

Joining Cards

Untersuchung rückbaubarer Verbindungs- und Füge-techniken zur
Entwicklung monomaterieller Innenausbausysteme aus Karton

M. Raudaschl, T. Levak, L. Gschweitl,
M. Boles, R. Riewe, C. Kurz,
C. Haidacher, G. Triantafyllidis,
B. Hausegger, A. Gündera, D. Schlegl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

4/2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren: Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias Raudaschl, Dipl.-Ing. Toni Levak,
MArch Lukas Gschweitl, Ing. arch. Martin Boles, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Architekt Roger Riewe,
Dipl.-Ing. Carina Kurz, Dipl.-Ing. Christoph Haidacher, MU Dott. Mag. M.Sc. Georgios Triantafyllidis,
Dipl.-Ing. Bernd Hausegger, Alexander Gündera BSc, David Schlegl BSc
Institut für Architekturtechnologie, Technische Universität Graz

Wien, 2024

Joining Cards

Untersuchung rückbaubarer Verbindungs- und Füge-techniken zur
Entwicklung monomaterieller Innenausbau-systeme aus Karton

Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias Raudaschl, Dipl.-Ing. Toni Levak,
MArch Lukas Gschweitl, Ing. arch. Martin Boles, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Architekt Roger Riewe,
Dipl.-Ing. Carina Kurz, Dipl.-Ing. Christoph Haidacher, MU Dott. Mag. M.Sc. Georgios Triantafyllidis,
Dipl.-Ing. Bernd Hausegger, Alexander Gündera BSc, David Schlegl BSc
Institut für Architekturtechnologie, Technische Universität Graz

Graz, 2024

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract.....	10
3	Ausgangslage.....	12
4	Projekthalt.....	14
	4.1. Literaturrecherche	14
	4.2. Konzeptentwicklung.....	14
	4.3. Modellbauten.....	15
	4.4. Evaluierung der Modellbauten	15
5	Ergebnisse	17
	5.1. Ergebnisse der Erhebung zum Stand der Technik.....	18
	5.1.1. Innenausbausysteme	18
	5.1.2. Papierwerkstoff-Produkte	30
	5.1.3. Verbindungstechniken für Papierwerkstoffe	34
	5.1.4. Innenausbausysteme aus/mit Papierwerkstoffen.....	37
	5.2. Innenausbausystem aus Papierwerkstoffen.....	43
	5.2.1. Konstruktiver Aufbau.....	43
	5.2.2. Modellbau.....	47
6	Schlussfolgerungen	54
7	Ausblick und Empfehlungen	55
8	Verzeichnisse.....	57

1 Kurzfassung

Im Hinblick auf Klimaneutralität im Bauwesen führen die etablierten Trockenbausysteme des Innenausbaus, infolge der heterogenen Materialverwendung und der angewandten Fügemethodik, zu Problemen bei der Wiederverwendung und dem Recycling. Welche insbesondere aufgrund der Verknappung von endlichen Ressourcen, der Dynamik urbaner Räume und der zukünftigen Anforderungen an Städte und Gebäude aufgrund des Klimawandels, mit der daraus folgenden Notwendigkeit der Adaptierung des Innenausbaus, dem Austausch oder vollständigen Rückbau dieser Systeme, hohe Relevanz besitzen.

In diesem Kontext und zur Erreichung einer Kreislaufwirtschaft besitzt eine breite Anwendung von Papierwerkstoffen, als nachwachsender und mehrfach recyclebarer Baustoff, in Form direkt wiederverwendbarer und langlebiger Baukomponenten, großes Potential. Unter anderem, weil die grundsätzliche Tauglichkeit von Papierwerkstoffen für das Bauwesen bereits durch den japanischen Architekten Shigeru Ban in Demonstrationsbauten, als auch in internationalen Forschungsprojekten wie "BAMP! - Bauen mit Papier" für temporäre Anwendungen, untersucht und dargestellt wurde.

Die aus den oben genannten Punkten folgenden Projektziele für die Sondierung „Joining Cards“ bestanden in bautechnischen Konzepten zu standardisierten und rückbaubar gefügten Innenaubausystemen aus Papierwerkstoff-Komponenten, in gebauten 1:1 Untersuchungs-Modellen und in einem umfassenden Erkenntnisgewinn des Fügens von Papierwerkstoff-Komponenten.

Hierzu wurden anhand von architektonischen und baukonstruktiven Entwurfsmethoden und auf Basis von Literaturrecherchen und Analysen Konzepte in Form von Skizzen, CAD-Zeichnungen und bautechnischen Beschreibungen entwickelt und dargestellt. Dies erfolgte in Einzelarbeit und im Rahmen von Konzept-Workshops, bei welchen bestehende Konzepte in größerer Gruppe besprochen, analysiert und detailliert sowie mittels Brainstormings weitere Konzepte entwickelt wurden.

Weiters wurden ausgewählte Konzepte in 1:1 Untersuchungs-Modelle übersetzt. Das umfasste unter anderem die Definition konzept- und modellspezifischer Parameter (z.B. Elementabmessungen, Werkstoffe, Fügetechnologie und -mittel), die Herstellung von CAD-Zeichnungen zur Steuerung eines Schneideplotters, die händische Bearbeitung von Karton- oder Papierwerkstoff-Elementen mittels Cutter-Messer, mit einer Bohrmaschine, mit Zangen und mit einer Japansäge, wie auch den Zusammenbau der Einzelkomponenten. Überwiegend parallel zu diesen Tätigkeiten wurde anhand der fortlaufend gewonnenen Erkenntnisse eine qualitative Evaluierung durchgeführt. Die Evaluierungskriterien bildeten Materialhomogenität, Systematisierung, Rückbaubarkeit, Wiederverwendbarkeit, Stabilität und Tragfähigkeit und Innovationsgehalt.

Als Projektergebnis konnten mehrere grundlegende Innenaubau-Konzepte in unterschiedlichen Detaillierungsgraden entwickelt werden. Das umschließt Konzepte zu nicht tragenden Innenwandssystemen, zu Unterdeckensystemen, im Bereich von Fußbodensystemen und zu Einzelkomponenten (z.B. Stütze, Bepankung). Als weiteres Projektergebnis bestehen die Modelle von ausgewählten Konzepten, welche anhand ihres zugrundeliegendes Verbindungsprinzips auf grundlegender Ebene und in unterschiedlichen Variationen gebaut wurden. Darüber hinaus wurde ein Konzept eines Fußbodensystems und ein Konzept eines Wandsystems zu einem raumbildenden

Großmodell kombiniert. Diese zwei Konzepte werden im vorliegenden Bericht als ausgewähltes Projektergebnis anhand des konstruktiven Aufbaus und anhand der Übersetzung in das Großmodell beschrieben und dargestellt.

Wie im Projekt festgestellt werden konnte, besteht in rückbaubaren Innenausbau-systemen aus nachwachsenden und mehrfach recyclebaren Papierwerkstoffen großes Forschungspotential. Dieses liegt bei langlebigen und direkt wiederverwendbaren (kreislauffähigen) Baukomponenten wie auch in der Kombination von Papierwerkstoffen mit Metallkomponenten an der Fügestelle. Ersteres betrifft die Herstellung, den Auf- und Abbau, wie auch die Nutzung von Innenausbau-systemen. Bei einer Einbindung der Gesellschaft auf Ebene von (Mit-) Gestaltungsmöglichkeit kann somit gesamtgesellschaftlich ein neuer Zugang und stärkerer Bezug zu einer Form des nachhaltigen Bauens entstehen. Darüber hinaus besteht weiteres Forschungspotential in der Anwendung von recycelten und wiederverwendbaren Papierwerkstoff-Komponenten bei standardisierten statisch wirksamen Bauteilen (z.B. Decken). Wie auch, im Kontext von „Gebäuden als CO₂-Senken“, in der Implementierung des schnell nachwachsenden Baustoffes Stroh (in Form langlebiger und kreislauffähiger z.B. Plattenware) in den Innenausbau.

2 Abstract

Concerning climate neutrality in the building industry, the established interior finishing systems can cause problems at the end of their life cycle in reuse as well as in recycling. This is a result of the heterogeneous use of materials as well as the applied method of joining elements. These problems are particularly relevant due to the scarcity of finite resources, the dynamics of urban spaces, and the future demands of cities and buildings due to climate change, with the resulting need to adapt interior design by replacing or completely deconstructing these systems.

In this context and to achieve a circular economy, a broad application of paper-based materials, as a renewable and multiple recyclable building material, in the form of directly reusable and durable building components, has great potential. Among other things, the fundamental suitability of paper-based materials for the building industry has already been investigated and demonstrated by the Japanese architect Shigeru Ban in demonstration buildings and in international research projects such as "BAMP! - Building with Paper" for temporary applications.

The resulting project goals for the exploratory study "Joining Cards" consisted of constructive concepts for standardized and deconstructable joined interior finishing systems made from paper-based components, built 1:1 investigation models, and a comprehensive knowledge gain on joining paper-based components.

For this purpose, concepts were developed and illustrated in the form of sketches, CAD drawings, and technical descriptions using architectural and constructive design methods based on literature research and analyses. This was done in individual work and in the context of concept workshops, in which existing concepts were discussed, analyzed, and detailed in larger groups and further concepts were developed through brainstorming.

Furthermore, selected concepts were translated into 1:1 investigation models. This included the definition of the concept- and model-specific parameters (e.g. element dimensions, materials, joining technology and means), the production of CAD drawings to control a cutting plotter, the manual processing of cardboard or paper-based components utilizing cutter knives, with a drilling machine, with pliers and with a Japanese saw, as well as the assembly of the individual components. Predominantly parallel to these activities, a qualitative evaluation was carried out based on the continuously gained knowledge. The evaluation criteria were material homogeneity, systematization, deconstructability, reusability, stability, load-bearing capacity, and innovative content.

As a result of the project, several basic interior finishing concepts were developed in various degrees of detail. This includes concepts for non-load-bearing interior wall systems, for suspended ceiling systems, in the area of floor systems, and for individual components (e.g. supports, planking). A further project result is the models of selected concepts, which were built on the basis of their underlying joining principle at a basic level and in different variations. In addition, one concept of an interior floor system and one concept of an interior wall system were combined to form a large-scale space-forming model. These two concepts are described and presented in this report as a selected project result based on the constructive design as well as the translation into the large-scale model.

As it was observed in the project, there is great research potential in deconstructable interior finishing systems made of renewable and multiple recyclable paper-based materials. This potential lies in durable and directly reusable (circular) building components as well as in the combination of paper-based components with metal components at the joining point. The former relates to manufacturing, assembly, and disassembly, as well as the use of interior finishing systems. If society is involved at the level of (co)design, a new approach and stronger connection to a form of sustainable construction can thus be created. Further research potential exists in the application of recycled and reusable paper-based components in standardized load-bearing structural elements (e.g. slabs). As well as, in the context of "buildings as CO₂ sinks", in the implementation of the rapidly renewable building material straw (in the form of durable and circular e.g. board material) in interior construction.

3 Ausgangslage

Das Bauwesen steht unter anderem für ca. 36 % des globalen Endenergieverbrauchs, für ca. 39 % der energiebedingten CO₂-Emissionen¹, für ca. 40 % des Ressourcenverbrauchs² und darüber hinaus europaweit für ca. 36% des Gesamtmüllaufkommens³. Resilienz von Gebäuden und Städten ermöglicht eine Verringerung dieser Werte und erfordert einen ganzheitlichen Lösungsansatz, durch bspw. Kreislaufwirtschaft⁴ und die Fähigkeit von Gebäuden, kurz- und langfristig Anpassungen an unterschiedliche Nutzungen zu ermöglichen. Dies betrifft insbesondere die Hierarchisierung der Bauelemente nach ihrer Nutzungs- und Lebensdauer im Hinblick auf die Rückbaubarkeit und Lösung, und somit die Möglichkeit der Trennung der Fügestellen für Wiederverwendung.

Infolge der heterogenen Materialanwendungen sowie der gängigen Innenausbau-systeme und angewandten Fügetechnologien kann es beim Innenausbau zu Verbänden von beispielsweise Metall, Vollholz, Gipsplatten, Gipsfaserplatten, Holzwerkstoffplatten, Spanplatten, OSB-Platten, mitteldichten Faserplatten, Silikatplatten, Faserzementplatten, Hartschaumplatten, Gipswerkstoffplatten, PVC (Polyvinylchlorid), Textilien, Keramik, Laminat, sonstigen Kunststoffen, wie auch Dämmstoffen kommen.⁵ Dies führt zu Nachteilen und erhöhten Aufwänden bei der Wiederverwendung (Einsatz wie beim ursprünglichen Zweck), der Wiederverwertung / Recycling (Einsatz bei gleicher Qualität unter Auflösung des Produktes), der Weiterverwendung (Einsatz für einen anderen Zweck und reduzierter Anforderung), der Weiterverwertung (Einsatz bei geringerer Qualität und unter Auflösung des Produktes) aber auch bei einer potentiellen energetischen Verwertung⁶.

Bedenkt man zudem, dass der Innenausbau aktuell zu einem hohen Maße auf Gipskarton beruht, die Menge von natürlichem und REA-Gips (ein Nebenprodukt von Kohlekraftwerken) jedoch begrenzt ist, wird die Dringlichkeit dieser Thematik deutlich. So werden derzeit bereits seitens Industrie und Forschung Ersatzstoffe sowie Möglichkeiten der Wiederverwendung untersucht.⁷

Im Hinblick auf eine Lösung dieses Problems und zur Erreichung einer Kreislaufwirtschaft wurde im vorliegenden Projekt ein grundsätzliches Umdenken im Konstruieren von Innenausbau-systemen durch das rückbaufähige Fügen von Papierwerkstoff-Komponenten (insbesondere von Karton) vorgeschlagen. Papierwerkstoffe besitzen als nachwachsender und mehrfach recyclebarer Baustoff, in Form langlebiger und direkt wiederverwendbarer Baukomponenten, großes Potential. Unter anderem, weil die grundsätzliche Tauglichkeit von Papierwerkstoffen für das Bauwesen bereits durch den japanischen Architekten Shigeru Ban in Projekten wie dem nachfolgend dargestellten „Paper House“ (siehe Abbildung 1) untersucht und dargestellt wurde.

¹ Vgl. International Energy Agency/United Nations Environment Program 2018, 11.

² Vgl. Bringezu u.a. 2017, 64.

³ Vgl. Eurostat statistics explained.

⁴ Vgl. European Commission 2019.

⁵ Vgl. Hausladen/Tichelmann 2009, 123-159.

⁶ Vgl. Hillebrandt u.a. 2021, 136.

⁷ Vgl. Sekavová u.a. 2020.

Abbildung 1: Shigeru Ban Architects „Paper House“⁸



Die daraus folgenden Projektziele für die Sondierung „Joining Cards“ bestanden in konstruktiven Konzepten zu standardisierten und rückbaubaren Innenausbausystemen (innerhalb von Brandabschnitten) aus Papierwerkstoff-Komponenten, in gebauten 1:1 Untersuchungs-Modellen und in einem umfassenden Erkenntnisgewinn des Fügens von Papierwerkstoff-Komponenten.

⁸ Shigeru Ban Architects: http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper_house/index.html

4 Projektinhalt

Die Sondierung „Joining Cards“ behandelt das rückbaufähige Fügen von Papierwerkstoffen zu standardisierten Innenausbausystemen. Der Untersuchungsgegenstand umfasst bestehende Innenausbausysteme, verfügbare Karton- / Papierwerkstoff-Produkte am Markt wie auch Möglichkeiten der Bearbeitung und des Fügens. Wobei ein weiterer Schwerpunkt auf die Themen Materialhomogenität, Systematisierung, Rückbaubarkeit, Wiederverwendbarkeit sowie Stabilität und Tragfähigkeit gelegt wurde.

Die Projektziele bestanden in der Ausarbeitung konstruktiver Konzepte zu standardisierten und rückbaubaren Innenausbausystemen aus Papierwerkstoff-Komponenten, in gebauten 1:1 Untersuchungs-Modellen und in einem umfassenden Erkenntnisgewinn des Fügens von Papierwerkstoff-Komponenten.

Hierzu wurde eine zielorientierte Literaturrecherche, eine grundlegende Konzeptentwicklung und eine experimentelle Untersuchung ausgewählter Konzepte und Füge Technologien anhand von Modellbauten und deren Evaluierung durchgeführt.

4.1. Literaturrecherche

Im Zuge der Literaturrecherche hat das Projektteam Fachbücher, Produktinformationen und Produktdatenblätter, Normen, Patente und Forschungsberichte mit thematischem Bezug recherchiert und analysiert um den Stand der Technik abzuleiten. Die Auswahl erfolgte durch eine qualitative Einschätzung der Relevanz zum Forschungsgegenstand wie auch durch Stichwörter. Fachbücher und Normen wurden über die Bibliothek der *TU Graz* bezogen, Patente mit thematischer Relevanz über *Espacenet (Europäische Patentorganisation)* und *Google Patents*. Produktinformationen und Produktdatenblätter konnten durch Internet-Recherchen aufgefunden und von Händlern oder Herstellern bezogen werden.

4.2. Konzeptentwicklung

Die Konzeptentwicklung bildet mit den Modellbauten den Kern des Projektes. Das Ziel bestand darin, Konzepte zu standardisierten und rückbaubaren Innenausbausystemen aus Papierwerkstoff-Komponenten, im Bereich von nicht tragenden Wandsystemen, Deckensystemen und Bodensystemen zu entwickeln. Ausgangspunkt stellen auf bautechnischer und baukonstruktiver Ebene bestehende Innenausbausysteme wie auch Karton- / Papierwerkstoff-Produkte dar.

Die Entwicklung der Konzepte erfolgte anhand architektonischer und baukonstruktiver Entwurfsmethoden mit dem Ergebnis händischer Skizzen, digitaler CAD-Zeichnungen (erstellt mit *AutoCAD* von *Autodesk* und *Rhinoceros 3D* von *Robert McNeel & Associates*) und bautechnischer Beschreibungen. Dies erfolgte in Einzelarbeit mit darauffolgenden Analysen im Rahmen von Besprechungen in Kleingruppen. Zudem wurden Konzept-Workshops abgehalten, bei welchen bestehende Konzepte in größerer Gruppe besprochen, analysiert und detailliert, sowie mittels Brainstormings weitere Konzepte entwickelt. Zur Detaillierung und Konkretisierung wurden zu

ausgewählten Konzepten zudem spezifische Komponenten und Anwendungen recherchiert und analysiert.

