

Die approbierte Originalversion dieser
Dissertation ist in der Hauptbibliothek der
Technischen Universität Wien aufgestellt und
zugänglich.

<http://www.ub.tuwien.ac.at>



The approved original version of this thesis is
available at the main library of the Vienna
University of Technology.

<http://www.ub.tuwien.ac.at/eng>

Sami Khoury

Doctoral Thesis

Analysis and development of alternative construction systems (light constructions; steel, timber) for multi-storey buildings with predominantly office use

An introductory work

DISSERTATION

Analyse und Entwicklung alternativer Baukonzepte (Leichtbau; Holz, Stahl) für vielgeschossige gestapelte Gebäude mit überwiegender Büronutzung

Eine einleitende Arbeit

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Em.o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter

E259 / Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

Institut für Architekturwissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Sami KHOURY

8927482

Zur Spinnerin 1/5/515, A-1100 Wien

Wien,



«I would like to be known for buildings which are full of light, which are light in weight, which are flexible, which have low energy, which are what we call legible — you can read how the building is put together.»
Richard Rogers, New York Times, 2007

VORWORT

Die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten von alternativen Bauweisen und Bausystemen, allen voran die Holz-Glas- und die Holz-Beton-Verbundbauweise, motivierte mich - neben meiner beruflichen Tätigkeit als Architekt in Wiener Planungsbüros, und zuletzt während meiner Tätigkeit als Lehrbeauftragter und Architekt in Amman-Jordanien - diese Arbeit zu schreiben.

Das Thema resultierte aus meiner Masterarbeit sowie aus dem am Institut für Architekturwissenschaften der TU-Wien, Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau durchgeführten Forschungsprojekt „8+“. Inspiriert von den britischen High-Tech-Architekten Norman Foster und Richard Rogers vertiefte ich meine Studien im Bereich Leichtbau (Glas, Stahl, Holz) und beschäftigte mich mit seiner zeitgenössischen Anwendung bei vielgeschossigen Bürobauten. Die Teilnahme am Modul 3 „Wood-based Multi-storey Buildings“ des Universitätslehrgangs „Urban Wood“ ermöglichte mir viele Grundlagen und praktische Anwendungen im Holzbau von Experten, etwa Prof. Julius Natterer, Prof. Hermann Kaufmann und Dr. Martin Teibinger, zu erfahren. Letztlich mündeten meine Studien in die nun vorliegende Dissertation.

Herzlich danken möchte ich meinem Betreuer Em.o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter für seine Unterstützung und die konstruktiven Impulse. Seine Anregungen und Ratschläge ermutigten mich in der Ausarbeitung der Arbeit und waren eine große Hilfe. Großen Dank auch an meine alte Freundin Mag. Sabine Schmid für ihre botanische Fachberatung.

Abschließend ein Dank an meine Freunde Dr. Theresia Laubichler, Christian Hörst und Walter Jannach für ihre Treue über mehrere Jahrzehnte.

KURZDARSTELLUNG

Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung von Bauweisen und Leichtbausystemen (Holz, Stahl u. Glas) und darauf basierend die Entwicklung von alternativen Baukonzepten, für vertikal verdichteten Bauformen im Bürobau in Bezug auf ihre nachhaltige Anwendung, Gestaltung, Konstruktion unter Berücksichtigung bauphysikalischer, brandschutztechnischer und statischer Gesichtspunkte. Dabei stellt die Leistung der Natur (Licht, Pflanze) einen wesentlichen Faktor dar.

Im Kapitel „Problemfeld“ wird das Thema begründet: Stoff- und Energieflüsse werden in Frage gestellt, die Sinnhaftigkeit der Verdichtung erklärt, die Notwendigkeit der Anwendung von konstruktiven Leichtbausystemen erläutert und die Vorteile der Sonnenenergie dargestellt.

Im zweiten Kapitel werden – unter dem Titel “Leistung der Natur” – die Vorteile von Pflanzen, ihre Verwendung und Ansprüche an Licht und Substrat behandelt.

Das dritte Kapitel widmet sich den technischen Aspekten beim verdichteten, gestapelten Bauen. Behandelt werden die Punkte: Tragsysteme, alternative Holzbausysteme, Stahlgeschoßbau, Glas-Fassaden-Systeme,

Membran-Fassaden und der vorbeugende Brandschutz. Die technischen Aspekte werden mit ausgewählten Beispiele unter den Aspekten »Green Building« und biologische Architektur belegt. Bei den vorgestellten Projekten handelt es sich um eine Art Architektur, die das natürliche ökologische Bauen in den Vordergrund stellt.

Im vierten Kapitel „Bürobau“ werden Gebäudetypologie und Erschliessung sowie Raumkonzepte (traditionelle- und alternative Büroraumkonzepte) erläutert.

Im fünften Kapitel “BIM” Gebäude-datenmodellierung wird das Thema im Allgemeinen sowie Speziellen – Planungsphasen Konzeption und Entwurf – erläutert und mit einem Beispiel belegt.

Abschließend werden Konzeptstudien dargestellt und zwei ausgewählte Prototypen sechs- und zwanzigeschossiger Bau im Detail erarbeitet.

ABSTRACT

Subject of this thesis is the study of the methods of construction and lightweight systems like timber, steel and glass, and development of alternative building concepts for vertically dense types (office buildings) in terms of their sustainable use, design, construction, building physics, fire protection and static aspects. The power of nature (light, Plant) represents an essential factor.

In the chapter „problem area“, the theme is justified: material and energy flows are scrutinized, the usefulness of densification and the need for the use of lightweight structural systems explained and the benefits of solar energy illustrated.

The second chapter - entitled „Power of Nature“ - handled the benefits of plants, their use and demand on light and substrate.

The third chapter is devoted to the technical aspects of the compacted, stacked construction. It covers the points: structural systems, alternative timber systems, steel structures, glass facade systems, membrane facades and fire prevention. The technical aspects are covered with selected examples from the point of „Green Building“ and biological architecture.

The projects are a type of architecture that represents the natural ecological construction.

In the fourth chapter, „office building“, building typology as well as room concepts of office buildings - traditional and alternative office concepts - are discussed and explained.

In the fifth chapter, „BIM“ building information modeling, the topic in general as well as special - planning phase conception and design - is explained and given an example.

Finally, concept studies are presented and two selected prototypes six- and twenty-storey-building are worked out in detail.

INHALT

6	Konzepte	148
6.1	Konzeptstudien	148
6.2	Entwürfe	149
6.2.1	Prototyp für ein 6 Geschosser	149
6.2.2	Prototyp für ein 20 Geschosser	165
6.3	Pflanzenauswahl	176
7	Zusammenfassung	178
	Literaturverzeichnis	185
	Abbildungsverzeichnis	187

1 PROBLEMFELD

Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung und 80 Prozent der europäischen Bevölkerung leben heute in städtischen Gebieten. Der Einfluss des Menschen nimmt vom Stadtrand zum Stadtzentrum hin zu und beeinträchtigt die Kreisläufe des „Ökosystems Erde“. Durch das, vom Menschen geschaffene, „Ökosystem Stadt“ erfahren alle Geofaktoren – Klima, Relief, Boden, Vegetation und Wasserhaushalt – grundlegende Veränderungen. Die Energie- und Stoffflüsse befinden sich nicht mehr im Gleichgewicht und die urbane Lebensqualität ist durch Umweltprobleme – Luftschadstoffe, Erwärmung... – stark beeinträchtigt. Dies macht es notwendig, sich Gedanken über die Problemfelder Stadtklima und Luftschadstoffe, Bodenversiegelung und Ressourcenverbrauch zu machen und Konzepte für eine nachhaltige Stadtentwicklung zu erarbeiten. Gleichzeitig stellen der Umbau von einer Industrie- zu einer Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft, der aktuelle demografische Wandel und eine zunehmend pluralistische Gesellschaft besondere Herausforderungen an Architektur und Städtebau. Im Sinne der Nachhaltigkeit sind flexible Konzepte für zukunftsfähiges Bauen gefordert.

„[...] Wir haben erkannt, dass der heutige hohe Pro-Kopf-Verbrauch von Ressourcen in den Industrienationen nicht für alle jetzt lebenden Menschen, ganz zu schweigen von künftigen Generationen, möglich ist, ohne das natürliche Kapital zu zerstören.“

Charta der Europäischen Städte und Gemeinden auf dem Weg zur Zukunftsbeständigkeit
Charta von Aalborg (2006)

Außerdem zwingt die vom Menschen für Siedlungs- und Verkehrsflächen in Anspruch genommene Fläche dazu, über Modelle hoher Dichte und gemischter Nutzungen nachzudenken. Verdichtete Bauformen, die Ressourcen, Fläche und Energie über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes hinweg schonen, sind notwendig. Beispiele für hohe Bauten finden sich bereits in der Antike (Pyramiden von Gizeh zwischen 2620 bis 2500 v. Chr., Zikkurat von Ur etwa 2000 v. Chr., Turm zu Babel 562 v. Chr.), in den ostasiatischen Pagoden (Vietnam, China, Nepal, Burma, Japan und Korea) und in den europäischen Sakralbauten und Türmen des Mittelalters und der frühen Neuzeit. Der Bau kommerziell genutzte große Bürogebäude setzte gegen Ende des 19. Jahrhunderts in Chicago ein. Wirtschaftlich sinnvoll wurde

der Bau von höheren Bauten mit der Erfindung des Personenaufzuges (1854) durch Elisha Grave Otis, die Entwicklung der Metallskelettbauweise und die Entwicklung haustechnischer Systeme.



Abb. 1 Zikkurat von Ur nach der Rekonstruktion
Wikimedia (2013)



Abb. 2 Turm zu Babel, Lucas van Valckenborch
Wikimedia (2013)

Der konstruktive Leichtbau ist die Voraussetzung für die Realisierbarkeit von Konstruktionen, die große Spannweiten überbrücken, die große Höhen erreichen oder sich bewegen bzw. bewegt werden beispielsweise durch Schwingungen infolge von Wind und Erdbeben. In der Erdbebennorm DIN 4149 werden z. B. Einfachheit des Tragwerks, überschaubare direkte Lastabtragung, regelmäßiger Aufbau im Vertikalen und symmetrischer Aufbau im Grundriss als Entwurfsgrundsätze angeführt. Die Leichtbauweise ermöglicht durch Einsparung von Rohstoffen (Ausnutzung des Materialvolumens) und Kosten bei der Herstellung, der Montage und der Nutzung eines Produkts innovative schnelle material- und gewichtssparende Konstruktionen. Diese Konstruktionsphilosophie wird im Hochbau als kostengünstige und flexible Alternative geschätzt, da sie raschen Baufortschritt, Nutzflächenmaximierung und große Flexibilität ermöglicht.

Als Leichtbaumaterialien gelten z. B. Holz, Aluminium, Magnesium, hochfeste Stähle, Titan und Faserverbundwerkstoffe. Die hohen spezifischen Steifigkeiten (Biege-, Dehn- oder Torsionssteifigkeit) und Festigkeiten der Kunststoffe - speziell Faser-Kunststoff-Verbunde - machen sie zu attraktiven Leichtbauwerkstoffen.

Der Einsatz von Holz als Leichtbaumaterial ermöglicht die Reduktion von Massenströmen an Baumaterialien sowie die Erhöhung der regenerierbaren Material- und Energieanteile und leistet einen Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels und zur Reduktion des Abfallaufkommens. Die Leichtbaukonstruktion (Bauteile) können im Werk vorgefertigt werden, wodurch man die Witterungs- und Temperaturschwankungen ausweicht, eine größere Genauigkeit sowie kürzere Bauzeit erzielt und die Wirtschaftlichkeit steigert. Im Falle einer Standardisierung der Bauteile hinsichtlich ihrer Maße und Eigenschaften ist eine Fabrik- oder serienmäßige Produktion sinnvoll.

Globale biogeochemische Kreislaufsysteme – Kohlenstoff-, Stickstoff-, Schwefel- und Phosphorkreislauf – verbinden Gesteine, Boden, Luft, Wasser sowie Lebewesen und sind daher von besonderer Bedeutung. Der Mensch hat durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in den Kohlenstoffkreislauf eingegriffen (Klimawandel) und den Anstieg der Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) in der Luft, von 597 Milliarden Tonnen auf 820 Milliarden Tonnen, verursacht. Aus dem Kohlendioxid in der Luft und aus Wasser wird mit Hilfe von Sonnenlicht Zucker gebildet.

Die Fotosynthese ist die wichtigste chemische Reaktion auf der Erde, da sie anderen Lebewesen energiereiche Baustoff- und Energiequellen liefert.

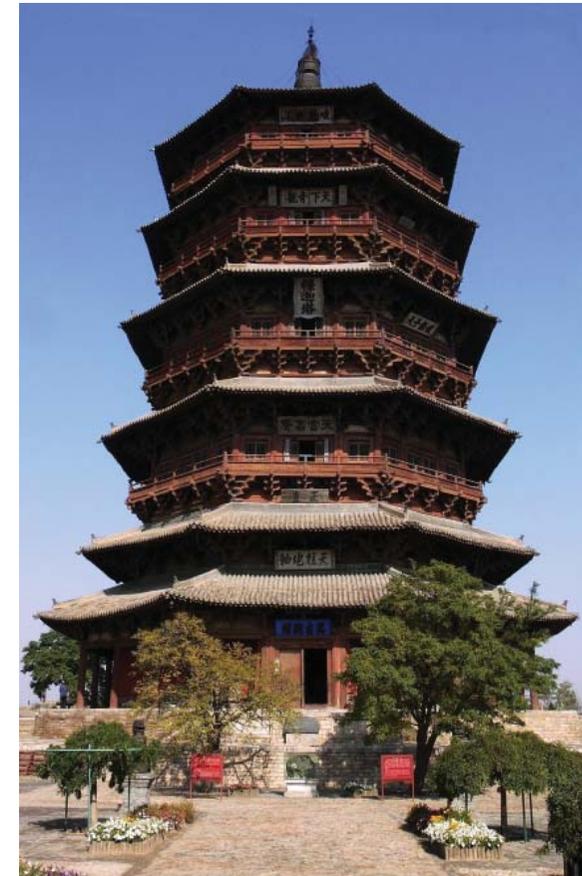


Abb. 3 Die Holzpagode des Fogong-Klosters in Shanxi, China
Wikimedia (2013)

Die Konkurrenz der Pflanzen ums Licht macht sich im „Stockwerkaufbau“ des Waldes bemerkbar. Viele Exemplare des Küstendammutbaums *Sequoia sempervirens* sind über 100 m hoch. Das höchste lebende Exemplar mit einer Stammlänge von 115,60 Metern ist der „Hyperion“ im Redwood-Nationalpark im Nordwesten Kaliforniens.



Abb. 4 Redwood National Park
Wikimedia (2013)

Licht stellt nicht nur für Pflanzen den wichtigsten Ökofaktor dar, sondern ist auch für viele Tiere einer der wichtigsten Sinne. Für das Wohlbefinden, der Entwicklung und der Gesundheit des Menschen ist das Tageslicht ein wesentlicher Faktor. Für die großen Baumeister aller Epochen war die Lichtführung ein wesentlicher Entwurfsfaktor und ein elementarer Bestandteil der Architektur.

„Die Sonne ist die große Lichtquelle für alles, was lebt. Als solche müsste sie bei der Planung jedes Hauses genutzt werden.“

Frank Lloyd Wright (1869-1959)

„[...] Es ist lächerlich zu denken, dass eine elektrische Glühbirne das bewirken könnte, was die Sonne und die Jahreszeiten leisten. Daher ist es das natürliche Licht, was dem architektonischen Raum einen echten Sinn gibt.“

Louis I. Kahn (1901-1974)

Aus den obigen Überlegungen wird das Thema der Arbeit abgeleitet: **Analyse und Entwicklung alternativer Baukonzepte (Leichtbau; Holz, Stahl) für vielgeschossige gestapelte Gebäude mit überwiegender Büronutzung.** Nach einer ausführlichen Darstellung des heutigen Wissensstands werden konkrete Lösungsansätze für dieses Idealbild – Lösung durch „Licht und Leichtbau“ – in Bezug auf Struktur, Typologie,

Erschließung, Kern-Aussteifung, natürliche Belichtung und Lüftung sowie Pflanzeneinsatz aufgezeigt.



