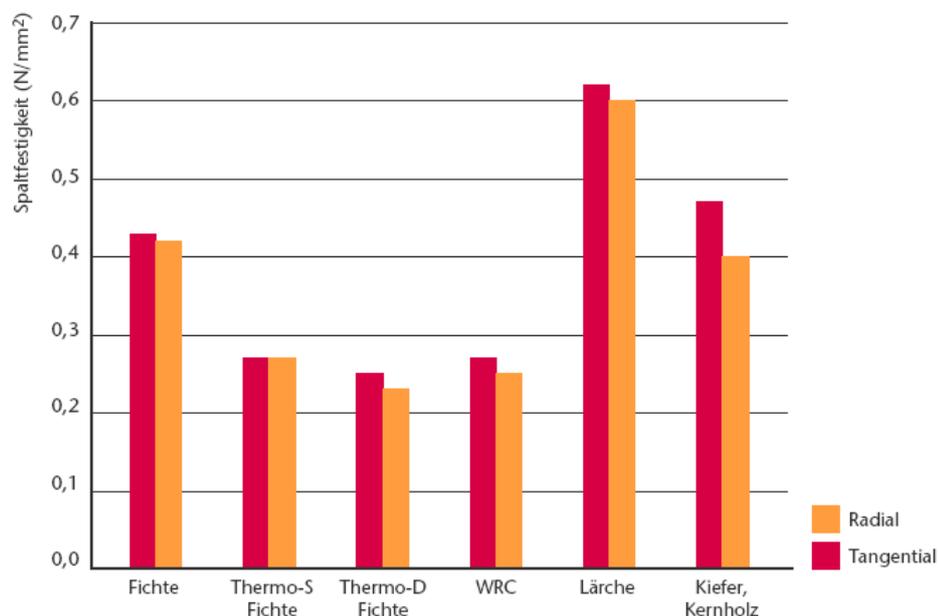


Abb 134 - Spaltfestigkeit von unbehandeltem und modifiziertem Holz (Manninen 2004)

#### Material

##### Holzwahl

Für diese Untersuchungen wurde Thermowood® D aus Fichtenholz verwendet. Zur Modifikation wurde das VTT-Verfahren bei einer Temperatur von 212°C herangezogen (siehe Kapitel 1.4 Beschreibung der Modifikationsprozesse und Anhang 3 Beschreibung von Thermowood® der Firma Stora Enso). Die Dimensionen (in mm) der einzelnen Bretter und Latten waren wie folgt: 85 x 30 mm - 40 x 25 mm - 35 x 30 mm - 30 x 15 mm

##### Befestigungsmittel

Bei dieser Untersuchung wurden die Anwendungsmöglichkeiten verschiedener Befestigungsmittel beurteilt. Dazu wurden drei - in der Bauwirtschaft üblich eingesetzte - Arten von Verbindungsmitteln zwischen Fassadenmaterial und Unterkonstruktion eingesetzt (Tab 11).

Tab 11 - Beschreibung der eingesetzten Befestigungsmittel und deren Dimensionen

Beschreibung der Verbindungsmittel	Darstellung der Verbindungsmittel
<p><b>Drahtstift</b> aus Kaltstauchdraht; verzinkt</p> <p>Dimensionen (Länge/Durchmesser in mm): 40/2 - 60/2,5 - 80/2,5 - teilweise 90/3</p>	
<p><b>SPAX-S</b> - selbstbohrende Schraube aus Kaltstauchdraht mit Teilgewinde; verzinkt; Senkkopf mit Kreuzschlitz-Antrieb (Typ Z2); diese Verbindungsmittel wurde mit und ohne Vorbohrung eingesetzt</p> <p>Dimensionen (Länge/Durchmesser in mm): 30/3,5 - 40/3 - 50/4 - 60/4 - 60/5 - 90/5</p>	
<p><b>Edelstahlschraube</b> (V4A); gleitbeschichtet; integrierten Bohrkopf; verstärkter Flachsenkopf mit Fräsrippen; TZD-Sternantrieb</p> <p>Dimensionen (Länge/Durchmesser in mm): 30/3 - 50/4 - 60/4</p>	

### Versuchsverlauf und Durchführung

Ausgehend von einfachen Vorgaben der Finnish ThermoWood Association (Thermowood® Handbook 2003) wurde ein Versuchsschema mit mehreren Parametern zusammengestellt. Einfluss auf die Festigkeit der Verbindung bzw. auf die Nichtzerstörung des Fassadenmaterials haben hauptsächlich das Verbindungsmittel und des Dimensionen, die Abmessungen des Fassadenmaterials und der Randabstand des Verbindungsmittels am Fassadenmaterial.

Es wurde fehlerfreies modifiziertes Holz (Dimensionen siehe Holzwahl) auf eine Fichtenstaffel befestigt, wobei fix festgelegte Randabstände ( $a$ ) eingehalten wurden (Abb 135). Diese Abstände ( $a$ ) reichten von 1 bis 4 cm. Zuerst wurden die Befestigungsmittel in Spalte B (in der Mitte des Brettes) - beginnend in Reihe 3 bis Reihe 1 - eingesetzt. Anschließend wurde die gleichen Versuche in Spalte A oder C angesetzt. Beurteilt wurde, ob sich Risse im Holz gebildet haben und ob die Verbindung zwischen Thermowood und Unterkonstruktion einwandfrei besteht.

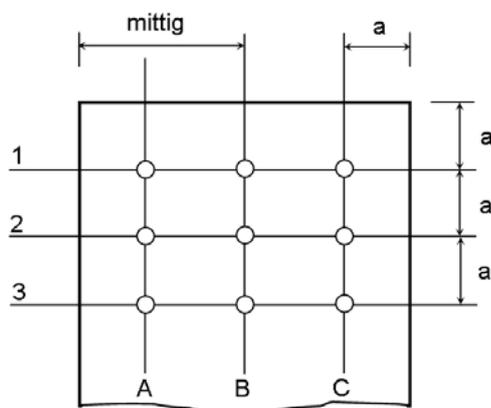


Abb 135 - Skizze zum festgelegtes Schema der Randabstände für verschiedene Befestigungsmittel und Holzdimensionen

## Auswertung und Ergebnisse

An ca. 120 Proben wurden alle Möglichkeiten des vorgegeben Versuchsschemas ausprobiert und führten zu nachfolgendem Ergebnis, welches in die einzelnen Verbindungsmittel unterteilt wurde.

### Drahtstift

Bei schmalen Latten mit zunehmender Holzstärke und der damit verbundenen Erhöhung der Drahtstiftlänge und -durchmesser mussten die Randabstände von mindestens 20 mm bis auf 30 mm erhöht werden. Bei Brettern (Mindestbreite 80 mm) in Brettmitte konnte der Randabstand wieder auf 20 mm reduziert werden (Tab 12, Abb 136 & 137)).

Ergebnisse für die praktische Anwendung:

Thermisch modifizierte Fichte bis zu einer Latten- bzw. Brettdicke von 20 mm ist ein Randabstand von 20 mm ausreichend. Erhöht sich die Dicke bei Latten so sollte auch der Randabstand dementsprechend vergrößert werden. Bei Brettern mit zunehmender Dicke (in Brettmitte!) kann der Randabstand von mindestens 20 mm beibehalten werden.

**Tab 12 - Mindestabstände bei Drahtstiften bei der Befestigung von thermisch modifiziertem Fichtenholz**

<b>Dimension des Drahtstiftes</b> (Länge / Durchmesser in mm)	<b>Dimension des Holzes</b> (Breite x Dicke in mm)	<b>Mindestrandabstand (in mm)</b>
40 / 2,0 bzw. 60 / 2,5	30 x 15	20 mm
60 / 2,5	40 x 25	25 - 30 mm
60 / 2,5 bzw. 80 / 2,5	35 x 30	30 mm
60 / 2,5 bzw. 80 / 2,5	85 x 30 mm	30 mm (in Brettmitte 20 mm)
90 / 3,0	85 x 30 mm	30 mm (in Brettmitte 20 mm)

### SPAX-S

Die Variante mit SPAX-S wurde mit und ohne Vorbohrung durchgeführt. Der Durchmesser der Vorbohrung war um 0,5 mm kleiner als der der verwendeten SPAX-S. Hier zeigte sich, dass bei sehr kleinen Holzdimensionen bzw. geringen Größen beim Verbindungsmittel ein Mindestrandabstand von 30 mm eingehalten werden musste. Sobald die Holzabmessungen angehoben wurden, war ein Abstand von mind. 40 mm unumgänglich. Bei Brettdimensionen hingegen konnte der Abstand auf 25 - 35 mm gesenkt werden (Tab 13, Abb 138)). Eine Vorbohrung reduzierte bei allen Holzdimensionen den Mindestrandabstand auf 15 - 20 mm (Tab 14).

Ergebnisse für die praktische Anwendung:

Nur bei sehr kleinen Dimensionen des Holzes bzw. des Verbindungsmittels (bis zu einem Durchmesser von 3 mm) sind Randabstände von 30 mm ausreichend. Bei einer Zunahme

des SPAX-S Durchmessers ist ein Mindestabstand von 40 mm einzuhalten. Bei Brettern sollte der Abstand 30 - 35 mm betragen, nur in Brettmitte kann dieser um 5 mm reduziert werden. Sobald eine Vorbohrung (Durchmesser der Vorbohrung um 0,5 mm kleiner als der SPAX-S Durchmesser) vorgenommen wird, kann der minimale Randabstand bei allen Holzdimensionen und SPAX-S Durchmessern auf 15 - 20 mm reduziert werden.

**Tab 13 - Mindestabstände bei SPAX-S (ohne Vorbohrung) bei der Befestigung von thermisch modifiziertem Fichtenholz**

<b>Dimension der SPAX-S</b> (Länge / Durchmesser in mm)	<b>Dimension des Holzes</b> (Breite x Dicke in mm)	<b>Mindestrandabstand (in mm)</b>
40 / 3,0	30 x 15 bzw. 40 x 25	30 mm
30 / 3,5	30 x 15 bzw. 40 x 25	40 mm
50 / 4,0 bzw. 60 / 4,0	35 x 30	40 mm
50 / 4,0 bzw. 60 / 4,0	85 x 30 mm	30 mm (in Brettmitte 25 mm)
90 / 5,0	85 x 30 mm	35 mm (in Brettmitte 30 mm)

**Tab 14 - Mindestabstände bei SPAX-S (mit Vorbohrung) bei der Befestigung von thermisch modifiziertem Fichtenholz**

<b>Dimension der SPAX-S</b> (Länge / Durchmesser in mm)	<b>Dimension des Holzes</b> (Breite x Dicke in mm)	<b>Mindestrandabstand (in mm)</b>
40 / 3,0	30 x 15 bzw. 40 x 25	15 - 20 mm
30 / 3,5	30 x 15 bzw. 40 x 25	15 - 20 mm
50 / 4,0 bzw. 60 / 4,0	35 x 30	20 mm
50 / 4,0 bzw. 60 / 4,0	85 x 30 mm	20 mm (in Brettmitte 15 mm)
90 / 5,0	85 x 30 mm	20 mm (in Brettmitte 20 mm)

#### Edelstahlschraube mit integriertem Bohrkopf

Bei diesem Schraub-Verbindungsmittel lagen die Werte zwischen denen der SPAX-S Verbindung mit und ohne Vorbohrung. Bei geringeren Holzstärken und somit kleineren Schraubendurchmessern konnte ein Mindestabstand von 25 mm registriert werden. Mit zunehmender Holzstärke musste der Abstand auf 30 mm erhöht werden (Tab 15, Abb 139).