4.3. Modellbauten

Der Modellbau wurde Großteils parallel zur Konzeptentwicklung durchgeführt. Dadurch war es möglich, Erkenntnisse wechselseitig einzuarbeiten und potentielle Problemstellen von Konzepten direkt und am Modell sichtbar zu machen. Das Ziel des Modellbaus bestand darin, ausgewählte Konzepte in 1:1 Modellen zu untersuchen und zu überprüfen, um empirische Erfahrungswerte über die Herstellung und den Aufbau der Konzepte, über die eingesetzten Komponenten, wie auch über die Funktionalität der Fügemethoden und des Systems als Innenausbauanwendung abzuleiten. Der Modellbau umfasste u.a. nachfolgende Arbeiten:

- Die Definition konzept- und modellspezifischer Parameter. Hierzu wurden das jeweilige Konzept und die Bedingungen des Modellbaus (z.B. erforderliches Werkzeug oder angestrebte Bearbeitungsweise des Kartons oder Papierwerkstoffs) analysiert. Zudem wurden durch den Modellbau selbst Erkenntnisse gewonnen und bei Folgemodellen angewandt. Diese Parameter bestehen u.a. in Abmessungen der einzelnen Elemente, in den verwendeten Werkstoffen, in Kartonstärke(n), in Rastergröße(n), in der Position der Fügepunkte und im Verbindungsmittel und angewandten Fügemethoden.
- Die Herstellung von CAD-Zeichnungen mithilfe eines CAD-Programmes (*AutoCAD* von *Autodesk*, *Rhinoceros 3D* von *Robert McNeel & Associates*) zur Steuerung eines Schneideplotters. Dies umfasst verschiedene Varianten von Konzepten und unterschiedliche (erweiterbare) Konzept-Ausschnitte im Maßstab 1:1.
- Die maschinelle und händische Bearbeitung von Karton- oder Papierwerkstoff-Elementen mittels Schneideplotter, Cutter-Messer, Bohrmaschine, mit Zangen und mit einer Japansäge.
- Den Zusammenbau der Einzelkomponenten.
- Die Untersuchung unterschiedlicher Rastergrößen, Kartonstärken, Schlitzbreiten und -längen, wie auch Möglichkeiten einer Aussteifung.
- Die Untersuchung unterschiedlicher Verbindungsmittel und Fügemethoden. Diese umfassen Schnüren (Stahlseil), Klemmen/Spannen (Hohlraumspreizdübel, Gipskartondübel (Kunststoff, Metall), Klappdübel), Einhängen (Hakenschraube und Ösen aus Metall), wie auch Kombinationen mit Zusatzmitteln wie einer Gewindestange und Federmuttern.
- Die Kombination unterschiedlicher Konzepte / Ansätze in einem Modell und die Übertragung von Erkenntnissen zwischen Modellbauten.

4.4. Evaluierung der Modellbauten

Die Evaluierung der Modelle erfolgte auf qualitativer Ebene und überwiegend parallel zum Modellbau anhand der fortlaufend gewonnenen Erkenntnisse. Hierzu wurden einzelne Schritte und fertig gestellte Modelle analysiert, diese Analyse schriftlich festgehalten und in Kleingruppen besprochen. Bei diesen Besprechungen konnten zusätzliche Stärken, Schwächen und Potentiale für eine Weiterentwicklung festgestellt werden. Unterstützend kam die Nutzwertanalyse zum Einsatz, indem Evaluierungskriterien bestimmt und gewichtet, Alternativen beurteilt und abschließend das Ergebnis berechnet und interpretiert wurde. Die Evaluierungskriterien bestanden in:

- Materialhomogenität: einfaches Recycling der Systemkomponenten, effektiver Materialeinsatz
- Systematisierung: breite Anwendung, schnelle und einfache Montage (auch durch Laien), Möglichkeit einer Vorfertigung der Systemkomponenten
- Rückbaubarkeit: einfache lösbare Elementverbindungen für sorten- oder komponentenreine Trennung und Recycling
- Wiederverwendbarkeit: mögliche Wiederverwendung des ganzen Systems oder einzelner Systemkomponenten (keine Beschädigung / geringe Abnutzung der Einzelteile)
- Stabilität und Tragfähigkeit: Aufnahme der Eigenlast wie auch geringfügiger Beanspruchungen
- Innovationsgehalt: Neuheit verglichen mit dem Stand der Technik und Potential für weiterführende Forschungsschritte

5 Ergebnisse

Das Programm „Stadt der Zukunft“ fördert die Erforschung und stetige Weiterentwicklung von Technologien und deren Systemintegration mit dem Ziel nachhaltiger und damit zukunftsfähiger Städte, Quartiere und Gebäude. Einen wesentlichen Schwerpunkt bildet hierbei die Ressourceneffizienz und die Verknappung von endlichen Ressourcen infolge der Dynamik urbaner Räume und zukünftigen Anforderungen an Städte und Gebäude aufgrund des Klimawandels.

In Kontext dieser Ziele und zur Erreichung einer Kreislaufwirtschaft strebt das Projekt „Joining Cards“ die Etablierung von Papierwerkstoffen als nachwachsender und mehrfach recyclebarer Baustoff für Innenausbausysteme an. Als dahingehend besonders wesentlicher Untersuchungsgegenstand wurde das (rückbaufähige) Fügen, oder unterschiedliche Methodiken des Verbindens von Papierwerkstoff-Komponenten, wie auch deren Umsetzung und Überprüfung in 1:1 Modellen untersucht.

Als Projektergebnis wurde der relevante Stand der Technik erhoben. Dies umfasst herkömmliche Innenausbausysteme, Papierwerkstoff-Produkte, Verbindungstechniken für Papierwerkstoffe und Innenausbausysteme aus/mit Papierwerkstoffen.

Als weiteres Projektergebnis wurden mehrere grundlegende Innenausbau-Konzepte in unterschiedlichen Detaillierungsgraden entwickelt. Dies umschließt Konzepte zu nicht tragenden Innenwandssystemen, zu Unterdeckensystemen, zu Fußbodensystemen, sowie zu Einzelkomponenten (z.B. Stütze, Beplankung). Zudem wurden ausgewählte Konzepte anhand des zugrunde liegenden Fügeprinzips im Modellbau umgesetzt. Stellvertretend werden nachfolgend zwei Konzepte, welche ein Innenausbausystem bilden, anhand des konstruktiven Aufbaus und anhand einer Übersetzung in ein Großmodell beschrieben und dargestellt. Hierbei ist anzumerken, dass infolge der Anwendung von Werkstoffen welche (noch) nicht für das Bauwesen konstruiert sind, weiterhin Unklarheiten hinsichtlich der Eigenschaften und des Verhaltens als Einzelkomponenten und im Innenausbausystem bestehen. Diese Unklarheiten sind in weiterführenden Forschungsarbeiten zu thematisieren.

5.1. Ergebnisse der Erhebung zum Stand der Technik

5.1.1. Innenausbausysteme

Nichttragende Innenwandsysteme

Die Hauptaufgabe nichttragender Innenwände besteht im Raumabschluss, der Aufnahme geringfügiger Lasten und der Möglichkeit zur Führung von Installationskanälen und -leitungen. Im Gegensatz zu einer Trennwand, welche einen Abschluss von Wohn- und Betriebseinheiten darstellt, befindet sich die nichttragende Innenwand innerhalb dieser Einheiten. Ausgewählte Anforderungen an nicht tragende Innenwände (innerhalb von Brandabschnitten) werden nachfolgend detaillierter angeführt.

Anforderungen

Mechanische Anforderungen

Ein nichttragendes Innenwandssystem muss gemäß *ÖNORM B 3415* (Planung und Ausführung von Trockenbauarbeiten) in der Lage sein, folgende Einflüsse aufzunehmen:⁹

- Eigenlast der Konstruktion (alle Komponenten des Wandsystems)
- Konsollasten (Bücherregale, Waschbecken, etc.)
- Dynamische Belastungen (anhand Ausbildung besonderer konstruktiver Maßnahmen)
- Bewegungen angrenzender Bauteile
- Potentielle Windlasten

Anforderungen an Dauerhaftigkeit und Brauchbarkeit

Entsprechend der *ETAG 003* (Leitlinie für die europäische technische Zulassung) ist Robustheit und Steifigkeit gegenüber weiteren Einflüssen gefordert. Dazu gehören u.a. der Widerstand gegen das Stürzen von Personen gegen die Wand, gegen Luftdruckunterschiede, gegenüber einer größeren Anzahl von Personen die sich gegen die Wand lehnen, gegenüber Möblierung (z.B. mobile Gegenstände oder Putzutensilien) die gegen die Wand geschoben werden und gegen das Zuschlagen von Türen.¹⁰

Anforderungen an Oberflächenbeschaffenheit

Im Kontext der Oberfläche legt die *ÖNORM B 3415* (Planung und Ausführung von Trockenbauarbeiten) im Falle keiner sonstigen Vereinbarung eine Standardverspachtelung (Stufe 2) fest. Diese Stufe beschreibt einen Fugenverschluss und einen oberflächenbündigen Verschluss für einen ansatzlosen Übergang. Befindet sich die finale Wandoberfläche unter Verkleidungen gilt Stufe 1 (Fugenverschluss für die Erfüllung bauphysikalischen Anforderungen). Bei Stufe 3 gilt (zusätzlich zu Stufe 1 und 2) eine vollflächige Verspachtelung, bei Stufe 4 (zusätzlich zu Stufe 1, 2 und 3) eine vollflächige Beschichtung mit z.B. Putz. Bei Stufe 3 und 4 sind nachfolgende Ebenheitstoleranzen gemäß *ÖNORM DIN 18202* zu vereinbaren (siehe Tabelle 1).¹¹

⁹ Vgl. Austrian Standards International 2019, 16-31.

¹⁰ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) 2012, 21.

¹¹ Vgl. Austrian Standards International 2019, 8-47

Tabelle 1: Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen (Auszug)¹²

	Stichmaße als Grenzwerte in mm bei Messpunktständen in m				
	bis 0,1	1	4	10	15
Flächenfertige Wände und Unterseiten von Decken, z. B. geputzte Wände, Wandbekleidungen, untergehängte Decken	3	5	10	20	25
Erhöhte Anforderungen	2	3	8	15	20

Brandschutzanforderungen

Nicht tragende Innenwände sind in der Regel innerhalb eines Brandabschnitts situiert, weshalb grundsätzlich keine brandschutztechnischen Anforderungen bestehen. Angeführt werden kann, dass die *ETAG 003*¹³ auf die *ÖNORM EN 13501-1* (Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten) verweist, in welcher unterschiedliche Brandschutzklassen für Bauprodukte angegeben werden. Diese Klassen reichen von A1 (Temperaturanstieg ≤ 30 °C, Massenverlust ≤ 50 %, keine anhaltende Entflammung, Brutto-Verbrennungswärme $\leq 2,0$ MJ/kg und $\leq 2,0$ MJ/kg und $\leq 1,4$ MJ/m² und $\leq 2,0$ MJ/kg) bis zu Klasse E (Flammenausbreitung ≤ 150 mm innerhalb von 20 s, brennendes Abtropfen/Abfallen).¹⁴ Hierbei müssen auch Anschlüsse, Leitungsdurchführungen und Einbauten wie Türen und andere Öffnungen beachtet werden.

Schallschutzanforderungen

Die Schallschutztechnischen Anforderungen, welche hinsichtlich Luftschallschutz an nicht tragende Innenwände gestellt werden, sind in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgelistet und wurden der *OIB-Richtlinie 5* (Schallschutz) entnommen. Die Tabelle beschreibt den erforderlichen Luftschallschutz zwischen unterschiedlichen Räumen, z.B. zwischen Aufenthaltsräumen und allgemein zugänglichen Räumen. Darüber hinaus werden die Schallschutzwerte ohne räumliche Öffnung oder Verbindung (z.B. Fenster oder Tür) und mit Verbindung zwischen diesen Räumen angegeben.

¹² Vgl. Austrian Standards International 2022, 13.

¹³ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) 2012, 18.

¹⁴ Vgl. Austrian Standards International 2020, 43.

Tabelle 2: Mindestforderliche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ in Gebäuden (Auszug)¹⁵

zu	aus	$D_{nT,w}$ [dB] ohne / mit Verbindung der Räume durch eine Türe oder durch ein sonstiges öffnbares Bauteil
Aufenthaltsräumen in Wohngebäuden	allgemein zugänglichen Treppenhäusern, Gängen, Kellerbereichen u. dgl.	55 / 50
<ul style="list-style-type: none"> - Unterrichtsräumen in Bildungseinrichtungen (z.B. Klassenzimmer und Gruppenräume in Kindergärten) - Hotel- und Krankenzimmern - Wohnräumen in Heimen - Aufenthaltsräume in Bürogebäuden - Aufenthaltsräumen in vergleichbaren Gebäuden 	allgemein zugänglichen Treppenhäusern, Gängen, Kellerbereichen u. dgl.	50 / 35
akustisch abgeschlossenen Nebenräumen in Wohngebäuden	allgemein zugänglichen Treppenhäusern, Gängen, Kellerbereichen u. dgl.	50 / 35
akustisch abgeschlossenen Nebenräumen in <ul style="list-style-type: none"> - Bildungseinrichtungen, - Hotels, - Krankenhäusern, - Wohnheimen, - Bürogebäuden - vergleichbaren Gebäuden. 	allgemein zugänglichen Treppenhäusern, Gängen, Kellerbereichen u. dgl.	45 / 30

Zur Vermeidung der Schallausbreitung zwischen Räumen kommen je nach Baustoff zwei unterschiedliche konstruktive Strategien zum Einsatz. In der Massivbauweise werden trennende Bauteile mit einer hohen flächenbezogenen Masse ausgeführt. Die hohe Masse lässt sich verhältnismäßig schwer durch Luftschall in Schwingung versetzten und bremst somit die Schallausbreitung.

¹⁵ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) a 2023, 4.

Bei leichteren Baustoffen setzt man hingegen auf die kombinierte Schwingungsanregung mehrerer Schalen, die parallel zu einander gesetzt sind, ein so genanntes Masse-Feder-System. Ziel ist es auch hier, die Schallenergie zu absorbieren und zu reduzieren, indem die schwingenden Bewegungen der Schallwellen gedämpft werden. Ein einfacher Wandaufbau nach entsprechendem Prinzip besteht aus drei Schichten. Auf der einen Seite eine „schwingende Masse“ bspw. Gipskartonplatte, dazwischen eine „federnde Zwischenschicht“ bspw. weiche Dämmung und wiederum auf der anderen Seite eine „schwingende Masse“ bspw. Gipskartonplatte.

Das Masse-Feder-System kommt bereits bei etablierten Trockenbau-Innenwandsystemen zur Anwendung und schafft es dabei im Vergleich zur Massivbauweise, dieselben Schallschutzwerte bei einem Bruchteil des flächenbezogenen Gewichts zu erreichen.

Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

Gemäß *ETAG 003* (Leitlinie für die europäische technische Zulassung) ist bei Wandsystemen zu beachten, dass es beim Aufbau (und Abbau) zu keiner Freisetzung von giftigen Gasen, gefährlichen Partikeln oder Gasen in der Luft kommt. Wie auch zu keiner Emission gefährlicher Strahlung oder der Verschmutzung oder Vergiftung des Wassers oder des Bodens. Zudem darf keine mangelhafte Beseitigung von Abwässern, Rauch, festen oder flüssigen Abfällen erfolgen und müssen Schäden oder Gefahren infolge von Feuchtigkeit in oder auf Teilen des Bauwerks vermieden werden. Darüber hinaus müssen die Wandsysteme selbst so konstruiert sein, dass es zu keiner Freisetzung gefährlicher Stoffe kommt und keine solche Stoffe enthalten sind. Außerdem darf es zu keinem Kondensat an der Oberfläche oder im Inneren der Wand kommen.¹⁶

Nutzungssicherheit (gegenüber Personen)

Gemäß *ETAG 003* sollen Wandsysteme eine passive Sicherheitsfunktion erfüllen. Besondere Aufmerksamkeit gilt daher scharfen oder schneidenden Kanten, Fugen, Ecken, Verkleidungsdetails aber auch der Geometrie und Position (Nähe zu Fenstern, Verkehrswegen usw.) und der Beschaffenheit der Oberflächen.¹⁷

Gesetze und Normen

Folgende Normen können für nicht tragende Innenwände relevant sein:

- *ÖNORM B 3415* Planung und Ausführung von Trockenbauarbeiten
- *ÖNORM B 2212* Trockenbauarbeiten – Werkvertragsnorm
- *ÖNORM B 3410* Gipsplatten für Trockenbausysteme (Gipskartonplatten) - Arten, Anforderungen und Prüfungen
- *ÖNORM B 3430-1* Planung und Ausführung von Maler- und Beschichtungsarbeiten
- *ÖNORM EN 14496* Kleber auf Gipsbasis für Verbundplatten zur Wärme- und Schalldämmung und Gipsplatten - Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren
- *ÖNORM EN 13963* Materialien für das Verspachteln von Gipsplattenfugen - Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren
- *ÖNORM EN 13501-1* Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
- *ÖNORM EN 1991-1-1* Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1: Allgemeine Einwirkungen

¹⁶ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) 2012, 18-19.

¹⁷ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) 2012 19-20.

- *ÖNORM EN 13162* Wärmedämmung für Gebäude - werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW)
- *ÖNORM B 8115* Schallschutz und Raumakustik im Hochbau
- *ÖNORM B 8110* Wärmeschutz im Hochbau
- *OIB-RL 2* Brandschutz
- *OIB-RL 5* Schallschutz
- *OIB-RL 6* Energieeinsparung und Wärmeschutz

Bestehende nichttragende Innenwandsysteme

Umsetzbare Innenwände

Mobile Wandsysteme lassen sich grundsätzlich in Schalen- und Monoblockwände (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3) unterteilen. Durch die aus der Konstruktion folgende Mobilität und Flexibilität wird eine breite Palette an Raumbildungen, Oberflächengestaltungen und Ausstattungsmöglichkeiten geboten. Diese reicht von einfachen Glastrennwänden bis hin zu vollwertigen Raumtrennwänden. Die Wände können je nach Bedarf und Raumkonfiguration ausgetauscht, erweitert oder verschoben werden, wobei alle Einzelteile in der Regel wiederverwendet werden könnten. Ein Nachteil dieser Wandsysteme ist ihr vergleichsweise hoher Anschaffungspreis im Vergleich zu herkömmlichen Gipskartontrennwänden. Aktuell werden umsetzbare Innenwände überwiegend im Bürobau eingesetzt.¹⁸

Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Schalenwand¹⁹

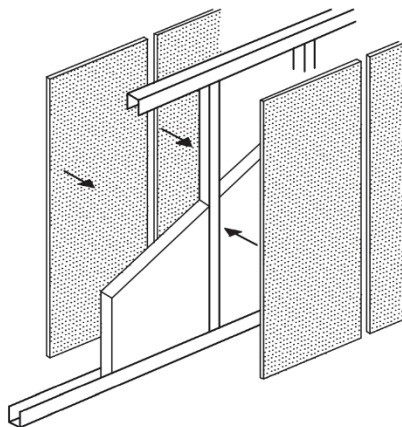
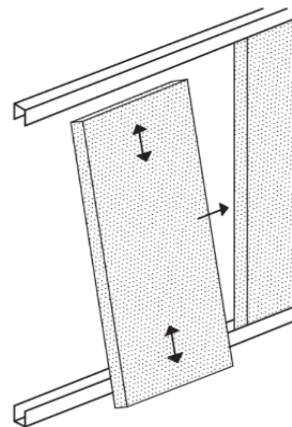


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Monoblockwand²⁰



Bewegliche Innenwände

Bewegliche Trennwandsysteme bestehen aus großflächig verschiebbaren Wandelementen. Durch ihre Flexibilität wird eine variable Raumnutzung und werden unterschiedliche Abläufe innerhalb eines Raumes, ohne dass sich diese Abläufe gegenseitig stören, ermöglicht.²¹ Unterteilen lassen sich bewegliche Innenwände in die nachfolgend auf den Abbildung 3 bis Abbildung 6 dargestellten Faltwände, Harmonikawände, bewegliche Elementwände und Sonderkonstruktionen.