Abb. 5 Kuppel vom Pantheon, Rom
Wikimedia (2013)



Abb. 6 Auditorium der Technischen Universität in Otaniemi, Finland, 1953-1967, Arch. Alvar Aalto
TU Dresden (2013)

2 LEISTUNG DER NATUR

2.1 PFLANZEN ALS ROH- UND WERKSTOFF

Die **Pflanzen** (Plantae) bilden ein eigenes Reich innerhalb der Domäne der Lebewesen mit Zellkern und Zellmembran. Mit den Pflanzen befasst sich wissenschaftlich die Disziplin der Botanik. In der Systematik werden oft die Pflanzen mit den Landpflanzen gleichgesetzt. Pflanzen sind für den Menschen von großer Bedeutung, da sie als Nahrung, Roh- und Werkstoff, Genussmittel, Heilmittel, Energielieferant und Zierpflanzen genutzt werden und eine wichtige Rolle in natürlichen und anthropogenen Ökosystemen spielen. Die Pflanzen stellen die zum Wachsen und Leben notwendigen organischen Stoffe mit Hilfe des Sonnenlichts durch Photosynthese selbst her. Bei diesem biochemischen Vorgang wird zunächst mit Hilfe von lichtabsorbierenden Farbstoffen, meistens Chlorophyllen, Licht-Energie in chemische Energie umgewandelt. Diese wird dann unter anderem zur Fixierung von Kohlenstoffdioxid verwendet: Aus energiearmen, anorganischen Stoffen, hauptsächlich Kohlenstoffdioxid CO_2 und Wasser H_2O , werden dabei energiereiche organische Verbindungen – Kohlenhydrate – synthetisiert. Darüber hinaus dient die Photosynthese der Nitrat- und Sulfatassimilation

grüner Pflanzen. Man unterscheidet zwischen *oxygener und anoxygener Photosynthese*. Bei der oxygenen wird Sauerstoff O_2 freigesetzt. Die oxygene Photosynthese ist nicht nur der bedeutendste biogeochemische Prozess der Erde, sondern auch einer der ältesten. Sie treibt durch die Bildung organischer Stoffe mittels Sonnenenergie direkt und indirekt nahezu alle bestehenden Ökosysteme an, da sie anderen Lebewesen energiereiche Baustoff- und Energiequellen liefert. Außerdem wird dabei Sauerstoff erzeugt, der für die meisten Lebewesen lebensnotwendig ist. Aus Sauerstoff wird zudem die Ozonschicht aufgebaut.

Holz bezeichnet im allgemeinen Sprachgebrauch das feste bzw. harte Gewebe der Sprossachsen (Stamm, Äste und Zweige) von Bäumen und Sträuchern. Botanisch wird Holz als das vom Kambium erzeugte sekundäre Xylem der Samenpflanzen definiert. In einer weitergehenden Definition wird Holz daher auch als lignifiziertes (verholztes) pflanzliches Gewebe begriffen. Kulturhistorisch gesehen zählen Gehölze wohl zu den ältesten genutzten Pflanzen. Nachdem die Holzindustrie über Jahrzehnte von anderen

Werkstoffproduzenten überholt wurde, findet derzeit ein Umdenken im Bauwesen statt, so dass Holz, unterstützt durch die heute verfügbaren höheren Schnittholzqualitäten, leistungsfähigen Holzwerkstoffe und modernen Verbindungsmittel, wieder als alternativer vielseitiger Baustoff angesehen und verwendet wird. Holz zählt zu den nachhaltigen Rohstoffen, wächst im Gegensatz zu vielen anderen Baustoffen mit Sonnenenergie wieder nach, verbraucht bei Gewinnung, Transport und Verarbeitung unter allen Baustoffen am wenigsten Energie (CO_2 -Ausstoß für die Produktion verschiedener Baumaterialien [kg/m^3]: Holz 16, Beton 120, Stahl 5.300 u. Alu 23.000) und der Wald behält seine schützende Funktion (Schutzwald, Naherholungsgebiet, Wirtschaftsfaktor, etc.) weiterhin. Um eine Tonne Holz zu produzieren, entziehen Bäume der Atmosphäre rund 1,9 Tonnen Kohlendioxid und speichern 500 Kilogramm Kohlenstoff (1 m^3 Holz beinhaltet 250 kg Kohlenstoff - \rightarrow 950 kg CO_2). Weltweit können von den über 30.000 vorhandenen Baumarten jedoch nur ungefähr 300 in größerem Umfang technisch genutzt werden. In Mitteleuropa sind etwa 30 Holzarten von wirtschaftlicher Bedeutung, allen

voran die verschiedenen Arten der Nadelhölzer Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche und Douglasie sowie der Laubhölzer Buche, Eiche und Esche. Das hocheffizient konstruierte Leichtbaumaterial Holz ist ein mit Cellulosefasern bewehrter anisotrop aufgebauter poröser tragfähiger Verbundbaustoff, der aufgrund seiner Hygroskopizität dazu neigt, Feuchtigkeit aufzunehmen. Holzigenschaften sind grundsätzlich artspezifisch, variieren aber auch innerhalb einer Art bedingt durch die Herkunft des Holzes. Grundsätzlich hat Holz vielfältige physikalische, technische, wirtschaftliche, physiologische und ästhetische Vorzüge. Holz ist bei gleicher Tragfähigkeit leichter als Stahl, hat annähernd die gleiche Druckfestigkeit wie Beton, hat günstige Wärmedämmeigenschaften (Wärmeleitfähigkeit Fichtenholz 0,22 W/m K, Spanplatten 0,14 W/m K u. Poröse Faserplatten erreichen 0,05 W/m K), ist nicht magnetisch und nicht elektrisch aufladbar, hat eine hohe chemische Beständigkeit, hat in Faserrichtung einen wesentlich geringeren Temperaturexpansionskoeffizienten und ist gegenüber hohen Temperaturen widerstandsfähiger als Stahl. Die Schallgeschwindigkeit erreicht in Holz faserparallel Werte von 4000 bis 6000 m/s, quer zur Faser nur 400 bis 2000 m/s. Einflussparameter auf die Schallgeschwindigkeit sind Dichte,

Elastizität, Faserlänge, Faserwinkel, Holzfeuchte, Holzfehler (Äste, Risse). Aufgrund seiner guten akustischen Eigenschaften ist Holz als Material für Schalldämmungen geeignet. Spanplatten mit einer Flächendichte von 15 bis 20 kg/m² erreichen eine Schalldämmung von 24 bis 26 dB. Die Wärmekapazität, d. h. die Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg eines Materials zu erwärmen, ist bei Holz etwa 4-mal größer als bei Eisen. Die Wärmedehnung kann bei Holz in der Praxis vernachlässigt werden, da sie durch das Schwindverhalten infolge Trocknung kompensiert wird. Die thermische Zersetzung von Holz setzt bei Temperaturen über 105° C ein, wird ab 200 C stark beschleunigt und erreicht ihren Höhepunkt bei 275° C. Ein thermischer Holzabbau kann aber bei längerer Exposition schon bei Temperaturen unter 100 C stattfinden. Der Flammpunkt des Holzes liegt zwischen 200 und 275° C. Bei Abwesenheit von Sauerstoff kommt es zur Pyrolyse. Mitteleuropäische Nutzhölzer haben einen Heizwert zwischen 13 und 20 MJ/kg. Zu den Vorteilen des Holzbaus zählen: 100 % nutzbar, behagliches Raumklima, keine Neubaufeuchte, installationsfreundlich, Baustoff mit dem besten Verhältnis von Wärmedämmung und Wärmespeicherung, hohes Maß an Eigenleistung möglich, kurze Bauzeit sowie witterungsunabhängige

Vorfertigung, Brandwiderstand ist berechenbar sowie geringe Herstellungsenergie.¹ Holz findet im Bauwesen als Bauholz Verwendung und kann dort z. B. als Vollholz oder in Form von Holzwerkstoffen eingesetzt werden. Es wird sowohl für konstruktive, isolierende als auch für Verkleidungen eingesetzt. Auf tragenden Holzkonstruktionen basieren der Holzrahmenbau, der Holzskelettbau sowie der traditionelle Fachwerkbau. Der Einsatz von Brettschichtholz und Holzwerkstoffen erlaubt dem modernen Holzingenieurbaueingewöhnliche Holzkonstruktionen. Beim Vollholz kommen Bauschnitt- und Baurundholz, Konstruktionsvollholz, Duo- und Trio-Balken (Balkenschichtholz), Kreuzbalken, Brettschichtholz, Brettsperrholz (Mehrschichtige Massivholzplatten) sowie zusammengesetzte Verbundelemente – Brettstapel-/Dübel- Elemente, Holz-Beton-Verbundbau, Geklebte Tragwerke aus BSH- Trägern (Blockverklebung), Hybridträger und Fachwerkkonstruktionen – zur Anwendung.

¹ Vgl. ProHolz Steiermark (2010)

2.2 ZIERPFLANZEN UND BAUWERKSBEGRÜNUNG

Bauwerksbegrünung ist ein möglicher Bestandteil des ökologischen Bauens und bezeichnet den Einsatz von Pflanzen an und in Bauwerken sowohl als Gestaltungsmittel als auch zur Verbesserung zahlreicher Funktionen. Zu den Arten der Bauwerksbegrünung zählen Dachbegrünung, Fassadenbegrünung und Innenraumbegrünung. Die Begrünung von Bauwerken setzte mit der gezielten Entwicklung von Techniken und Verfahren im letzten Viertel des vergangenen Jahrhunderts ein und ist heute von ästhetischer, sozialer, ökologischer und ökonomischer Relevanz. In einigen Baubereichen bestehen Vorschriften, Vorgaben und Förderprogramme für die Planung und Ausführung von Pflanzungen, etwa in der Ingenieurbiologie (z.B. Dach- und Fassadenbegrünungen).

Zierpflanzen sind Kulturpflanzen, die vom Menschen kultiviert werden. Sie zeichnen sich durch einen besonderen Zier- und Schmuckwert aus und können sowohl mehrjährige verholzende Pflanzen (Ziergehölze) als auch einjährige oder mehrjährige krautige Pflanzen (überwiegend Zierstauden) sein.

Darunter fallen:

- Zimmerpflanzen
 - o Blühende Topfpflanzen (z.B. Alpenveilchen, Usambaraveilchen u. Orchideen)
 - o Grün- oder Blattpflanzen (z.B. Köstliches Fensterblatt, Zimmer-Palmen u. Zimmertanne)
- Beet- und Balkonpflanzen (z.B. Pelargonien, Fuchsien, Petunia u. Fächerblume)
- Schnittblumen (z.B. Chrysanthemen, Nelken u. Rosen)
- Zwiebel- und Knollenpflanzen (z.B. Tulpe, Narzisse, Hyazinthe, Ritterstern u. Klivie)
- Zierstauden (z.B. Funkie, Vergissmeinnicht u. Pfingstrose)
- Ziergräser (z.B. Seggen, Lampenputzergras u. Pampasgras)
- Ziergehölze
 - o Ziersträucher (z.B. Weigelia, Kolkwitzie, Forsythie, Kirschlorbeer, Rosen u. Rhododendron)
 - o Zierbäume (z.B. Trompetenbaum, Magnolie u. Rosskastanie)



Abb. 7 Zierpflanzen
Verfasser (2009)



Abb. 8 Zierpflanzen / Schloß Schönbrunn
Verfasser (2009)

2.2.1 FASSADENBEGRÜNUNG

Die Fassadenbegrünung dient dem Schutz und der Verschönerung eines Bauwerkes ebenso wie der Verbesserung gebauter Umwelt unter ökologischen Aspekten. Begrünte Fassaden wirken positiv auf das Kleinklima, indem sie einen Beitrag zur Staubbindung, Luftbefeuchtung, Luftkühlung, Wärmedämmung (Isolationseffekt), Schallminderung, CO₂ Bindung und Sauerstoffproduktion leisten. Zusätzlich bieten sie Schutz gegen Schlagregen und UV-Strahlung und einen Lebensraum für Kleintiere. In letzter Zeit haben sich einige namhafte Architekten und Landschaftsplaner – z. B. Edouard François, Fink + Jocher, Jean Nouvel, Herzog & de Meuron, Martha Schwarz, Peter Walker,



Abb. 9 Wohn- und Geschäftshaus Wiedner Hauptstraße, Arch. Rüdiger Lainer
Karin Wallmueller, GAT Architektur Steiermark (2014)

Santiago Calatrava, Rüdiger Lainer – des Themas der Begrünten Fassade angenommen und bei zahlreichen Projekten vertikale Gärten umgesetzt. Diese Idee der vertikalen Bepflanzung ist allerdings nicht neu sondern stammt aus der Antike, als die Babylonier ihre „Hängenden Gärten von Semiramis“ bereits 600 Jahre v. Chr. angelegt haben. Prinzipiell ist bei der Fassadenbegrünung zwischen bodengebundener- und fassadengebundener Bepflanzung zu unterscheiden. Die klassische **bodengebundene Fassadenbegrünung** mit Kletterpflanzen kann durch Direktbewuchs mit selbstklimmenden Kletterpflanzen – Wurzelkletterer (z. B. Efeu) und Haftscheibenranker (Wilder Wein) – oder mit sogenannten Gerüstkletterpflanzen erfolgen. Gerüstkletterpflanzen werden nach der Strategie ihres Kletterns in Schlinger oder Winder (z. B. Akebie, Geisblatt), Spreizklimmer (z. B. Kletterrosen) und Ranker – Blattstielranker (z. B. Clematis) und Sprossranker (z. B. Weinrebe) – unterteilt. Aus diesen Klettertechniken resultieren jeweilige prinzipielle Ansprüche an Gerüste, die solche Kletterpflanzen zur Fassadenbegrünung benötigen. Man nennt diese Konstruktionen in Fachkreisen umfassend Kletterhilfen. Die umgangssprachlichen Begriffe „Rankhilfen“, „Rankgitter“ usw. gelten

streng genommen nur für Kletterhilfen, die den Anforderungen rankender Pflanzen genügen. Da aktuell die häufigsten Fassadenkonstruktionen als Wärmedämmverbundsysteme und vorgehängte hinterlüftete Fassaden ausgeführt werden, sind Direktbegrünungen mit Selbstklimmern aufgrund ihres Risikopotenzial – unerwünschte Ausbreitung und statische Beanspruchung der Wetterschutzschicht – nicht mehr empfehlenswert. Zur **fassadengebundenen Bepflanzung** gehören einerseits punktuell oder in der Fläche als modulares System aufgestellte Pflanztröge, in denen Pflanzen in Substrat (Erde oder adäquate Ersatzstoffen wie Blähton) gesetzt sind andererseits die Kultivierung von Pflanzen der sogenannten Gruppe der Epiphyten oder «Aufsitzerpflanzen» wie Algen, Moose und Flechten, die ohne Substrat lebensfähig sind. Es existieren verschiedene, konstruktiv erprobte flächige vertikale Vegetationssysteme, die als Vorgehängt Hinterlüftete Fassade (VHF) ausgeführt werden können. Sie werden als Vorsatzschale (substrathaltige Kassetten, Platten, Vliese) direkt auf die Außenwand montiert und ersetzen damit die Bekleidung der Fassade mindestens teilweise. Als Beispiele sind hier die deutschen Fassadenbegrünungssysteme Vertigreen („Carpet“ u. „Ornamental“) der

ZinCo GmbH, Fassadengarten der Optigrün International AG und Vertiko der Vertiko GmbH, Vertikalbegrünungskonzepte zu nennen. Die fassadengebundene Bepflanzung stellt eine Ergänzung zur bodengebundenen Bepflanzung dar und kann trotz kurzer Lebensdauer, hohen Anschaffungskosten und großem Wartungsaufwand wegen ihrer Systemmerkmale („sofort grün“, „automatisierte Ver- und Entsorgung“ und „ohne Platzbedarf am Boden“) in manchen Fällen nützlich oder sogar Voraussetzung für die Durchführbarkeit einer Begrünung sein.