Ergebnisse für die praktische Anwendung:

Bei kleineren Stärken des Holzes (bis 25 mm) sollte ein Mindestabstand von 25 mm eingehalten werden. Mit zunehmender Holzdicke und Schraubendurchmesser sollte der Abstand auf 30 mm erhöht werden. Bei Brettern kann in Brettmitte dieser um 5 mm reduziert werden.

Tab 15 - Mindestabstände bei der Verwendung von Edelstahlschrauben mit integriertem Bohrkopf für die Befestigung von thermisch modifiziertem Fichtenholz

Dimension der Schrauben (Länge / Durchmesser in mm)	Dimension des Holzes (Breite x Dicke in mm)	Mindestrandabstand (in mm)
30 / 3,0	30 x 15 bzw. 40 x 25	25 mm
50 / 4,0 bzw. 60 / 4,0	35 x 30	30 mm
50 / 4,0 bzw. 60 / 4,0	85 x 30 mm	30 mm (in Brettmitte 25 mm)

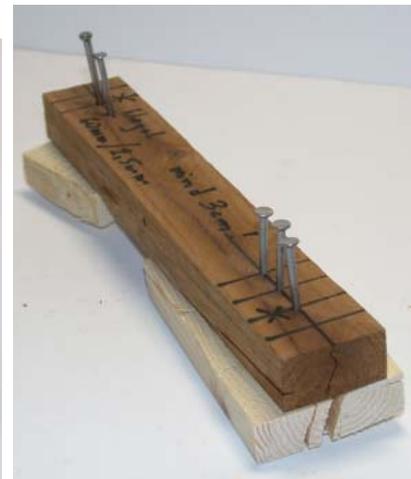


Abb 136 & 137 - Ermittlung des Mindeststrandabstandes von Drahtstiften (60/2,5) bei Brettern (85 x 30 mm) (links) und bei Latten (40 x 25 mm) (rechts)

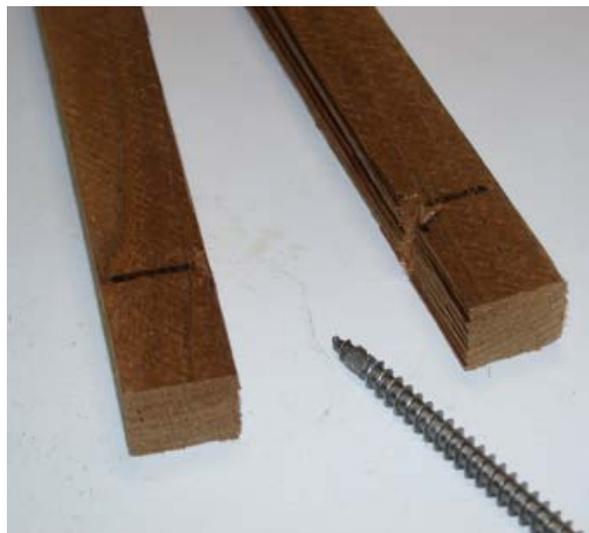


Abb 138 & 139 - Bruchbilder bei der Anwendung einer SPAX-S Schraube (links) oder einer selbstschneidenden Edelstahlschraube (rechts)

## 4.2 Klimabeständigkeit der verschiedenen Befestigungsmittel

### Einleitung

Im ersten Schritt bei den Untersuchungen der Befestigungsmittel wurde ein optimaler Randabstand ermittelt. Als nächstes wurde die Dauerhaftigkeit der Verbindungen unter verschiedenen Klimabedingungen überprüft. Hierbei wurde versucht alle Klimaspitzen im Winter sowie Sommer in einem 16tägigen Extremversuch mit einzuschließen.

### Material

#### Holzwahl

Für diese Untersuchungen wurde Thermowood® D aus Fichtenholz verwendet. Zur Modifikation wurde das VTT-Verfahren bei einer Temperatur von 212°C herangezogen (siehe Kapitel 1.4 Beschreibung der Modifikationsprozesse und Anhang 3 Beschreibung von Thermowood® der Firma Stora Enso). Die Dimensionen (in mm) der einzelnen Bretter und Latten waren wie folgt: 85 x 30 mm - 40 x 25 mm - 40 x 20 mm - 35 x 30 mm - 30 x 15 mm - 140 x 18 mm (Profilbrett).

#### Oberflächenbeschichtung

Ein Teil der Proben wurde ohne Oberflächenanstrich der Klimatisierung preisgegeben. Das restliche Material wurde mit einer wasserlöslichen Alkyd-Acrylatharz-Schicht (DANSKE Greywood), die eine natürliche Vergrauung des Holzes nachempfunden, oder mit einem Transparent-Effekt-Imprägnierungsmittel (DANSKE Greywood Express), das eine raschere und gleichmäßigere Vergrauung erzielt, gestrichen (siehe Anhang 4 Technische Informationen und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Oberflächenschichtungen). Auf Grund der extremen Klimabedingungen wurde um 50% mehr der vorgeschriebenen Auftragsmenge verwendet.

#### Befestigungsmittel

Bei dieser Untersuchung wurde die Dauerhaftigkeit verschiedener Befestigungsmittel beurteilt. Dazu wurden drei - in der Bauwirtschaft üblich eingesetzte - Arten von Verbindungsmitteln zwischen Fassadenmaterial und Unterkonstruktion eingesetzt (Tab 11).

## Versuchsverlauf und Durchführung

### Probenbeschreibung

Für jede der drei bzw. vier Befestigungsmethoden wurden jeweils 4 Probenvarianten zusammengestellt (Abb 140 - 143). Somit sind in Summe 16 Einzelproben vorgelegen, welche der Klimatisierung in einem institutseigenen Klimaschrank zugeführt wurden.

Variante A:

3 Bretter mit den Dimensionen 85 x 30 mm, davon zwei mit Oberflächenbehandlung



Abb 140 - Beispiel der Probenvariante A mit dem Drahtstifte als Befestigungsmittel

Variante B:

Profilbrett mit den Dimensionen 140 x 18 mm, Oberfläche gehobelt



Abb 141 - Beispiel der Probenvariante B mit dem SPAX-S (vorgebohrt) als Befestigungsmittel

Variante C:

4 Latten mit den Dimensionen 40 x 25 mm, davon zwei mit Oberflächenbehandlung

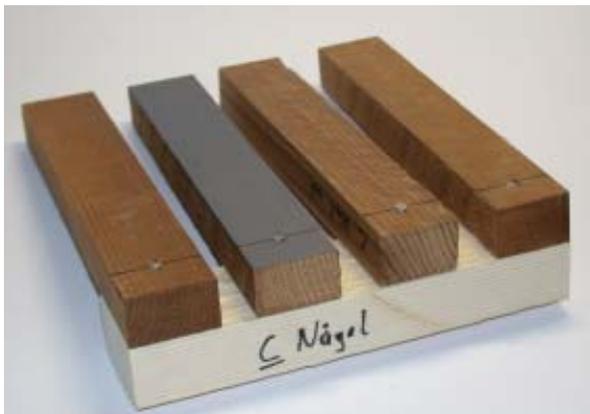


Abb 142 - Beispiel der Probenvariante C mit dem Drahtstifte als Befestigungsmittel

Variante D:

7 Latten mit den Dimensionen 40 x 20 mm - 35 x 30 mm - 35 x 15, Oberfläche sägerau



Abb 143 - Beispiel der Probenvariante D mit dem SPAX-S als Befestigungsmittel

### Klimatisierung

Bei der Festlegung der einzelnen Schritte der Klimatisierung wurde versucht alle mitteleuropäischen Klimawerte miteinzubeziehen. Temperaturen von +60 °C bis -20 °C treten mehrmals pro Jahr an einer Fassade auf. Auch auf extreme Wetterbedingungen wurde Rücksicht genommen - hier wurde ein Eisregen oder ein schweres Sommergewitter mit in die Klimatisierung aufgenommen. Begonnen wurde mit einer dreitägigen Klimatisierung im Normklima, um die gleichen Ausgangsbedingungen zuschaffen. Jede weitere Klimastufe wurde 24 Stunden durchlaufen. Abschließend vor der Endbewertung wurde wieder eine dreitägige Normklimatisierung durchgeführt (Tab 16, Abb 144).

Tab 16 - Klimatisierungsstufen für die Untersuchung der Dauerhaftigkeit dreier Befestigungsmittel

Klimastufe	Temperatur [°C]	Luftfeuchtigkeit [%]	Anmerkung
1	20	65	Klimatisierung
2	20	65	Klimatisierung
3	20	65	Klimatisierung
4	6	20	Abkühlung
5	-9	30	Winter
6	-20	30	Winter
7	-20	100	Eisregen
8	6	90	Tauwetter
9	-10	30	Kälteeinbruch
10	40	60	Frühjahr
11	60	65	Sommer
12	60	100	Sommerregen
13	35	30	Abkühlung
14	60	100	Sommerregen
15	40	15	Abkühlung
16	20	65	Klimatisierung
17	20	65	Klimatisierung
18	20	65	Klimatisierung

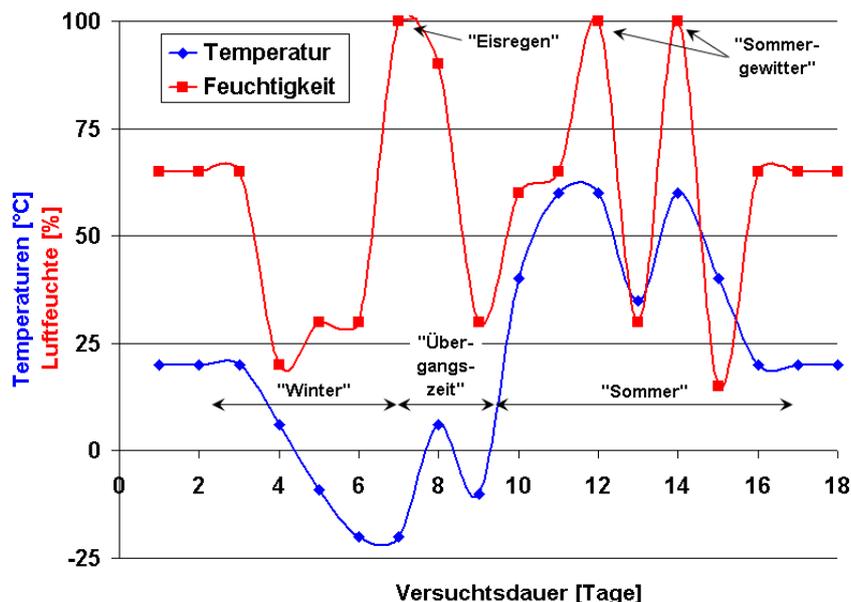


Abb 144 - Grafische Darstellung der Klimatisierungsstufen

## Auswertung und Ergebnisse

Nach jeweils 24 Stunden Klimatisierung wurden die Proben beurteilt. Es wurden Rissanzahl bzw. Risslängen um das Verbindungsmittel und am Holzkörper aufgezeichnet (siehe Anhang 8 - Protokoll - Klimatisierung von Probenmaterial aus thermisch modifiziertem Fichtenholz und verschiedener Befestigungsmethoden zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Verbindung). Bei der abschließenden Bewertung der Proben wurden zusätzlich Korrosion des Befestigungsmittels und Farbveränderungen des Holzes dokumentiert.