¹⁸ Vgl. Werner 2016, 72.

¹⁹ Hestermann/Rongen 2015, 675.

²⁰ Hestermann/Rongen 2015, 675.

²¹ Vgl. Hestermann/Rongen 2013, 591.

Abbildung 4: Schematische Darstellung einer faltwand mit exzentrischer Aufhängung²²

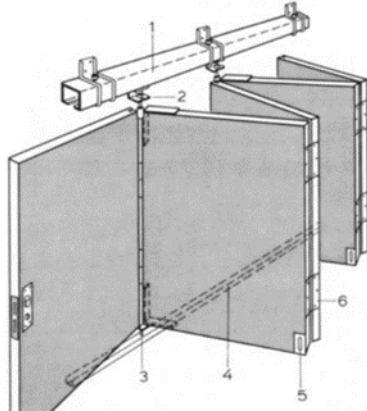


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Harmonikawand / Harmonikatür²³

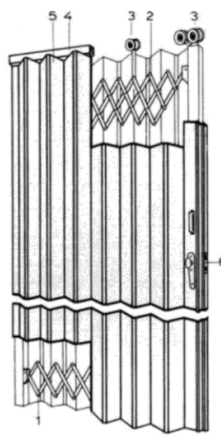
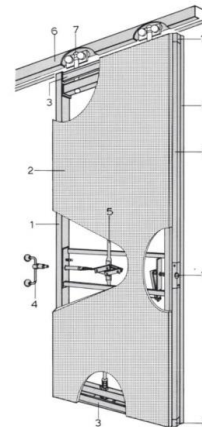


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines beweglichen Wandelements²⁴



Ständerwände

Ständerwandsysteme bestehen aus Stahlblechprofilen (siehe Abbildung 7) oder Holzunterkonstruktionen (siehe Abbildung 8) in unterschiedlicher Variation, welche je nach Anforderung und gewünschten Eigenschaften mit verschiedenen Dämmmaterialien und Beplankungsvarianten kombiniert werden. Diese Trockenbauwände sind einfach und kostengünstig zu montieren, wobei eine Metall-Unterkonstruktion mit Gipskartonbeplankung die häufigste Variante darstellt.²⁵

Ständerwände bestehen in der Regel aus folgenden Komponenten:

- Beplankung
- Ständerwerk
- Dämmung
- Zusatz- u. Verbindungsmittel
- Verbrauchsmaterial oder Oberflächenbeschichtung

²² Hestermann/Rongen 2013, 598.

²³ Hestermann/Rongen 2013, 596.

²⁴ Hestermann/Rongen 2013, 602.

²⁵ Vgl. Herrmann/Kaiser/Katz 2014, 80.

Abbildung 7: Schematische Darstellung einer Metallständerwand (1-fach beplankt)²⁶

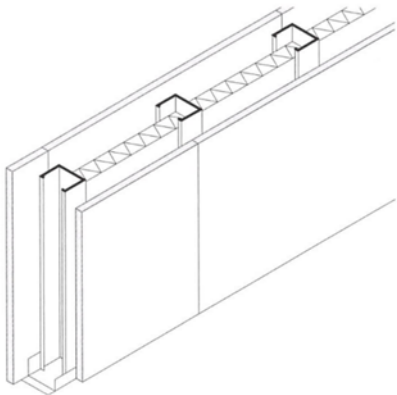
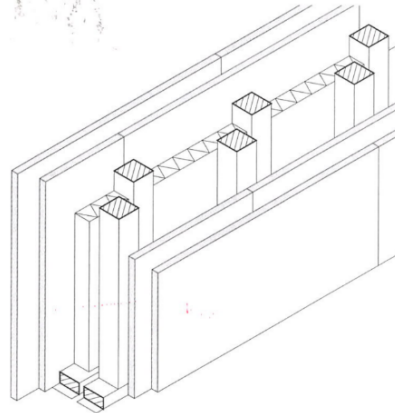


Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Holzständerwand (2-fach beplankt)²⁷



Fußbodensysteme

Fußbodensysteme (innerhalb von Brandabschnitten) bilden den unteren Raumabschluss und dienen dazu, eine Oberfläche je nach Nutzung in der gewünschten Höhe herzustellen, wie auch dazu, einen Raum für technische Gebäudeausrüstung (TGA) zu schaffen.

Anforderungen

Grundsätzlich werden im Kontext von Fußbodensystem Anforderungen bezüglich des Wärme- und Brandschutzes durch die darunter liegende Rohdecke erfüllt. Sollte dies nicht der Fall oder nicht möglich sein, ist es erforderlich, dass das Fußbodensystem diese Anforderungen erfüllt oder unterstützt. Dementsprechende ausgewählte Anforderungen werden nachfolgend angeführt.

Anforderungen an Wärmeschutz

Dämmwerte gegenüber unterschiedlichen Räumen, bei welchen das Fußbodensystem unterstützen kann, können aus der *OIB Richtlinie 6* (Energieeinsparung und Wärmeschutz) entnommen werden und sind nachfolgend in nachfolgender Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Wärmedurchgangskoeffizienten wärmeübertragender Bauteile beim Neubau (Gebäudekategorie 1 bis 12) (Auszug)²⁸

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]
Decken und Dachschrägen jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	0,20
Decken gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
Decken gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,90
Decken innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
Decken über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks)	0,20
Decken gegen Garagen	0,30

²⁶ Tichelmann/Pfau 2007, 22.

²⁷ Tichelmann/Pfau 2007, 23.

²⁸ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) b 2023, 6.

Brandschutzanforderungen

Für den Brandschutz kann die *OIB-Richtlinie 2* (Brandschutz) von Relevanz sein. Diese gibt nachfolgende in Tabelle 4 dargestellten Werte je Gebäudeklasse und für z.B. brandabschnittbildende Decken an, welche durch z.B. die Deckenkonstruktion (Rohdecke und Fußboden- sowie Deckenaufbauten) erfüllt werden müssen. Wobei R als die Tragfähigkeit, E als Raumabschluss und I als Wärmedämmung,²⁹ definiert ist. Das Kürzel A2 wiederum beschreibt ein nicht brennbares Material welches sich im Brandfall durch einen Temperaturanstieg ≤ 50 °C, einen Massenverlust ≤ 50 % und eine Entflammung ≤ 20 s auszeichnet.³⁰

Tabelle 4: Allgemeine Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen (Auszug)³¹

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5	
					≤ 6 ober- irdische Geschoße	> 6 ober- irdische Geschoße
sonstige brandabschnittbildende Wände oder Decken	-	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2
Trenndecken über dem obersten Geschoß	-	REI 30	REI 30	REI 60	REI 60	REI 60
Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebs-einheiten in oberirdischen Geschoßen	R 30	R 30	R 30	R 30	R 60	R 90 und A2

Schallschutzanforderungen

Die Schallschutztechnischen Anforderungen welche hinsichtlich Trittschall an Fußbodensysteme gestellt werden, sind in Tabelle 5 aufgelistet und wurden der *OIB-Richtlinie 5* (Schallschutz) entnommen. Die Tabelle beschreibt den höchsten zulässigen Trittschallpegel zwischen unterschiedlichen Räumen, z.B. zwischen Aufenthaltsräumen und allgemein zugänglichen Räumen. Zudem wird zwischen einer Verbindung und keiner Verbindung zwischen diesen Räumen unterschieden.

²⁹ Vgl. Austrian Standards International 2016, 16-17.

³⁰ Vgl. Austrian Standards International 2020, 43.

³¹ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) c 2023, 24.

Tabelle 5: Höchst zulässiger bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ in Gebäuden (Auszug)³²

zu	aus	$L'_{nT,w}$ [dB] ohne / mit Verbindung der Räume durch eine Türe oder sonstiges offenbares Bauteil
Aufenthaltsräumen	allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Laubengänge)	48 / 50
Nebenzimmern	allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Laubengänge)	53 / 55

Gesetze und Normen

Folgende Normen und Richtlinien können für Fußbodensysteme relevant sein:

- *TRVB* Technischen Richtlinien Vorbeugender Brandschutz
- *ÖNORM EN 12825* Doppelböden
- *ÖNORM EN 13213* Hohlböden
- *ÖNORM B 3415* Planung und Ausführung von Trockenbauarbeiten
- *ÖNORM B 2212* Trockenbauarbeiten - Werkvertragsnorm
- *ÖNORM B 2212* Trockenbauarbeiten - Werkvertragsnorm
- *ÖNORM EN 13501* Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
- *ÖNORM EN 1991-1-1* Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1:
Allgemeine Einwirkungen
- *ÖNORM B 8115* Schallschutz und Raumakustik im Hochbau
- *ÖNORM B 8110* Wärmeschutz im Hochbau
- *OIB-RL 2* Brandschutz
- *OIB-RL 5* Schallschutz
- *OIB-RL 6* Energieeinsparung und Wärmeschutz

Bestehende Fußbodensysteme

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Fußbodensystemen: Schichtböden und Systemböden. Schichtböden sind klassische Fußbodenaufbauten, welche in nahezu allen Bereichen des Bauwesens eingesetzt werden. Systemböden bezeichnen Hohlböden und Doppelböden, die durch ihre Leerräume zwischen bestimmten Schichten gekennzeichnet sind. Diese Leerräume werden oft für die Installation von TGA-Leitungen genutzt. Systemböden kommen häufig in Bürobauten zum Einsatz.

³² Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) a 2023, 5.

Schichtböden

Ein klassischer Aufbau eines Schichtbodens stellt sich wie folgt dar:

- Schüttung (3 - 10 cm)
Da die Rohdecke meist nicht eben ist, bedarf es einer ausgleichenden Schüttung, die einerseits bauliche Anforderungen für Fußböden erfüllt und andererseits den Boden für darüberliegende Schichten begradigt. In dieser Schicht werden häufig TGA-Leitungen verlegt. Zudem kann die Schüttung eine gewünschte Aufbauhöhe ermöglichen (z.B. für barrierefreie Übergänge zwischen Innenraum und Loggia).
- Trittschalldämmung (~ 3 cm)
Diese Schicht dient dazu, die Trittschallübertragung auf die Rohdecke und somit in benachbarte Räume zu verringern.
- Randdämmstreifen (1cm)
Der Randdämmstreifen ermöglicht gemeinsam mit der horizontal verlegten Trittschalldämmung eine schwimmende Fußbodenkonstruktion. Indem dieser Dämmstreifen die horizontalen begehbaren Bauteile von den vertikalen Bauteilen entkoppelt.
- Trennschicht (Folie)
Die Trennschicht (meist in Form einer PE-Folie) wird auf der Trittschalldämmung positioniert und dient als Rieselschutz für den nassen Estrich, damit dieser nicht in die Unterkonstruktion rinnen und diese beschädigen kann. Außerdem fungiert sie als Entkopplung der Bauteile, damit sich diese getrennt voneinander bewegen (schwinden und quellen) können.
- Estrich (5 - 8 cm)
Estriche haben die Aufgabe, die einwirkende (Nutz-) Last gleichmäßig auf die Trittschalldämmung und die darunterliegenden Schichten zu verteilen und eine ebene Oberfläche für den Bodenbelag bereitzustellen. Darüber hinaus kann der Estrich dazu genutzt werden, eine gewünschte Aufbauhöhe zu erreichen.
- Bodenbelag
Als Bodenbelag können, je nach Anforderung und Funktion der Räume unterschiedliche Materialien (z.B. Holz-, Kunststoff-, Keramik- und Steinbeläge) verwendet werden.

Systemböden

Hohlraumboden

Bei einem Hohlraumboden handelt es sich um einen Fußbodenaufbau, welcher durch das Aufbringen von Estrich auf einer speziellen und höher platzierten Unterlage entsteht (siehe Abbildung 9). Der resultierende Hohlraum zwischen Deckenplatte und Estrich ermöglicht die Leitungsführung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA). Die Zugänglichkeit wird mittels Lochbohrungen oder Revisionsöffnungen gewährleistet. Eine Unterscheidung betrifft monolithische und mehrschichtige Ausführungen.³³

³³ Vgl. Moro 2019, 874.

Doppelboden

Der Doppelboden ist ein Bodensystem, welches aus Platten und einer aufgeständerten Unterkonstruktion aus Stützen oder Rasterstäben besteht (siehe Abbildung 10). Es wird somit ein Hohlraum geschaffen, welcher erneut für die Leitungsführung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) genutzt werden kann. Da die Bodenplatten lose verlegt sind und jederzeit entfernt werden können, ist ein hoher Grad an Zugänglichkeit gegeben. Diese Böden erfordern einen höheren technischen Aufwand und werden vor allem in hochinstallierten Gebäuden eingesetzt, in welchen regelmäßig Revisions- und Wartungsöffnungen benötigt werden.³⁴

Abbildung 9: Schematische Darstellung eines Hohlraumbodens³⁵

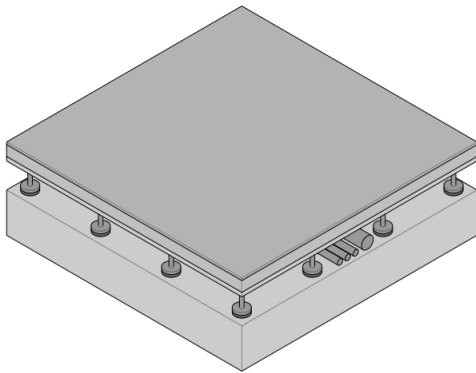
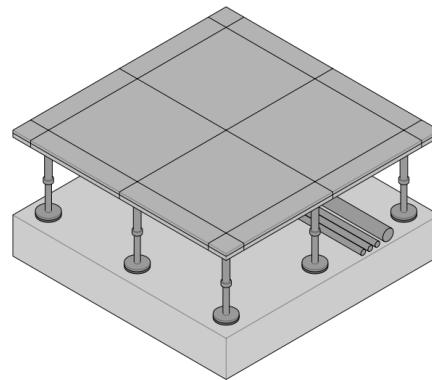


Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Doppelbodens³⁶



Unterdeckensysteme

Unterdeckensysteme (innerhalb von Brandabschnitten) verkleiden die Untersicht statisch wirksamer Geschossplatten aus ästhetischen oder aufgrund technischer Anforderungen.

Anforderungen

Auf ästhetischer Ebene ist es möglich, z.B. niedrige und somit möglicherweise gemütliche Räume zu schaffen. Darüber hinaus können bestimmte Bauteile verkleidet oder inszeniert werden. Auf technischer Ebene kann einer Installationsebene gefordert sein, um z.B. Lüftungskanäle oder Einbauleuchten zu integrieren. Oder es wird durch Unterdeckensysteme die Schalldämmung bzw. die Raumakustik verbessert oder der Wärmedurchlasswiderstand erhöht.³⁷

Mögliche weiterführende Anforderungen, welche z.B. hinsichtlich Wärmeschutz oder Brandschutz bestehen können, werden durch die Rohdecke erfüllt. Sollte die abgehängte Decke hierzu beitragen müssen, wird auf die vorangehenden Kapitel verwiesen.

Gesetze und Normen

Folgende Normen und Richtlinien können für Unterdecken relevant sein:

- *ÖNORM EN 13964* Unterdecken. Anforderungen und Prüfverfahren
- *ÖNORM B 3415* Planung und Ausführung von Trockenbauarbeiten
- *ÖNORM B 2212* Trockenbauarbeiten - Werkvertragsnorm

³⁴ Vgl. Moro 2019, 876.

³⁵ Moro 2019, 874.

³⁶ Moro 2019, 876.

³⁷ Vgl. Nutsch 2015, 359.

- *ÖNORM B 2212* Trockenbauarbeiten - Werkvertragsnorm
- *ÖNORM EN 13501* Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
- *ÖNORM EN 1991-1-1* Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1: Allgemeine Einwirkungen
- *ÖNORM B 8115* Schallschutz und Raumakustik im Hochbau
- *ÖNORM B 8110* Wärmeschutz im Hochbau
- *OIB-RL 2* Brandschutz
- *OIB-RL 5* Schallschutz
- *OIB-RL 6* Energieeinsparung und Wärmeschutz

Bestehende Unterdeckensysteme

Konstruktiv bestehen Unterdeckensysteme aus einer Unterkonstruktion und einer Deckschale (oder Decklage). Die Unterkonstruktion wird direkt an der Rohdecke befestigt (Deckenverkleidung oder Deckenbekleidung) oder von der Rohdecke abgehängt (abgehängte Deckenverkleidung oder Unterdecke).³⁸ Die einzelnen Komponenten von Unterdeckensystemen werden nachfolgend näher beschrieben.

- **Unterkonstruktion**
Die Unterkonstruktion besteht in der Regel aus Komponenten aus Holz oder Metall. Zur Befestigung an der Rohdecke werden Dübel und / oder Schrauben eingesetzt. Generell ist hierbei eine ausreichend hohe Zahl an Verankerungspunkten in entsprechender Qualität zu achten. Darüber hinaus müssen z.B. schwere Beleuchtungskörper direkt an der Rohdecke befestigt werden. Bei abgehängten Systemen kommen Abhänger in Form von Noniusabhänger, Spannfederabhänger, Schlitzbandabhänger und überlangen (Stell-) Schrauben zur Anwendung.³⁹
- **Deckschale (Decklage)**
Die Decklage wird an der Unterkonstruktion befestigt. Hierbei muss dafür gesorgt werden, dass sich diese durch z.B. Winddruck oder Windsog (geöffnete Türen oder Fenster) oder sonstige (leichte) Einwirkungen nicht lösen. Darüber hinaus können nicht tragende Innenwände an der Decklage befestigt werden. Daraus resultierende Einwirkungen müssen aufgenommen und abgeleitet werden.⁴⁰ Die Befestigung kann durch Schrauben oder durch einen Formschluss erfolgen (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12).

Nachfolgende Abbildung 11 zeigt als Beispiel ein Detail einer Unterdecke aus Gipskartonplatten mit Metallunterkonstruktion, welche aus den Komponenten Abhänger Oberteil (1), Abhänger Bügel (2), Ankerwinkel oder Kreuzverbinder (3), Grundprofil (4), Gipskartonplatten in zwei Lagen (5), Schnellbauschraube (6), Tragprofil (7) und Sicherungssplint (8) besteht.

³⁸ Vgl. Nutsch 2015, 359.