Eine zentrale Rolle bei der Vertikalbegrünung im städtischen Umfeld spielt der französische Professor der Botanik **Patrick Blanc**, geb. 1953 in Paris, Tätigkeit am *Centre National de la Recherche Scientifique* CNRS sowie in der Forschungsgruppe *Biodiversité Tropicale et Facteurs Environnementaux* (Biotrop). Inspiriert durch die üppige Pflanzenwelt der tropischen Regionen Südasiens (Malaysia, Thailand, Indonesien), die auch ohne Substrat wächst, solange genügend Licht, Wasser und Mineralstoffe vorhanden sind, begann Blanc ab 1982 zu experimentieren und ein System für seine Pflanzenwände, „Murs Végétaux“, bzw. vertikale Gärten, „Mur Végétal“, zu entwickeln, das er durch ein Patent, das so genannte

«Verfahren zur Kultivierung von Pflanzen ohne Substrat auf vertikalen Flächen», im Jahr 1988 schützen ließ. Der Grundaufbau besteht in der Regel aus einem Metallgerüst, das mit Abstand direkt an der zu begrünten Wand befestigt wird. In diesem Metallraster liegen 10 mm dicke Hartschaumplatten, die als Träger für die in zwei Schichten darübergespannten 3 mm starken Filzlagen – Kunststoffvlies aus recycelter Polyesterkleidung – dienen. Die Setzlinge werden nach einem sehr detaillierten Pflanzplan durch Schnitte in der ersten Lage hineingeschoben und wachsen zwischen den beiden Filzschichten. Das zweilagige Vlies dient den Pflanzen als Wurzelraum und leitet das Wasser und den Flüssigdünger, die aus einem perforierten Kunststoffrohr – waagrechtes Berieselungssystem – am oberen Ende der grünen Wand herauströpfeln, gleichmäßig an die Pflanzen weiter. Die Pflanzen gedeihen im Unterschied zu Modulen wie Green-, Garden- oder Wonderwall ohne Erde und stützen die Tragkonstruktion mit, sodass der Aufbau ca. 30 kg/m² wiegt. Angepasst an Lage, Sonneneinstrahlung, Himmelsrichtung und Klima wählt Blanc für seine senkrechten Gärten in Mitteleuropa eine Mischung winterfester Farne, Moose, Gräser, Stauden und Büsche. Nach einer Teilnahme an der Internationalen Gartenschau in Chaumont-sur-Loire (1994)

kam mit der Umsetzung eines Projekts am Pariser Luxushotel Pershing Hall (2001), wo Pflanzen eine 30 Meter hohe Wand im Hinterhof überziehen, der wirklich große Durchbruch. Seither hat Patrick Blanc viele vertikale Gärten im Außen- und Innenbereich realisiert, darunter etwa die Caixa Forum in Madrid von Herzog & de Meuron (2007), die Fassade des Musée du Quai Branly in Paris (2006) sowie die Feuermauer des Hotels Sofitel in Wien (2010), beide von Jean Nouvel. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese vertikalen Wände als ökologische Notwendigkeit, urbane Kunstform oder Modeerscheinung zu definieren sind. In einem Interview mit der Tageszeitung DER STANDARD aus dem Jahr 2012 hebt Patrick Blanc die positiven Auswirkungen seiner Gärten auf das Mikroklima hervor und stellt sie als Alternative und Beitrag dar, die Prinzipien urbanen Lebens zu überdenken. Er gibt jedoch zu, dass es auch um Lifestyle und grüner Glamour geht.

2.2.2 DACHBEGRÜNUNG

Die Dachbegrünung bezeichnet den Vorgang des Bepflanzens von Dächern in Form von Dachgärten einschließlich Vegetation und notwendiger Aufbau. Als Beispiele für historische Dachbegrünungen in Europa können skandinavische Grassodenhäuser sowie die mit Erde überdeckten Weinkellern in Österreich und Ungarn genannt werden. Heute werden unterschiedliche Systemlösungen verschiedener Firmen, Dachgrün, Optigrün, ZinCo oder EcoFlora, angeboten. Dachgärten sind vielfältig gestaltbare Erholungslandschaften, die sich positiv auf Mensch, Flora und Fauna auswirken und das Mikroklima verbessern. Die ökonomischen Vorteile liegen in der Senkung der Energiekosten durch Heizkosteneinsparung im Winter (Wärmedämmeffekt des Gründachaufbaus) und Kühlung im Sommer (Verdunstungsleistung der Pflanzenschicht), Steigerung vom Wert des Gebäudes, Einsparung in der Betriebs- und Erhaltungskosten durch Schutz und Verlängerung der Lebensdauer der Dachkonstruktion (Schutz vor thermischen und mechanischen Beanspruchungen) sowie Kostenersparnis in der Wasserentsorgung (Entlastung des Kanalsystems). Die ökologischen Vorteile von begrüntem Dächern liegen in der Verbesserung der Luftqualität (Staub- und Schadstoffbindung,

Adsorption von Kohlendioxid und Sauerstoffanreicherung durch Photosynthese), Regenwasser-Bewirtschaftung und Grundwasserneubildung sowie Schall- und Strahlungsdämpfung. Außerdem gelten sie als Dachbiotopen, die einen Lebensraum und Standort für viele vom Aussterben bedrohte Insekten wie Schmetterlinge und Wildbienen, Bodentiere wie Käfer, Ameisen und Wanzen sowie diverse Rote-Liste-Vogelarten (Nahrung, Nistmaterial sowie Brutversuche) darstellen und daher für den Natur- und Artenschutz von großer Bedeutung sind. Die ökologische Qualität der Dachbegrünung ist von der Substratdicke und der damit verbundenen Artenvielfalt, Relief sowie der Wahl des Substrats und der Samenmischung abhängig. Zu den Nachteilen zählen: Erhöhter Lastenaufbau, mögliche Bauschäden aufgrund mangelhafter, unprofessioneller Ausführung sowie hohe Pflege- und Anschaffungskosten, die für Extensivbegrünungen bei ca. 15 Euro/m², für Intensivbegrünungen bei ca. 50 Euro/m² beginnen.

Nach Art des Bewuchses werden naturnahe pflegeleichte extensive (Dünnschichtaufbau mit Substrat, 8 - 15 cm hoch, Gewicht wassergesättigt 90 - 200 kg/m², frostbeständige und trockenheitsverträgliche

Vegetation, etwa Gewürzstauden, Zwiebelgewächse, Gräser, Kräuter, Moosen und Bodendecker z.B. verschiedene Sedum-Arten (Sedum floriferum, Sedum caucolicum, Sedum reflexum, Sedum album Laeconium)) und intensive (vollwertiger Bodenaufbau mit Stauden, Sträuchern und Rasenflächen bis hin zu Baumbepflanzungen möglich, 15 - 100 cm hoch, Gewicht wassergesättigt 180 - 1000 kg/m²) Dachbegrünungen unterschieden. Während die extensive Begrünung oft einschichtig ausgeführt wird, erfolgt bei einer intensiven Dachbegrünung eine Trennung in Vegetations-, Filter- und Dränschicht. Flachdächer und geneigte Dächer ab einer Dachneigung von 15° bis 45° – Kaltdach, Einschaliges Dach ohne Wärmedämmung, Warmdach und Umkehrdach – sind auf Unterkonstruktionen aus Beton, Holz sowie Leichtkonstruktionen wie etwa Trapezblechen begrünbar. Eine Intensivbegrünung ist bis zu einer Dachneigung von 5 % realisierbar.

In Deutschland regelt die Dachbegrünungsrichtlinie der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL) durch verbindliche Vorgaben die Umsetzung von Dachbegrünungen. In Österreich gilt seit 2002 die Gründachrichtlinie

des Verbands für Bauwerksbegrünung (V.f.B., Gründung 1991) als ONORM-Regel, ONR 121 131 – „Qualitätssicherung im Grünraum, Gründach-Richtlinien für die Planung, Ausführung und Erhaltung“. In der ON-Regel sind rechtlich-technische Details beschrieben, die für Planer, Ausführende Firmen sowie Sachverständiger die Arbeitsgrundlage darstellen. Zudem hat der Verband für Bauwerksbegrünung ein Bewertungsmodell für die am Markt befindlichen unterschiedlichen Dachbegrünungssysteme erarbeitet und eine Gründachzertifizierung (A, B u. C) mit Gütesiegel entwickelt. In der Wiener Bauordnung (BO) gibt es – trotz der Ermächtigung im Rahmen des Bebauungsplanes an den Gemeinderat eine Dachbegrünung festzusetzen – weder eine allgemeine Regelung über Gründächer noch einen generellen Zwang zur Begrünung.

Als Beispiele für Dachbegrünung können hier die Autobahneinhausung (A7) am Bindermichl in Linz von Wagner und Partner Ziviltechniker Ges.m.b.H. sowie die Werke des österreichischen Künstlers Friedensreich Hundertwasser, insbesondere Rogner Bad Blumau in der Oststeiermark und das Ronald McDonald Haus in Essen erwähnt werden.



Abb. 10 Rogner Bad Blumau in der Oststeiermark, Friedensreich Hundertwasser
Wikipedia (2010)

Als Vorzeigeprojekt ökologischen Bauens und biologischer nachhaltiger Architektur werden derzeit zwei in Mailand kurz vor der Vollendung stehenden Hochhäuser »vertikaler Wald«, »Bosco Verticale« auf Italienisch, vom Architekten Stefano Boeri, ehemaligen »Domus«-Herausgeber propagiert. Die Gebäude, 80 und 112 Meter hoch, sind mit Grün auf den auskragenden Balkonen umgeben und werden in ihrer Außenhülle 480 große und mittlere Bäume, 250 kleine Bäume, 5.000 Büsche und 11.000 Bodendeckerpflanzen beherbergen. Es bestehen jedoch große Zweifel, ob die 4,25 Millionen Dollar teure Aufforstung ohne intensive Pflege in den obersten Etagen (Hitze, Kälte, Wind und Schnee) überleben kann. Dies wird offensichtlich, indem die Bäume aufgrund hoher Windlasten trotz eigens dafür entwickelter Erde mit Stahlseilen gehalten werden. Das

Projekt hat bezüglich Umweltschutz und Verbesserung des Mikroklimas (vertikale Verdichtung u. Bauwerksbegrünung) einen Symbolcharakter, berücksichtigt jedoch bei der Materialwahl (Beton, Stahl und Aluminium) nicht ausreichend den Ressourcenverbrauch, die CO₂ Emission und die Energieeffizienz.

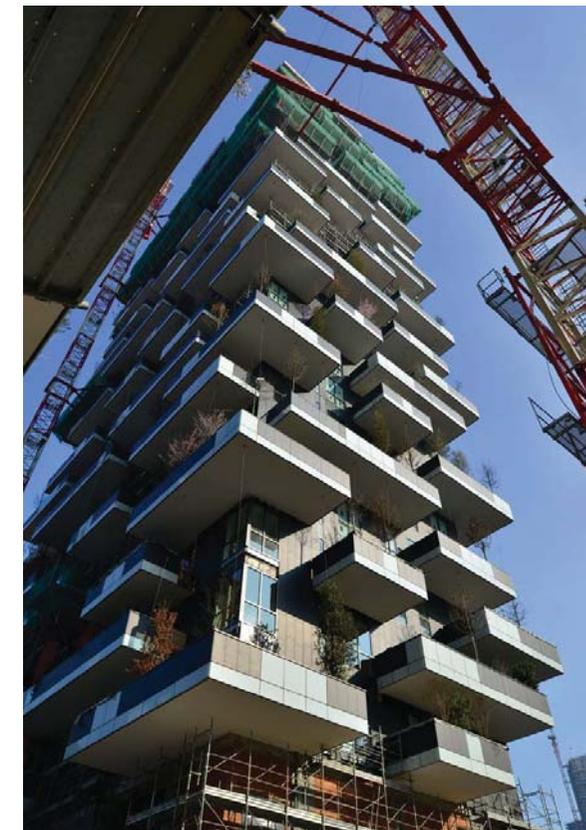


Abb. 11 Vertikaler Wald, Mailand
Carlo Alberto Mari (2013)

2.2.3 INNENRAUMBEGRÜNUNG

Der als integraler Bestandteil des Gebäudes geplante Garten wird heute immer üblicher obwohl er keineswegs neu ist. Bereits im 5. Jahrhundert v. Chr. umschlossen griechische Wohnhäuser Innenhöfe, in denen Pflanzen in Töpfen und Kübeln gezogen wurden. Im 4. Jahrhundert hatte Alexander der Große Persien und Ägypten erobert, wo sich mit Blumen bepflanzte Gärten bereits großer Beliebtheit erfreuten. In der neuen, sich ausdehnenden hellenistischen Welt wurde der griechische Innenhof zu einem Ort für exotische Pflanzen und Blumen. In Japan ist der umschlossene Garten seit Jahrhunderten ein wesentlicher Teil japanischer Architektur. Heute werden durch den Fortschritt in Design und Konstruktion von Gebäuden neuartige Innenräume geschaffen wobei die Grenzen zwischen Innen- und Außenraum aufgehoben werden. Im Gegensatz zu Gewächshäusern und den ursprünglichen Wintergärten und Orangerien dient die Innenraumbegrünung dem Wohlbefinden des Menschen. Geeignet sind Pflanzen mit höherem Wärmebedarf: solche Pflanzen stammen aus den **Tropen** und **Subtropen**.²

Pflanzen für kalte und kühle Wintergärten kommen meist aus Regionen mit großen Temperaturunterschieden, wie man



Abb. 12 Haifa am Mittelmeer, subtropische Pflanzen
Fotocommunity (2010)

sie in den Subtropen und damit zum Beispiel im Mittelmeergebiet findet. Auch auf anderen Kontinenten gibt es Florenreiche, die in ihrem Klima und in den Ansprüchen ihrer Vegetation dem mediterranen sehr ähnlich sind: in Kalifornien, Chile, Australien und in Südafrika am Kap. Die Vegetation wird von Hartlaubgehölzen bestimmt. Typische Vertreter der Mittelmeervegetation sind die Stein-Eiche, *Quercus ilex*, und die Kork-Eiche, *Quercus suber*, in der Strauchschicht der Mittelmeer-Schneeball, *Viburnum tinus*, die beiden einzigen in Europa beheimateten Palmen, die Kretische Dattelpalme, *Phoenix theophrastii*, und die Zwergpalme, *Chamaerops humilis*, sowie viele als Gewürze

bekannte Kleinsträucher wie Thymian, Rosmarin oder Lavendel. Die Kulturpflanze des Mittelmeerraumes ist der Olivenbaum, *Olea europaea*. Für den kalten Wintergarten geeignet sind auch kalifornische Arten wie die Verwandten des mediterranen Erdbeerbaums der Gattung *Arbutus* und die Säckelblumen, *Ceanothus spec.*. Ebenfalls aus Kalifornien stammt *Fremontodendron californicum*, der als so genannter Flanellstrauch im Handel ist. Für die Innenraumbegrünung geeignete chilenische Arten sind z.B. *Podocarpus*- also Steineibe-Arten, *Araucaria araucana* sowie endemische Honigpalme, *Jubaea chilensis*. Auch Puya-Arten, Ananasgewächse stammen aus Chile. Aus Südafrika stammen die Gattungen *Erica* und *Protea*. Die Kapmyrte, *Phyllica ericoides*, Bleiwurz, *Plumbago auriculata*, oder die Kreuzblume, *Polygala myrtifolia* können ebenfalls im Wintergarten verwendet werden. In Australien findet man *Proteaceen*, z.B. *Bankisia*- oder *Grevillea*-Arten. Die so genannten Zylinderputzer, Arten der Gattung *Callistemon*, sind in Europa als Kübelpflanzen und dankbare Blütensträucher im Wintergarten bekannt.³

² Vgl. Cooper (2003)

³ Vgl. Volm (2002)

Pflanzen, die in den Übergangszonen zwischen Subtropen und Tropen wachsen sind geradezu prädestiniert für den **temperierten Wintergarten**. Beispiele dafür sind Puderquastenstrauch, *Calliandra portoricensis* und die Guave, *Psidium guajava*. Für **dauerhaft beheizte Räume** (Zimmertemperatur) gibt es eine große Auswahl. Die verbreitetste Art ist die Birken-Feige, *Ficus benjamina*. Vergleichsweise selten sieht man andere weniger anspruchsvolle, robuste Ficus-Arten, wie *Ficus cyathistipula* oder den Indischen Lorbeer, *Ficus microcarpa*. Als Zimmerpflanzen verbreitet sind beispielsweise die Grünstilbe, *Chlorophytum bichetii*, oder die vielen Arten der Korbmaranthe, *Calathea spec.*, die sich auch in großen Begrünungen gut zur Unterpflanzung eignen.⁴



Abb. 13 Guave, *Psidium guajava*
Lapalma-Botanik (2010)



Abb. 14 *Ficus cyathistipula*
Floramediterranea (2010)

Wohlbefinden durch Pflanzen

Pflanzen lockern die Atmosphäre, erhöhen die Konzentration und haben eine positive Wirkung auf das psychische Wohlbefinden in Büroräumen. Wissenschaftlich wird es mit dem viel zitierten evolutionsbedingten Bedürfnis "Biophilie", die Liebe zum Lebendigen, und "Phytophilie", die Liebe zu Pflanzen begründet. Als Wegbereiter des wissenschaftlichen Begriffes "Biophilie" gelten der deutsche Psychoanalytiker Erich Fromm und der amerikanische Soziobiologe

Edward O. Wilson. In einer Studie zur "Phytophilie", 'Savannenhypothese der Lebensraumpräferenz', beschreibt auch der amerikanische Biologe und Evolutionsforscher Dr. Gordon Orians dieses Phänomen. Zu diesem nicht unwesentlichen psychologischen Aspekt gibt es auch verschiedene, durch Studien belegte, **physische Aspekte**.