### Drahtstift

Bei diesem Versuch wurden Drahtstifte (mit variablen Durchmessern) an 26 verschiedenen Positionen bei unterschiedlich dimensionierten Hölzern eingesetzt (Abb 147). Lediglich bei drei Stellen kam es zu Rissbildungen, wobei auch hier nur ein Riss bis an das Stirnholz reichte und zur Spaltung des Holzkörpers führte (Abb 146). Hier ist aber zu erwähnen, dass bei dieser Verbindung der vorgegebene Mindestrandabstand bewusst unterschritten wurde und es trotzdem zu keiner Lösung des Fassadenmaterials von der Unterkonstruktion kam.

Nach Beendigung der Klimatisierung wurden auch die Befestigungsmittel bezüglich Korrosion und Abfärbung auf das Holz beurteilt. Die Drahtstifte aus blankem und normalem Eisenstahl zeigten bereits nach 16 Tagen Klimatisierung starke Korrosionsschäden. Die freiliegenden Drahtstift-Köpfe verfärbten die umliegende Holzoberfläche und führten zu unansehnlichen Rostflecken (Abb 147).

Ergebnisse für die praktische Anwendung:

Bei extremen klimatischen Bedingungen und der Einhaltung vorgegebener Mindestrandabstände (Tab 12) sind Drahtstifte ein zuverlässiges Befestigungsmittel. Es ist darauf zu achten, dass rostfreier Stahl oder zumindest eine galvanisierte Oberfläche bei Drahtstiften verwendet wird.

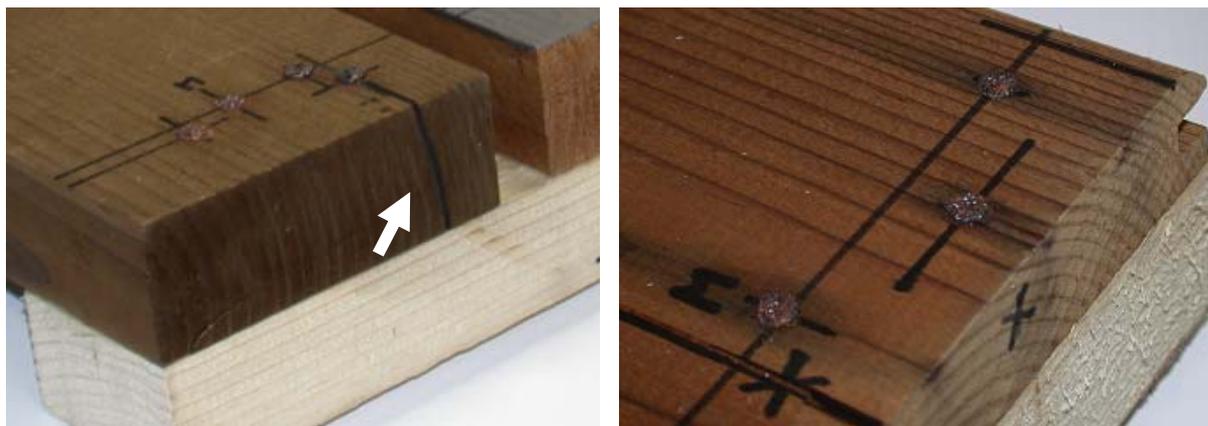


Abb 145, 146 & 147 -  
Befestigungsmittel: Drahtstift;  
Rissbildung bis an die Stirn-  
fläche (links oben) und kor-  
rosionsbedingte Verfärbungen  
am Holz (rechts oben); Proben-  
material mit unterschiedliche  
Randabständen und einer  
kleinen Rissbildung (links)

#### SPAX-S

Das Befestigungsmittel SPAX-S (mit verschiedenen Durchmessern und Längen und ohne Vorbohrung) wurde an 23 unterschiedlichen Positionen bei variierenden Holzdimensionen verwendet (Abb 150). Hier konnten 7 Rissbildungen verzeichnet werden, davon zwei bis an die Stirnseite und über den ganzen Querschnitt des Holzes. Während der Klimatisierung haben sich einige Risse stetig vergrößert und Längen bis zu 8 cm erreicht (Abb 148). Es konnte auch kein Unterschied zwischen radial und tangential geschnittenen Brettern oder Latten festgestellt werden.

Der gleiche Versuchsaufbau wurde mit SPAX-S und einer Vorbohrung (Bohrloch war um 0,5 mm kleiner als der SPAX-S-Durchmesser) untersucht. Auch hier mussten 8 Rissstellen verzeichnet werden, wobei alle bis an die Stirnseite des Brettes oder Latte reichten. Weiters konnte festgestellt werden, dass die Oberflächenbehandlung des modifizierten Holzes keinen Einfluss auf die Rissbildung hatte. Auch ist aber zu betonen, dass trotz der Risse bei beiden Untersuchungen (mit oder ohne Vorbohrung) eine feste Verbindung zwischen dem Fassadenmaterial und der Unterkonstruktion bestand.

Auch hier wurde nach Beendigung der Klimatisierung die Befestigungsmittel bezüglich Korrosion und Abfärbung auf das Holz beurteilt. Verzinkte SPAX-S zeigten nach der Untersuchung bereits deutliche Spuren von Korrosion, die aber noch eine Verfärbung des Holzes zur Folge hatte (Abb 149).

Ergebnisse für die praktische Anwendung:

Trotz der klimatisch widrigen Bedingungen und der Einhaltung der Mindestrandabstände können vereinzelt Risse entstehen. Mit Hilfe einer Vorbohrung können die Mindestabstände verringert werden, schließen aber die Rissbildung nicht aus. Die Verbindung zwischen Fassadenmaterial und der Unterkonstruktion ist aber trotzdem einwandfrei und mindert keineswegs die Festigkeit dieser. Zu achten ist auch auf die Oberflächenvergütung bzw. auf die Qualität der SPAX - diese müssen für den Außenbereich geeignet sein!

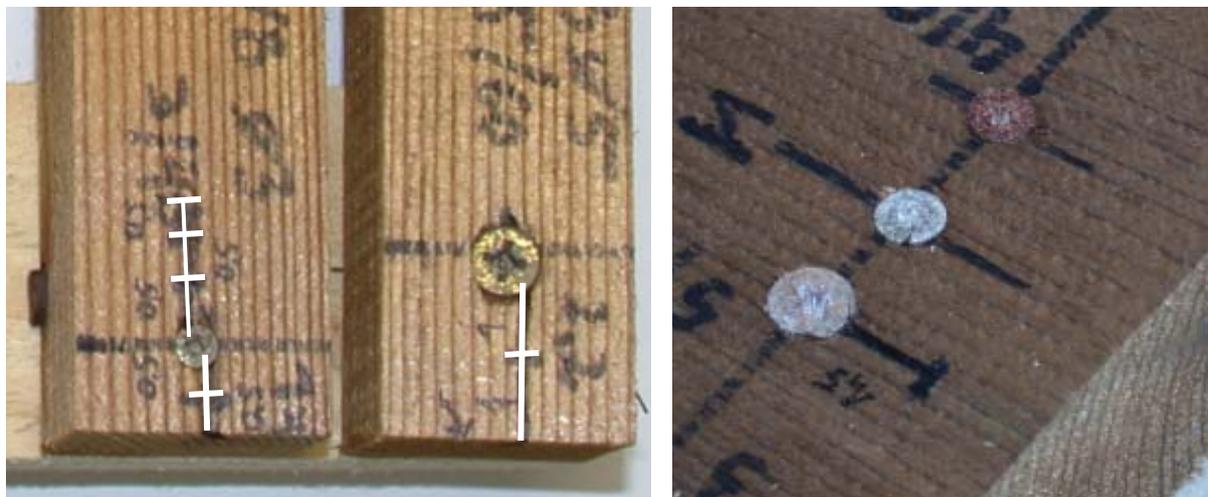
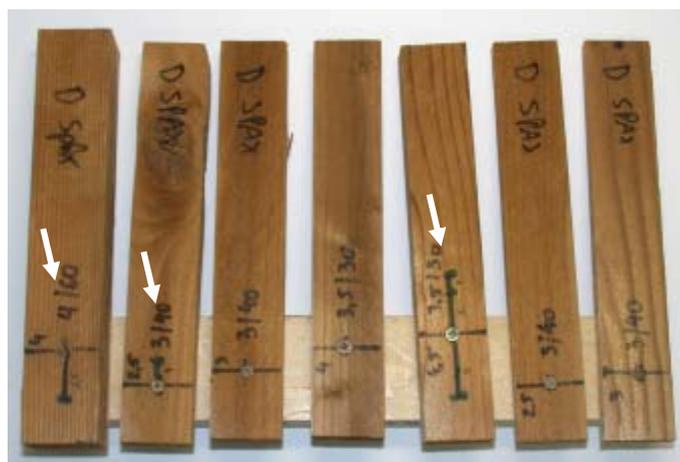


Abb 148, 149 & 150 - Befestigungsmittel: SPAX-S (mit und ohne Vorbohrung); schrittweise Rissbildung bis an die Stirnfläche (links oben) und Korrosion der SPAX- (rechts oben); Probenmaterial mit unterschiedliche Randabständen und drei Rissbildungen (links)