³⁹ Vgl. Nutsch 2015, 360-364.

⁴⁰ Vgl. Nutsch 2015, 370.

Abbildung 11: Unterdecke aus Gipskartonplatten mit Metallunterkonstruktion, Abhängung durch justierbare Noniushänger (Stirnkante) (Fabrikat Knauf®)⁴¹

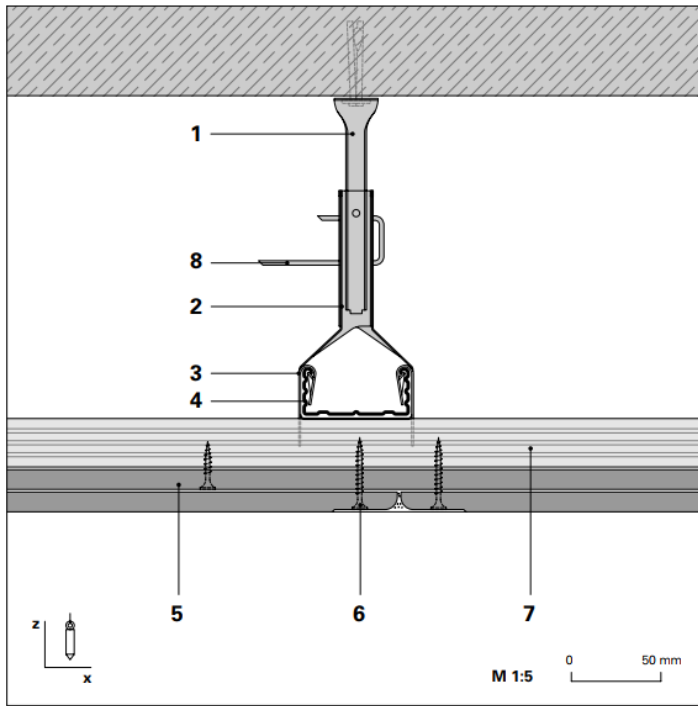
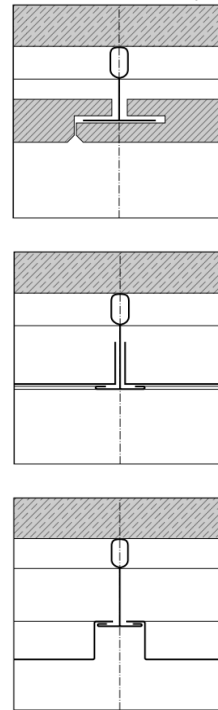


Abbildung 12: Deckenplattenstoß gefalzt und genutet (oben), Deckenelementstoß in Unterkonstruktion eingelegt (Mitte), Deckenelementstoß in Unterkonstruktion eingelegt mit Stufenfalz (unten)⁴²



5.1.2. Papierwerkstoff-Produkte

Grundsätzlich sind am Markt Papierwerkstoff-Produkte als Rollenware oder in Form zugeschnittener Elemente verfügbar. Die maximalen Größen werden durch die Produktion bestimmt. Im Kontext des Bauwesens ist das Potential der Verbesserung der Produkteigenschaften besonders hervorzuheben. Beispielsweise könnten beim Herstellungsprozess synthetische Fasern beigemischt werden, um die Festigkeit und wasserabweisenden Eigenschaften zu verbessern. Zudem könnte die Oberflächenqualität durch Satinieren, Streichen, Prägen oder durch Beschichtungen mit Kunststoffen oder Lacken, oder Kaschieren verbessert und auf bestimmte Anwendungen abgestimmt werden.⁴³ Nachfolgend sind einzelne Produkte im Detail angeführt.

Pappe

Pappe ist ein Sammelbegriff für Papiersorten, die sich durch relativ hohe Steifigkeit mit einer Grammatur von mehr als 600 g/m² auszeichnen. Pappe besteht aus mehreren Schichten Papier, welche durch „vergautschen“ eine Verbindung eingehen.⁴⁴ Ein Einsatz erfolgt derzeit im

⁴¹ Moro 2019, 893.

⁴² Moro 2019, 894.

⁴³ Vgl. Knaack u.a. 2023, 36-37.

⁴⁴ Vgl. Schütz 2017, 29.

Automobilbereich, bei Ordnern, Boxen, Schweißschirmen und als Koffermaterial.⁴⁵ Im Bauwesen könnte voluminöse Pappe für Massivbauteile angewandt werden. Zudem ermöglichen mittels Profilierwalzen hergestellte Profile in L- oder U-Form eine Übersetzung herkömmlicher Bauteile und somit interessante Möglichkeiten für eine Bauanwendung.⁴⁶ Auf den nachfolgenden Abbildung 13 bis Abbildung 16 sind ausgewählte käuflich erwerbbar Produkte aus Pappe dargestellt.

Abbildung 13:
Vollpappe,
Abmessungen:
500x700 mm,
700x1000 mm,
Stärke: 1,0 und 2,0
mm⁴⁷



Abbildung 14:
Graupappe,
Abmessungen:
700x1000 mm,
Stärke: 1,5 und 2,0
und 2,5 mm⁴⁸



Abbildung 15:
Finnpappe,
Abmessungen:
498x700 mm,
700x1000 mm,
Stärke: 0,5 – 4,0
mm⁴⁹



Abbildung 16:
Kantenschutzleisten
aus Vollpappe,
Abmessungen:
35x35x700 mm,
50x50x2000 mm,
60x60x1500 mm,
Stärke 3 und 7 mm⁵⁰



Wellpappe

Wellpappe besteht aus mindestens einer Lage gewelltem Papier mit einseitiger oder beidseitiger Beschichtung aus stärkerem Papier (Decklage). Die Wellenart, Wellenform, Wellenrichtung, die Art und Qualität der Verbindung der Schichten und die Materialität bestimmen die materialspezifischen Eigenschaften des Produktes.⁵¹ Die Decklage muss Zug- und Druckkräfte aufnehmen. Für diese Anforderung können kraftzellstoffhaltige Papiere (sehr reiß- und berstfeste Fasern) eingesetzt werden. Eine erhöhte Grammatur ermöglicht eine erhöhte Biegesteifigkeit und Widerstand gegen Druckbeanspruchung. Die Wellenlage im inneren der Wellpappe hat die Aufgabe, einen Abstand zwischen den Decklagen herzustellen. Da hier geringere Anforderungen bestehen, können schlechtere Papierqualitäten eingesetzt werden. Grundsätzlich schützen die äußeren Schichten die innere Struktur. Hierzu können die Decklagen Beschichtungen für wasserabweisende Eigenschaften oder optische Zwecke aufweisen. Zur Verbindung der einzelnen Schichten kommen Leime (auf Basis von Kartoffel-, Mais- und Weizenstärke) zum Einsatz.⁵² Die Produktvielfalt von Wellpappe reicht über einzelne Bögen, über Umzugskartons bis hin zu Dämmplatten. Auf den nachfolgenden Abbildung 17 bis Abbildung 22 sind ausgewählte Wellpappe-Produkte dargestellt.

⁴⁵ Vgl. MERCKENS Karton- und Pappenfabrik GmbH

⁴⁶ Vgl. Knaack u.a. 2023, 38-46.

⁴⁷ architekturbedarf-kropf: https://www.architekturbedarf-kropf.at/Kat_1236.aspx

⁴⁸ architekturbedarf-kropf: https://www.architekturbedarf-kropf.at/Kat_1241.aspx

⁴⁹ architekturbedarf-kropf: https://www.architekturbedarf-kropf.at/Kat_1238.aspx

⁵⁰ R. F. Verpackungsmittel Versand GmbH: <https://www.ratioform.at/p/kantenschutzleisten-aus-vollpappe-terra-280862/>

⁵¹ Vgl. Schütz 2017, 30-34.

⁵² Vgl. Knaack u.a. 2023, 37-40.

Abbildung 17: Cargo Point Wellkarton (Rollenwellpappe), Abmessungen: 1x25 m, Stärke 2 mm⁵³



Abbildung 18: Wellpappbogen, Abmessungen: 785x1185 mm (1-wellig), 400x500 mm (2-wellig), 750x1080 mm (2-wellig)⁵⁴



Abbildung 19: Wellpappe, Abmessungen: 700x1000 mm, Stärke: 1,5 mm und 2,5 mm und 6,5 mm⁵⁵



Abbildung 20: Umzugskarton, Innenabmessungen: 603x295x317 mm (2-wellig)⁵⁶



Abbildung 21: FairWell ZVE 040 Dämmelement Standard, Abmessungen: 1250x625 mm, Stärke: 27 – 105 mm⁵⁷



Abbildung 22: FairWell ZVE 040 Stopfmaterial, 5kg oder 10kg⁵⁸



Wabenplatte

Wabenplatten bestehen aus einer Addition von um 90 Grad gedrehten Wellbahnen mit ebener Zwischenlage und zwei Deckschichten. Der große Vorteil dieser Platten liegt in der hohen Druckfestigkeit flächig zur Platte und bei stirnseitiger Belastung.⁵⁹ Hierzu bilden die Decklagen die lasttragende Struktur, nehmen bei Biegebeanspruchung auftretende Zugbelastungen auf und schützen den Kern. Die Wabenstruktur im Kern stützt die Decklagen und erzeugt eine Schubfestigkeit. Die mechanischen Eigenschaften resultieren aus der Materialwahl und -stärke, den Abmessungen der Waben und sind ein Kompromiss aus Steifigkeit und Gewicht.⁶⁰ Die Platten werden z.B. im Ladenbau, in der Verpackungsindustrie und (mit entsprechender Deckschicht) im Möbelbau eingesetzt. Auf den nachfolgenden Abbildung 23 und Abbildung 24 sind ausgewählte Wabenplatten-Produkte dargestellt.

⁵³ HORNBACH Baumarkt GmbH: <https://www.hornbach.at/p/cargo-point-wellkarton-1x25-m/5190811/>

⁵⁴ Schäfer Shop: <https://www.schaefer-shop.at/p/wellpappbogen?selectedItem=152146>

⁵⁵ architekturbedarf-kropf: https://www.architekturbedarf-kropf.at/Kat_1242.aspx

⁵⁶ Schäfer Shop: <https://www.schaefer-shop.at/p/umzugskartons-2-wellig-20-stueck?selectedItem=154015>

⁵⁷ Betz Dämmelemente GmbH: <https://www.betz-daemmelemente.de/produkt/fairwell-zve-daemmelement/>

⁵⁸ Betz Dämmelemente GmbH: <https://www.betz-daemmelemente.de/produkt/fairwell-zve-040-stopfmaterial/>

⁵⁹ Vgl. Latka 2017.

⁶⁰ Vgl. Knaack u.a. 2023, 41.

Abbildung 23: Alvéolo Pappwabenplatte, Abmessungen: 300x300 mm, 500x700 mm, 700x1000 mm, Stärke: 15, 25, 60mm⁶¹



Abbildung 24: Eurolight Leichtbauplatten, Abmessungen: 2800x2070 mm, Decklagenstärke: 3, 4, 8 mm, Plattenstärke: 19, 25, 38, 50 mm⁶²



Kartonhülsen

Wickelhülsen werden durch ein „Spiralwickelverfahren“ mit unterschiedlichen Durchmessern, Wandstärken und Längen erzeugt.⁶³ Möglich, aber von untergeordneter Relevanz, ist zudem eine Herstellung mittels Parallelwickeln oder Senkrechtwickeln. Bei jeder dieser Methoden werden mehrere Schichten Papier, Karton oder Pappe verklebt. Die Wickelverfahren bestimmen die Dimensionen und die Ausrichtung des Materials und somit die mechanischen Eigenschaften der Hülsen. Spiralgewickelte Hülsen erhalten im Zuge der Herstellung einen umlaufenden Stoß, welcher eine Schwachstelle darstellt und in einer geringeren Bruchfestigkeit (verglichen mit insbesondere parallelgewickelten Hülsen) resultiert. Zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften könnten theoretisch bereits beim Herstellungsprozess wasserabweisende Beschichtungen aufgebracht werden.⁶⁴ Die Anwendung von Wickelhülsen besteht in Form von Versandmaterial oder für den Transport von Rollenware (z.B. Papier, Teppiche, Böden). Im Bauwesen erfolgt ein Einsatz beispielsweise als Balken oder Säule in kleinen Rahmensystemen oder auch in hausähnlichen Strukturen⁶⁵. Auf den nachfolgenden Abbildung 25 bis Abbildung 28 sind ausgewählte Kartonhülsen-Produkte dargestellt.

⁶¹ boesner GmbH & Co KG: <https://www.boesner.at/pappwabenplatte-27038>

⁶² FRITZ EGGGER GmbH & Co. OG, 38.

⁶³ Vgl. Genger 2015, 50-92.

⁶⁴ Vgl. Knaack u.a. 2023, 42-45.

⁶⁵ Vgl. Latka 2017, 96.

Abbildung 25:
Versandhülse rund
aus Pappe,
Abmessungen:
430x80 mm, 610x60
mm, Stärke: 2 mm⁶⁶



Abbildung 26:
Versandhülse
quadratisch,
Abmessungen:
1150x125x125mm,
430x105x105 mm,
Stärke 2 mm⁶⁷



Abbildung 27:
Versandbox
teleskopierbar,
Außenabmessungen:
1740x210x210 mm,
Innenabmessungen:
1600x190x190mm⁶⁸



Abbildung 28:
Versandbox
trapezförmig,
Außenabmessungen:
915x112/60x82 mm,
Innenabmessungen:
860x105/55x75 mm,
Stärke: 7 mm⁶⁹



5.1.3. Verbindungstechniken für Papierwerkstoffe

Kleben

Beim Kleben erfolgt die Verbindung durch die Adhäsion und somit Haften des Klebers an der Oberfläche der Werkstücke und durch die Kohäsion im Inneren des Klebstoffes. Diese Form der Verbindung wird vor allem bei flächigen Papierwerkstoff-Komponenten angewandt. Dazu wird Leim, Epoxid, Phenol-Formaldehyd, Polyurethan, Polysaccharide oder Proteine (natürliche, biobasierte Klebstoffe) oder auch Flüssiggas (Feuerfest) eingesetzt.⁷⁰ Während Stärkeleim umweltfreundlicher ist, erreichen PU- und PCA-Klebstoffe höhere Festigkeiten.⁷¹

Zudem kann ein Kleben von Papierwerkstoffen mittels Klebeband und Gautschpressen erfolgen. Ein Klebeband kann für das Abdichten einer Fuge zwischen Elementen oder für die Herstellung von Überlappverbindungen genutzt werden. Gautschpressen ist das Fügen einzelner Papierschichten durch Druck und Feuchtigkeit.⁷²

Flächiges Kleben wird beispielsweise bei dem Produkt „Wikkelhouse“⁷³ angewandt. Dieses Haus besteht aus vorgefertigten Segmenten, welche durch ein Wickeln und Verkleben von 24 Lagen Wellpappe auf und um einen Holzrahmen hergestellt werden. Hierbei hat sich gezeigt, dass Kleben zeitaufwendig sein kann, da eine entsprechende Trocknungszeit ein wesentlicher Faktor für die Festigkeit der Struktur darstellte. Wellpappe, die noch nicht vollständig getrocknet war, erreichte im Vergleich mit ausgetrockneten Wellpappe-Strukturen lediglich ca. 50 % der Festigkeit.⁷⁴

⁶⁶ Schäfer Shop: <https://www.schaefer-shop.at/p/versandrohre-aus-pappe?selectedItem=308264>

⁶⁷ Rajapack GmbH Österreich: https://www.rajapack.at/versandtaschen-umschlaege-versandrohre/versandrohre-versandhuelsen/versandhuelsen-eckig/robustpack_OFF_DE_0460.html

⁶⁸ Ratioform Verpackungen GmbH: <https://www.ratioform.de/p/teleskopierbare-versandhuelsen-flow-selbstklebeverschluss-p145251/evsk11t/>

⁶⁹ Schäfer Shop: <https://www.schaefer-shop.at/p/trapezversandboxen-versch-laengen-10-stueck?selectedItem=154010>

⁷⁰ Vgl. Latka 2017, 92-93.

⁷¹ Vgl. Knaack u.a. 2023, 58.

⁷² Vgl. Knaack u.a. 2023, 59.

⁷³ Vgl. Wikkellhouse B.V.: <https://wikkellhouse.de/>

⁷⁴ Vgl. Latka 2017, 233-260.

Schrauben, Tackern und Nageln

Das Verschrauben ist eine der gängigsten lösbaren Verbindungstechniken im Bauwesen. Für eine Anwendung bei Papierwerkstoffen können entweder massive Komponenten, spezielle Beschichtungen oder eine Kombination mit Holzelementen angedacht werden (siehe Abbildung 29)⁷⁵. Grundsätzlich sind Schraubverbindungen bei Papierwerkstoffen Einwegverbindungen, da das Gewinde das weiche Kartonmaterial beschädigt und eine erneute Befestigung an derselben Position nicht möglich ist. Zudem kann eine Verbindung von Karton oder Papier mit Verbindungselementen aus Stahl zu Kondensation infolge der Temperaturunterschiede zwischen kalten Stahlelementen und wärmeren Papierkomponenten führen.⁷⁶

Nägeln werden hauptsächlich für das Verbinden von Holzwerkstoffen verwendet und sind auch in Papierwerkstoffen mit entsprechender Festigkeit denkbar. Ein Nagel ist ein am unteren Ende zugespitzter und am oberen Ende verdickter oder mit abgeplattetem Kopf versehener Stift aus Metall. Sie werden entweder mit dem Hammer eingeschlagen oder mit dem Druckluftnagler eingeschossen. Nägel können jedoch keine oder kaum Zugkräfte aufnehmen. Durch das verwandte Tackern oder Heften können bahnförmige (lineare) Komponenten verbunden werden (siehe Abbildung 30). Die Dichte der Naht, der Abstand zwischen den Verbindungsmitteln, wird durch die Komponenten selbst (Material und Stärke) bestimmt. Generell kann festgehalten werden, dass bei stärkeren Komponenten kürzere Stichlängen angewandt werden können, während bei dünneren Komponenten längere Stichlängen möglich sind. Erwähnenswert sind in diesem Kontext auch die Möglichkeit des Nähens oder die Anwendung von Nieten. Um die Festigkeit dieser Verbindungen generell zu erhöhen, können dem Papierwerkstoff-Produkt spezielle Fasern beigemischt oder die Fügpunkte verstärkt werden.⁷⁷

Abbildung 29: Schrauben (Shigeru Ban, Paper Dome)⁷⁸



Abbildung 30: Tackern⁷⁹



⁷⁵ Vgl. Knaack u.a. 2023, 60.

⁷⁶ Vgl. Latka 2017, 260.

⁷⁷ Vgl. Knaack u.a. 2023, 59.