Eine Reihe von Schadstoffen und Umweltgiften – Formaldehyd, der unter anderem in Pressholzprodukten, Papierwaren, Bodenversiegelungen und Zigarettenrauch vorkommt, Benzol, Bestandteil von Benzin, Öl, vielen Farben, Plastik- und Gummiartikeln und Trichlorethylen, das oft in Druckfarbe, chemischen Reinigungsmitteln und Lacken enthalten ist – beeinträchtigt die Qualität unserer Raumluft und belastet unsere Gesundheit – das so genannte „Sick Building Syndrome“. Weitere Belastungen sind der hohe Lärmpegel und die niedrige Luftfeuchtigkeit in beheizten Büroräumen. Pflanzen tragen zur Verminderung des hohen Lärmpegels, sie filtern den Staub aus der Luft, verbrauchen Kohlendioxid und erzeugen Sauerstoff, erhöhen die Luftfeuchtigkeit, absorbieren und vermindern Schadstoffe, beugen der Ausbreitung von Viren vor, reduzieren die elektrostatische Aufladung

⁴ Vgl. Volm (2002)

und tragen damit zu einer verbesserten Luftqualität bei. In einer Graphik von „Plants For People“ werden die Anteile an der gesamten Wohlfahrtswirkung einer Pflanze im Raum wie folgt dargestellt: das verbesserte Raumgefühl im psychischen und psychosomatischen Sinn über 50%, die Wirkung von Luftbefeuchtung durch Pflanzen 30%, Wirksamkeit der Staubreduzierung rund 8 %, Lärmreduzierung 6 % und der Schadstoffabbau etwa 1%. Eine Büro-pflanze muss alle positiven Eigenschaften hinsichtlich Lärmreduktion, Luftbefeuchtung und Luftreinigung erfüllen, zugleich aber auch sehr pflegeleicht sein. Als besonders effizienter Schadstoffkiller und wirksame Luftfilter gelten etwa die Betelnuss, Grönlilie, der Drachenbaum, die Efeutute, Schwertfarn, Gerbera, Gummibaum, Efeu, die Dattelpalme oder Bogenhanf, der Zigarettenrauch absorbieren kann. Weitere geeignete Büro-pflanzen sind: Clivie, Efeuaralie, Fensterblatt, Palmlilie, Zimmerhafer und Zimmertanne.

Folgend ist eine Auflistung von Büro-pflanzen und deren Eigenschaften:

Topp in Luftfeuchtigkeit: Zimmerlinde und Zyperngras

Die effizientesten Regulatoren von Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind: Zypergras, Papyrusgras, *Philodendron*, *Spathiphyllum*,

Zimmerlinde, Farne, Zierbanane, Zimmerambus, Dieffenbachie und Fensterblatt. Insbesondere Pflanzen mit einem hohen Wasserbedarf, wie Zyperngras oder Zimmerlinden können durch ihr großes Blattvolumen über 90 % des eigenen Gießwassers an den Raum abgeben und die Luftfeuchtigkeit, etwa um 10 bis 15 Prozent erhöhen. Um die relative Feuchtigkeit von unangenehmen 30 Prozent auf erträgliche 50 Prozent ansteigen zu lassen, werden Für einen Raum in üblicher Zimmerhöhe von etwa 35 Quadratmetern etwa drei bis sechs große Pflanzen benötigt.

*Formaldehyd-Umwandler: Birkenfeige (*Ficus Benjamin*) und Arecapalme*

Pflanzen haben in ihren Blättern einen speziellen Eiweißstoff, der Formaldehyd in ungefährliche Aminosäuren und Zucker umwandelt. Die Birkenfeige (*Ficus benjamina*) sowie die Arecapalme filtert hervorragend Formaldehyd oder andere flüchtige organische Verbindungen aus der Raumluft. Weitere Formaldehyd-Umwandler sind: Grönlilie (*Chlorophytum comosum*), Baumfreund (*Philodendron*), Drachenbaum (*Dracaena fragans 'Massangeana'* u. *Dracaena deremensis 'Warneckii'*), Efeutute (*Epipremnum pinnatum*), Bitterschopf (*Aloe barbadensis*) und Purpurtute (*Syngonium podophyllum*).



Abb. 15 *Ficus benjamina*
Academic dictionaries and encyclopedias (2010)

Pflanzen die Benzol gut abbauen:

Efeu (*Hedera*), Grönlilie (*Chlorophytum comosum*), Drachenbaum (*Dracaena deremensis 'Warneckii'* u. *Dracaena marginata*), Efeutute (*Epipremnum pinnatum*), Einblatt (*Spathiphyllum sp.*), Bogenhanf (*Sansevieria trifasciata*) und Kolbenfaden (*Aglaonema modestum*).

Pflanzen die Trichloräthylen gut abbauen:

Efeu (*Hedera*), Drachenbaum (*Dracaena marginata* u. *Dracaena deremensis*), Efeutute (*Epipremnum pinnatum*), Einblatt (*Spatiphyllum sp.*), Bogenhanf (*Sansevieria trifasciata*), Bergpalme (*Chamaedorea elegans*) und Birkenfeige (*Ficus benjamina*).

Pflanzen die Kohlendioxid gut abbauen und Sauerstoff produzieren:

Für die Sauerstoffproduktion am Tage empfiehlt es sich die Madagaskarpalme (*Chrysalidocarpus lutescens*). Ideal ergänzt wird die Madagaskarpalme durch die nachtaktive Sanseverie (*Sansevieria trifasciata*), auch als Bogenhanf oder auch Schwiegermutterzunge bekannt. Diese Pflanze wandelt vor allem nachts CO₂ in O₂ um. Darüber hinaus passt die schlanke Form der Pflanze sehr gut in moderne Büros. Als geeignet gelten auch Grünstilbe (*Clorophytum*) und Efeutute (*Epipremnum*).

Die Allrounder: Drachenbaum und Gummibaum

Drachenbaum und Gummibaum absorbieren Giftstoffe bis zu 70%. Sie sind zugleich hervorragende Luftbefeuchter und filtern Staubpartikel und Benzol aus der Luft. Der Drachenbaum präsentiert sich in vielfältigen Ausführungen. Es gibt sowohl Pflanzen mit breiten Blättern, als auch solche, die

schmale, spitz zulaufende Blätter haben. Als Topfpflanze bringt der Drachenbaum viel Grün in das Büro und belebt so die Atmosphäre. Auch ist der Drachenbaum sehr pflegeleicht, benötigt nur wenig Licht und muss nur selten gegossen werden.



Abb. 16 Madagaskarpalme
auslandsimmobilienportal (2010)



Abb. 17 Sanseverie
DGHT (2010)

Ansprüche von Pflanzen

In natürlicher Umgebung wachsen die meisten Pflanzen in **Erde**. Früher haben Gärtner diverse Erdsorten durch einen Fäulnisprozess selbst hergestellt. Die wesentlichen Erdsorten waren Kompost-, Rasen-, Garten-, Laub-, Moor- und Misteerde, ihnen wurde in unterschiedlichen Konzentrationen Sand, Lehm, Torf, Kalk und natürlicher Dünger beigemischt. Heute erhält man die so genannte Einheitserde oder ein Torfkultursubstrat, das seine lockere Struktur über einen viel längeren Zeitraum behält, geruchsfrei ist und Wasser besser speichert, so dass damit auch die über das Gießwasser zugeführten Salze und Nährstoffe besser aufgenommen werden können. Die Ausgangsbasis für alle Erdmischungen bildet Blumen- und Kakteenerde, Sand, Torf und spezielle Nährsalze, wobei in den meisten Fällen Zimmerpflanzen in normaler Blumenerde gedeihen. Ausnahmen bilden Pflanzen, die eine höhere Konzentration an Torf und Sand benötigen. Kakteenerde besteht aus Lehm, Sand, Split, Laub- und Heideerde und ist aufgrund des geringen Humusgehalts wasserdurchlässiger. Mischungen von Blumen- und Kakteenerde sind möglich. Für Pflanzen in Hydrokultur verwendet man ein nicht abbaubares Haltesubstrat, das den Vorteil bietet, dass die Pflanze gerade in den Herbst- und Winter-

monaten bei trockener Raumluft mit gleichmäßiger Feuchtigkeit im Wurzelbereich versorgt wird. Hydrogranulat ist mineralisch, strukturfest, leicht, geruchlos und wird im Handel in unterschiedlicher Größe sowie natürlichem Farbton angeboten.

Licht ist die Grundvoraussetzung für das Wachstum aller Pflanzen, auch jene in Hydrokultur. Lichtansprüche von Pflanzen variieren je nach Art und sind bei deren Auswahl für den späteren Standort zu berücksichtigen. Die Lichtstärke am Pflanzenstandort kann mit einem Lichtmesser in der lichtreichen Jahreszeit und bei indirektem Sonnenlicht ermittelt werden. Die Meßzeit ist von der Himmelsrichtung des Blumenfensters abhängig: beim Ostfenster mißt man morgens, beim Südfenster morgens oder abends, beim Westfenster morgens oder mittags, und beim Nordfenster mittags oder nachmittags. Lichtmindernd wirken weite Dachüberstände, Hausschatten, Bäume, Balkone und getönte Fensterscheiben. Das Sommer-Sonnenlicht, um 12.00 Uhr mittags im Freien gemessen, bringt ca. 100.000 Lux. Zur selben Zeit sind es im Schatten nur noch ca. 10.000 Lux. Sommertags nimmt es selbst am hellen Zimmerfenster erheblich ab, hier sind es nur noch 3.000 bis 2.500 Lux. Bei jedem weiteren Meter von der Fensterbank

entfernt, verringert sich die Lichtmenge. Zwei Meter vom Fenster ist nur noch 1/4 der ursprünglichen Lichtintensität vorhanden. In der Raummitte liegen die Werte meist um die 300 Lux. Am Südfenster kann es während der Mittagszeit im Sommer so heiß werden, dass selbst Wüstenklima gewohnte Kakteen und andere Sukkulenten Brandschäden erleiden. Durch Markisen oder Jalousien kann die Lichtintensität bis zu 75% verringert werden. Lichtmangel bremst das Wachstum von Zimmerpflanzen und verursacht Schäden wie Geiltriebe und das Vergrünen von buntlaubigen Pflanzen. Blaues Licht im Wellenbereich von 436 Nanometer und rotes Licht im Wellenbereich von 630 Nanometer regt die Chlorophyllsynthese und die Photosynthese an, was für gute Wurzelbildung und gesundes Breiten- und Längenwachstum sorgt. Während für das Südfenster Wüstenpflanzen in Frage kommen, sind für das Ost- und Westfenster Blütenpflanzen, buntblättrige Pflanzen und Gewächse mit großen weichen Blättern geeignet: Bubiköpfchen (*Soleirolia soleirolii*), Flamingoblume (*Anthurium sp.*), Bogenhanf (*Sansevieria trifasciata*), Grünlilie (*Chlorophytum elatum*), Efeutute (*Epipremnum pinnatum*), Drachebaum (*Dracaena fragrans*, *D. deremensis*, *D. marginata*), Zypergras (*Cyperus sp.*), Dieffenbachie (*Dieffenbachia maculata*),

Schwertfarn (*Nephrolepis exaltata*), Birkenfeige (*Ficus benjamina*), Bergpalme (*Chamaedorea elegans*), Purpurtute (*Syngonium podophyllum*), Kroton und Wunderstrauch (*Codiaeum sp.*). Pflanzen, die beim Nordfenster mit wenig Licht auskommen, sind Baumfreund (*Philodendron sp.*), Efeuaralie (*x Fatshedera sp.*), Einblatt (*Spathiphyllum wallisii*), Fensterblatt (*Monstera sp.*), Kolbenfaden (*Aglaonema commutatum*, *A. modestum*), Marante, Pfeilwurz (*Maranta leuconeura*), Russischer Wein (*Cissus sp.*), Strahlenaralie (*Schefflera sp.*) und Zimmer efeu (*Hedera sp.*).



Abb. 18 Grünlilie
Schlüter (2010)

Folgend eine Auflistung der bekanntesten Hydrokulturrpflanzen und ihre Lichtansprüche:

Dunkel ab 400 Lux:

Aglaonema commutatum 'Silver Queen' (Kolbenfaden), *Aglaonema commutatum 'King of Siam'*, *Aglaonema commutatum 'Maria'* (Kolbenfaden), *Dracaena deremensis 'Janet Craig compacta'* (Drachenbaum), *Monstera deliciosa* (Fensterblatt), *Philodendron erubescens 'Emerald Queen'* (Baumfreund), *Rhapis excelsa*, *Sanseveria trifasciata 'Laurentii'* (Bogenhanf).

Mitteldunkel 400-600 Lux:

Aglaonema cummutatum (Kolbenfaden), *Aucuba crotonifolia*, *Begonia*, *Chamaedorea elegans* (Bergplame), *Chlorophytum*, *Dieffenbachia amonea*, *Dracaena deremensis*, *Epipremnum pinnatum* (Efeutute), *Euphorbia pulcherrima*, *Farne*, *Fatsia*, *Ficus elastica*, *Ficus lyrata* (Geigenfeige), *Ficus repens*, *Gardenia*, *Hoya carnososa* (Wachsblume), *Philodendron 'Imperial Green'* (Baumfreund), *Philodendron burgundii*, *Philodendron erubescens 'Red Emerald'* (Errötender Baumfreund), *Philodendron hastatum*, *Philodendron ilsemannii*, *Philodendron scandens* (Kletterphilodendron), *Philodendron tuxla*, *Phoicissus*, *Sanseveria*, *Schefflera actinophylla 'Amate'* (Strahlenaralie),

Spathiphyllum floribundum 'Hybride' (Einblatt), *Syngonium podophyllum* (Pfeilrebe).

Pflanzen, die 600-800 Lux benötigen:

Aeschynanthus, *Anthurium andreanum*, *Bromelien*, *Chrysalidocarpus lutescens 'Areca'* (Goldfruchtpalme), *Cissus antarctica*, *Cissus rhombifolia 'Ellen Danica'* (Königswein), *Cordyline*, *Dieffenbachia amoena 'Tropic White'* (Dieffenbachie), *Dracaena godseffiana*, *Dracaena marginata* (Drachenbaum), *Dizygotheca*, *Ficus elastica 'Decorata'* (Gummibaum), *Ficus longifolia 'Alii'*, *Ficus Cyathistipula*, *Kentia forsteriana* (Kentiepalme), *Maranta*, *Pandanus*, *Phönix canariensis*, *Saintpaulia*, *Schefflera arboricola* (Kleinblättrige Strahlenaralie), *Stephanotis*, *Syngonium podophyllum* (Pfeilrebe).



Abb. 19 Efeutute
Schlüter (2010)

Helle Standorte 800-1000 Lux:

Aeschynanthus radicans (Schamblume), *Anthurium Andreanum* (Flamingoblume), *Asplenium nidus* (Nestfarn), *Codiaeum variegata 'Petra'* (Wunderstrauch), *Codiaeum variegatum 'pictum'*, *Croton variegatum*, *Dracaena deremensis 'Lemon'* (Drachenbaum), *Ficus benjamina*, *Ficus pumila* (Kletterfeige), *Nephrolepis exaltata* (Schwertfarn), *Phönix roebellini*, *Pleomele 'Song of Jamaica'*, *Pleomele 'Song of India'*, *Zamioculcas zamiifolia* (Zamia).

Sonnige oder ganz helle Standorte über 1.000 Lux:

Beaucarnea recurvata (Elefantenfuss), *Codiaeum*, *Euphorbia pulcherrima*, *Euphorbia milii* (Christusdorn), *Euphorbia ingens*, *Euphorbia hermetiana trigona*, *Euphorbia tirucallii*, *Ficus australis*, *Ficus benjamina 'De Gantel'* (Birkenfeige gelbbunt), *Ficus pumila*, *Hibiscus*, *Peperomia*, *Pleomele*, *Schefflera arboricola 'Gold Capella'* (Bunte Strahlenaralie), *Yucca elephantipes* (Palm-lilie).