Edelstahlschraube mit integriertem Bohrkopf

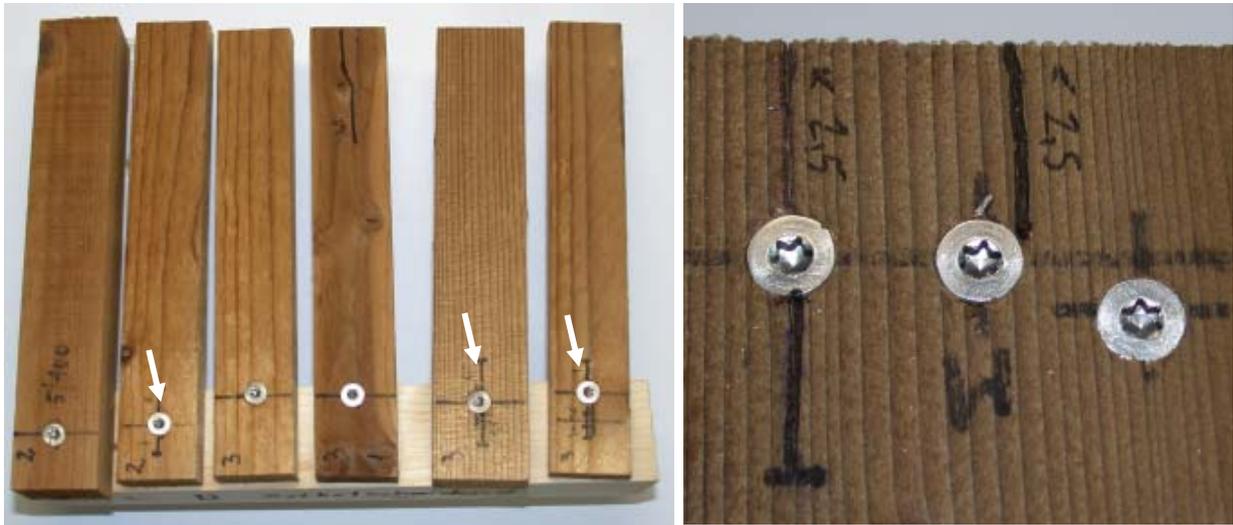
Das dritte verwendete und untersuchte Befestigungsmittel waren Edelstahlschrauben mit einem integriertem Bohrkopf. An 21 verschiedenen Positionen wurde das Fassadenmaterial mit verschiedenen Dimensionen an die Unterkonstruktion geschraubt. Hier konnten 8 Risse festgestellt werden, wobei nur drei bis an die Stirnseite reichten. Wie bei den beiden letzten Befestigungsmitteln hatte dies aber keinen Einfluss auf die Festigkeit der Verbindung zwischen Fassadenmaterial und Unterkonstruktion.

Abschließend wurde auch hier das Befestigungsmittel nach Korrosionsstellen untersucht. Bei keiner der Schrauben konnte ein Ansatz von Korrosion festgestellt werden (Abb 151 & 152).

Ergebnisse für die praktische Anwendung:

Dieses hochqualitative - aber auch hochpreisige - Befestigungsmittel weist zwar auch Rissbildungen auf, die jedoch keinen Einfluss auf die Festigkeit oder Dauerhaftigkeit der

Verbindung zwischen Fassadenmaterial und Unterkonstruktion haben. Es kann mit relativ geringen Randabstand und der Sicherheit, dass keine Korrosionsspuren eine Ver Veränderung herbeiführen, eine Wandverkleidung oder eine andere Konstruktionen errichtet werden.



**Abb 151 & 152 - Befestigungsmittel: Edelstahlschraube mit integriertem Bohrkopf; nichtvorhandene Korrosion (rechts); Probenmaterial mit unterschiedliche Randabständen und drei Rissbildungen (links)**

### **Schlussfolgerungen**

Grundsätzlich haben alle getesteten Befestigungsmittel ihre Aufgabe, eine feste Verbindung zwischen Fassadenmaterial und Unterkonstruktion zu gewährleisten, gut bestanden. Durch die Einflüsse von simulierten extremen Witterungsbedingungen sind zwar Rissbildungen zu verzeichnen gewesen, diese hatten aber keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Verbundfestigkeit zwischen den Materialien. Bedingung ist aber, dass die dementsprechenden Randabstände beim thermisch modifizierten Holz eingehalten werden.

Wichtig ist die Oberflächenvergütung der Verbindungsmittel. Durch unzureichenden Korrosionsschutz kommt es unweigerlich zu Flecken- bzw. Streifenbildungen auf dem Fassadenmaterial.

# TEIL E

## ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

bearbeitet von DI Roman Smutny, DI Manuel Schweizer

Institut für konstruktiven Ingenieurbau (iki), Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen,  
Department Bautechnik und Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien

Ansprechpartner: Univ.Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg, DI Roman Smutny

in Kooperation mit Architekturbüro Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, Ansprechpartner: Arch. DI Manuel Schweizer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>3</b>
1.1	Konzept für anpassungsfähige Wohngebäude	3
1.2	Ressourcenkonzept	5
1.3	Entwurf für einen anpassungsfähigen und ressourcenorientierten Wohnbau in Holzbauweise	8
1.4	Thermisch modifiziertes Holz	9
<b>2</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNGEN IM RAHMEN DES PROJEKTES</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>ANHÄNGE</b>	<b>20</b>

# 1 ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

## 1.1 Konzept für anpassungsfähige Wohngebäude

Die Anforderungen an eine Wohnung ändern sich heute und in Zukunft immer schneller, denn Lebensstile, Haushaltsformen und Wohnvorstellungen werden immer vielfältiger. Dass dies kein aktuelles und möglicherweise auch kein kurzfristiges Phänomen ist, zeigen die demographischen Entwicklungen und die sozialen Veränderungen der letzten drei Jahrzehnte.

Die wesentlichen Auslöser für einen Wandel, der, aller Voraussicht nach, noch intensiver sein wird, als wir dies von der jüngeren Vergangenheit her kennen sind die aktuellen gesellschaftspolitischen, wirtschaftlichen und technischen Entwicklungen.

Derzeit zeichnen sich mehrere markante Entwicklungen ab, die in Niederösterreich selbstverständlich kongruent zu jenen in Europa verlaufen:

- Verschiedene Haushalts- und Wohnformen als Symptome eines gesellschaftlichen und ökonomischen Wandels.
- Die individuelle Gestaltung der Wohnung wird von allen sozialen Schichten verstärkt zur Abgrenzung von Wertehaltungen und Lebensstilen herangezogen.
- Das Kombinieren von Arbeiten und Wohnen rückt wieder in das Blickfeld von Stadt- und Regionalplanungsstrategien, die eine Durchmischung von unterschiedlichen Lebenswelten anstreben.
- Neue Formen von gemeinschaftlichem Handeln und des sozialen Zusammenhaltes etablieren sich vor allem in ländlichen Bereichen und im suburbanen Umfeld der Städte, z.B. Vereine, Hausgemeinschaften, Senioren-WG's, betreutes Wohnen, Nachbarschaftshilfen.

In einem anpassungsfähigen Wohngebäude müssen neben der eigentlichen Wohnnutzung auch für diese Anforderungen adaptierbare Räume geschaffen werden (Hobbyräume, Kinderspielräume, Waschküche (kombiniert), Fitness- bzw. Wellnessräume).

Ein Wohnungswechsel und der damit oft verbundene Wechsel des Wohnungsumfeldes ist für die BewohnerInnen von Mehrfamilienhäusern fast immer die einzige Möglichkeit, die sich neu ergebenden Anforderungen an die Wohnung zu realisieren. Dass mit dem Wohnungswechsel die sozialen Verknüpfungen oftmals gleich tiefgreifend verändert werden müssen, empfinden viele Menschen als großes Hemmnis.

Es genügt daher nicht mehr auf diesen kontinuierlichen Wandel nur mit einem weiter ausdifferenzierten Angebot des Wohnungsmarktes zu reagieren; vielmehr muss sich die Wohnung als kleinste Einheit der Orts- und Regionalentwicklung, den sich verändernden Anforderungen anpassen können.

Die Flexibilität, das heißt die Veränderbarkeit des Grundrisses bei konstanter Wohnfläche bzw. in unveränderter Kubatur, die heute in vielen Wohnbauten gewährleistet wird, bietet allerdings für die zukünftigen Entwicklungen zu wenig Potential.

Die Wohnbauten für die nähere Zukunft müssen eine Form von Variabilität bzw. Erweiterungsflexibilität besitzen, d.h. diverse Möglichkeiten für Nutzungs- und Größenanpassung an einen veränderten Bedarf, die auch jene von der Wohnung beanspruchte Fläche verändert. Anpassungsfähige Wohnungen sind nicht nur für Haushaltneugründungen und Patchwork - Familien eine Notwendigkeit, vielmehr wird eine Wohnung bzw. ein Wohngebäude seine Anpassungsfähigkeit dann zeigen müssen, wenn es darum geht eine adäquate Ausstattung für ältere Menschen oder eine behindertengerechte Wohnung (siehe neue oberösterreichische Bauordnung → barrierefreies Bauen) zu schaffen. Dabei kommt der Fassade - als Instrument zur Licht-Modulation - bei Personen mit eingeschränktem bzw. abnehmendem Sehvermögen eine besondere Bedeutung zu.

Ein ressourcenorientiertes Gebäude kennzeichnet sich neben geringem Material- und Energieverbrauch auch über Reparaturfähigkeit, nachträgliche Adaptierbarkeit und einfache Instandhaltung. Dabei geht es nicht nur darum, ein komplettes Gebäude zu adaptieren und weiterzuverwenden, sondern auch um den Rückbau und die Wiederverwendung einzelner Bauelemente oder Baustoffe bei anderen Gebäuden.

## 1.2 Ressourcenkonzept

Tabelle 1: Anforderungen und Maßnahmen für einen Ressourcenorientierten Wohnbau

Anforderungen	Geeignete Maßnahmen
Flächeneffiziente Bauweise	Der mehrgeschossige Wohnbau erfüllt die Anforderung nach einer verdichteten Bauweise.
Energieeffiziente Bauweise	Adäquate Maßnahmen sind eine kompakte Gebäudehülle in Passivhausstandard und die passive sowie aktive Nutzung der Solarenergie. Gebäude in Passivhausstandard verbrauchen etwa ein Fünftel der Heizenergie von konventionellen Gebäuden nach derzeitigem Baustandard [Feist, 2001].
Materialeffiziente Bauweise	Kompakte Bauweise, Leichtbauweise und Vermeidung von nicht bewohnbaren Untergeschoßen. Verwertung des Erdaushubs auf der Baustelle.
Kreislauffähige Bauweise (Demontierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Verwertbarkeit)	Maßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Demontierbare Verbindungen</li> <li>- Wiederverwendbare Bauteile und Komponenten</li> <li>- Gewährleistung der Verwertbarkeit durch Stoffreinheit. Das bedeutet z.B. für das Baumaterial Holz, dass es frei von Stoffen ist, die bei einer Wiederverwertung störend sind wie z.B. problematische Anstriche, Beschichtungen und Verbindungsmittel.</li> </ul>
Schadstofffreie Bauweise	Maßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermeidung von PVC und halogenierten Flammschutzmitteln</li> <li>- Vermeidung von VOC (flüchtigen organischen Kohlenstoffen) und Formaldehyd</li> <li>- Vermeidung von chemischem Holzschutz</li> <li>- Chemikalienmanagement während Planung und Errichtung (z.B. BauXund)</li> </ul>
Einsatz erneuerbarer Energieträger	Einsatz von (nicht nach Bedeutung gereiht) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solarthermie</li> <li>- Erdwärme</li> <li>- Biomasse</li> <li>- Fotovoltaik</li> <li>- Windenergie</li> </ul> <p>Anmerkung: Die Bedeutung der einzelnen Energieträger ist abhängig von der lokalen Verfügbarkeit. Für NÖ ist Biomasse gut verfügbar und (derzeitig) nachhaltig nutzbar. Der stofflichen Nutzung von Biomasse sollte allerdings Vorrang gegeben werden.</p>
Einsatz nachwachsender Rohstoffe	Einsatz von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Holz aus der Region für konstruktive Anwendungen und Verkleidungen</li> <li>- Dämmstoffen aus nachwachsenden regionalen Rohstoffen (NAWARO)</li> </ul>