⁷⁸ Shigeru Ban Architects: http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_paper-dome/PD-Interior_resize.jpg

⁷⁹ ETIVERA Verpackungstechnik GmbH: <https://www.bb-verpackungsshop.de/ratgeber/karton-verschliessen-so-gelings-professionell-und-sicher/>

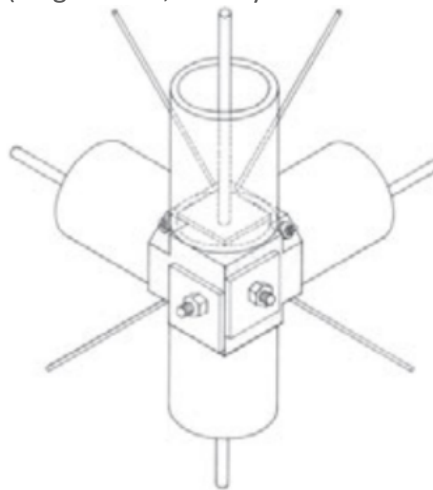
Klemmen und Spannen

Bei dem nachfolgend dargestellten Bauwerk „Library of a Poet“ (siehe Abbildung 31 und Abbildung 32) wurden Papierhülsen durch Spannen oder Klemmen gefügt. Hierzu wurde eine Konstruktion entwickelt, bei welcher Gewindestangen in den Papierhülsen (wie auch diagonal) verlaufen und in Verbindungselementen aus Holz enden. Bei dieser Art der Verbindung erfolgt die Belastung der Kartonelemente auf Druck, nicht auf Zug. Damit stellt sie für die Anwendung bei Karton, hinsichtlich der materialspezifischen Eigenschaften dieses Materials, eine sehr vorteilhafte Verbindung dar. Das Erfordernis von Hohlraumprodukten wie Papierhülsen beschränkt jedoch die Möglichkeit der Anwendung und des Bausystems.⁸⁰

Abbildung 31: Klemmen und Spannen (Shigeru Ban, Library of a Poet)⁸¹



Abbildung 32: Klemmen und Spannen (Shigeru Ban, Library of a Poet Detail)⁸²



Stecken

Das Stecken ist eine sehr simple, formschlüssige und aus der Verpackungsindustrie bekannte Verbindungsart, welche ein Material mit einer entsprechenden Steifigkeit und Dicke erfordert. Hierbei werden Komponenten direkt oder über ein Zwischenstück verbunden. Die Verbindung greift nicht in das Material ein, sondern wirkt über geometrische Bedingungen und Reibkraft.⁸³ Gängige Formen dieser Verbindung sind die aus dem Holzbau bekannten Finger- oder Schwalbenschwanzzinken (siehe Abbildung 33). Während Fingerzinken in zwei Richtungen geöffnet werden können, ist dies bei Schwalbenschwanzzinken nur in eine Richtung möglich. Neben einer direkten Verbindung der Elemente können, wie beim Holzbau oder Möbelbau, Zwischenstücke wie Dübel oder Formfedern (siehe Abbildung 34) eingebracht werden. Hierbei ist noch zu ergänzen, dass sich formschlüssige Verbindungen gut für Kombinationen mit Kleben oder mechanischen Befestigungen anbieten.⁸⁴

⁸⁰ Vgl. Latka 2017, 261.

⁸¹ Shigeru Ban Architects: http://www.shigerubanarchitects.com/works/1991_library-of-a-poet/LOPint_w_chairs11.jpg.jpg

⁸² Vgl. Latka 2017, 178.

⁸³ Vgl. Latka 2017, 261.

⁸⁴ Vgl. Knaack u.a. 2023, 58-61.

Klettverbindung

Eine Klettverbindung besteht aus zwei in der Regel textilen Komponenten welche, infolge einer flächigen Druckbelastung, eine gut rückbaubare Verbindung eingehen können. Hierzu müssen diese Komponenten auf die zu verbindenden (Papierwerkstoff-) Untergründe z.B. mittels Kleben oder Nähen aufgebracht werden⁸⁵. Je nach Anforderung und Einsatzort werden für Klett Komponenten unterschiedliche Materialien und Verbindungselement-Geometrien (z.B. Schlaufen, Pilzkopf, Haken) eingesetzt, wobei die Produkte am Markt als „Bahnware“ oder als einzelne Komponenten erhältlich sind.⁸⁶ Nachfolgend ist in Abbildung 35 eine Klettverbindung bestehend aus zwei Pilzkopf-Komponenten dargestellt.

Abbildung 33:
Steckverbindung
durch
Schwalbenschwanz-
zinken⁸⁷

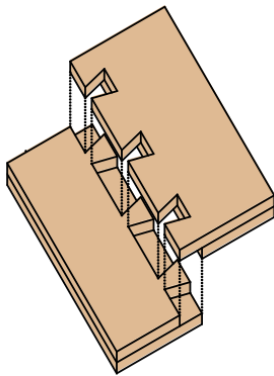


Abbildung 34:
Steckverbindung durch
Formfedern⁸⁸

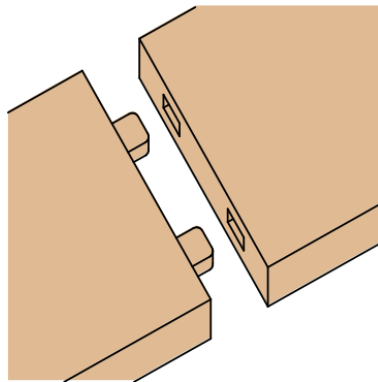
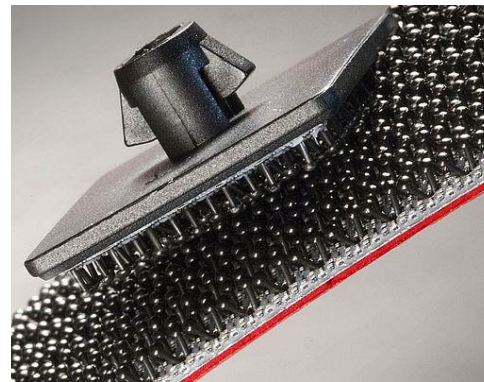


Abbildung 35: Klettverbindung
Duotec®, bestehend aus den
Klettelementen Pilzkopf und
Pilzkopf⁸⁹



5.1.4. Innenausbausysteme aus/mit Papierwerkstoffen

Produkte

softwall

Der Raumteiler „softwall“ von *molo* ist eine (nicht raumhohe) flexible Trennwand welche in Bogenform oder linear positioniert werden kann (siehe nachfolgende Abbildung 36). Das System wird aus Wand-Elementen gebildet, welche aus Papierschichten bestehen, die in einer Wabengeometrie gefaltet wurden. Bei der Herstellung wird das Papier mit einem Flammschutzmittel beschichtet. Beim Aufbau kann jedes Wand-Element bis zu einer Länge von 4,5 Metern aufgezogen werden. Durch magnetische Endplatten ist es möglich, mehrere Elemente zu verbinden oder die Wand direkt an metallenen Flächen zu befestigen.⁹⁰ Die Wand-Elemente werden in folgenden Dimensionen (Höhe und Breite) angeboten:

⁸⁵ Vgl. Knaack u.a. 2023, 59.

⁸⁶ Vgl. Krüger 2013.

⁸⁷ Vgl. Knaack u.a. 2023, 58.

⁸⁸ Vgl. Knaack u.a. 2023, 58.

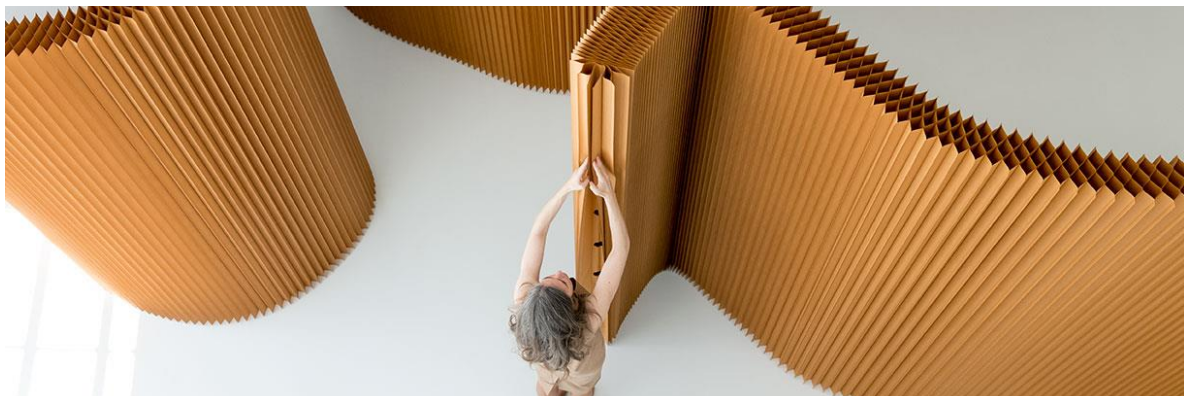
⁸⁹ Gottlieb Binder GmbH & Co KG: https://www.binder.de/fileadmin/_processed_/csm_10Duotec_0ab6d9148b.jpg

⁹⁰ Vgl. Molo Design, Ltd. a.

- 152,5 x 23,5 cm
- 183 x 23,5 cm
- 244 x 23,5 cm
- 244 x 34 cm
- 305 x 34 cm

Beim Material kann zwischen Papier (braun, schwarz, blau) und einem Textil (weiß, Aluminium, schwarz, individuelle Farbe) gewählt werden. Darüber hinaus können kleinere Elemente als Sitzmöglichkeit („softblock“), LED Beleuchtungsmittel oder Haltegriffe ergänzt werden.⁹¹ Neben diesem Produkt bietet das Unternehmen weitere Faltmöbel aus Papier und Textilien und Papierbeleuchtungskörper an.⁹²

Abbildung 36: Produkt „softwall“⁹³



Ecocell Trennwandsystem

Das Trennwandsystem von *Ecocell* ist ein flexibles Wandsystem für nichttragende Innenwände, welches die Brandschutzklasse EI-60 erfüllt (siehe nachfolgende Abbildung 37 und Abbildung 38). Es besteht aus Hauptelementen (Scheiben oder Platten) in Form von Waben-Verbundplatten und aus Abschlussprofilen, welche den Anschluss zum Fußboden und Wänden ausbilden oder eine freistehende Wand verschließen. Zudem kommen, zur Verbindung und Stückelung von Waben-Verbundplatten, Federverbindungen zur Anwendung.⁹⁴

Die Waben-Verbundplatten bestehen aus einem Kern aus einer *Ecocell*-Betonwabe und unterschiedlichen, beidseitig aufgebrachten Deckplatten. Bei Brandschutzanforderungen kommen Deckplatten aus Zement- oder Gipsfaserplatten oder eine Magnesiumoxidplatte zum Einsatz. Ohne Brandschutzanforderungen können OSB-Platten, Dreischichtplatten, Bambusplatten oder Sperrholzplatten genutzt werden.⁹⁵ Die *Ecocell*-Betonwabe wird aus Wellpappe aus Recyclingpapier

⁹¹ Vgl. Molo Design, Ltd. b.

⁹² Vgl. Molo Design, Ltd. c.

⁹³ Molo Design, Ltd.: <https://molodesign.com/app/uploads/2013/06/8-paper-softwall-image-text.jpg>

⁹⁴ Vgl. Ecocell Technology AG a.

⁹⁵ Vgl. Ecocell Technology AG b.

gebildet, welche während der Herstellung mit einer mineralischen Beschichtung überzogen wird. Dies ermöglicht auch im Kern eine feuerhemmende Wirkung.⁹⁶

Abbildung 37: Produkt „Ecocell Trennwandsystem EI-60“, Detail der Waben-Verbundplatte mit Abschlussprofil (Bodenanschluss)⁹⁷



Abbildung 38: Produkt „Ecocell Trennwandsystem EI-60“, Detail Waben-Verbundplatte mit Federverbindung⁹⁸



Neben dem oben dargestellten Trennwandsystem vertreibt *Ecocell* ein „Schnellbausystem“ in Form von statisch wirksamen Boden-, Wand-, Decken- und Dachelementen. Dieses System beruht wie die Trennwand auf Waben-Verbundplatten (siehe Abbildung 39).⁹⁹ Eine weitere Anwendung der „*Ecocell*-Betonwabe“ zeigt sich in Form eines Trockenstrichs, welcher als Unterkonstruktion von Böden mit und ohne Bodenheizung dienen kann (siehe Abbildung 40). Während unter dem System keine Schüttung gefordert ist, wird eine möglichst ebene und plane Oberfläche vorausgesetzt.¹⁰⁰

⁹⁶ Vgl. Ecocell Technology AG c.

⁹⁷ Ecocell Technology AG: <https://flic.kr/p/2cuxtuH>

⁹⁸ Ecocell Technology AG: <https://flic.kr/p/2b7EsQC>

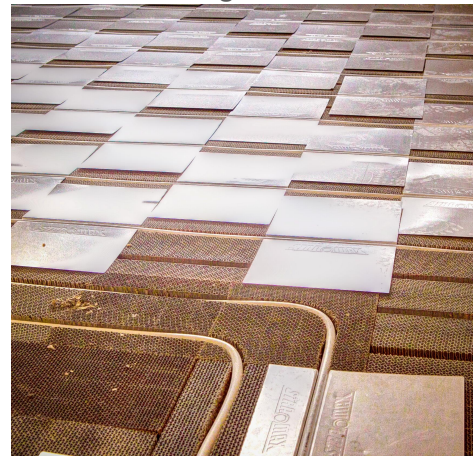
⁹⁹ Vgl. Ecocell Technology AG c.

¹⁰⁰ Vgl. Ecocell Technology AG d.

Abbildung 39: Produkt „Ecocell Schnellbausystem“¹⁰¹



Abbildung 40: Produkt „Ecocell Trockenestrich“ mit Fußbodenheizung¹⁰²



Erwähnenswert sind im Kontext von Innenausbauensystemen aus / mit Papierwerkstoffen zudem die Innenausbauwand *BIA Systemwänden* von *BIA Beton B.V.* mit einem Kern aus Wellpappe und Deckplatte aus Gips, Fermacell oder MDF,¹⁰³ und die abgehängte Decke *FoldScapes*¹⁰⁴ von *MIO* aus Karton. Wie auch die *SWAP*-Wabenplatten von *SWAP (Sachsen) GmbH Verbundwerkstoffe*, welche (häufig in Kombination mit anderen Materialien) im Bauwesen (als Dämmung, als Trägerplatte für die Fußbodenheizung und in Fassaden), beim Messebau, im Möbelbau (Tische, Stühle, Regale) aber auch im Fahrzeugbau zum Einsatz kommen.¹⁰⁵

Forschungsprojekte und Patente

Bamp! Bauen mit Papier

Das Grundlagenforschungsprojekt „Bamp! Bauen mit Papier“ der *TU Darmstadt* untersuchte über vier Jahre (01.01.2017 – 31.12.2020) die Anwendung von Papierwerkstoffen bei temporären Bauten (z. B. Übergangsbauten für gewerbliche Zwecke oder Schulen, Notunterkünfte, einmalige Bauten für Großveranstaltungen, „Microhomes“ oder im Messebau). Das Ziel des Projektes bestand in wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für die Nutzung von Papier in Bauanwendungen. Hierzu wurde u.a. die Verbesserung Materialeigenschaften (z. B. hohe Festigkeit, Wasserbeständigkeit), die individualisierbare Formgebung (z. B. die Verarbeitung in Tiefziehprozessen) und Gestaltungsansätze für die Bauteil- und Bauwerksgestaltung untersucht.¹⁰⁶ Auf nachfolgender Abbildung 41 ist die Ausstellung des Projektes auf der Architektur-Biennale in Venedig 2023 dargestellt.

¹⁰¹ Ecocell Technology AG: <https://ecocell.ch/wp-content/uploads/2020/12/bambus-05.jpg>

¹⁰² Ecocell Technology AG: <https://flic.kr/p/2b6Ehbs>

¹⁰³ Vgl. BIA Beton B.V.

¹⁰⁴ Vgl. MIO.

¹⁰⁵ Vgl. SWAP (Sachsen) GmbH Verbundwerkstoffe.

¹⁰⁶ Vgl. Technische Universität Darmstadt.

Abbildung 41: Ausstellung des Projektes „Bauen mit Papier“ auf der Architektur-Biennale in Venedig¹⁰⁷



Im Kontext der Forschung ist weiters die Dissertation „Paper in Architecture“ von Jerzy F. Latka hervorzuheben, welche bestehende Konstruktionsweisen und Fügemethoden von Kartonkomponenten zusammenfasst.¹⁰⁸ Diese Arbeit wurde gemeinsam mit der Publikation „Bauen mit Papier. Architektur und Konstruktion“, welche dem Projekt „Bamp!“ entspringt, umfassend in obigem Kapitel „Verbindungstechniken für Papierwerkstoffe“ zitiert.

Auch zu erwähnen ist die Dissertation „Cardboard in Architectural Technology and Structural Engineering“ von Özlem Ayan, welche sozio-ökologische Zusammenhänge sowie mechanische und physikalische Kennwerte behandelt.¹⁰⁹

Leichtbauwand sowie Verfahren als auch Bausatz zu deren Herstellung (Patentnummer: DE10018709A1)

Das Patent „Leichtbauwand sowie Verfahren als auch Bausatz zu deren Herstellung“ beschreibt eine Leichtbauwand mit einer Tragstruktur aus länglichen Hohlkörpern (1) aus Papier oder Pappe (siehe Abbildung 42). Beim Aufbau der Wand werden die Hohlkörper in am Boden (10), den Wänden (9) und der Decke (8) montierte Schienen bzw. Profile (2) eingebracht. Diese Schienen werden vorab mit herkömmlichen Befestigungselementen (3) befestigt. In die Hohlkörper können Schall- und / oder Wärmedämmstoffe (7) eingebracht sein. Sind die Hohlkörper (1) montiert, wird eine Deckschicht (6) aus Putz aufgebracht. Hierzu kann vorab und zur Haftverbesserung eine Grundierung (5) auf die Hohlkörper aufgetragen werden. Als zusätzliche Komponente sind Einbauelemente (4) angedacht, welche in die Wand integriert werden können. Das System verfolgt den Ansatz, als Bausatz von Bau- oder Fachmärkten bezogen zu werden.¹¹⁰

¹⁰⁷ Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Plastisches Gestalten: https://www.plastik.architektur.tu-darmstadt.de/media/plastik/bilder_responsive_design/fggg_forschung/bamp_venedig/Building-with-Paper_Palazzo-Mora_ECC_04-min_1300x0.jpg

¹⁰⁸ Vgl. Latka 2017.

¹⁰⁹ Vgl. Özlem 2009.

¹¹⁰ Vgl. Haslberger 2000.