Beispiel: BGW, Dresden

Als gelungenes Beispiel der „grünen Solararchitektur“ mit integrierter Innenraum-begrünung gilt das Niedrigenergiehaus der Bezirksverwaltung – **Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrts-pflege (BGW)** – in Dresden, das nach den Plänen von LOG ID, Tübingen, Architekt Dieter Schempp, ehemaliger Chefredakteur der Architekturzeitschrift Glasforum und Gast-Professor an der Donau-Universität-Krems, in den Jahren 1994-1996 errichtet wurde. Das „wirtschaftliche, umweltschonende Gebäude mit weitgehender Solarenergienutzung, natürlicher Klimatisierung und Bepflanzung sowie ergonomisch gestalteten Arbeitsplätzen“ demonstriert, nach Architekten- und Bauherrnauffassung, exemplarisch Umwelt- und Gesundheitsbewußtsein in der Architektur. Das südorientierte kompakte Gebäude mit sich öffnender Eingangsbereich liegt in unmittelbarer Nähe von Zentrum und Dresdner Bürgerpark, zeichnet sich durch eine komplett verglaste Südfassade, verglaste Flächen an Ost-, West- und Nordfassade – Spezialglas (U-Wert = $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) – sowie gebäudeumhüllende weiß verputzte Massivwände aus und besitzt eine geschwungene Dachform mit einigen „Froschaugen“, die das futuristische Architekturkonzept betonen sollen.

Die Philosophie des Gebäudes wird im Außenbereich vorgezogen: unversiegelte Flächen, Erhaltung des Baumbestands, Neupflanzung von Obstbäumen sowie Verbindung von Innen- und Außenraum, indem ein Wasserlauf das Gebäude quert und in einen Seerosenteich vor der Südfassade fließt. Das offene Raumstrukturkonzept, ohne feste Zonierung von Wintergarten, Nutzflächen und Verkehrsflächen, erlaubt ein flexibles schnelles Anordnen und Gestalten von Büroräumen, um auf sich verändernde Organisations- und Arbeitsstrukturen der BGW reagieren zu können. Das Energiekonzept sieht möglichst wenig Technik und überwiegend passive Solarenergienutzung vor – Energiebedarfswert von $51 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$, wovon ca. 50% durch Sonnenenergie, der Restenergiebedarf durch Fernwärme gedeckt werden. Weitere wesentliche Entwurfsaspekte sind: große Lüftungsklappen an der Südfassade und oberhalb des Lichthofes, klimaruglierende Pflanzen direkt hinter der Südfassade sowie eine zur eigenen Stromerzeugung in die Südfassade integrierte, auf 5 kW ausgelegte Photovoltaikanlage. Das Begrünungskonzept sieht für den Bereich entlang der hohen Südfassade mit extrem hoher Sonneneinstrahlung überwiegend südhemisphärische, subtropische Gehölze vor,

während für die Schattenbeete im Innenbereich zwischen den Büroblöcken ein Sortiment tropischer, aber dennoch hartlaubiger Bäume und Sträucher in Kombination mit einigen wenigen kleineren Palmen und palmenähnlichen Pflanzen ausgewählt wurde. Insgesamt sind neun Erdkultur- Pflanzflächen mit zusammen ca. 170 m^2 Beetfläche angelegt, wobei die Beete in allen Bereichen vollständig mit immergrünen Bodendeckern bepflanzt sind.



Abb. 20 Niedrigenergiehaus der Bezirksverwaltung, BGW, Architekt Dieter Schempp
AGSN (2006)

Beispiel: Universeum, Göteborg

Ein mit dem Schwedischen Holzpreis - bestes zeitgenössisches Gebäude 2001 - ausgezeichnetes Beispiel, das Pflanzen als Teil des Objekts beinhaltet, ist das Universeum in Göteborg. Das **Wissenschaftsmuseum „Universeum Science Centre and Aquarium“** wurde im Jahr 2001 an einem steilen Hang mit einem Gefälle von fast 25 Metern im innerstädtischen Bereich neben einem Freizeitpark am Rande der Göteborg City Center fertiggestellt. Das Gebäude ist auf der Südseite des Geländes konzentriert, zur Stadt orientiert und dreht sich zum Licht wie ein Baum, der sich zur Sonne wendet. Realisiert wurde das Gebäude nach dem Entwurf des schwedischen Architekten Gert Wingårdh, der 1998 einen eingeladenen Wettbewerb gegen sechs andere Architekten für sich entschieden hat. Mit dem Ziel, das Interesse bei Kindern und Jugendlichen für Technik und Naturwissenschaften zu wecken, haben Gemeindeverband der Region Göteborg, Technischen Hochschule Chalmers, Universität Göteborg und die westschwedische Handelskammer und Industriellenvereinigung das Wissenschaftsmuseum gegründet und ist heute eine Aktiengesellschaft, deren Eigentümer die Stiftung Korsvägen ist. Im Inneren des Gebäudes können die Besucher durch die beiden temperierten und tropischen

Biotopen sowie mehrere Arten von Ökosystemen - dem Kreislauf des Wassers vom Bergniederschlag über Flüsse und Bäche in Süß- und Salzwasseraquarien folgend - wandern.

Das attraktive nachhaltige Gebäude in der Stadtlandschaft ist ein Symbol für dessen Inhalt, das den Weg für zukunftsfähiges umweltbewusstes Konstruieren zeigt. Die ökologische Botschaft ist eingebaut; Entwicklung und Schutz lokaler Biotope, materialsparende und langlebige Konstruktion, das Gebäude kann mit minimalem Einsatz erneuert werden (Demontage / Recycling / Wiederverwendung sind berücksichtigt), Nutzung des Tageslichts, wird mit Ausnahme der geschlossenen Räume und Büros natürlich belüftet und weist eine niedrige und effiziente Energienutzung auf. Außerdem soll das Gebäudekomplex seine eigene Energie fast bis zur Selbstversorgung produzieren (Sonnenkollektoren 18 m² und 100 m² Solarzellen; können bis 1200 m² erweitert werden) und hat fortgeschrittene Recyclingsysteme für Wasser- und Abfallprodukte (Urin-Trennsystem, Umlaufwassersysteme für die Aquarien, kleine Abwasserbehandlungsanlage und lokale Regenwasserrückgewinnung).

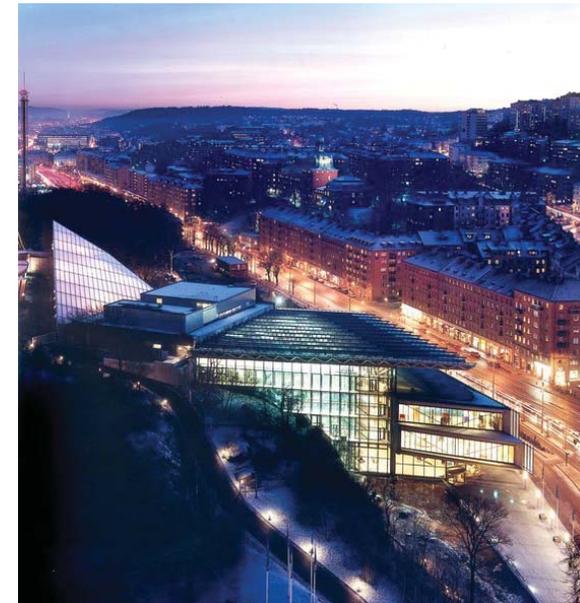


Abb. 21-22 Universeum Göteborg
ARCHITONIC (2014)

Es ist ein zusammengesetztes Gebäude, wobei jeder Teil für sich eine eigene tragfähige Struktur besitzt wie die Natur selbst. Der Teil mit dem Wissenschaftsmuseums und das Dach des Regenwaldes sind als eine Holzkonstruktion ausgeführt worden, möglicherweise die größte ihrer Art in Skandinavien. Es wird von zehn BSH - Stützen mit einer Abmessung von 1,2 m X 0,5 m und einer Höhe von mehr als sechs Metern getragen. Diese wiederum unterstützten einen Hauptträger mit den gleichen Abmessungen, auf dem alle 1,2 Meter Brettschichtholzträgern mit einer Spannweite von 17 Metern ruhen. Es ist alles mit einer 4,5 Zentimeter dicken Holzschalung bedeckt, und zwei dieser Ausstellungsebenen werden auf der jeweils anderen und über der Eingangsebene gestapelt. Diese flexible Holzstruktur mit sichtbaren Schraubenverbindungen erlaubt auf eine sehr einfache Weise ein neues Zuordnen und Anpassen der Ausstellungsräume, das Verlegen von AC / DC Routen oder Computer-Kabeln sowie das versenken von Steckdosen in den Boden. Die Außenhülle ist zur Hälfte mit Sonnenschutz-Glasscheiben verglast, die 35% der einfallenden Sonnenenergie blockieren. Somit wird eine ausgezeichnete Lichtdurchlässigkeit geboten und die Überhitzung vermieden; Außenscheibe Pilkington Suncool™ HP Brilliant (66/33) und die

die Innenscheibe Pilkington Optifloat™ klar. Auf der Südseite wurde der Thermowand eine opake Glashaut vorgesetzt. Die Luft im Hohlraum (Kaminwirkung) wird in der Sommerzeit vernebelt, um die Temperatur auf 4° C abzusenken.

Aus einem Erfahrungsbericht der Architekturabteilung, Technischen Hochschule Chalmers, Dr. Paula Femenias aus dem Jahr 2006 geht hervor, daß der Energiebedarf höher als erwartet liegt, die Sonnenkollektoren nur 20-30% vom Warmwasserbedarf abdecken und es Probleme mit dem Abwasser-Trennsystem – Reinigung und Geruch – gibt. Zudem sei es im Regenwald zu dunkel.



Abb. 23-25 Universeum Göteborg
ARCHITONIC (2014)

Beispiel: ENERGYBASE, Wien

Ein relativ neues österreichisches Beispiel, wo Pflanzen als Feuchtigkeitsregulatoren fungieren, ist das in Wien im Juni 2008 vom Architekturbüro „POS Architekten“ – Bauherr: Wiener Wirtschaftsförderungsfonds (WWFF) – fertiggestellte Bürohausprojekt „ENERGYbase“. ENERGYbase ist eine Passivhausbüroimmobilie mit 7.500 m² vermietbarer Nutzfläche. Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Nutzerkomfort, die gefaltete Fassade als Solargenerator, solar cooling, Betonkernaktivierung, Grundwassernutzung und die ökologische Luftbefeuchtung mit Pflanzen sind Komponenten des nachhaltigen Konzeptes. Das Gebäude bildet einen ca. 98 m langen und ca. 17 m tiefen, nordsüdorientierten, 2 hüftigen Riegel, dem an der Südseite ein 2 geschossiger Baukörper (EG und Tiefgeschoss) mit zusätzlich ca. 6 m Tiefe vorgelagert ist. Das Gebäude liegt an der nördlichen und westlichen Grundgrenze mit einer 15 m breiten Freifläche im Osten und einer 6-12 m breiten gestalteten Freifläche im Süden des Gebäudes. Der Haupteingang – im Westen des 2 geschossigen Baukörpers gelegen – ist über einen großen Vorplatz barrierefrei erreichbar. Dem Hauptbaukörper im Südwesten vorgelagert befindet sich anschließend der Vorplatz und auf Geländeneiveau die ca.

80 m² große, ca. 5 m hohe Eingangshalle, von der aus die beiden Stiegenhäuser (und beide Lifte) barrierefrei erreichbar sind, das westliche Stiegenhaus direkt, das östliche über einen tagesbelichteten Erschließungsgang. Die Eingangshalle ist sowohl hinsichtlich der Materialwahl als auch hinsichtlich der vielfältigen Blickbeziehungen repräsentativ gestaltet und bietet Platz für Empfänge, kleine Ausstellungen oder Führungen für nationales und internationales Besucherpublikum. Das Gebäude besitzt ein EG, 4 Obergeschosse und ein Tiefgeschoss. ENERGYbase besitzt auf der Südseite offene Gruppenbüros, die durch viergeschossige Grünpufferräume in Einheiten unterteilt sind. 500 Pflanzen einer speziellen Art des Zyperngrases befeuchten im Winter und in der Übergangszeit die Luft, ehe sie im Gebäude verteilt wird und für ein besonders behagliches Raumklima sorgt. Der physiologisch wichtige Fernblick ist so innerhalb des Gebäudes möglich. Nebenbei können dadurch auch die Mittelzonen des Gebäudes mit Tageslicht versorgt werden. Der gesamte Blendschutz und Sonnenschutz besteht aus gelochten Lamellen die durch die unterschiedlichen Stellungen eine maximale Anpassung an die Tageslichtbedingungen ermöglichen.⁵



Abb. 26 ENERGYbase
Pos-Architekten (2011)

⁵ Vgl. Pos-Architekten (2011)

2.3 SAND ALS ENDLICHE RESSOURCE

Im deutschsprachigen Raum ist für die Bezeichnung „Sand“ nur die Korngröße, nicht aber die mineralische Zusammensetzung ausschlaggebend. Quarzsande, in denen der Anteil von Körnern aus Quarz (SiO_2) dominiert, machen den weitaus überwiegenden Teil aller auf der Erdoberfläche vorkommenden Sande aus. Sand setzt sich aus einzelnen Mineralkörnern mit einer Korngröße von 0,063 bis 2 mm Äquivalentdurchmesser zusammen und ist somit gröber als Schluff und feiner als Kies. Sand ist ein, über lange Zeit durch die stetige Zerkleinerung und Erosion von Gesteinsbrocken entstandenes, unverfestigtes Sediment, das zu den nicht bindigen Böden zählt und in Grob-, Mittel- und Feinsand unterteilt wird. Im Bauwesen unterscheidet man Grubensande, Bruchsande, Brechsande, Flusssande und Meeressande. Quarzsand ist ein bedeutender Rohstoff für Tief-, Verkehrswege- und Erdbau, stellt einen wesentlichen Zuschlagsstoff (Gesteinskörnung) bei Baustoffen wie Beton und Mörtel dar, dient als Grundstoff für die Glasherstellung und Halbleiterindustrie (Mikroprozessoren für Computer, Kreditkarten, Geldautomaten oder Handys), eignet sich als Schleif-, Scheuer- und Poliermittel, wird als Filtermedium in der Wasser- und

Abwasseraufbereitung verwendet, wird als Strahlmittel beim Kugelstrahlen eingesetzt und ist als Siliziumdioxid Bestandteil zahlreicher Alltagsprodukte wie Wasch- und Reinigungsmitteln, Wein, Papier, getrockneten Nahrungsmitteln, Haarspray, Zahnpasta und Kosmetika. Den größten Sandbedarf hat der Bausektor, der seit Mitte des 19. Jahrhunderts – Erfindung des heute gebräuchlichen Portland-Zements durch den Engländer Isaac Charles Johnson im Jahr 1844 – Sand mit Zement zu Beton verarbeitet. Die technischen Eigenschaften sowie die relativ niedrigen Produktionskosten des Betons machen ihn zum weltweit meist benutzten Material. Bei einem normalen Beton der Festigkeitsklasse C25/30 hat ein Kubikmeter als Mengenteile 285 kg Zement, 200 l Wasser sowie 1900 kg Zuschläge, was einem Mischungsverhältnis von 1:0,6:7 entspricht. Durch das weltweite Bevölkerungs- und Städtewachstum und den damit verbundenen Bauboom besteht ein enormer jährlicher Sandverbrauch von rund 15 Mia. Tonnen, der mit dem Abbau aus Flussbetten oder Kiesgruben nicht abgedeckt werden kann. Da der Wüstensand wegen seiner rundgeschliffenen Körner nicht zur Betonverarbeitung geeignet ist – er hält nicht zusammen –

und die bisherigen Ressourcen bereits erschöpft sind, hat die Bauwirtschaft den Meeresboden ins Visier genommen – mit katastrophalen Auswirkungen auf die Umwelt. Derzeit kämmen mehrere tausende Schwimmbagger – ein gewaltiges, mit Saugarmen ausgestattetes, Schiff – die Weltmeere ab und pumpen riesige Mengen an Sand hoch.



Abb. 27-28 oben Sandabbau in Marokko, unten Bauboom in Dubai
Arte-TV (2014)

2.4 ZWISCHENFAZIT

In einem Dokumentarfilm des französischen Regisseurs Denis Delestrac aus dem Jahr 2012, der in deutscher Fassung: Sand - die neue Umweltzeitbombe am Dienstag, 22. April 2014 auf Arte-TV gezeigt wurde, wird einem vor Augen geführt, welche gewaltigen Mengen an Sand in unserem Alltag stecken und was für ökologische und ökonomische Auswirkungen sowohl der legale als auch zunehmend illegale Sandabbau und – handel für uns und unsere Umwelt hat. Faktum ist, dass der Sandabbau bereits zum verschwinden ganzer Strände (Marokko) und Inseln (Indonesien und die Malediven) geführt hat und dass beim Unterwasser-Abbau alle Pflanzen und Tiere, die am Meeresboden leben und ein Bestandteil der Nahrungskette in der Wassersäule über ihnen darstellen, getötet werden.