### Konkrete Empfehlungen für einen ressourcenorientierten Einsatz von Holz

- ★ Einsatz von unbehandeltem Holz
- ★ Einsatz von resistenten, heimischen Holzarten (zB Thermoholz, Eiche, Robinie, Edelkastanie), die unbehandelt für Bereiche mit höherer Gefährdungsklasse (Nassräume, Einsatz im Außenbereich) verwendet werden können.
- ★ Einsatz von minderen Sortierqualitäten für Fassaden → Kosteneffizienz
- ★ Einsatz von simplen Brettprofilen mit sägerauer Oberfläche für Fassaden → Kosteneffizienz, Rohstoffeffizienz
- ★ „Ausreizen“ des konstruktiven Holzschutzes
- ★ Vermeidung von chemischem Holzschutz (siehe ÖN B 3804) und synthetischen Leimen
- ★ Einsatz von Leisten und schmalen Brettern: Ansichtsbreite < 10 cm (besser 5-7 cm)
- ★ Einsatz geeigneter Befestigung für kosteneffiziente und zerstörungsfreie Montage, Wartung und Recycling (z.B. Versteckte Befestigung, Schrauben mit Torxantrieb,...)

*Tabelle 2: Eignung hinsichtlich Kreislauffähigkeit*

<b>Kriterien</b>	<b>Geeignet</b>	<b>Wenig oder nicht geeignet</b>
Holzarten, Holzwerkstoffe	Vollholz ohne Störstoffe (unbehandelt und unbeschichtet)	WPC, Spanplatten
Holzschutz	Konstruktiver Holzschutz (in jedem Fall zu berücksichtigen), Thermische Holzbehandlung Biologische Holzbehandlung (Öl, Wachs)	Chemischer Holzschutz
Demontierbarkeit	Lösbare, zerstörungsfreie Verbindungen	PU-Leim

Die wichtigsten Regeln für eine richtige Anwendung von Holz sind:

Allgemeine Regeln zu Holzgewinnung, Transport und Einbau:

- ★ Säubern aller Hölzer von Rinde und Bast. Rückführung der Rinde in den Forst im Sinne der Kreislaufführung von Mineralstoffen.
- ★ Einbau im trockenen Zustand, bzw. mit dem Feuchtegehalt, der dem späteren Umgebungsklima entspricht

Regeln für den Schutz vor Niederschlag:

- ★ Fernhalten von Niederschlägen durch weiten Dachüberstand, Gesimse über den Fenstern und zwischen den Geschoßen bzw. etagenweises Zurücksetzen der Fassade.
- ★ Höhere Schutzmaßnahmen für Wetterfassade und konstruktive Teile (Verwendung von resistenten Holzarten, Dachüberstand, Verschindelung, leicht austauschbare Verschleißbretter, etc.)
- ★ Schnelles Ableiten des Niederschlagswassers durch geeignete Profile, Wasserabweiser, Tropfnasen, Berücksichtigung der Faserrichtung usw.
- ★ Verhindern des Eindringens von Wasser in Konstruktionsfugen durch Überdeckung
- ★ Vermeiden oder Abdecken wasserspeichernder Ecken, Nuten und Stöße (Wasser- und Schneesäcke). Fugenbreite mindestens 1 cm.
- ★ Vermeiden von Holzdurchnässung durch Spritzwasser ( $\geq 30$ cm hoher Bodenabstand, Bekleidungen, Aufständungen, leicht austauschbare Verschleißbretter)
- ★ Schutz gegen aufsteigende Boden- und Bauwerksfeuchtigkeit, Abdichtung von Grundplatte zu Außenwand durch Anordnung von Sperrschichten, Verwendung von resistenten Holzarten, etc.

Regeln für Vermeidung von Tauwasserschäden:

- ★ Vermeiden von Tauwasserbildung im Bauteilquerschnitt durch Wahl einer nicht tauwassergefährdeten Konstruktion, geeignete Schichtenfolge im Bauteilquerschnitt (Raumseitige Dampfbremse oder Dampfsperre, Hinterlüftung der tauwassergefährdeten Schicht, diffusionsoffene Außenseite, etc.)
- ★ Ableiten angefallenen Tauwassers von den Holzteilen, genügend breiter Hohlraum, Wasseraustrittsöffnungen in der Vorsatzschale, Hinterlüften von Verschalungen.
- ★ Vermeiden von Tauwasserbildung an der raumseitigen Oberfläche durch ausreichenden Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils.

Regeln für Verbindungstechnik:

- ★ Keine Löcher in der bewitterten Oberfläche: Nagelungen, Verschraubungen, aber auch Holzdübel sind Ansatzpunkte für das Eindringen von Wasser und Befall

- ★ dem unterschiedlichen Quellverhalten längs und quer zur Faser muss durch verschiebliche Verbindungen Rechnung getragen werden
- ★ Vermeiden durchgehender Metallteile, z.B. bei Verbindungen von Innenräumen nach Außen, ggfs. „Verstöpseln“ von Stabdübel- / Bolzenenden mit Holzdübeln auf der Außenseite

Regeln für Feuchträume:

- ★ Ausreichend Lüften von Feuchträumen
- ★ Fernhalten der Feuchte von der raumseitigen Beplankung oder Bekleidung durch wasserabweisende Oberflächen, Anstriche, Beschichtungen, wenn das rechtzeitige Wiederaustrocknen eingedrungenen Wassers (z.B. bei Bädern) nicht gewährleistet ist
- ★ Verwendung resistenter Holzarten

Weiterführende Informationen für die Detailplanung von Holzfassaden:

- betreffend Brandschutz für Gebäudeklasse 4 und 5: pro:Holz-Arbeitsheft 8/06 [Schober+Matzinger, 2006]
- betreffend bauphysikalische Ausführung (Wärmeschutz und Feuchteschutz): pro:Holz-Arbeitsheft 9/07 [Fitl et al., 2007]

### 1.3 Entwurf für einen anpassungsfähigen und ressourcenorientierten Wohnbau in Holzbauweise

Der konzeptionelle Entwurf, der praxistaugliche Lösungsvorschläge anbietet, schlägt eine Holzskelettkonstruktion vor, die mit auswechselbaren Außenwandelementen unterschiedlichster Qualität ergänzt wird. Das Prinzip des Fügens wird dabei nicht nur auf der baukonstruktiven, sondern auch auf der städtebaulichen Ebene zu einer gestaltgebenden Prämisse. Einzelne Gebäude bzw. Baukörper lassen sich sowohl zu Punkthäusern, als auch zu Zeilen- und Blockrandbebauungen ergänzen.

Eine Terrassen- bzw. Loggienzone, die je nach Gebäudetyp und Kontext ausgebildet wird, prägt wesentlich das Erscheinungsbild der Gebäude. Diese Zone schafft nicht nur attraktive private Freiräume, sondern kann auch für periodische Kontroll- und Unterhaltsarbeiten, sowie beim Umbau der Fassaden als Arbeitsebene verwendet werden.

Diese Qualität ist relevant, da die Außenwandkonstruktionen so konzipiert sind, dass Anpassungen an sich verändernde Standards und Umweltbedingungen genauso wie Anforderungen der NutzerInnen einfach und relativ schnell durchgeführt werden können.

Die individuelle Interpretation innerhalb einer kollektiven Struktur ist der Leitgedanke bei der Konzeption der Fassade.

Prägendes Material der Fassadenelemente, genauso wie der Terrassen- und Loggienzone, die für partielle Erweiterungen herangezogen werden kann, ist thermisch modifiziertes Nadelholz. Thermisch modifiziertes Holz hat gegenüber unbehandeltem Nadelholz den Vorteil, dass es als sehr dimensionsstabil und weitgehend resistent gegenüber Verwitterung und Befall von Mikroorganismen gilt.

Bei der Wahl der Materialien wird darauf geachtet, dass möglichst keine Klebstoffe und Imprägnierungen verwendet werden. Die Bauteile aus Holz können einerseits ohne großen Aufwand weiter bzw. wieder verwendet werden und dürfen am Ende ihrer Nutzungsdauer ohne Schadstoffbildung thermisch verwertet werden.

## 1.4 Thermisch modifiziertes Holz

Härte, Resistenz und Formstabilität von Rohholz können durch eine spezielle Wärmebehandlung deutlich verbessert werden. Thermoholz wird bei 160-250°C ohne Zuhilfenahme chemischer Substanzen thermisch vergütet und bietet damit eine Alternative zu konventionellem Holzschutz. Durch die Hitzebehandlung wird die Hemizellulose im Holz abgebaut, die ein Nährboden für Schädlinge und Pilze ist. Weiters wird die Ausgleichsfeuchte und damit das Quell- und Schwindvermögen reduziert und die Formstabilität erhöht.

Thermoholz ist hinsichtlich Aussehen und Dauerhaftigkeit (Dauerhaftigkeitsklasse 1-2 (3), lt. EN 350-2) ein qualitativ hochwertiges Konkurrenzprodukt zu Lärchenholz oder Tropenholz. Das häufig im Außenbereich eingesetzte Lärchenholz hat den Nachteil, dass einerseits die Dauerhaftigkeit stark variiert (Dauerhaftigkeit 3-5; kann also schlechter als Fichte sein) und dass andererseits große Mengen aus dem Ausland importiert werden. Hölzer aus Russland sowie Tropenholz haben den Nachteil eines großen ökologischen Rucksacks durch lange Transportwege und stammen oftmals aus nicht nachhaltiger Waldnutzung.

Für die thermische Modifikation hingegen werden ausschließlich regional wachsende Holzarten aus zertifizierter, nachhaltiger Forstwirtschaft (d.h. zertifiziert nach PEFC oder FSC) verwendet. Das gewährleistet, dass die Wälder schonend und naturnahe bewirtschaftet werden und so auch zukünftigen Generationen wertvolle Ressourcen bieten können.

Die hohe Lebensdauer von Thermoholz hat positive Auswirkungen auf die Ökobilanz und bietet eine ökologische Alternative zu chemischem Holzschutz. Laut Stand der Technik (gemäß ÖNORM B 3804) ist der bauliche Holzschutz stets vorrangig zu betrachten und Konstruktionen ohne chemischem Holzschutz sollte der Vorzug gegeben werden.