Interior wall and ceiling covering (Patentnummer: US20030192278A1)

Das Patent „Interior wall and ceiling covering“ beschreibt eine Innenwand- und Deckenverkleidung aus mit einem feuerhemmenden Mittel behandelten Wellpappen-Platten (10) in unterschiedlichen Breiten, Längen und Dicken (siehe Abbildung 43). Im Rahmen des Aufbaus werden Ständer (18) an Wänden und Decken angebracht und an diesen Ständern (18) die Platten (10) durch Nägel, Schrauben, Kleben, Presspassungsverbinder, Klettverschlüsse oder durch Klammern (20) befestigt. Eine Anpassung an unterschiedliche Raumgrößen erfolgt über den Zuschnitt der Platten. An Ecken oder bei Überlappungsstößen sind Klappen oder Laschen (30) vorgesehen. Mögliche Anwendungsorte des Systems umfassen Schlafzimmer, Wohnzimmer und Küchen. Aber auch Garagen, Keller, Abstellräume, Schränke, Kriechräume oder Dachböden.¹¹¹

Erwähnenswert sind zudem die Patente „Paneel-Konstruktion aus Wellpappe, Anordnung mit diesem Paneel und Verfahren zur Anordnung“ (Patentnummer: EP2927385B1)¹¹², „Faltbare Modellbausteine aus flächigen Werkstoffen“ (Patentnummer: EP0761272A2)¹¹³ und „Modulares Konstruktionselement aus Karton“ (Patentnummer: EP2488707B1),¹¹⁴ wie auch das „Bodenpaneel“ (EP2763850B1), welches formschlüssig (Nut-Feder-System) verbundene Fußbodenpaneele aus Papierbögen vorschlägt.¹¹⁵ Diese Patente verfolgen ähnliche Ansätze wie die oben angeführten und werden daher nicht näher beschrieben.

Abbildung 42: Patent „Leichtbauwand sowie Verfahren als auch Bausatz zu deren Herstellung“ (Patentnummer: DE10018709A1)¹¹⁶

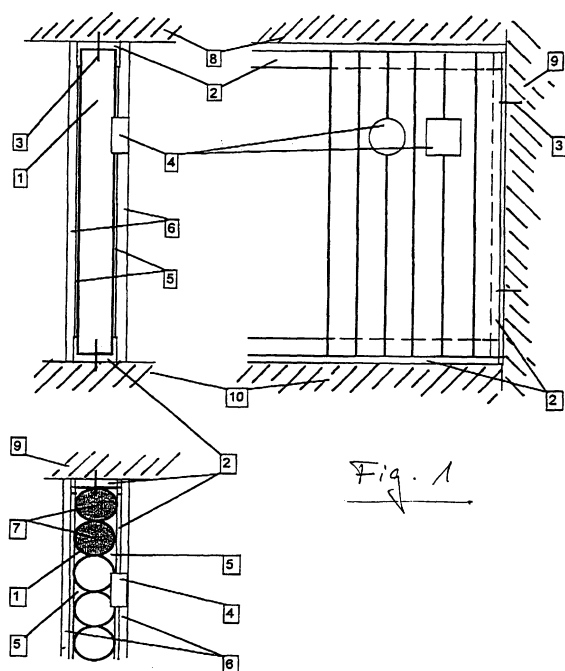
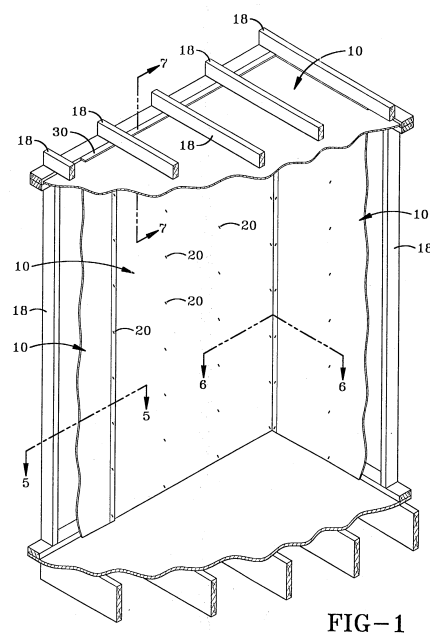


Abbildung 43: Patent „Interior wall and ceiling covering“ (Patentnummer: US20030192278A1)¹¹⁷



¹¹¹ Vgl. Snyder/Sokol 2003.

¹¹² Vgl. Distefano/Sapienza 2015.

¹¹³ Vgl. Achtelig 1996.

¹¹⁴ Vgl. Le 2010.

¹¹⁵ Vgl. Vandevorode/Naeyaert 2012.

¹¹⁶ Haslberger:

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/007638853/publication/DE10018709A1?q=pn%3DDE10018709A1>

¹¹⁷ Snyder/Sokol: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d2/9f/61/31560222ab4f58/US20030192278A1-20031016-D00001.png>

5.2. Innenausbausystem aus Papierwerkstoffen

5.2.1. Konstruktiver Aufbau

Das hier dargestellte Innenausbausystem stellt die Kombination eines Fußboden- und eines Wandsystems anhand der Konzepte „Clip-Floor“ und „Zieh die Wand auf“ dar.

Fußbodensystem „Clip-Floor“

Das System „Clip-Floor“ besteht aus einer Unterkonstruktion (1) und einem Fußbodenbelag (2), siehe auch die nachfolgenden Abbildung 44 und Abbildung 45. Die Unterkonstruktion (1) wird aus Wellpappen oder Wabenplatten konstruiert, welche im Zuge der Vorfertigung und Herstellung der Einzelemente mit Schlitzn (welche die halbe Papierwerkstoffelementbreite an Tiefe aufweisen) und somit möglichen Fügepunkten versehen werden. Hierzu kommen z.B. ein Schneideplotter, ein Lasercutter oder eine Stanzmaschine zum Einsatz. Beim Aufbau des Systems werden diese Elemente um 90° verdreht ineinander gesteckt und bilden ein Raster. Ein Ausgleich der Unebenheiten der Rohdecke kann unter der Rasterebene durch eine vorab aufgebrachte Ausgleichsschicht (z.B. Schüttung oder Estrich) erfolgen.

Abbildung 44: „Clip-Floor“ (Fußbodensystem) Konzeptskizze perspektivisch [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]

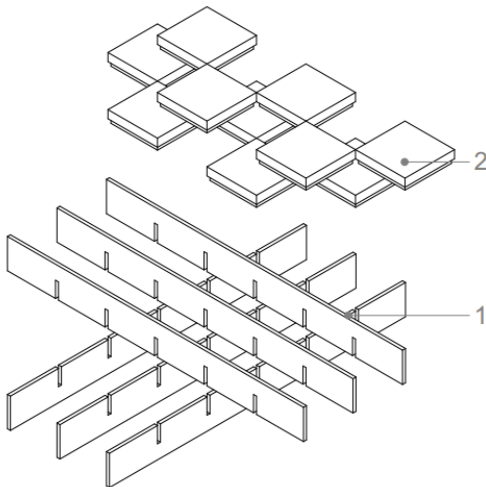
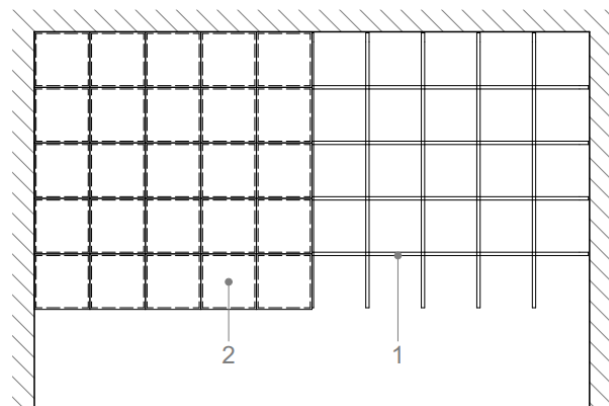


Abbildung 45: „Clip-Floor“ (Fußbodensystem) Konzeptskizze, Grundriss [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Durch das vorgeschlagene Raster- und Füge-system ist es beim Aufbau (oder auch nachträglich) möglich, auf unterschiedliche Anforderungen einfach und schnell zu reagieren. Indem beispielsweise bei geringeren Anforderungen mögliche Rasterpunkte freigelassen werden, woraus eine geringerer Materialverbrauch folgt. Oder bei höheren statischen Anforderungen alle möglichen Fügepunkte genutzt werden. Resultierend aus der Konstruktion und Fügetechnologie kann somit direkt und kurzfristig auf die jeweilige Nutzung und Anforderung reagiert werden.

Die Leitungen der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) können je nach Anforderung in der Ausgleichsschicht, im Raster oder in der Belageebene verlegt werden. Die Rasterelemente werden hierzu infolge der gewählten Konstruktion z.B. im unteren Bereich in Längsrichtung und im oberen

Bereich in Querrichtung umgeknickt. Darüber hinaus ist eine Leitungsführung in vorab in die Rasterelemente geschnittene Öffnungen denkbar und es könnten beim Aufbau vor Ort Öffnungen mit z.B. einem Dosenbohrer geschnitten werden. Für eine Leitungsführung in der Belageebene sind zur Positionierung (runde) Ausnehmungen im oberen Bereich der Rasterelemente und in den Elementen des Fußbodenbelags oder nur im Fußbodenbelag (z.B. für eine Fußbodenheizung) vorzusehen.

Bei der Übersetzung der Unterkonstruktion (1) in ein Modell aus Wellpappe wurde ersichtlich, dass bei der gewählten Füge-technologie „Stecken“ die Abstimmung von Schlitzgröße zu den Platteneigenschaften (Steifigkeit und Stärke) wesentlich ist. Wie sich gezeigt hat, sind die Schlitzte etwas schmaler als der eingebrachte Karton auszubilden, um einen guten Halt in gesteckter Form zu gewährleisten. Durch diese Maßnahme erhöht sich die Passgenauigkeit und die mögliche Kraftübertragung. Für eine direkte Wiederverwendung der Einzelteile können sich daraus jedoch geringfügige Nachteile ergeben, da bei einem unvorsichtigen wiederholten Auf- und Abbau die Festigkeit nachlässt und es zu Beschädigungen oder zu einem Verschleiß der Komponenten kommt. Um dem entgegenzuwirken, werden (mechanische) Optimierungen an der Füge-stelle durch die Kombination mit Holz oder Metall, biegesteifere Wellpappen, eine Kombination mit Hartpappe oder auch spezielle Beschichtungen angedacht.

Der Fußbodenbelag (2) wird durch Wabenplatten (mit feuchtebeständiger Deckschicht) gebildet, welche durch vorstehende Elemente an der Unterseite formschlüssig in das Raster eingebracht und in Position gehalten werden. Zwischen den Platten kann zusätzlich ein Formschluss erfolgen, welcher beispielsweise durch eine überlappende Fuge gebildet wird. Die Elemente (Wabenplatten) können in der Vorfertigung in unterschiedlichen Größen dimensioniert werden. Zudem besteht die Möglichkeit, diese zur Anpassung an unterschiedliche Raumgrößen auf der Baustelle mit Werkzeug für die Holzbearbeitung zuzuschneiden.

Für Feuchtebeständigkeit und die Verhinderung des Wassereintritts kann der Fußbodenbelag mit Kunststoffen wie Polyethylen (PE) beschichtet werden, während eine Beschichtung mit Aluminiumfolien das Eindringen von Licht und Sauerstoff verhindert. Zudem sorgen diese Methoden dafür, dass Mikroorganismen das Papierwerkstoff-Element nicht zersetzen.¹¹⁸ Werden diese Methoden eingesetzt, ist in weiterführenden Forschungen die Frage der Kreislauffähigkeit auf stofflicher Ebene zu klären.

Der Raster des Fußbodensystems „Clip-Floor“ ermöglicht durch sein Innenmaß, neben der Montage des Fußbodenbelags, die passgenaue Aufnahme einer Wickelhülse. Somit bildet das Fußbodensystem eine flexible Grundstruktur, in welcher das nachfolgend dargestellte Wandsystem „Zieh die Wand auf“ eingefügt und je nach gewünschter Raumaufteilung und Nutzung angeordnet werden kann.

Wandsystem „Zieh die Wand auf“

Das Wandsystem „Zieh die Wand auf“ wurde von einer Falte wand abgeleitet und besteht aus einer innenliegenden Falte-Unterkonstruktion (1), einer Beplankung (2) welche mittels Stecksystem (3) befestigt wird und einer Dämmung (4) (siehe Abbildung 46 und Abbildung 47). Das Konzept ist so konzipiert, dass eine Montage wie oben angesprochen an Wickelhülsen (bei Kombination mit dem Konzept „Clip-Floor“) aber auch an den umgebenden Wänden möglich ist.

¹¹⁸ Vgl. Knaack u.a. 2023, 37.

Abbildung 46: „Zieh die Wand auf“
(Innenwandsystem) Konzeptskizze
perspektivisch [Institut für
Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]

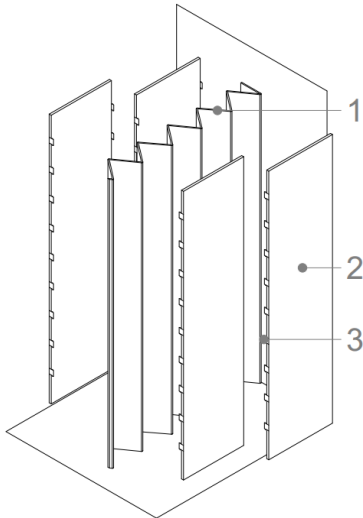
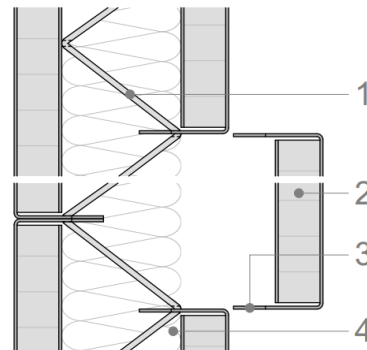


Abbildung 47: „Zieh die Wand auf“
(Innenwandsystem) Konzeptdetail [Institut
für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Für die Wickelhülsen werden herkömmliche Produkte angedacht. Die Länge der Hülsen entspricht der Raumhöhe minus einem Montageabstand, dem notwendige Abstand für das Einbringen in das Fußbodenraster. Zudem sind die Hülsen teleskopierbar und idealerweise in dieser Position „festspannbar“ auszubilden.

Die Unterkonstruktion (1) kann in Wellpappe oder Hartpappe ausgeführt werden und wird im Rahmen der Vorfertigung mit mehreren Knicklinien ausgestattet. Das Falten an diesen Linien erfolgt erst beim Aufbau der Wand, wodurch die Elemente platzsparend transportiert werden können. Infolge der aus dem Falten resultierenden Dreiecksform verhält sich die Unterkonstruktion wie ein Faltwerk und steift sich in der Breite selbst aus.

Beim Aufbau wird die Unterkonstruktion (1) an einer Wand oder an einer Wickelhülse befestigt und bis zum nächsten Montagepunkt „aufgezogen“. Je nach gewünschter Wandlänge, Wandstärke und Abstand zwischen den Wickelhülsen wird die Unterkonstruktion gestückelt ausgeführt. Während an Wickelhülsen ein Stecksystem bestehend aus Laschen und Schlitzen angedacht wird, erfolgt die Befestigung an Wänden mittels Schrauben. Um ein Durchstanzen der Schrauben durch den Papierwerkstoff zu vermeiden, werden vorgefertigte Lochbohrungen vorgeschlagen. Da die Kombination von Metallkomponenten und Papierwerkstoffen (siehe Abbildung 48 bis Abbildung 50) an der Fügestelle im Modellbau großes Potential (zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften) aufzeigen konnte und zu besseren (De-) Montageprozesse bei weniger Beschädigung der Einzelteile führte, wird vorgeschlagen, diese Löcher mit Metallösen zu kombinieren und auch Beilagscheiben einzusetzen.

Abbildung 48: Seitenansicht einer formschlüssigen Verbindung eines flächigen Kartonelements („Beplankung“) mit einem stabförmigen („Ständer“) über einen Hohlraumspreizdübel, eine Hakenschraube und eine Öse aus Metall [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 49: Innenansicht einer formschlüssigen Verbindung eines flächigen Kartonelements („Beplankung“) mit einem stabförmigen („Ständer“) über einen Hohlraumspreizdübel, eine Hakenschraube und eine Öse aus Metall [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 50: Formschlüssige Verbindung stabförmiger Kartonelemente über ein Stahlseil und Ösen aus Metall [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Die Leitungen der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) können vertikal wie auch horizontal in der Ebene der Unterkonstruktion geführt werden, wozu im Rahmen der Vorfertigung Öffnungen vorzusehen sind. Zur Erhöhung des Schallschutzes (und bei Bedarf der Aussteifung) soll dieser Bereich zusätzlich mit Dämmung (z.B. Stopfmaterial oder dreiecksförmigen Wellpappen-Elementen) verfüllt werden (4).

Die Beplankung (2) besteht aus Wellpappe oder Wabenplatten. Neben einer aussteifenden Wirkung bildet sie die finale Oberfläche der Wand oder ist verputzbar ausgebildet. Für eine Haftung von Putz oder Lehm können spezielle Prägungen erfolgen. Bilden die Elemente der Beplankung die finale Oberfläche, können für Feuchtebeständigkeit und zur Verhinderung des Eintritts von Wasser, Licht, Sauerstoff oder von Mikroorganismen die oben beim Konzept „Clip-Floor“ angesprochenen Beschichtungen erfolgen.¹¹⁹ Zudem beeinflussen die Farbe, die Elementgröße und die Positionierung wie auch die resultierenden Fugen das Erscheinungsbild der Wand maßgeblich.

Die Befestigung der Beplankung (2) an der Unterkonstruktion (1) und / oder an den Wickelhülsen erfolgt erneut mittels Stecksystem (3) bestehend aus Laschen und Schlitzen. Für einen optimalen Halt und eine mehrfache Verwendung ohne Beschädigungen oder Abnutzungen der Einzelkomponenten ist es sinnvoll, diese Laschen und Öffnungen aus Metall oder Kunststoff herzustellen bzw. den Karton

¹¹⁹ Vgl. Knaack u.a. 2023, 37.

oder die Pappe mit Elementen aus diesen Materialien zu verstärken. Für eine Verbindung untereinander können die Elementstöße mittels Fugen beziehungsweise überlappend ausgeführt werden. Wobei anzumerken ist, dass es je nach Gestaltung schwierig sein kann, auch das letzte zu montierende Element in diese Fugen einzufügen.

Als Variante des Wandsystems wurde darüber hinaus angedacht, dass ein Faltelement oder zwei Faltelemente (die „Unterkonstruktion“) auch die Deckschicht bilden. Dies vereinfacht den Aufbau, erhöht die Anforderungen an die Unterkonstruktion und führt zu einem gänzlich anderen optischen Erscheinungsbild.

5.2.2. Modellbau

Nachfolgend ist das 3,12 Meter hohe Großmodell des Innenausbausystems mit einer Grundfläche von 1,855 x 1,238 Meter resultierend aus dem Fußbodensystem „Clip-Floor“ und dem Wandsystem „Zieh die Wand auf“ dargestellt (siehe Abbildung 51 und Abbildung 52). Gebaut wurde ein freistehender Wand- und Fußbodenabschnitt, welcher in Längs- und Querrichtung erweitert werden könnte. Hierzu werden Elemente des Fußbodenrasters eingesteckt und wird an der Wickelhülse (in schwarz ersichtlich) die Wandkonstruktion über Einhängen fortgeführt. Ist die Wand freistehend geplant, so ist es an der Wickelhülse möglich, eine rundumlaufende Beplankung oder Verkleidung aus Wellpappe aufzubringen.