Um einer globalen Öko-Katastrophe entgegen zu wirken, müssen wir auch in Bezug auf den CO₂ Ausstoß – etwa 40 Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes gingen auf Gebäude zurück – zu einer einfacheren Lebensweise zurückfinden. Außerdem müssen sich andere Baumaterialien, etwa Holz, Bambus, Recycletes Glas oder recycleter Beton sowie alternative Bauweisen etablieren, auch wenn die Bauwirtschaft am Beton festhält.

Die unter dem Punkt Zierpflanzen und Bauwerksbegrünung beschriebenen Fassaden- und Dachbegrünungen stellen nur eine ergänzende Maßnahme zur Ausbildung des Mikro- bzw. Kleinklimas dar. Das städtische Mikroklima, vor allem Wind- und Lichtverhältnisse, wird von Bebauungstypologie, Dichte und Höhe der Bebauung, Baumaterialien, öffentliche Grünanlagen, halböffentlichen Grün- und Freiflächen sowie Art und Beschaffenheit des Bodens sehr stark beeinflusst und kann daher in erster Linie durch städtebauliche Maßnahmen – rechtliche Verankerung in den Flächenwidmungs- und Bebauungsplänen – begünstigt, ja sogar gesteuert werden. Es ist die Rede von sogenannten „*sustainable urban design*“, „*green architecture*“, „*ecological urbanism*“, oder „*eco-cities*“, wo Architekten, Raumplaner und Behörden aufgefordert sind, ökologische und nachhaltige städtebauliche Lösungen anzustreben und umzusetzen. Als gelungene Beispiele sehe ich die Masterpläne von „Innovationsquartier Aspern Seestadt“ – Einführung einer „Sustain Matrix“ bei der Begrünung (Innenhöfe) als hocheffizientes Nachhaltigkeitselement und „Hauptbahnhof Wien, Sonnwendviertel“ mit dem 8 ha großen Helmut-Zilk-Park an.

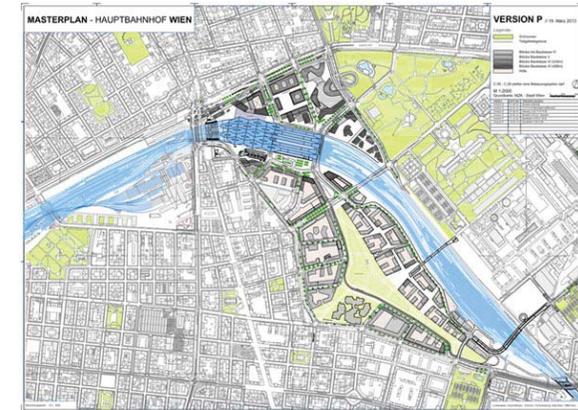


Abb. 29 Hauptbahnhof Wien, Sonnwendviertel
ÖBB (2014)

Im Vorangehenden wurden auch die Vorteile des Holzes als nachwachsender Roh- und Baustoff und damit seine positiven Auswirkungen auf den Kohlenstoffkreislauf erläutert sowie die katastrophalen Auswirkungen des Sandabbaus dargestellt. Im Folgenden Kapitel werden unter anderem alternative Bauweisen, etwa Holz-Beton- und Holz-Glas-Verbundkonstruktionen, sowie alternative Bausysteme wie intelligente Fassadensysteme erklärt und mit Beispielen belegt. Um jedoch einen ernsthaften Beitrag zur Erhaltung der urbanen Lebensqualität zu leisten und der Umweltbelastung entgegenzuwirken, müsste auch das ökologische

Bauen als Ganzes vorangetrieben werden und die Solararchitektur und mit ihr die Integration der Innenraumbegrünung als elementarer Bestandteil des Entwurfs vom esoterischen Image befreit werden, sodass sie nicht mehr im Widerspruch zu einer anspruchsvollen Architektur stehen. Zusammengefasst müssen bei einer nachhaltigen Architektur die Aspekte Ökonomie, Ökologie und Soziokulturelles über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes – von der Beschaffung der Baustoffe bis hin zur Demontage und Wiederverwertung des Abbruchs – Berücksichtigung finden, sodass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Funktion, Ästhetik, Ressourcen-Einsatz und Energieverbrauch geschaffen werden kann. Zum wirtschaftlichen Aspekt gehören etwa „Life Cycle Costs“ (Errichtungs-, Folge-, Rückbau- und Entsorgungskosten) und Wertstabilität bzw. Zukunftssicherheit (Flächeneffizienz, Flexibilität und Adaptierbarkeit), während Auswahl des Standorts, Ausmaß des Flächenverbrauchs, optimierte Gebäudehülle, Sonnenlicht-Ausnutzung, Einsatz erneuerbarer Energien, Einsatz schadstoff- und emissionsarmer Materialien, Verwendung nachwachsender Rohstoffe, etwa natürliche organische Faserdämmstoffe, z.B.

auf Grundlage von Zellulose, Holz, Schafwolle, Baumwolle, Kokos, Flachs, Hanf etc., Mikroklima, Gebäudekomfort (thermisch, akustisch, visuell), Nutzungsfreundlichkeit (Sicherheit, Barrierefreiheit, friedliches Zusammenleben) zu den ökologischen- und Soziokulturellen Nachhaltigkeitssäulen gezählt werden.

In diesem Zusammenhang sind vor allem die neusten unkonventionellen Entwicklungen in der Glasherstellung und bei den Photovoltaik- und Solarthermie-Elementen hervorzuheben, etwa die Schüco Sonnenschutz-Sonderlamellen (z.B. Erweiterung der Goetheschule, Essen, Deutschland, Architekt Jeromin, Schüco Großlamelle ALB-active (beweglich) mit Sonderlamelle 640 mm x 2170 mm, PV-Glas Schüco ProSol, 4 x 12 PV-Zellen je Lamelle integriert, 103 Wp je Modul, beweglich über Linearantrieb, Anbindung über Punktlagerung) oder die Fassaden mit integrierter Photovoltaik-Elementen und Solarkollektoren wie die Module vom Vorarlberger Unternehmen DOMA Solar mit dem farbigen Solarglas Kromatix des Schweizer Glasherstellers Swissinso, die beispielsweise in normale Pfosten-Riegel-Fassaden montiert werden können.

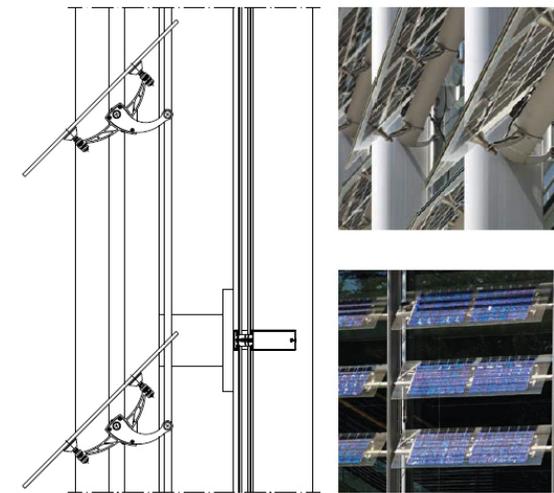


Abb. 30 Sonnenschutzlamellen mit PV-Glas
Schüco (2013)



Abb. 31 Fassadenintegration von Solarkollektoren,
Nenzing, Vorarlberg, Achammer & Partner OEG /
DOMA Solartechnik
DOMA Solartechnik (2014)

2.5 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Anisotropie

Anisotropie stammt aus dem Griechischen und bezeichnet die Richtungsabhängigkeit der physikalischen Eigenschaften eines Stoffes. Die Anisotropie des Holzes wird durch unterschiedliche Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte parallel und senkrecht zur Faser berücksichtigt.

Balkenschichtholz

Balkenschichtholz ist ein, aus 2 (Duo-Balken) bzw. 3 (Trio-Balken) miteinander verklebten Vollholzlamellen bestehender Holzbalken. Duo- und Trio-Balken werden idealerweise bei Sparren und Deckenbalken angewendet.

Brettschichtholz

Unter Brettschichtholz (kurz BSH, früher auch oft als Leimholz bezeichnet) versteht man aus mindestens drei Brettlagen und in gleicher Faserrichtung verleimte Hölzer. Sie werden vorwiegend im Ingenieurholzbau, also bei hoher statischer Beanspruchung, verwendet. Binder aus Brettschichtholz werden als Brettschichtbinder oder Leimbinder bezeichnet.

Brettsperrholz

Brettsperrholz (auch als Dickholz, Mehrschichtige Massivholzplatte oder Kreuzlagenholz bezeichnet) ist der Überbegriff für im Bauwesen verwendete Massivholztafeln, die aus mehreren über Kreuz flach aufeinanderliegenden Brettlagen bestehen. Dieser Aufbau unterscheidet sie von Brettschichtholz, bei dem die Lagen längs zur Faser angeordnet sind.

Brettstapel

Bei den Brettstapelelementen werden hochkant gestellten Holzbohlen / bretter durch Hartholzdübel zu flächigen, massiven und tragenden Bauteilen verbunden. Der große Unterschied zu den meisten massiven Decken- oder Wandsystemen ist der Verzicht auf das Verbindungsmittel Leim! Ebenfalls in seiner Verwendung minimiert ist der Einsatz von Eisen (Nägeln).

Elastizität

Elastizität ist die Eigenschaft eines Körpers oder Werkstoffes, unter Krafteinwirkung seine Form zu verändern und bei Wegfall der einwirkenden Kraft in die Ursprungsform zurückzukehren.

Faserplatte

Faserplatten werden aus Holz, Sägenebenprodukten oder Resthölzern, aber auch aus anderen holzfaserhaltigen Pflanzen wie Flachs oder Raps hergestellt. Allen Produkten ist gemeinsam, dass das Holz bis hin zur Holzfaser, Faserbündeln oder Faserbruchstücken aufgeschlossen wird. Der strukturelle Zusammenhalt beruht im Wesentlichen auf der Verfilzung der Holzfasern und ihren holzeigenen Bindekräften, es können aber auch Klebstoffe als Bindemittel eingesetzt werden. Der Begriff Faserplatte (auch Holzfaserverplatte) bezeichnet eine Produktgruppe aus dem Bereich der Holzwerkstoffe.

Hygroskopizität

Hygroskopie bezeichnet die Eigenschaft, Feuchtigkeit aus der Umgebung (meist in Form von Wasserdampf aus der Luftfeuchtigkeit) zu binden.

Kambium

Kambium nennt man die bei Bäumen vorkommende Wachstumsschicht zwischen dem Splintholz (das junge, physiologisch aktive Holz) und der Rinde (Bast und Borke). Diese Schicht ist für das sekundäre Sprosswachstum (Dickenwachstum) verantwortlich.

Lignin / lignifiziert

Lignine (lat. lignum „Holz“) bilden eine Gruppe von phenolischen Makromolekülen, die sich aus verschiedenen Monomerbausteinen zusammensetzen. Es handelt sich um feste Biopolymere, die in die pflanzliche Zellwand eingelagert werden und dadurch die Verholzung der Zelle bewirken (Lignifizierung).

Porosität

Die Porosität ist eine dimensionslose Messgröße und stellt das Verhältnis von Hohlraumvolumen zu Gesamtvolumen eines Stoffes oder Stoffgemisches dar. Sie dient als klassifizierendes Maß für die tatsächlich vorliegenden Hohlräume und kommt vor allem im Bereich der Werkstoff- und Bautechnik zur Anwendung.

Rohdichte

Die Rohdichte, scheinbare, geometrische Dichte oder Raumgewicht genannt, ist die Dichte eines porösen Festkörpers basierend auf dem Volumen einschließlich der Porenräume. Das Gegenstück zur Rohdichte ist die Reindichte. Reindichte und Rohdichte unporöser Körper sind gleich. Der Quotient aus Roh- und Reindichte ist die Porosität (die relative Dichte). Die steigende Rohdichte wirkt sich bei Baustoffen in der Regel positiv auf den Schallschutz und negativ auf die Wärmedämmung aus.

Schwinden / Schwindmaß

Schwind- und Quellmaß sind Kennwerte für die hygroskopischen Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffe, die die Dimensionsveränderung eines Werkstücks abhängig vom Wassergehalt beschreiben. Als Schwindmaß wird die Veränderung bei der Abgabe der enthaltenen Feuchte bezeichnet (Schwinden), das Quellmaß bezeichnet die Veränderung bei der Feuchteaufnahme (Quellen). Zwischen den verschiedenen Holzarten bestehen teilweise große Unterschiede im Quellverhalten.

Xylem

Das Xylem oder der Holzteil der höheren Pflanzen ist ein komplexes, holziges Leitgewebe, das dem Transport von Wasser und anorganischen Salzen durch die Pflanze dient, aber auch Stützfunktionen übernimmt.

Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist der U-Wert (ehemals k-Wert), seine Einheit lautet $W/(m^2K)$. Mit dem U-Wert wird ausgedrückt, welche Leistung pro Quadratmeter des speziellen Bauteils auf einer Seite benötigt wird, um eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin aufrecht zu erhalten (Leistung ist Energie pro Zeiteinheit). Je kleiner der U-Wert ist, desto bauphysikalisch hochwertiger ist das Bauteil bezüglich seines Wärmedurchgangs, da entsprechend weniger Wärme von der kalten zur warmen Seite geleitet wird.

Wärmekapazität

Die Wärmekapazität „C“ eines Körpers ist gegeben durch $C = m \cdot c$ (m ... Masse des Körpers, c... spezifische Wärmekapazität). Die spezifische Wärmekapazität eines Körpers ist jene Energiemenge, die benötigt wird, um 1 kg eines Stoffes um $1^\circ C$ zu erwärmen.

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit λ (Lambda) ist eine Stoffeigenschaft. Sie gibt den Wärmestrom an, der bei einem Temperaturunterschied von 1 Kelvin (K) durch eine $1 m^2$ große und 1 m dicke Schicht eines Stoffes geht. Die Einheit ist $W/(mK)$. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit ist, umso besser ist das Dämmvermögen.

Wärmespeicherung / Wärmespeicherungszahl

Die Wärmespeicherungszahl mit der physikalischen Einheit $J/(m^3 \cdot K)$ ist die auf das Volumen bezogene Wärmekapazität eines Festkörpers. Sie errechnet sich aus der spezifischen Wärmekapazität durch Multiplikation mit der Dichte.

$s = c \cdot \rho$ (s = Wärmespeicherungszahl, c = spezifische Wärmekapazität, ρ = Dichte)

Wasserdampfdiffusionswiderstand

Der Wasserdampfdiffusionswiderstand drückt aus, wie stark ein Baustoff die Diffusion (Ausbreitung) von Wasserdampf verhindert und wird mittels der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl gemessen. Die Diffusionswiderstandszahl μ (dimensionslos) setzt den Dampfdiffusionswiderstand eines Stoffes in Relation zum entsprechenden Kennwert einer gleich dicken Luftschicht bei gleicher Temperatur. Für Luft gilt: $\mu=1$, für Holz ca. 50. Je kleiner der μ -Wert, desto diffusionsoffener der Stoff und desto geringer die Gefahr von Feuchtigkeitsbildung und Schimmelbefall. Der Diffusionswiderstand wird in der Bauphysik mit der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke in Form des sd-Wertes bemessen:

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ x Materialdicke = sd-Wert (in Metern)

Der sd-Wert ist eine vergleichende Angabe, welche die Dicke der ruhenden Luftschicht angibt, die denselben Diffusionswiderstand aufweist wie das betrachtete Bauteil.