Aufgabe des Forschungsprojekts war die Entwicklung von Konzepten für kreislauffähige Bauwerke um Altlasten zu vermeiden und gleichzeitig Primärressourcen zu schonen. Voraussetzungen für kreislauffähige Bauteile sind geeignete Befestigungsmittel und die Vermeidung von „Störstoffen“ für die Kreislaufführung (Anstriche, Beschichtungen, synthetische Klebstoffe). Empfohlen wird der Einsatz von unbehandeltem Vollholz unter Berücksichtigung des konstruktiven Holzschutzes in Zusammenhang mit der natürlichen Dauerhaftigkeit der Holzart. Damit vermindert sich der Aufwand zur Herstellung und Instandhaltung und es wird gewährleistet, dass Holz nicht als gefährlicher Abfall entsorgt werden muss. Weiters wird eine demontagefähige Modulbauweise empfohlen, um den Aufwand für Instandsetzung und Rückbau zu vermindern.

Der Bewitterungsversuch von BOKU Wien in Kooperation mit HTL Mödling hat gezeigt, dass Thermoholz doppelt so schnell und gleichmäßiger vergraut wie unbehandeltes Holz.

Vorteile von Thermoholz:

- ★ Haltbarkeit: Die Haltbarkeit entspricht etwa der von Teak-Holz (ca. 100 Jahre) oder Eiche und bietet daher eine preisgünstige Alternative für Tropenholz auch bezüglich attraktiver und vielfältiger Farbgebung.
- ★ Geringerer Erhaltungs- u. Pflegeaufwand
- ★ Verringerung der Gleichgewichtsfeuchte
- ★ Formstabilität
- ★ Höhere Härte (axial)
- ★ Höhere Witterungsresistenz
- ★ Erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Pilze

- ★ Benötigt keine Lackierung (→ ökologischer Baustoff, kreislauffähig)
- ★ Entsorgung als unbehandeltes Altholz: problemlose energetische Verwertung

Nachteile von Thermoholz:

- ★ Geringere Biegezugfestigkeit
- ★ Höhere Sprödigkeit bewirkt Befestigungsproblem: Nageln oder Klammern ist schwer möglich und Schraubverbindungen sollten in den meisten Fällen vorgebohrt werden. Hinweise für geeignete Befestigungstechniken wurden in einem Merkblatt zusammengefasst (siehe Anhang).
- ★ Kleb-Verbindungen (PU-Leim) beeinträchtigen die Wiederverwendbarkeit (zerstörungsfreie Demontage, Stoffreinheit)

Bevorzugte Anwendungsgebiete von Thermoholz liegen vor allem im Außenbereich von Gebäuden, wie beispielsweise Fassadenelemente, Terrassenböden, Gartenmöbel, Fensterläden, Windschutzelemente oder Schallschutzwände. Thermoholz ist auch für feuchtebeanspruchte Innenräume geeignet (Nassräume, Bäder, etc.).

Die Eigenschaften von Thermoholz für den Einsatz im Hochbau wurden in einem anwenderfreundlichen Merkblatt zusammengestellt und sind im Anhang dieses Berichts zu finden.

## 2 VERÖFFENTLICHUNGEN IM RAHMEN DES PROJEKTES

Eine ausführlichere Dokumentation einiger Veröffentlichungen befindet sich im Anhang.

### **ECWM3**

Im Rahmen der Konferenz „The Third European Conference on Wood Modification [ECWM3]“ in Cardiff, Wales (UK) vom 15. bis 16. Oktober 2007 wurde das Projekt bzw. Teilergebnisse vorgestellt. Während der Konferenz wurde ein kurzer Vortrag und ein Poster präsentiert. Weiter wurde ein mehrseitiger Artikel im zugehörigen „Conference proceedings“ veröffentlicht (siehe Anhang 9a).

### **science2business award**

Im Rahmen der life-science-success2007 wurde erstmals der science2business award für die beste Kooperation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft verliehen. Im Rahmen dieses Projektes wurde in der Einreichung die gute Zusammenarbeit zwischen den Auftraggebern (Niederösterreichische Wohnbauforschung und EcoPlus), dem Industriepartner Stora Enso und der Universität für Bodenkultur Wien (gemeinsam mit dem Architekturbüro Treberspurg und Partner) präsentiert. Eine kurze Zusammenfassung kann auf der life-science-success-site ([http://www.life-science.at/success/2007/index.php?option=com\\_content&task=view&id=172&Itemid=189](http://www.life-science.at/success/2007/index.php?option=com_content&task=view&id=172&Itemid=189)) nachgelesen werden. Weiters wurde eine Broschüre mit allen Teilnehmern herausgegeben und einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht (siehe Anhang 9b).

### **Der Österreichische Bau-Preis 2006**

Der Österreichische Bau-Preis wurde heuer zum zweiten Mal von der Immobilien Privatstiftung, Eigentümerin der Immobilien Holding, für besonders gelungene spartenübergreifende, innovative und ökonomisch anwendbare, das heißt umsetzbare Lösungen auf dem Gebiet der Architektur, der Bauplanung, der Baukonstruktion und der Haustechnik verliehen. Hier wurde mit dem Thema „Thermoholz – High Tech Sustainable Wood“ in der Kategorie Institute und Fakultäten eingereicht und nominiert. Die Einreichung kann im Anhang 9c eingesehen werden.

### **Diplomarbeit an der HTBLuVA in Mödling**

Da die Fassadenelemente am Gelände der HTBLuVA Mödling von Schülern der Abschlussklasse errichtet (Abb 67) wurde, war es nahe liegend, dass zu diesem Thema eine Diplomarbeit (=Abschlussarbeit an einer HTL) verfasst wurde. Christian Herrnegger und Harald Wetzelsberger haben sich dem Thema Verwitterung und Feuchteverhalten von Thermoholz im Außenbereich angenommen. Mit dieser Arbeit wurde versucht, jungen Absolventen das wissenschaftliche Publizieren und die Zusammenarbeit mit Industriepartnern näher zu bringen.

**Weitere Publikationen (z.B. in der Österreichischen Architektur-Zeitschrift „Wettbewerb“)** sind in Vorbereitung.

### 3 LITERATURVERZEICHNIS

- Ala-Viikari J, 2007. *The Activities of Finnish ThermoWood Association to Commercialize Thermo-Wood®*. In: Proceedings of the Third European Conference on Wood Modification, Cardiff, UK, 15-16th October 2007, page 3 - 10
- Ambrozy, H.G., Giertlova, Z., 2005. *Holzwerkstoffe – Technologie, Konstruktion, Anwendung*. Springer Verlag. Wien, New York
- Arnold M, Sell J, 1990. *Künstliche Bewitterung von Holz und Holzanstrichen: Vergleich zweier Gerätetypen*. Holz Roh- Werkstoff 48(4): 138
- BFW, 2006 „*Österreichische Waldinventur 2000-2002*“. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), [web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002](http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002). Abgerufen am 20.10.2006
- Bielicki, J., 2006. *Wohnen Morgen*. [http://www.jsbielicki.com/uhl/Projekte/Wohnen\\_morgen](http://www.jsbielicki.com/uhl/Projekte/Wohnen_morgen). abgerufen am 20.02.2006
- Binder, H., 2006. 100% Kreislaufdenken. Gespräch mit Hans Binder. *Zuschnitt* Nr. 24, Dez. 2006, S.14ff. pro:Holz
- BMLFUW, 2002. *Strategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels. Klimastrategie 2008/2012. Vom Ministerrat angenommen am 18. Juni 2002*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung V/4, Wien
- BMLFUW, 2006 „*Österreichisches Waldprogramm*“, Seite 59. Basierend auf Daten des BMLFUW und der WKÖ, zusammengestellt von Sommerauer 2003.
- BMLFUW, 2007. *Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2013. Vom Ministerrat angenommen am 21. März 2007*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
- BMWA, 2004. *Energiebericht 2003 der Österreichischen Bundesregierung*. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit: Wien
- BMVIT, 2006. *Innovationen im großvolumigen Wohnbau – Demonstrationsgebäude im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“*. Forschungsforum 4/2006. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien
- Bohning, I., 1981. „*Autonome Architektur*“ und „*partizipatorisches Bauen*“. Birkhäuser Verlag. Basel Boston Stuttgart
- Brand, S., 1997. *How buildings learn – What happens after they are built*. Penguin books: London
- Bourgois J, Guyonnet R, 1988. *Characterization and analysis of torrefied wood*. Wood Science and Technology 22: 143 – 155
- Burmester A, 1973. *Einfluß einer Wärme-Druck-Behandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit*. Holz als Roh- und Werkstoff 31: 237-243

Burmester A, 1974a. *Erfolgreiche Quellungsvergütung mit einfachen Mitteln (1) – Die Wärme-Druck-Behandlung – ein Verfahren mit guten Voraussetzungen für eine Realisierung.* Holz- und Kunststoffverarbeitung 8/74: 534-538

Burmester A, 1974b. *Erfolgreiche Quellungsvergütung mit einfachen Mitteln (2) – Die Wärme-Druck-Behandlung von Holzwerkstoffen – technische Durchführung - Wirtschaftlichkeit.* Holz- und Kunststoffverarbeitung 8/74: 610-615

Daly, H., 1990. Towards some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics* 2(1), 1-6

Döllmann, P., Temel, R. (Hrsg.), 2002. *Lebenslandschaften.* Campus Verlag. Frankfurt am Main

EN 252, 1989. *Holzschutzmittel - Freiland-Prüfverfahren zur Bestimmung der relativen Schutzwirkung eines Holzschutzmittels im Erdkontakt*

EN 335 – 1, 2006. *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen - Teil 1: Allgemeines*

EN 335 – 2, 2006. *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen - Teil 2: Anwendung bei Vollholz*

EN 350 – 1, 1994. *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Teil 1: Grundsätze für die Prüfung und Klassifikation der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz*

EN 350 – 2, 1994. *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa*

EN 927-6, 2006. *Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 6: Künstliche Bewitterung von Holzbeschichtungen mit fluoreszierenden UV-Lampen und Wasser*

EN 12037, 1997. *Holzschutzmittel - Freilandversuch zur Bestimmung der relativen Wirksamkeit eines Holzschutzmittels ohne Erdkontakt - Verfahren mit horizontaler Überblattung ("lap-joint"-Verfahren)*

Fabach, R., 2006. F30+intelligente Äquivalenzmaßnahmen. *Zuschnitt.* Nr. 14, 4. Jahrgang, S. 17ff. proHolz Austria

Fechner, J., Mötzl, H., Unzeitig, U., 2003. *Abfallvermeidung im Bausektor.* Programmlinie Abfallvermeidung von der Stadt Wien. Wien

Feist, W., 2001. *Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser.* Passivhaus Institut Darmstadt. Verlag Das Beispiel. Darmstadt