Wandseite 1 wurde „final“ hergestellt (siehe nachfolgende Abbildung 51), während die Wandseite 2 dem Experimentieren und der Ableitung weiterführender Erkenntnisse diente (siehe nachfolgende Abbildung 52).

Abbildung 51: Modell Innenausbausystem, Seite 1 [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 52: Modell Innenausbausystem, Seite 2 [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Fußbodensystem „Clip-Floor“

Für die Umsetzung des Fußbodensystems „Clip-Floor“ (siehe Abbildung 53 und Abbildung 54) wurden Elemente aus Wellpappe¹²⁰ mit den Abmessungen 618 x 300 x 12,5 mm (2* Wellpappe mit ca. 6,5 mm verklebt) verwendet und durch Ineinanderstecken als Raster angeordnet. Die resultierende Konstruktion hat die Außenmaße 1.855 x 1.238 x 300 mm. Die gewählte Schlitzbreite beträgt 12 mm und das Rastermaß der Schlitz 103 mm. Dadurch entsteht ein Raster-Innenmaß von 91 mm, welches die passgenaue Aufnahme einer Wickelhülse ermöglicht.

Der Bodenbelag wurde durch herkömmliche Wabenplatten¹²¹ mit den Außenmaßen 300 x 300 x 60 mm ausgebildet, welche durch vorstehende Elemente an der Unterseite formschlüssig in das Raster eingebracht und in Position gehalten werden. Eine Bodenplatte überspannt jeweils neun Rasterfelder. Ergänzend wurde für Testzwecke ein Formschluss zwischen diesen Platten anhand eines Schwalbenschwanzzinkens hergestellt (siehe Abbildung 54).

Abbildung 53: Modell Innenausbausystem, Fußbodensystem, Seite 1 [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 54: Modell Innenausbausystem, Fußbodensystem, Seite 2 [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Bei der Herstellung des Modells konnten nachfolgende ausgewählte Erkenntnisse und Ergebnisse festgestellt werden:

- Das Bodensystem lässt sich ohne Probleme mehrmals auf- und abbauen, ohne dass Verschleißerscheinungen an den Elementen zu erkennen sind. Infolge von Unachtsamkeiten könnten an den Fugstellen jedoch Abnutzungen entstehen, welche in weiterer Folge auch die Stabilität verringern können.
- Die Größe des Ausgangselements für das Modell des Fußbodensystems resultiert aus im Handel verfügbaren Formaten und einer Kanten-Besäumung für den Abschnitt potentieller Beschädigungen, wie auch aus der gewünschten oder möglichen Bearbeitungsmethode (z.B. Arbeitsfläche eines Schneideplotters). Diese Elementgröße betrug im vorliegenden Modell 670 x 670 mm.
- Durch vorausgehende Modelle und Fügeversuche konnte festgestellt werden, dass sich Wellpappen mit einer Stärke von 1,5 mm, 2,5 mm und 6,5 mm als zu filigran und instabil für die gewünschte Funktion und Montageprozesse erwiesen. Aus diesem Grund wurde mit einer gedoppelten 6,5 mm Wellpappe gearbeitet.

¹²⁰ Vgl. architekturbedarf-kropf a.

¹²¹ Vgl. boesner GmbH & Co KG a.

- Die Schlitzbreite des Rasters beträgt idealerweise die Kartonstärke minus 0,5 mm, da dies den Vorteil einer kompakteren und herstellbaren Verbindung auch nach mehreren Steckversuchen bietet.
- Das Rastermaß bestimmt die Steifigkeit des Systems und die Größe der Elemente die aufgenommen werden können. Werden zusätzliche (aber nicht zu viele) Rasterpunkte zur Verfügung gestellt, kann das System je nach Bedarf insgesamt oder punktuell verstärkt werden.
- Die Laufrichtung der Wellen in der Wellpappe führt, ähnlich wie bei Holz, zu unterschiedlichen Belastungspotenzialen. In der Längsrichtung der Welle kann stirnseitig eine höhere Last aufgenommen werden als in Querrichtung. Dementsprechend ist darauf zu achten, wie die Elemente angeordnet und belastet werden. Grundsätzlich kann das Rastersystem als Komponente eines Boden-, aber auch eines Wand- oder Deckensystems dienen.
- Infolge der guten statischen Eigenschaften des Fußbodensystems wurde im Projekt darüber hinaus angedacht, den Raster als statisch wirksame Deckenplatte oder als Komponente einer Deckenplatte oder auch einer Wand zu verwenden.
- Der Bodenbelag aus formschlüssig montierten Wabenplatten führt zu einem statisch gut belastbaren und gut rückbaubaren Ergebnis. Der Formschluss zwischen den Platten in Form eines Schwalbenschanzzinkens führte jedoch zu einem hohen Materialverlust und konnte in Längsrichtung nur mit geringen Lasten beansprucht werden. Wird ein Formschluss in der Fläche angestrebt, sollten hierzu Zusatzelemente (aus z.B. Hartpappe, Metall- oder Kunststoffelemente) rückbaubar aufgebracht werden.

Wandsystem „Zieh die Wand auf“

Das Wandsystem besitzt eine Höhe von 2.800 mm (ab Fußbodenoberkante) eine Länge von 1.536 mm und eine Wandstärke von 160 mm.

Die Wickelhülsen¹²² wurden aufgrund der Verfügbarkeit am Markt aus drei Elementen mit den Außenmaßen 830 x 91 x 91 mm und einem Element mit den Außenmaßen 630 x 91 x 91mm hergestellt und durch Verkleben zu einer Länge von 3.120 mm gestückelt. Zur Erhöhung der Steifigkeit dienen innenliegende Wickelhülsen mit kleinerem aber passgenauen Durchmesser.

Die Falt-Unterkonstruktion besteht aus gefalteter Wellpappe¹²³ mit einer Stärke von 2,5 mm und den Abmessungen 930 x 660 mm. Zur Verbindung einzelner Falt-Elemente wurden Zwischenelemente aus Wellpappe aufgeklebt. Die Befestigung der Falt-Unterkonstruktion an den Wickelhülsen erfolgt dem Konzept entsprechend durch Einhängen infolge eines Stecksystems bestehend aus Laschen und Schlitzen (siehe Abbildung 55 und Abbildung 56).

¹²² Vgl. boesner GmbH & Co KG b.

¹²³ Vgl. architekturbedarf-kropf a.

Abbildung 55: Modell Innenausbausystem, Auflager und Befestigung der falt-Unterkonstruktion an der Wickelhülse [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 56: Modell Innenausbausystem, Befestigung der falt-Unterkonstruktion an der Wickelhülse [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Die Beplankung wurde durch Wellpappen-Elemente¹²⁴ mit den Abmessungen 320 x 700 x 6,5 mm gebildet. Die Befestigung an den Wickelhülsen und an den Spitzen der innenliegenden falt-Unterkonstruktion erfolgte erneut über ein Stecksystem bestehend aus Laschen und Schlitzten (siehe Abbildung 57). Als Variante wurde die Beplankung auf der Wandseite 2 mit versetzten Stößen ausgeführt, siehe Abbildung 58.

Abbildung 57: Modell Innenausbausystem, Befestigung der Beplankung an der falt-Unterkonstruktion und der Wickelhülse [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 58: Modell Innenausbausystem, Anordnung der Beplankung [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



¹²⁴ Vgl. architekturbedarf-kropf a.

Weitere Varianten auf der Wandseite 2 betreffen die nachfolgend dargestellte Kombination der Beplankung aus Wellpappe mit Graupappe¹²⁵ (Abbildung 59), die Befestigung der Beplankung mittels aufgeklebter Klettverbindung¹²⁶ (Abbildung 60), die Ausführung der Beplankung aus einer Wabenplatte¹²⁷ (Abbildung 61) und den Ansatz der Ausbildung einer sehr biegesteifen Wand durch Nutzung jeder Rasteröffnung für eine Wickelhülse¹²⁸ (Abbildung 62).

Abbildung 59: Modell Innenausbausystem, Kombination der Beplankung aus Wellpappe mit Graupappe [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 60: Modell Innenausbausystem, Befestigung der Beplankung mittels Klettverbindung [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 61: Modell Innenausbausystem, Beplankung aus einer Wabenplatte [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



Abbildung 62: Modell Innenausbausystem, Erhöhung der Anzahl der Wickelhülsen [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]



¹²⁵ Vgl. architekturbedarf-kropf b.

¹²⁶ Vgl. BAUHAUS Depot GmbH.

¹²⁷ Vgl. boesner GmbH & Co KG a.

¹²⁸ Vgl. boesner GmbH & Co KG b.

Bei der Herstellung des Modells konnten nachfolgende ausgewählte Erkenntnisse und Ergebnisse festgestellt werden:

- Beim Wandsystem lässt sich festhalten, dass durch eine maßgenaue Faltung des Kartons und Berücksichtigung der Verlaufsrichtung der Wellen ein in sich stabiler Wandaufbau entsteht, der das Potential für eine nichttragende Innenwand besitzt.
- Die Wickelhülsen sind bei einem Raster-Innenmaß von 91 mm und einer Höhe der Bodenelemente von 300 mm, wobei infolge der Schlitzes nur 150 mm Höhe gegen eine einwirkende Last wirksam werden, trotz raumhoher Konstruktion (Wandhöhe 2.820 mm ab Fußbodenoberkante) und einer nur einseitigen Einspannung, sehr gut gegen umkippen gesichert. Horizontale Lasten, welche auf die Wickelhülsen wirken, konnten gut aufgenommen werden.
- Die Stückelung der Wickelhülsen in Längsrichtung durch innenliegende Wickelhülsen führte zu sehr biegesteifen Elementen. Weitere zukünftige Entwicklungsschritte betreffen die Möglichkeit vor Ort und beim Auf- und Abbau eine einfache aber feste Längenänderung durchführen zu können („teleskopierbar“).
- Infolge der händischen Herstellung der Schlitzes an den Wickelhülsen mit einem Cutter-Messer oder einer Stichsäge kam es zu Ungenauigkeiten und Schwierigkeiten bei der Befestigung der Beplankung. Bei zukünftigen Entwicklungsschritten sollten auch diese Schlitzes maschinell und z.B. CNC-gesteuert hergestellt werden.
- Nach mehrmaliger Befestigung der Beplankung zeigt sich, dass sich die Laschen aus Wellpappe schnell abnutzen und nach drei bis vier Steckvorgängen beschädigt sind. Daraus folgt, dass diese (und das Gegenstück) verstärkt (spezielle Deckliner od. Beschichtungen) oder aus den Materialien Metall oder Kunststoff ausgeführt werden sollten.
- Die Klettverbindung eignet sich grundsätzlich gut für eine Befestigung der Beplankung. In weiterer Folge wäre zu prüfen, ob lineare oder punktuelle Klettflächen besser für die angestrebten Montage- und Demontageprozesse geeignet sind. Wie auch, ob ein beschädigungsfreier Rückbau der Elemente möglich ist.
- Ist die Beplankung samt Laschen aus stärkerer Wellpappe (ca. 6,5 mm) ausgeführt, kann diese im Bereich der Laschen nur sehr schwer und mit schlechterem Ergebnis geknickt werden. Eine dünne Wellpappe lässt sich deutlich besser knicken, besitzt allerdings eine geringere Eigenstabilität. Bei Anwendung dünnerer Wellpappe wäre diese somit (zumindest) in der Fläche zu verstärken.
- Größere und steifere Beplankungs-Elemente (z.B. Wabenplatten), welche von Wickelhülse zu Wickelhülse reichen (siehe Abbildung 61), können die Stabilität der Wand gegen Anpralllasten erhöhen. Alternativ kann die Anzahl der Wickelhülsen erhöht, oder die innenliegende Faltstruktur biegesteifer ausgeführt werden.
- Wird die Beplankung vertikal immer zur Hälfte versetzt positioniert (siehe Abbildung 58) und / oder mit Graukarton kombiniert (siehe Abbildung 59), erhöht dies den Widerstand gegen Anpralllasten.
- Eine Variante des Wandsystems denkt (ähnlich dem Patent mit der Nummer: DE10018709A1)¹²⁹ an, in jeder Rasteröffnung eine Wickelhülse zu positionieren (siehe Abbildung 62). Wie sich gezeigt hat, ist dies sehr einfach auf- und abzubauen und ermöglicht ein Wandsystem mit hoher Steifigkeit.

¹²⁹ Vgl. Haslberger 2000.

- Da das übergeordnete Fügeprinzip des Gesamtsystems auf Stecken beruht, sind die Elemente sehr leicht und (bei Optimierung auf Materialebene oder Kombinationen mit z.B. Metallelementen) mehrfach beschädigungsfrei auf- und abbaubar.

6 Schlussfolgerungen

Die Sondierung „Joining Cards“ eröffnet neue Perspektiven im Rahmen der Konstruktion, Herstellung und Systematik von Innenausbausystemen, wie auch im Kontext der Materialwahl. Entgegen der gegenwärtigen Systematik von Innenausbausystemen können diese, im Hinblick auf die Projektidee, so konstruiert werden, dass ein beschädigungsfreier Rückbau ermöglicht wird, aber auch langlebige und kreislauffähige Baukomponenten aus nachwachsenden und teilweise bereits recycelten Materialien eingesetzt werden. Eine dahingehende Entwicklung besitzt große Relevanz für alle Akteur:innen des Innenausbaus und betrifft unter anderem die Herstellung, die Anlieferung, den Auf- und Abbau aber auch die Nutzung von Innenausbausystemen. Wodurch in der Gesellschaft ein neuer Zugang und stärkerer Bezug zu einer Form des nachhaltigen Bauens entstehen kann.

Wie im Projekt festgestellt werden konnte, besteht in rückbaufähigen Innenausbausystemen aus langlebigen und kreislauffähigen (direkt wiederverwendbaren) Baukomponenten aus nachwachsenden und (teilweise) bereits recycelten Papierwerkstoffen großes Forschungs- und Entwicklungspotential, wobei aufgrund der Baupraxis und Material- sowie Produkteigenschaften eine Anwendung vor allem bei nicht tragenden Innenwand- oder Gesamtsystemen als sinnvoll erdacht wird.

Darüber hinaus wurde als wesentliche Erkenntnis festgestellt, dass das oben dargestellte Rastersystem aus Wellpappe (Fußbodensystem „Clip-Floor“) gute statische Eigenschaften besitzt und großes Forschungspotential für eine Anwendung auch bei standardisierten statisch wirksamen Bauteilen (z.B. Decken) besitzt.

Das Marktpotenzial der vorgeschlagenen Papierwerkstoff-Systeme ist, infolge der hohen Bautätigkeit in Österreich wie auch der fortlaufenden Notwendigkeit von Adaptierungen und Anpassungen des Innenausbaus, sehr hoch und betrifft den Neubau wie auch die Sanierung von Gebäuden. Insbesondere im Kontext von Nachhaltigkeit, von Resilienz und im Hinblick auf eine Kreislaufwirtschaft können sich aus den hier vorgeschlagenen Ansätzen wesentliche wirtschaftliche Vorteile ergeben.

Im Hinblick auf die Bau- und Lebenspraxis nimmt das Projektteam an, dass für den vorgeschlagenen Wandel im Innenausbau umfassender weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, wie auch die Notwendigkeit der Demonstration von Ergebnissen besteht. Zudem sind relevante Akteur:innen in diese Prozesse miteinzubeziehen indem Gestaltungspotential ermöglicht wird.

Die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse eröffnen für das Projektteam und das *Institut für Architekturtechnologie* der *TU Graz* eine wichtige Grundlage in einem spannenden Forschungsfeld. Es wird angestrebt, die entwickelten Ansätze in Folgeprojekten weiterzuführen und zu vertiefen.

7 Ausblick und Empfehlungen

Im Kontext von Ressourceneffizienz, Verknappung von endlichen Ressourcen wie auch der Dynamik urbaner Räume und neuer Anforderungen an Städte und Gebäude aufgrund des Klimawandels eröffnet die Sondierung „Joining Cards“ neue Ansätze für nachhaltige Innenausbausysteme. Im Hinblick auf das übergeordnete Projektziel, die Etablierung und breite Anwendung von Papierwerkstoffen als nachwachsender und mehrfach recyclebarer Baustoff für Innenausbausysteme, bestehen nachfolgende Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Ausgewählte Konzepte sind in größerem Umfang auf bautechnischer Ebene und unter Beachtung von Systematisierung, Montage, Demontage, Transport und Kreislauffähigkeit weiter zu detaillieren und in 1:1 Modellen zu überprüfen. Auf Konzeptebene betrifft dies vor allem die weitere Konkretisierung der Einzelkomponenten und die Anpassbarkeit an unterschiedliche Raumgrößen mit einem entsprechenden Anschluss an die Primärstruktur. Auf der Ebene der Übertragung in physische Modellbauten ist die Bearbeitung oder Vorfertigung der Einzelkomponenten und die Konstruktion gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft (Hersteller Papierwerkstoffe, Bauunternehmen im Bereich Innenausbau) und industriellen Maschinen und im Kontext von Fertigungsstraßen und der Baustellenpraxis weiterzuentwickeln und zu optimieren. Weiters sind Versuche im Bereich der Montage- und Demontageprozesse, der Tragfähigkeit wie auch der Schalldämmwirkung und zu Verhalten bei Brand oder Feuchtebelastung durchzuführen. Aus den Versuchsergebnissen können notwendige Optimierungsschritte, beispielsweise im Hinblick auf Werkstoffebene oder Oberflächenbeschichtungen, abgeleitet werden. Hierbei wäre mittels LCA (life cycle assessment) fortlaufend zu prüfen, ob vorgeschlagene Systeme oder Entwurfsentscheidungen ein nachhaltigeres Ergebnis erzielen als vergleichbare bestehende Systeme.

Im Kontext des Fügens von Komponenten aus Papierwerkstoffen (und Verbesserung der mechanischen Eigenschaften) sind insbesondere Entwicklungsschritte und Forschungen im Bereich der Kombination mit Metallkomponenten weiterzuführen. Dies betrifft vor allem metallene (rückbaubare) Klemmelemente (z.B. Ösen oder Profile) mit einer daraus resultierenden Möglichkeit des Formschlusses (z.B. Einhängen oder Verspreizen). Weiters sind Kombinationen mit Hohlraumdübel, Gewindestangen und Stahlseilen weiter zu untersuchen. Zu erwähnen und weiterführend zu thematisieren ist aber auch die Gefahr der Kondensatbildung zwischen Metall und Papierwerkstoff¹³⁰.