3 TECHNISCHE ASPEKTE BEIM VERDICHETEN GESTAPELTEN BAUEN

3.1 TRAGSYSTEME FÜR VERTIKAL GESTAPELTE STRUKTUREN

Bei vertikal verdichteten Bauformen sind die Tragwerke hohen Vertikallasten und vor allem hohen Horizontallasten – im Wesentlichen aus Windbeanspruchung – ausgesetzt. Die Vertikallasten setzen sich zusammen aus ständigen Lasten und Verkehrslasten. Die ständigen Lasten ergeben sich aus den Eigengewichten der einzelnen Bauteile und den Ausbaulasten. Die Verkehrslasten werden in Abhängigkeit von der Nutzung angesetzt und variieren bei einer üblichen Büronutzung zwischen 2,0 KN/m² und 5,0 KN/m². Die Horizontallasten setzen sich zusammen aus der unplanmäßigen Schrägstellung, den Windlasten und den Erdbebenlasten. Bei den Windlasten ist zwischen Globalbelastungen – für die Bemessung des Tragwerks anzusetzen – und lokaler Winddruckverteilung über die Gebäudehülle, die für die Bemessung der Fassadenkonstruktion maßgebend ist, zu unterscheiden.⁶

Bei höhenaktiven Tragwerken wird zwischen **direkten** und **indirekten Lastabtragungssystemen** unterschieden. **Direkte Lastabtragungssysteme** (stehende Konstruktionen) sammeln die verschiedenen Lasten von

oben nach unten und führen diese ohne Umlenkung in den Baugrund ab. Dazu gehören alle Skelettsysteme, Scheibensysteme, Röhrensysteme (tube) und Megastrukturen. **Indirekte Lastabtragungssysteme** können in drei Gruppen unterteilt werden: Abfangsysteme, Hängesysteme und Kragsysteme. Bei dieser Gruppe werden die Lasten nicht direkt und auf kürzestem Wege in den Baugrund abgeleitet.⁷

⁶ Vgl. Grohmann/Kloft (2002), S. 97-99

⁷ Vgl. Eisele (2002), S. 119f.



Abb. 32 Century Tower (Megastruktur), Tokyo-Japan, 1987-1991, Foster and partners
Foster (2011)

3.1.1 DIREKTE LASTABTRAGUNGSSYSTEME

Skelettsysteme

Skelettsysteme sind Tragwerke aus Pendelstütze und Riegel, die ausschließlich vertikale Lasten abtragen. Die horizontalen Lasten werden über Scheiben, die als massive Scheibe oder aufgelöst als (vertikales) Fachwerk oder als biegesteifer Rahmen ausgebildet werden, aufgenommen und abgetragen. Im Hochhausbau werden oft die ohnehin für die Vertikalerschließung und die Ver- und Entsorgungsschächte notwendigen und aus Brandschutzgründen massiv ausgebildeten Kerne für die Horizontalaussteifung herangezogen. Die Kerne (Horizontalaussteifung) werden sinnvollerweise in Grundrissmitte angeordnet, um Torsionsbeanspruchungen möglichst klein zu halten. Für die Höhenentwicklung der Skelettsysteme ist das Einspannmoment, das durch die Kerne oder die Scheiben gebildet wird, ausschlaggebend. Die Lake Shore Drive Apartments (Chicago, 1951, Architekt L. Mies Van der Rohe, Skelett mit Scheiben) erreichen mit 26 Geschossen eine Höhe von 82 m. Das Seagram Building (New York, 1958, Architekten L. Mies Van der Rohe und Philip Johnson, Skelett mit Rahmen-Streben) erreicht mit 39 Geschossen eine Höhe von 157 m.

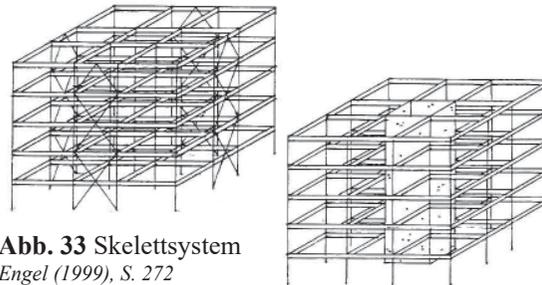


Abb. 33 Skelettsystem
Engel (1999), S. 272

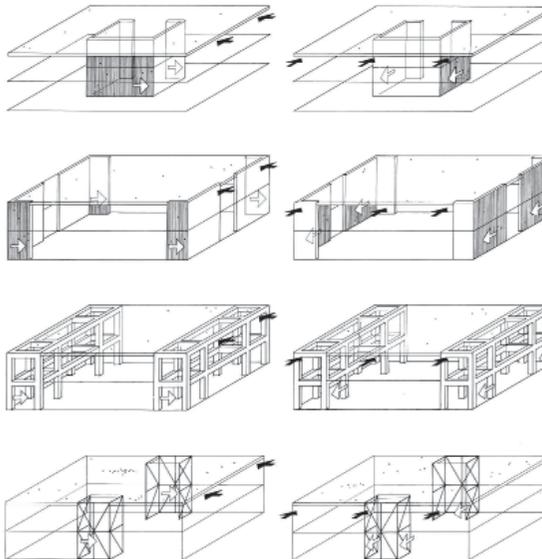


Abb. 34 Horizontalaussteifung durch Kern, Außenscheiben, Rahmen und Fachwerk
Engel (1999), S. 285



Abb. 35 Lake Shore Drive Apartments
Academic dictionaries and encyclopedias (2010)

Scheibensysteme

Scheibensysteme sind massive, vorwiegend in Stahlbeton ausgeführte Tragwerke, die sich von den aussteifenden Scheiben der Skelettsysteme dadurch unterscheiden, dass sie nicht nur die Horizontallasten, sondern alle Lasten vollständig abtragen. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Querscheibensystemen und Längsscheibensystemen. Ebenso ist das Quer- und Längsscheibensystem vom Scheibensystem mit Kern zu unterscheiden. Längsscheibensysteme lassen der Grundrissgestaltung - im Gegensatz zu den unflexiblen Querscheibensystemen (Einsatz bei Wohnhochhäusern, Boardinghäusern und Hotels) - viel Spielraum, schränken die Fassadengestaltung jedoch erheblich ein, da sie nur ein begrenztes Öffnungsmaß erlauben (Lochfassade). Kombinationen von Querscheiben mit tragendem Kern werden im Bürobau eingesetzt, um die Grundrissflexibilität zu erhöhen.⁸

⁸ Vgl. Eisele (2002), S. 120f.

Röhrensysteme

Beim Röhrentragwerk handelt es sich um ein hochleistungsfähiges Tragwerk, das auf dem Hohlkastenprinzip beruht. Das Rohr entsteht aus als aufgelöste Scheiben (Rahmentragwerke, gegliederte Scheiben, Fachwerkgitter oder Stützen-Diagonalen-Fachwerke) ausgebildeten Fassaden und wird durch die Deckenscheiben zusätzlich ausgesteift, wodurch die Gesamtbreite des Hochhauses statisch wirksam wird. Beim einfachen Rohrsystem und beim „Rohr-in-Rohr-System“ (tube in tube) sind nur runde, quadratische oder dem Quadrat nahe kommende Grundrissformen torsionsbedingt realisierbar. Ab einer Höhe von 50 bis 60 Geschossen ist das einfache Rohrsystem nicht mehr sinnvoll und es kommen „Rohr-in-Rohr-System“ (tube in tube), gebündelte Rohre (bundled tubes) sowie verschiedene Mischsysteme zur Anwendung.⁹

⁹ Vgl. Eisele (2002), S. 121f. und Grohmann/Kloft (2002), S. 106

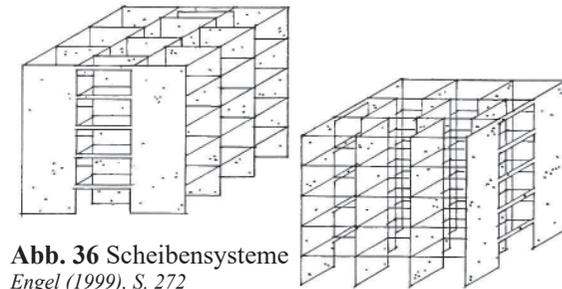


Abb. 36 Scheibensysteme
Engel (1999), S. 272

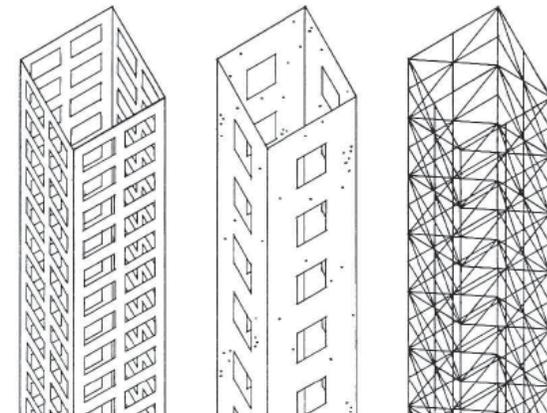


Abb. 37 Typische Röhrentragwerke:
Rahmenröhre, Scheibenröhre, Fachwerkrohr
Engel (1999), S. 280

3.1.2 INDIREKTE LASTABTRAGUNGSSYSTEME

Abfangsysteme

Abfangkonstruktionen werden manchmal bei Gebäuden ausgeführt, um den Eingangsbereich frei gestalten zu können. Der vorhandene Kern wird in den unteren Geschossen als Basis für die Abfangkonstruktion verwendet, die sich nach oben hin erweitert und dadurch eine Plattform für die Obergeschosse bildet. Die in der Fassadenebene auftretenden Deckenlasten werden in Richtung Kern umgelenkt. Beispiele dafür sind das Olivetti Verwaltungs- und Ausbildungszentrum in Frankfurt/Main und Torre Velasca in Mailand.¹⁰

Hängesysteme

Hängesysteme sind die einzigen Tragsysteme, die tatsächlich die Lasten „spannieren führen“. Die Deckenlasten werden zunächst über einen Umweg nach oben in ein (Dach-)Tragwerk abgetragen, das die Lasten in einen oder mehrere Kern(e) weiterleitet, von wo sie in das Fundament abgetragen werden. Horizontale Lasten werden über die Geschossdecken ebenfalls in dieses System eingeleitet. Man kann grundsätzlich zwischen Ein-Kern-Systemen und Mehr-Kern-Systemen unterscheiden. Hängesysteme lassen große Freiheiten sowohl in der Entwicklung der Eingangssituation als auch in der Ausbildung der Fassade. Als Beispiele für Hängekonstruktionen sind das BMW-Hochhaus in München, das Standard Bank Centre in Johannesburg und die im Jahre 1985 fertiggestellte Hongkong & Shanghai Bank des Architekten Norman Foster in Hongkong zu erwähnen.¹¹

Kragssysteme

Bei diesem System handelt es sich um einen zentralen Kern, von dem die Geschossdecken auskragen. Während die vertikalen Lasten direkt vom Kern abgetragen werden, nehmen die Geschossdecken die horizontalen Lasten auf und leiten diese in den Kern ein. Um die Kragmomente einleiten zu können, müssen die Geschossdecken mit dem Kern biegesteif verbunden werden, woraus eine Anvoutung sowie eine große Konstruktionshöhe resultieren. Der Kern nimmt schlussendlich alle Lasten auf und leitet sie in eine zentrale Fundamentplatte ab. Die Statik erfordert hier symmetrische Formen um einen zentralen Kern, was die Form der Grundrisse trotz völliger Stützenfreiheit erheblich einschränkt. Vorbildliche Beispiele für den Umgang mit diesem Tragsystem sind das Johnson Wax Building und der Price Tower.¹²

¹⁰ Vgl. Eisele (2002), S. 122

¹¹ Vgl. Eisele (2002), S. 123

¹² Vgl. Eisele (2002), S. 122f.

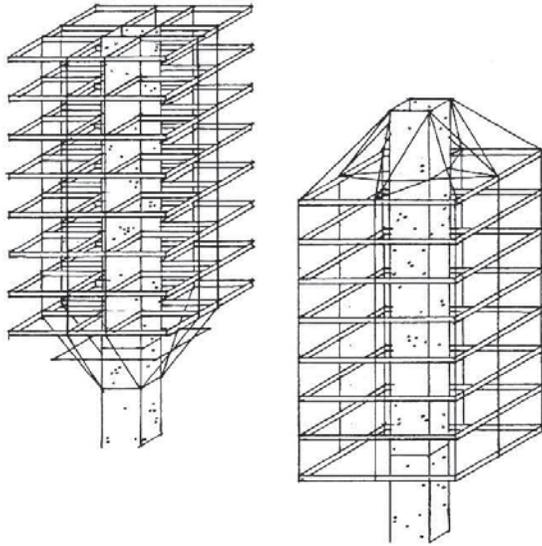


Abb. 38 Abfangsystem, Hängesystem
Engel (1999), S. 273



Abb. 39 (oben) BMW Hochhaus, München
Indirekte Lastabtragung: Hängesystem
Wikimedia (2013)

Abb. 40 (links) Olivetti Verwaltungsgebäude
Indirekte Lastabtragung: Abfangsystem
Süddeutsche Zeitung (2010)

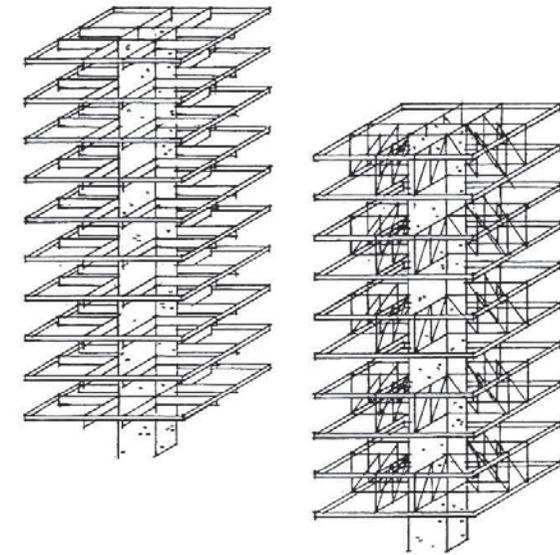


Abb. 41 Kragssysteme
Engel (1999), S. 273

3.2 ALTERNATIVE HOLZBAU-SYSTEME

3.2.1 SYSTEM „PALISADIO“

Palisadio ist ein massives Holzbau-System, das zahlreiche Möglichkeiten für innovative und individuelle Baukonzepte bietet. Das Bausystem wurde im Jahre 2002 vom Architekturbüro Werner Grosse, Stuttgart, in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart und dem Fraunhofer-Institut für das Sozialunternehmen NEUE ARBEIT GmbH entwickelt und ist für Gebäude unterschiedlichster Art (Wohn-, Gewerbe-, Geschäfts- und Kommunalbauten) im Einsatz. Es werden Zwölfkantige Massivholz-Profilstangen mit 72 mm Durchmesser aus Nadelhölzern zu massiven Verbundbauteilen für Böden, Decken, Wände und Dächer ohne Kleber, Leim oder Metall verdübelt (dichte Holz-Verdübelung in drei Achsen). Die Profilstangen werden aus runden getrockneten Schwachholz-Stämmen oder quadratischen Starkholz-Balken hergestellt. Die daraus erstellten Gebäude sind äußerst stabil (erdbebensicher) und weisen sehr gute bauphysikalische Eigenschaften auf. Die transportierbare Größe beträgt ca. 15 x 2,4 Meter.¹³

¹³ Vgl. Palisadio NintegrA gGmbH, (2011)