Feldtkeller, A., 2001. Die Garage – eine Metapher. in: *wohn:wandel – Szenarien, Prognosen, Optionen zur Zukunft des Wohnens.* Schader Stiftung. Darmstadt

Finnish Thermowood Association, 2004. *ThermoWood® Handbuch.* 28.05.2004. [www.thermowood.fi](http://www.thermowood.fi). Helsinki

Fitl R., Gamerith H., Grüll G., Höfler K., Schober K.P., 2007. *Bauphysikalische Ausführung von Holzfassaden - für den Bereich des Wärmeschutzes und des Feuchtehaushaltes*. Holzforschung Austria, pro:Holz Arbeitsheft 9/07

Frantz, J., 2006. *Persönliche Mitteilung*. Forum Building Science 2006 an der Donau Universität Krems. Auskunft vom 28.04.2006

Freisitzer, K., Koch, R., Uhl, O., 1987. *Mitbestimmung im Wohnungsbau*. Picus Verlag. Wien

GAP-Solar, 2007. *Wohnpark Balance*. <http://www.gap-solar.at>. abgerufen am 20.03.2007

Graubner, C.-A., Hüske, K., 2003. *Nachhaltigkeit im Bauwesen. Grundlagen – Instrumente – Beispiele*. Ernst & Sohn: Berlin

Gruber H., Gruber A., 2003. *Bauen mit Stroh*. Auflage: 2., erw. A.. Ökobuch Verlag, Staufen

Grüll, G., 2006. Oberflächenbehandlung von Holz im Außenbereich. Gestaltungsmittel mit Schutzfunktion. *Zuschnitt*. Nr. 21, 5. Jahrgang, S. 11-13. proHolz Austria

Grüll, G., Schweiger, I., Forsthuber, B., 2005. *GREYWOOD - Technische Verfahren zur Vergrauung von Holzoberflächen für den Außenbereich*. Holzforschung Austria, 2. Int. Massivholz- und Blockhaustag, Rosenheim 14.10.2005

Hansen, P., 2001. Planen, Bauen und Verwalten für eine multikulturelle Gesellschaft. in: *wohn:wandel – Szenarien, Prognosen, Optionen zur Zukunft des Wohnens*. Schader Stiftung. Darmstadt

Häußermann, H., 2002. Wohnen und Arbeiten - neue Perspektiven für urbane Milieus. in: *Lebenslandschaften*. Hrsg. v. P. Döllmann und R. Temel. Campus Verlag. Frankfurt am Main

HFA, 2003. *Holzfassaden*. 3. Auflage. Holzforschung Austria. Forschungsinstitut und akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle der Österreichischen Gesellschaft für Holzforschung (Hrsg.). Autoren: M. Brandstätter, M. Buchgraber, G. Grüll, A. Neumüller, J. Scheibenreiter, K. P. Schober, M. Spatt, F. Tscherne. Eigenverlag. Wien

HFA, 2006. *Balkone und Terrassenbeläge aus Holz*. Holzforschung Austria. Forschungsinstitut und akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle der Österreichischen Gesellschaft für Holzforschung (Hrsg.). Bd. 12 der HFA-Schriftenreihe. Autoren: Klaus Peter Schober, Claudia Auer, Gerhard Grüll. Eigenverlag. Wien

Hilfswerk NÖ, 2006. *Wohnraumberatung*. <http://niederoesterreich.hilfswerk.at>. abgerufen am 16.07.2006

Hinterberger, H., Hinterberger, G. 2006. *Persönliche Mitteilung*. Auskunft vom 23.04.2006

Hofer, M., 2006. Der Konsument ist nicht König. in: *Wohnen in Zürich – Programme, Reflexionen, Beispiele 1998-2006*. Hrsg. v. Stadt Zürich. Verlag Niggli AG. Sulgen

Hüske, K., 2001. *Nachhaltigkeitsanalyse demontagegerechter Baukonstruktionen. Entwicklung eines Analysemodells für den Entwurf von Gebäuden*. Dissertation. Technische Universität Darmstadt

ISO 7724-3, 1984. *Lacke und Anstrichstoffe - Farbmessung - Teil 3: Berechnung von Farbabständen*

IWU, 2001. *Anpassbare Gebäude – Definitionen und Terminologie*. Schriftenreihe des Institut Wohnen und Umwelt IWU. Darmstadt

IWU, 2002. *FlexHaus- Symbiose von Wohnen und Arbeiten*. Schriftenreihe des Institut Wohnen und Umwelt IWU. Darmstadt

Jäsmä S, 2001. *Reaction mechanisms of modified wood*. VTT Building Technology, Espoo (Fin), 2001

John, O., 2006. *Persönliche Mitteilung*. Auskunft vom 05.07.2006

Josephy, M., 2006. Barrierefrei und wandelbar. *TEC 21*. Nr. 17-18 /2006, S.5 ff

Junghans K, Niemz P, 2005. *Thermoholz - Erfahrungen mit und Meinungen zu dem Material*. Holztechnologie 46 (4): 31-35 ISSN: 0018-3881

Kaiser, B., 2007. *Persönliche Mitteilung*. Auskunft vom 02.03.2007

Kaiser, G., U. A. 2003. *Ernst Anton Plischke, Architekt und Lehrer*. Pustet Verlag, Salzburg

Kramer, Horst; Akça, Alparslan, 1995. *Leitfaden zur Waldmesslehre*. 3., erweiterte Auflage. Sauerländer, Frankfurt am Main, ISBN 3-7939-0830-5

Kohler, N., 2007. Zukunftsfähige Gebäude. *Arch+*, Heft 184, 2007, S. 85 ff

Kopf, K., 2007. Die wahren Barrieren sind im Kopf, *Konstruktiv* Ausgabe 260, S.13 ff

Kurz, D., 2006. Wohnen im Alter – Bauen für das Alter. in: *Wohnen in Zürich – Programme, Reflexionen, Beispiele 1998-2006*. Hrsg. v. Stadt Zürich. Verlag Niggli AG. Sulgen

Ladner C, Halmschalger E, 2002. *Dauerhaftigkeit von modifiziertem Holz gegenüber holzzerstörenden Pilzen*. LIGNOVISIONEN Band 3 "Modifikation von Holz - Eigenschaften und Märkte", Seite 191 - 219, A. Teischinger (Hrsg.), R. Stingl (Red.), Schriftenreihe am Institut für Holzforschung (ihf), Universität für Bodenkultur Wien, ISSN 1681 - 2808

Lang, J, 2005. Schallschutz bei Holzdecken. *Zuschnitt* Ausgabe 18. Juni 2005, S.20ff. pro-Holz Austria

Leiß, Bernhard, 2002. *Holzbauteile richtig geschützt*. Institut für Holzbau – Fachhochschule Biberach DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen

Lexer, Wolfgang, 2004. *Zerschnitten, versiegelt, verbaut? Flächenverbrauch und Zersiedelung versus nachhaltige Siedlungsentwicklung*. Fachtagung GRÜN Stadt GRAU. 21. - 22. Oktober, 2004. Umweltbundesamt Wien

Manninen S., 2004. *Stora Enso ThermoWood®-Wandverkleidungen*. Spezifikationshandbuch. Seite 14

Meili, M., 2006. Eine Wohnung darf wieder dunkel sein. in: *Wohnen in Zürich – Programme, Reflexionen, Beispiele 1998-2006*. Hrsg. v. Stadt Zürich. Verlag Niggli AG. Sulgen

Merl, Adolf, 2006. Langzeitbindung – Wiederverwendung, Weiterverwendung, Recycling, thermische Nutzung. *Zuschnitt* Ausgabe 24 Dezember 2006, S.18ff. pro:Holz

Merl, A., 2006. Nachhaltiges Bauen mit Holz. *Detail*, Serie 2006, 10. Heft, S.1072ff.

Meili, M., 2006. Eine Wohnung darf wieder dunkel sein. in: *Wohnen in Zürich – Programme, Reflexionen, Beispiele 1998-2006*. Hrsg. v. Stadt Zürich. Verlag Niggli AG. Sulgen

Neumüller, A., Kirchmayr, H., Brandstätter, M., 2004. *Konstruktive Verwendung von Eichenholz. Zusammenfassung und Erkenntnisse für die Praxis*. 1. Aufl., Hrsg.: proHolz Austria, Arbeitsheft 6/04. Forschungsprojekt der Holzforschung Austria, Wien

Nuopponen M, Wikberg H, Vuorinen T, Maunu S, Jämsä S, Viitaniemi P, 2004. *Heat-treated softwood exposed to weathering*. Journal of Applied Polymer Science 91/4: 2128-2134

Nussbaumer, K., 2007. *Persönliche Mitteilung*. Auskunft vom 18.10.2007

Obernosterer, R., Reiner, I., Smutny, R., 2003. Urbanes Ressourcen Management: Fallstudie Wien. Teilbereich Schadstoffmanagement diffuser Metallemissionen. Wien

Ozinga, Saskia, 2007. Illegaler Holzeinschlag. Das Geschäft mit der Axt. *Umwelt für Europäer*. Magazin der Generaldirektion Umwelt. Juni 2007, S.8-9

Patzelt M, Stingl R, Teischinger A, 2002. *Thermische Modifikation von Holz und der Einfluss auf ausgewählte Holzeigenschaften*. LIGNOVISIONEN Band 3 "Modifikation von Holz - Eigenschaften und Märkte", Seite 101 - 147, A. Teischinger (Hrsg.), R. Stingl (Red.), Schriftenreihe am Institut für Holzforschung (ihf), Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik, Universität für Bodenkultur Wien, ISSN 1681 - 2808

Pavlo B, Niemz P, 2003. *Effect of temperature on colour and strength of spruce wood*. Holzforschung 57: 539–546

Peer, J., 2006. Holzschutz an den Bauernhäusern des Bregenzerwaldes. *Zuschnitt*. Nr. 21, 5. Jahrgang, Seite4-6. proHolz Austria

Persson, D., Kucera, V., 2001. Release of Metals from Buildings, Constructions and Products during Atmospheric Exposure in Stockholm. *Water, air and Soil Pollution: Focus* 12 (3), S. 133-150

Podgorski L, Arnold M, Hora G, 2003. *A reliable artificial weathering test for wood coatings*. Coatings world (Nr.2): 39-46

Preisig, H., Pfäffli, K., 2004. Nachhaltigkeit im Hochbau. *Archithese*, Heft 4.2004, S. 34ff

Rapp A.O, Augusta U, 2000. *Dauerhaftigkeit in den Gefährdungsklassen unter Berücksichtigung von Lärchen- und Douglasien Kernholz*. Beitrag zur 22.Holzschutz-Tagung der DGfH am 17. und 18. Okt. 2000 in Bad Kissingen, Deutschland

Ring, R., 2006. Brandwiderstand als Kriterium für die Materialwahl. *Zuschnitt*. Nr. 14, 4. Jahrgang, S. 20ff. proHolz Austria