Weitere Forschungsinhalte betreffen die Feuchtebeständigkeit und die Verhinderung des Wassereintritts, von Licht und Sauerstoff und von Mikroorganismen bei Komponenten des Innenausbaus. Hierbei kann auf bestehenden Produkten oder Forschung aufgebaut werden¹³¹, welche jedoch im Kontext des jeweiligen Innenausbausystems (und hinsichtlich Kreislauffähigkeit) weiter zu definieren und untersuchen wären.

¹³⁰ Vgl. Latka 2017, 260.

¹³¹ Vgl. Knaack u.a. 2023, 37.

Auch wäre es in einem nächsten Schritt notwendig, die (noch) nicht für das Bauwesen hergestellten Komponenten und Produkte hinsichtlich ihrer bautechnischen Eigenschaften und im Kontext einer dauerhaften Anwendung in Innenausbausystemen weiterzuentwickeln und zu klassifizieren.

In der Umsetzung von Demonstrationsprojekten, somit der Anwendung von Innenausbausystemen aus langlebigen und kreislauffähigen Baukomponenten in realen Gebäuden, besteht großes Potential. Da infolge von Bauvorschriften oder durch Wünsche und Vorstellungen seitens Nutzer:innen Hindernisse auftreten können, sind betroffene Akteur:innen anhand der Möglichkeit der Mitgestaltung einzubinden.

Darüber hinaus können Forschungs- und Entwicklungsschritte in der Anwendung von recycelten und wiederverwendbaren Papierwerkstoff-Komponenten bei standardisierten statisch wirksamen Bauteilen (z.B. Decken) gesetzt werden. Wie auch im Kontext von „Gebäuden als CO₂-Senken“, in der Implementierung des schnell nachwachsenden Baustoffes Stroh¹³², in Form langlebiger und kreislauffähiger z.B. Plattenware, in den Innenausbau und in eventuell weitere Bereiche des Bauwesens.

Abschließend ist zu betonen, dass weiterführende Forschungs- oder Entwicklungsschritte mit dem Ziel einer Verwendung nachwachsender Rohstoffe im Kontext und unter Beachtung von Ökosystemleistungen, aber auch unter potentiellen Zugriffskonflikten (mit z.B. der Herstellung biobasierter Kunststoffe) erfolgen müssen.

¹³² Vgl. Göswein 2022.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Shigeru Ban Architects „Paper House“	13
Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Schalenwand	22
Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Monoblockwand	22
Abbildung 4: Schematische Darstellung einer Faltwand mit exzentrischer Aufhängung	23
Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Harmonikawand / Harmonikatür	23
Abbildung 6: Schematische Darstellung eines beweglichen Wandelements	23
Abbildung 7: Schematische Darstellung einer Metallständerwand (1-fach beplankt)	24
Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Holzständerwand (2-fach beplankt).....	24
Abbildung 9: Schematische Darstellung eines Hohlraumbodens	28
Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Doppelbodens.....	28
Abbildung 11: Unterdecke aus Gipskartonplatten mit Metallunterkonstruktion, Abhängung durch justierbare Noniushänger (Stirnkante) (Fabrikat Knau®).....	30
Abbildung 12: Deckenplattenstoß gefalzt und genutet (oben), Deckenelementstoß in Unterkonstruktion eingelegt (Mitte), Deckenelementstoß in Unterkonstruktion eingelegt mit Stufenfalz (unten).....	30
Abbildung 13: Vollpappe, Abmessungen: 500x700 mm, 700x1000 mm, Stärke: 1,0 und 2,0 mm.....	31
Abbildung 14: Graupappe, Abmessungen: 700x1000 mm, Stärke: 1,5 und 2,0 und 2,5 mm.....	31
Abbildung 15: Finnpappe, Abmessungen: 498x700 mm, 700x1000 mm, Stärke: 0,5 – 4,0 mm	31
Abbildung 16: Kantenschutzleisten aus Vollpappe, Abmessungen: 35x35x700 mm, 50x50x2000 mm, 60x60x1500 mm, Stärke 3 und 7 mm.....	31
Abbildung 17: Cargo Point Wellkarton (Rollenwellpappe), Abmessungen: 1x25 m, Stärke 2 mm.....	32
Abbildung 18: Wellpappbogen, Abmessungen: 785x1185 mm (1-wellig), 400x500 mm (2-wellig), 750x1080 mm (2-wellig).....	32
Abbildung 19: Wellpappe, Abmessungen: 700x1000 mm, Stärke: 1,5 mm und 2,5 mm und 6,5 mm .	32
Abbildung 20: Umzugskarton, Innenabmessungen: 603x295x317 mm (2-wellig).....	32
Abbildung 21: FairWell ZVE 040 Dämmelement Standard, Abmessungen: 1250x625 mm, Stärke: 27 – 105 mm.....	32
Abbildung 22: FairWell ZVE 040 Stopfmaterial, 5kg oder 10kg	32
Abbildung 23: Alvéolo Pappwabenplatte, Abmessungen: 300x300 mm, 500x700 mm, 700x1000 mm, Stärke: 15, 25, 60mm	33
Abbildung 24: Eurolight Leichtbauplatten, Abmessungen: 2800x2070 mm, Decklagenstärke: 3, 4, 8 mm, Plattenstärke: 19, 25, 38, 50 mm	33
Abbildung 25: Versandhülse rund aus Pappe, Abmessungen: 430x80 mm, 610x60 mm, Stärke: 2 mm	34
Abbildung 26: Versandhülse quadratisch, Abmessungen: 1150x125x125mm, 430x105x105 mm, Stärke 2 mm	34

Abbildung 27: Versandbox teleskopierbar, Außenabmessungen: 1740x210x210 mm, Innenabmessungen: 1600x190x190mm	34
Abbildung 28: Versandbox trapezförmig, Außenabmessungen: 915x112/60x82 mm, Innenabmessungen: 860x105/55x75 mm, Stärke: 7 mm	34
Abbildung 29: Schrauben (Shigeru Ban, Paper Dome).....	35
Abbildung 30: Tackern.....	35
Abbildung 31: Klemmen und Spannen (Shigeru Ban, Library of a Poet).....	36
Abbildung 32: Klemmen und Spannen (Shigeru Ban, Library of a Poet Detail)	36
Abbildung 33: Steckverbindung durch Schwalbenschwanz-zinken	37
Abbildung 34: Steckverbindung durch Formfedern.....	37
Abbildung 35: Klettverbindung Duotec®, bestehend aus den Klettelementen Pilzkopf und Pilzkopf..	37
Abbildung 36: Produkt „softwall“.....	38
Abbildung 37: Produkt „Ecozell Trennwandsystem EI-60“, Detail der Waben-Verbundplatte mit Abschlussprofil (Bodenanschluss)	39
Abbildung 38: Produkt „Ecozell Trennwandsystem EI-60“, Detail Waben-Verbundplatte mit Federverbindung	39
Abbildung 39: Produkt „Ecozell Schnellbausystem“	40
Abbildung 40: Produkt „Ecozell Trockenestrich“ mit Fußbodenheizung	40
Abbildung 41: Ausstellung des Projektes „Bauen mit Papier“ auf der Architektur-Biennale in Venedig	41
Abbildung 42: Patent „Leichtbauwand sowie Verfahren als auch Bausatz zu deren Herstellung“ (Patentnummer: DE10018709A1).....	42
Abbildung 43: Patent „Interior wall and ceiling covering“ (Patentnummer: US20030192278A1)	42
Abbildung 44: „Clip-Floor“ (Fußbodensystem) Konzeptskizze perspektivisch [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	43
Abbildung 45: „Clip-Floor“ (Fußbodensystem) Konzeptskizze, Grundriss [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	43
Abbildung 46: „Zieh die Wand auf“ (Innenwandsystem) Konzeptskizze perspektivisch [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	45
Abbildung 47: „Zieh die Wand auf“ (Innenwandsystem) Konzeptdetail [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	45
Abbildung 48: Seitenansicht einer formschlüssigen Verbindung eines flächigen Kartonelements („Bepankung“) mit einem stabförmigen („Ständer“) über einen Hohlraumspreizdübel, eine Hakenschraube und eine Öse aus Metall [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz].....	46
Abbildung 49: Innenansicht einer formschlüssigen Verbindung eines flächigen Kartonelements („Bepankung“) mit einem stabförmigen („Ständer“) über einen Hohlraumspreizdübel, eine Hakenschraube und eine Öse aus Metall [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz].....	46
Abbildung 50: Formschlüssige Verbindung stabförmiger Kartonelemente über ein Stahlseil und Ösen aus Metall [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz].....	46
Abbildung 51: Modell Innenausbausystem, Seite 1 [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	47

Abbildung 52: Modell Innenausbausystem, Seite 2 [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	47
Abbildung 53: Modell Innenausbausystem, Fußbodensystem, Seite 1 [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	48
Abbildung 54: Modell Innenausbausystem, Fußbodensystem, Seite 2 [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	48
Abbildung 55: Modell Innenausbausystem, Auflager und Befestigung der Falt-Unterkonstruktion an der Wickelhülse [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	50
Abbildung 56: Modell Innenausbausystem, Befestigung der Falt-Unterkonstruktion an der Wickelhülse [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	50
Abbildung 57: Modell Innenausbausystem, Befestigung der Beplankung an der Falt-Unterkonstruktion und der Wickelhülse [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	50
Abbildung 58: Modell Innenausbausystem, Anordnung der Beplankung [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	50
Abbildung 59: Modell Innenausbausystem, Kombination der Beplankung aus Wellpappe mit Graupappe [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	51
Abbildung 60: Modell Innenausbausystem, Befestigung der Beplankung mittels Klettverbindung [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	51
Abbildung 61: Modell Innenausbausystem, Beplankung aus einer Wabenplatte [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	51
Abbildung 62: Modell Innenausbausystem, Erhöhung der Anzahl der Wickelhülsen [Institut für Architekturtechnologie (IAT), TU Graz]	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen (Auszug)	19
Tabelle 2: Mindest erforderliche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ in Gebäuden (Auszug)	20
Tabelle 3: Wärmedurchgangskoeffizienten wärmeübertragender Bauteile beim Neubau (Gebäudekategorie 1 bis 12) (Auszug)	24
Tabelle 4: Allgemeine Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen (Auszug)	25
Tabelle 5: Höchst zulässiger bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ in Gebäuden (Auszug)	26

Literaturverzeichnis

Achtelig M.: Faltbare Modellbausteine aus flächigen Werkstoffen. EP0761272A2, 1996

architekturbedarf-kropf a: Wellpappe. online unter: https://www.architekturbedarf-kropf.at/Kat_1242.aspx (abgerufen am: 31.03.2023)

architekturbedarf-kropf b: Graukarton / Graupappe. online unter: https://www.architekturbedarf-kropf.at/Kat_1241.aspx (abgerufen am: 31.03.2023)

Austrian Standards International: ÖNORM B 3415 (Planung und Ausführung von Trockenbauarbeiten), 2019

Austrian Standards International: ÖNORM B 8115-2 (Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 2: Methodik zur Ermittlung von Schallschutzniveaus), 2021

Austrian Standards International: ÖNORM DIN 18202 (Toleranzen im Hochbau — Bauwerke), 2022

Austrian Standards International: ÖNORM EN 13501-1 (Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten), 2020

Austrian Standards International: ÖNORM EN 13501-1 (Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen), 2016

Austrian Standards International: ÖNORM EN 13964 (Unterdecken - Anforderungen und Prüfverfahren), 2014

BAUHAUS Depot GmbH: Fix-o-moll Klettband Power. Online unter: <https://www.bauhaus.at/klettverschluesse-flauschbaender/fix-o-moll-klettband-power/p/10466558> (abgerufen am: 31.03.2023)

BIA Beton B.V.: Systemwänden. online unter: <https://www.bia-beton.nl/systeemwanden/> (abgerufen am: 31.03.2023)

boesner GmbH & Co KG a: Alvéolo Pappwabenplatte. online unter: <https://www.boesner.at/pappwabenplatte-27038> (abgerufen am: 31.03.2023)

boesner GmbH & Co KG b: Ars Nova Transporthülse. online unter: <https://www.boesner.at/transporthuelse-22751> (abgerufen am: 31.03.2023)

Bringezu S., Ramaswami A., Schandl H., O'Brien M., Pelton R., Acquatella J., Ayuk E., Chiu A., Flanegin R., Fry J., Giljum S., Hashimoto S., Hellweg S., Hosking K., Hu Y., Lenzen M., Lieber M., Lutter S., Miatto A., Singh Nagpure A., Obersteiner M., van Oers L., Pfister S., Pichler P., Russell A., Spini L., Tanikawa H., van der Voet E., Weisz H., West J., Wijkman A., Zhu B., Zivy R.: Assessing global resource use. 2017

Distefano D. L., Sapienza V.: Paneel-Konstruktion aus Wellpappe, Anordnung mit diesem Paneel und Verfahren zur Anordnung. EP2927385B1, 2015

Ecocell Technology AG a: ECOCELL TRENNWANDSYSTEM EI-60. online unter:
<https://ecocell.ch/trennwandsystem/> (abgerufen am: 31.03.2023)

Ecocell Technology AG b: ECOCELL Leichtbauplatte. online unter: <https://ecocell.ch/produkte-leichtbauplatte/> (abgerufen am: 31.03.2023)

Ecocell Technology AG c: BETONWABE. online unter: <https://ecocell.ch/ecocell-betonwabe/> (abgerufen am: 31.03.2023)

Ecocell Technology AG d: TROCKENESTRICH auch für BODENHEIZUNGEN. online unter:
<https://ecocell.ch/2934-2/> (abgerufen am: 31.03.2023)

European Commission: Europäischer Grüner Deal. 2019, online unter:
https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (abgerufen am: 15.08.2022)

Eurostat statistics explained: Waste statistics. online unter: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics (abgerufen am: 25.02.2022)

FRITZ EGGER GmbH & Co. OG: Eurolight Leichtbauplatten - Leicht und zeitgemäß. online unter:
https://www.egger.com/get_download/5b1fa4f5-002a-4dd9-a667-842e35b7c4df/Eurolight_Leichtbauplatten_Broschuere.pdf (abgerufen am: 31.03.2023)

Genger C.: Ein Stück Papier. Zeitgenössische Anwendungen von Papier in der Welt der Architektur, Masterarbeit, Institut für Raumgestaltung, Technische Universität Graz, 2015

Göswein, V., Arehart, J., Phan-huy, C., Pomponi, F. and Habert, G.: Barriers and opportunities of fast-growing biobased material use in buildings. Buildings and Cities, 2022

Haslberger F. J.: Leichtbauwand sowie Verfahren als auch Bausatz zu deren Herstellung. DE10018709A1, 2000

Hausladen G., Tichelmann K.: Ausbau Atlas. Integrale Planung, Innenausbau, Haustechnik, 2009

Herrmann E., Kaiser M., Katz T.: Einrichten und Zonieren. Raumkonzepte, Materialität, Ausbau, 2014

Hestermann U., Rongen L.: Frick/Knöll. Baukonstruktionslehre 1, 2015

Hestermann U., Rongen L.: Frick/Knöll. Baukonstruktionslehre 2, 2013

Hillebrandt A., Riegler-Floors P., Rosen A., Seggewies J.-K.: Atlas Recycling – Gebäude als Materialressource, Edition Detail, Detail Business Information GmbH, München, 2021

International Energy Agency, United Nations Environment Program: 2018 Global Status Report: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. 2018

Knaack U., Bach R., Schabel S.: Bauen mit Papier. Architektur und Konstruktion, Basel, 2023

Krüger G.: Klettverschlüsse. Materialien, Herstellung, Prüfung, Anwendungen. München 2013

Latka J. F.: Paper in architecture. Research by design, engineering and prototyping, TU Delft, 2017

Le H.: Modulares konstruktionselement aus karton. EP2488707B1, 2010

MERCKENS Karton- und Pappenfabrik GmbH: HARTPAPPE. online unter: <http://www.merckens.at/karton-pappen/hartpappe/> (abgerufen am: 31.03.2023)

MIO: Abgehängte Decke / Karton PEAK FOLDSCAPES. online unter: <https://www.archiexpo.de/prod/mio/product-4363-621972.html> (abgerufen am: 31.03.2023)

Molo Design, Ltd. a: paper softwall | folding wall partition. online unter: <https://molodesign.com/collections/space-partitions/paper-softwall-folding-wall/> (abgerufen am: 31.03.2023)

Molo Design, Ltd. b: product information, softwall + softblock modular system, online unter: <https://molodesign.com/app/uploads/2023/03/softwall-softblock-info.pdf> (abgerufen am: 31.03.2023)

Molo Design, Ltd. c: online unter: <https://molodesign.com/> (abgerufen am: 31.03.2023)

Moro J. L.: Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail. Band 3. Umsetzung, 2019

Nutsch W.: Handbuch der Konstruktion. Möbel und Einbauschränke, 2003

Nutsch W.: Handbuch der Konstruktion: Innenausbau, 2015.

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) a: OIB Richtlinie 5 (Schallschutz), 2023

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) b: OIB Richtlinie 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz), 2023

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) c: OIB Richtlinie 2 (Brandschutz), 2023

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB): ETAG003 (Leitlinie für die europäische technische Zulassung), Bausätze für innere Trennwände zur Verwendung als nichttragende Wände, 2012

Özlem A.: Cardboard in Architectural Technology and Structural Engineering, ETH Zürich, 2009

Schütz S.: Von der Faser zum Haus. Das Potential von gefalteten Wabenplatten aus Papierwerkstoffen in ihrer architektonischen Anwendung, Weimar, 2017, 29.

Sekavová H., Herrmann J., Prošek Z., Nyč M., Karra'a G.: The influence of the use of recycled gypsum on the properties of gypsum products in labor conditions, 2020

Snyder D., Sokol J.: Interior wall and ceiling covering. US20030192278A1, 2003

SWAP (Sachsen) GmbH Verbundwerkstoffe: Branchen. online unter: <https://swap-sachsen.com/branchen/> (abgerufen am: 31.03.2023)

Technische Universität Darmstadt: BAMP! - Bauen mit Papier. online unter: https://www.tu-darmstadt.de/bauenmitpapier/startseite_bamp/index.de.jsp (abgerufen am: 31.03.2023)

Tichelmann K., Pfau J.: Trockenbau. Grundlagen, Details, Beispiele, 2007

Vandevoorde C., Naeyaert C.: Bodenpaneel. EP2763850B1, 2012

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
Art.	Artikel
usw.	und so weiter
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GmbH & Co. KG	Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Compagnie Kommanditgesellschaft
Ges. m. b. H.	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
bzw.	Beziehungsweise
z.B.	zum Beispiel
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
mm	Millimeter
cm	Zentimeter
m	Meter
PVC	Polyvinylchlorid
REA-Gips	Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen
°C	Grad Celsius
MJ/kg	Megajoule pro Kilogramm
MJ/m ²	Megajoule pro Quadratmeter
g/m ²	Gramm pro Quadratmeter
s	Sekunden

u. dgl.	und dergleichen
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
dB	Dezibel
PU	Polyurethan
R	Tragfähigkeit
E	Raumabschluss
I	Wärmedämmung

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at