Rhomberg & Partner, 2007. *inkl-wohnen*. <http://www.inkl-wohnen.at>. abgerufen am 12.06.2007

Russ, W., 2004. „Mehr Wald – ein positiver Trend!?“; BFW-Praxisinformation Nr. 3–2004, S. 4-7

Schader Stiftung, 2001. *wohn:wandel – Szenarien, Prognosen, Optionen zur Zukunft des Wohnens*. Schader Stiftung. Darmstadt

Schader Stiftung, 2006. *wohn:wandel*. [http://www.schader-stiftung.de/wohn\\_wandel](http://www.schader-stiftung.de/wohn_wandel) abgerufen am 21.04.2006

Schafhauser, M., 2008. *Persönliche Mitteilung*. Auskunft vom 14.03.2008

Scheidung W, Rapp A.O, Krause A, 2007. *Thermally Modified Timber (TMT) Facing European Standards*. In: Proceedings of the Third European Conference on Wood Modification, Cardiff, UK, 15-16th October 2007, page 413 - 422

Schmidt, Th., 1999. *Instandsetzung- und Austauschzyklen von Baumaterialien*. Diplomarbeit, Technische Universität Darmstadt

Schmutzler B, 1996. *Eine unglaubliche Geschichte - Michael Thonet und seine Stühle*. Veröffentlichungen des Landesmuseums Koblenz, Staatliche Sammlung Technischer Kulturdenkmäler, Reihe B, Einzelveröffentlichungen Nr. 55, Koblenz, 1996, ISBN 3-925915-55-9

Schober K.P., Matzinger I., 2006. *Brandschutztechnische Ausführung von Holzschutzfassaden – Zusammenfassung und Erkenntnisse für Gebäudeklasse 4 und 5*. Holzforschung Austria, pro:Holz Arbeitsheft 8/06

Schröpel, M., 2006. *Persönliche Mitteilung*. Auskunft vom 01.08.2006

Schuster, G., Lipp, B., Mötzl, H., Rohregger, G., Zelger, T., Deubner, H., Berger, M., Ambrozzy, H. G., 2005. *Großvolumiger Wohnbau in Niederösterreich: Wirtschaftliche und ökologische Kriterien für eine nachhaltige Entwicklung*. Wohnbauforschung Niederösterreich, Bericht Nr. 822083. St. Pölten

Spellerberg, A., 2001. *Lebensstile und Wohnprofile - Trends*. in: *wohn:wandel – Szenarien, Prognosen, Optionen zur Zukunft des Wohnens*. Schader Stiftung. Darmstadt

Sperling, C., 1999. *Nachhaltige Stadtentwicklung beginnt im Quartier*. Öko-Institut e.V., Freiburg/Darmstadt/Berlin

Stadt Zürich (Hrsg.), 2006. *Wohnen in Zürich – Programme, Reflexionen, Beispiele 1998-2006*. Verlag Niggli AG. Sulgen

Statistik Austria, 2007. „Tabelle 1.13: Fläche und Benützungsarten. Stand: 01.01.2005 (Bodennutzung lt. Kataster des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen des Jahres 2005)“. [http://www.statistik.at/jahrbuch\\_2006/pdf/K01.pdf](http://www.statistik.at/jahrbuch_2006/pdf/K01.pdf).

Stefke B, Teischinger A, 2002. *Methoden der Holzmodifikation*. LIGNOVISIONEN Band 3 "Modifikation von Holz - Eigenschaften und Märkte", Seite 5 - 23, A. Teischinger (Hrsg.), R. Stingl (Red.), Schriftenreihe am Institut für Holzforschung (ihf), Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik, Universität für Bodenkultur Wien, ISSN 1681 - 2808

Stephan, Petra, 2002. „Nachhaltigkeit – ein semantisches Chamäleon“ In: E+Z (Entwicklung und Zusammenarbeit.), 43. Jg., Heft 4, S. 112-113.

Stingl R, Patzelt M, Teischinger A, 2002. *Ein- und Rückblick in ausgewählte Verfahren der thermischen Modifikation*. LIGNOVISIONEN Band 3 "Modifikation von Holz - Eigenschaften und Märkte", Seite 57 - 99, A. Teischinger (Hrsg.), R. Stingl (Red.), Schriftenreihe am Institut für Holzforschung (ihf), Universität für Bodenkultur Wien, ISSN 1681 - 2808

Sutter, H.-P., 1992. *Holzschädlinge an Kulturgütern erkennen und bekämpfen*, 2. Auflage, Verlag Paul Haupt: Bern, Stuttgart, Wien

Tappeiner, G., Schrottenecker, I., Lechner, R., Walch, K., Stafler, G., Sutter, P., Oswald, P., Koblmüller, M., Havel, M., 2001. *Wohnträume – Nutzerspezifische Qualitätskriterien für den innovationsorientierten Wohnbau*. Programmlinie Haus der Zukunft. BMVIT. Wien

Teischinger, Alfred, 2007. Ressourcenverknappung und ihre Herausforderungen. Thesen für die Holzwirtschaft. *Holztechnologie* 48 (2997) 3, S.5-8 (siehe auch: Lignovisionen Bd. 15)

ThermoWood® Handbook, 2003. Herausgeber: Finnish ThermoWood Association, c/o Wood Focus Oy, Helsinki, Finland, Seite 55 – 57

Tiemann H.D, 1920. *Effects of different methods of drying on the strength and hygroscopicity of wood, 3<sup>rd</sup> ed. The kiln drying of lumber*. J.P. Lippincott Co., Philadelphia, PA, Seite 256 - 264

Tjeerdsma B, Boonstra M, Pizzi A, Tekely P, Militz H, 1998. *Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement*. Holz als Roh- & Werkstoff 56: 149-153

Treberspurg, M., 1999. *Neues Bauen mit der Sonne. Ansätze zu einer klimagerechten Architektur*. 2. Auflage. Springer Verlag. Wien, New York

Treberspurg, M., 2005. Nachhaltige und zukunftssichere Architektur durch ressourcenorientiertes Bauen. *Österr. Wasser und Abfallwirtschaft (ÖWAV)*. Heft 7/8, Juli/August 2005, 57. Jahrgang, S. 111-117

UIA Berlin, XXI World Congress of Architecture, 2002. *Resource Architecture*. Birkhäuser. Basel

van Hazebrouck, M., 2006. *Persönliche Mitteilung*. Auskunft vom 03.07.2006

van Wezemael, J., Huber, A., 2004. *Neue Wege im genossenschaftlichen Wohnungsbau - Kurzfassung Siedlungsevaluation KraftWerk1 und Regina Kägi-Hof in Zürich*. Schriftenreihe Wohnungswesen Band 74. Zürich

Wimmer, W., 2006. Ecodesign. *Zuschnitt*. Nr. 24, 5. Jahrgang, S. 26ff. proHolz Austria

VDI, 1993. *Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte. Grundlagen und Gestaltungsregeln*. VDI-Richtlinie 2243. VDI-Verlag: Düsseldorf

Waitkus, C., Richter, H.G., 2001. *Die Robinie und ihr Holz*. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

Walch, K., Lechner, R., Tappeiner, G., Schrottenecker, I., Stafler, G., Sutter, P., Oswald, P., Koblmüller, M., 2001. *Gebaut 2020 – Zukunftsbilder und Zukunftsgeschichten für das Bauen von morgen*. Programmlinie Haus der Zukunft. BMVIT. Wien

Weiss, P., Jandl, R., Schadauer, K., Radunsky, K., Hojesky, H., Englisch, M., 2003. Das Kyoto-Protokoll - eine forstliche Herausforderung? *Österreichische Forstzeitung* 114, 8, S.16-17. (Siehe auch: [www.waldwissen.net](http://www.waldwissen.net))

Weissenfeld, P., König, H., 2008. *Holzschutz ohne Gift: Holzschutz und Holzoberflächenbehandlung in der Praxis. Mit Rezepten für die Herstellung von Farben*. Ökobuch Verlag; 16. Auflage.

Welzbacher C, Rapp A.O, 2005. *Hitzebehandelte Hölzer im Erdkontakt*. Beitrag zur 24. Deutschen Holzschutztagung, Holzzentralblatt vom 20. Sept. 2005, Nr. 71/2005: 949

Werner, J., 1977. *Anpassbarer Wohnbau*. Verlag Georg D.W. Callwey. München

Wienhaus O, 1999. *Modifizierung des Holzes durch eine milde Pysolyse – abgeleitet aus den allgemeinen Prinzipien der Thermolyse des Holzes*. Wissenschaftliche Zeitung der Technischen Universität Dresden 48 (Heft 2): 17-22

Winter, S., Kehl, D., 2002. *Untersuchung zur Objektivierung der Bewertung des Verkehrswertes von Gebäuden in Holzbauweise im Vergleich zu anderen Bauweisen*. Abschlussbericht, Leipzig

Zschokke, W., 2006. *Wie gestern Morgen aussah*, *Spectrum* 01.04.2006, S.13

Dank für Persönliche Gespräche an

Martin van Hazebrouck, München  
Heinz Geza Ambrozy, Wien  
Michael Schafhauser, Krems  
Birgit Kaiser, Wien  
Martin Schröpel, Konstanz  
Zuzana Giertlova, München  
Olivia John, St. Pölten  
Johannes Fechner, Wien  
Karl Nussbaumer, Bregenz  
Gilbert Hinterberger, Hollabrunn  
Hedwig Hinterberger, Hollabrunn  
Stefan Kuss, Wien  
Bernd Lederwasch, Frohnleiten  
Wilhelm Hofbauer, Purkersdorf  
Erwin Schwarzmüller, St. Pölten  
Gerhard Grill, Wien  
Klaus-Peter Schober, Wien  
Hannes Buschenreithner, Ybbs  
Thomas Pöchhacker, Ybbs

## 4 ANHÄNGE

- Anhang 1 Bericht bzw. Protokoll zum Freilandversuch zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit im Außenbereich ohne Erdkontakt nach einer Bewitterungsdauer von 6 Jahren
- Anhang 2 Bericht bzw. Protokoll zum Freilandversuch zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit im Erdkontakt nach einer Bewitterungsdauer von 5 Jahren
- Anhang 3 Beschreibung von Thermowood® der Firma Stora Enso
- Anhang 4 Technische Informationen und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Oberflächenschichtungen
- Anhang 5 Technische Beschreibung des QUV - Weathering Tester
- Anhang 6 Beschreibung der Messpunkte auf den Fassaden-Elementen
- Anhang 7 Daten zu den Farbmessungen an den Fassadenelementen am Freibewitterungsstand; Messintervall 1 Monat; Standort: HTL Mödling
- Anhang 8 Protokoll - Klimatisierung von Probenmaterial aus thermisch modifiziertem Fichtenholz und verschiedener Befestigungsmethoden zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Verbindung
- Anhang 9 Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes
- Anhang 10 Detailzeichnungen
- Anhang 11 Merkblatt „Einsatz von Thermoholz im Hochbau“