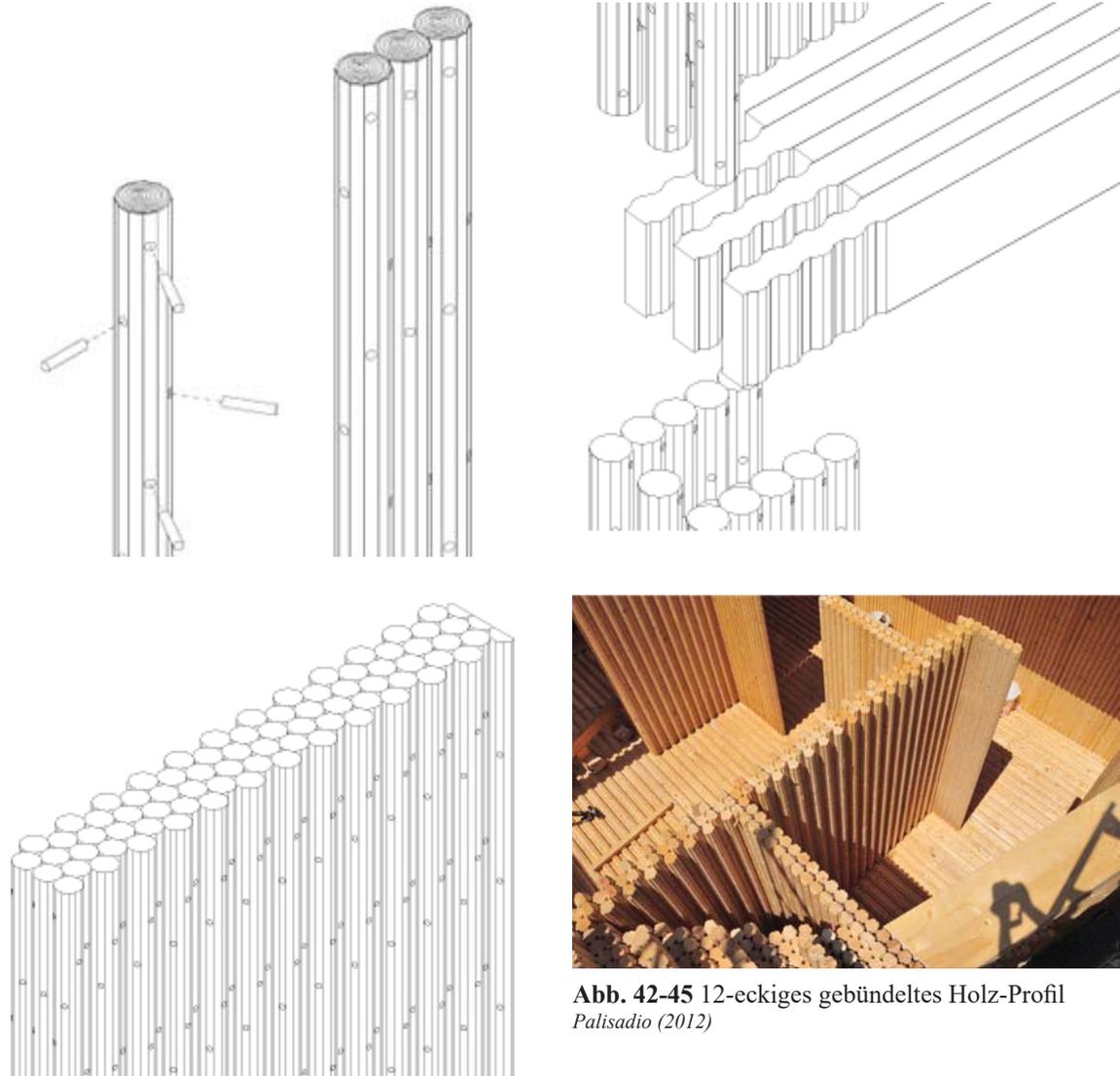


Abb. 42-45 12-eckiges gebündeltes Holz-Profil
Palisadio (2012)

3.2.2 HOLZ-BETON-VERBUNDSYSTEME

„HBV - Systeme“

Bei Holz - Beton - Verbundkonstruktionen (Holzbalken oder Brettstapel und Betonplatte) können Tragfähigkeit und Steifigkeit um das 2- bis 5-fache im Vergleich zum einfachen Tragwerk ohne Verbund erhöht werden. Außerdem können die Schall- und Brandschutzeigenschaften beim Einsatz als Deckenkonstruktion verbessert werden. Die Herstellung erfolgt mit Ortbeton der Güte C25/30 (Plattendicke zwischen 60 und 140 mm), Fertigteil-Betonplatten oder Holz-Beton-Fertigteilelementen.¹⁴

Nach DIN 4102 T2 werden für Wand- und Deckenbauteile die Feuerwiderstandsklassen F30, F60, F90, F120 und F180 unterschieden. Des Weiteren erfolgt die Einteilung der verwendeten Baustoffe nach ihrer Brennbarkeit in A für nichtbrennbare Baustoffe, B für brennbare Baustoffe und AB für Konstruktionen, die in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen zusammengesetzt sind. HBV-Konstruktionen sind den Klassen B bzw. bei weiteren Maßnahmen BA zuzuordnen und es sind je nach Dimensionierung der Holzbauteile Feuerwiderstandsdauern von weit mehr als 90 Minuten erreichbar.¹⁵

Die HBV - Deckensysteme erreichen die in

DIN 4109 festgelegten Mindestanforderungen bezüglich der Luft- bzw. Trittschalldämmung (das bewertete Schalldämmmaß $R'_{W} \geq 54$ dB sowie der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w} \leq 53$ dB) leicht. Da diese theoretischen Rechenwerte von den entkoppelten Bodenbelagebenen sowie der flächenbezogenen Masse einer Decke (Abmessungen und Rohdichten der verwendeten Baustoffe) abhängen, können durch die Wahl entsprechender Fußbodenaufbauten bzw. Unterkonstruktionen (abgehängte Unterdecken) die Anforderungen des erhöhten Schallschutzes erfüllt werden.¹⁶

Die **HBV - Balkendecke** ist eine sichtbare Holzbalkendecke mit verbesserten bauphysikalischen Eigenschaften (geringe Schwingungsanfälligkeit und einen guten Schallschutz). Im Vergleich zur Stahlbetondecke hat sie ein geringeres Eigengewicht und somit eine reduzierte Verformungsanfälligkeit. Die Holzbalken werden nach den statischen Erfordernissen im Werk vorgefertigt und die HBV-Schubverbinder eingeklebt. Auf der Baustelle werden die Schalungsbretter aufgebracht, eine Baufolie sowie die Bewehrungsmatte verlegt und die Betonplatte gegossen.¹⁷

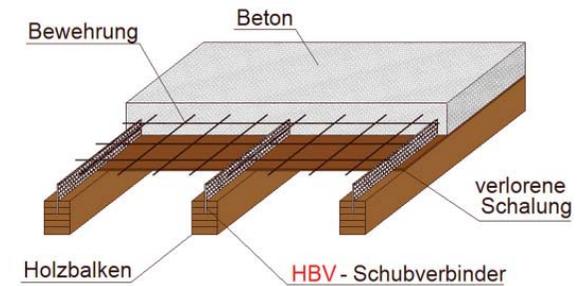


Abb. 46 Systemskizze der HBV-Balkendecke
TiComTec GmbH (2011), S. 5

¹⁴ Vgl. Rug (2008), S. 115f.

¹⁵ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 16

¹⁶ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 15

¹⁷ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 5

Die **HBV - Rippendecke** ist ein, im Werk komplett vorgefertigtes Deckenelement, das aus einer oben liegenden Betonschicht sowie unten liegenden, im Raster angeordneten Holzbalken besteht. Die Deckenelemente werden über die Betonplatte aufgelagert und zum Erzielen der Scheibenwirkung über das Ausbetonieren von Vergusstaschen miteinander gekoppelt. ¹⁸

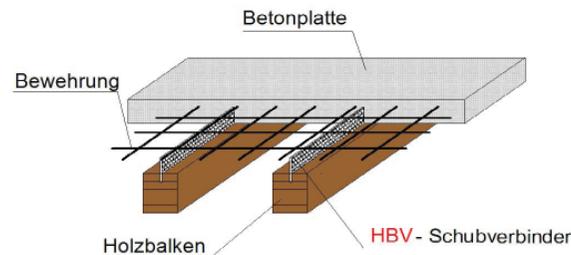


Abb. 47 Systemskizze der HBV-Rippendecke
TiComTec GmbH (2011), S. 6

Die **HBV - Kastendecke** ist eine durch ein an der Unterseite aufgebrachtes statisch wirksames Zugband (z.B. OSB-Platte, dreischichtplatte, Kerto-Platte) aufgewertete Balkendecke. Sie stellt eine interessante Lösung für weitgespannte Decken-tragwerke in Holz-Beton-Verbundbauweise dar und wird entweder auf der Baustelle hergestellt oder im Werk vorgefertigt. Die HBV-Kastendecke besitzt durch den Einbau von Dämmplatten ein reduziertes Eigen-gewicht sowie verbesserte statische und bau-physikalische Eigenschaften. ¹⁹

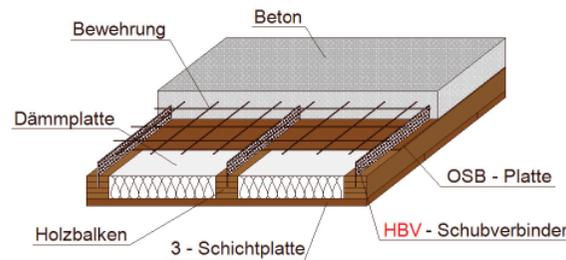


Abb. 48 Systemskizze der HBV-Kastendecke
TiComTec GmbH (2011), S. 7

Bei der **HBV - Variodecke** werden vorgefertigte flachliegende Brettschichtholz-balken in relativ geringem Abstand verlegt, eine verlorene Schalung/Dämmung sowie eine konstruktive Mattenbewehrung auf-gebracht und die Betonplatte gegossen. Das System weist eine geringe Querschnitts-höhe, hohe statische Tragfähigkeit, Scheiben-wirkung der Gesamtkonstruktion sowie gute bauphysikalische Eigenschaften für Schwingung und Schall auf. ²⁰

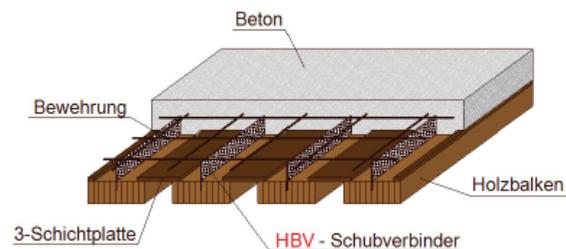


Abb. 49 Systemskizze der HBV-Variodecke
TiComTec GmbH (2011), S. 8

Die **HBV - Plattendecke** besteht aus massiven großformatigen werkseitig vorgefertigten Brettschichtholzelementen (Bewehren und Betonieren erfolgt auf der Baustelle). Sie besitzt gute statische sowie bauphysikalische Eigenschaften und kann bei Spannweiten bis 15 m und mehr ausgeführt werden. Außerdem hat die HBV-Plattendecke eine fertige Untersicht, die eine große Gestaltungsvielfalt erlaubt (kann farblich angelegt werden oder mit Akustik-profilen versehen werden). ²¹

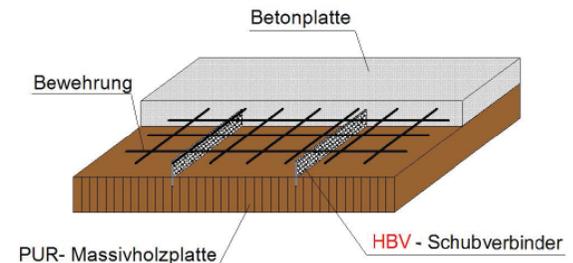


Abb. 50 Systemskizze der HBV-Plattendecke
TiComTec GmbH (2011), S. 9

¹⁸ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 6
¹⁹ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 7
²⁰ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 8
²¹ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 9

Die **HBV - Akustikdecke** besteht aus vorgefertigten großformatigen Deckenelementen, die an der Unterseite eine Akustik-Absorberlage erhalten. Nach dem Verlegen der Bauteile auf der Baustelle erfolgt das Bewehren und Betonieren. Im Vergleich zu den ursprünglichen Akustikdecken ohne Holz-Beton-Verbundwirkung wird hier die Tragfähigkeit erhöht, eine Scheibenwirkung der Gesamtkonstruktion gewährleistet und es sind Spannweiten bis 15 m und mehr ausführbar. Außerdem bietet die optisch anspruchsvolle Unterseite Möglichkeiten zur Veredelung.²²

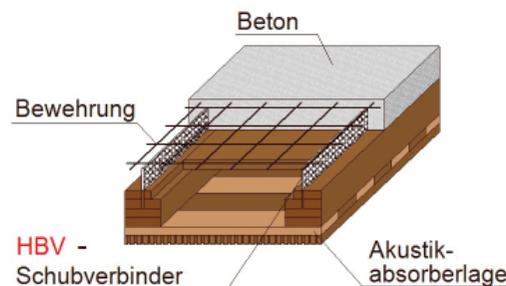


Abb. 51 Systemskizze der HBV-Akustikdecke
TiComTec GmbH (2011), S. 10

²² Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 10

²³ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 11

²⁴ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 12

Die **HBV - Hohlkastendecke** kann als eine Weiterentwicklung der Plattendecke bzw. der Akustikdecke angesehen werden. Auf der Massivholzplatte werden zur Gewichtsreduktion Styroporelemente aufgelegt. Die großformatigen Bauteile lassen sich auf der Baustelle schnell verlegen. Danach erfolgt das Bewehren und Betonieren. Zusätzlich zu den hervorragenden statischen und bauphysikalischen Eigenschaften kann die Deckenunterseite farblich angelegt werden oder Akustikprofile erhalten. Der Querschnitt entspricht dem einer massiven Betondecke und es sind Tragsysteme mit sehr großen Spannweiten ausführbar.²³

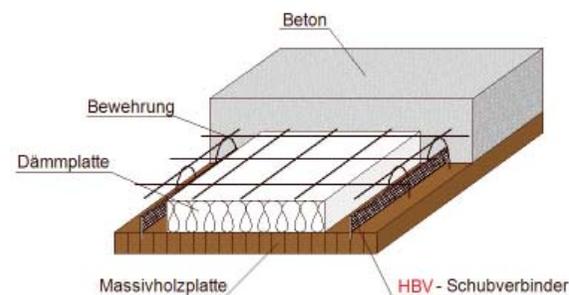


Abb. 52 Systemskizze der HBV-Hohlkastendecke
TiComTec GmbH (2011), S. 11

Das **HBV - Sanierungssystem** kommt bei der Renovierung alter Holzbalkendecken zur Erhöhung der Tragfähigkeit zur Anwendung. Zu den Vorteilen dieses Systems zählen auch die Verbesserung des Schallschutzes sowie die Erhöhung des Brandschutzes. Statt der konventionellen Methode des Aufbringens einer obigen Betonschicht können die Ausfachungen der bestehenden Holzbalkendecke betoniert werden. Der Einsatz von Stahlfaserbeton ist bei beiden Varianten möglich.²⁴

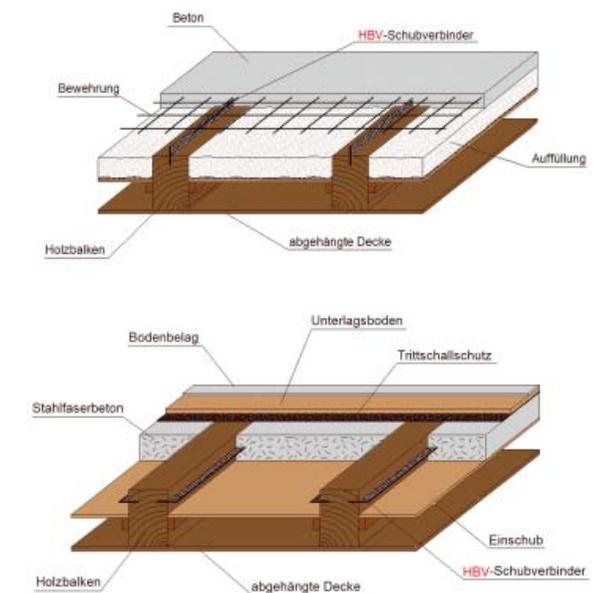


Abb. 53-54
Systemskizzen des HBV-Sanierungssystems
TiComTec GmbH (2011), S. 12

Die **HBV - Wand** besteht aus werkseitig vorgefertigten Elementen, die auf dem HBV-Rippendeckensystem basieren. Die Betonplatte liegt als durchgehende Schale auf der Innenseite und sorgt für Schallschutz, Brandschutz, Wetterschutz und Luftdichtheit, während die für den Wärmeschutz notwendige Wärmedämmung (Einblasdämmung, weiche Dämmplatten) zwischen den Holzrippen auf der Außenseite angebracht wird. Die Außenfassade kann nach den Wünschen der Planer bzw. der Bauherren unter Einhaltung der bauphysikalischen Erfordernisse gestaltet werden.²⁵

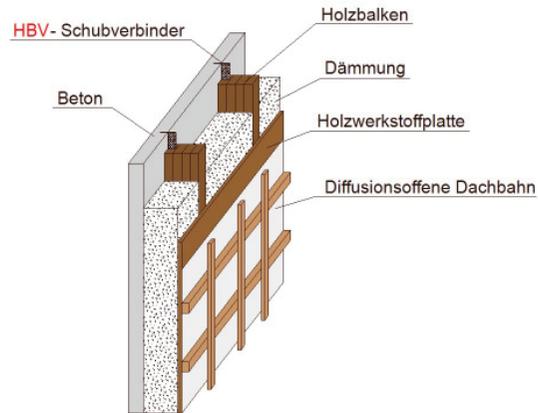


Abb. 55 Systemskizze der HBV-Wand
TiComTec GmbH (2011), S. 25

Das **HBV - Massivdach** besteht ebenso aus auf dem Rippensystem basierenden Fertigteilen. Die Betonplatte liegt auf der Unterseite, während die Wärmedämmung auf der Außenseite des HBV-Massivdaches angebracht wird. In Verbindung mit den Wänden entsteht eine durchgehende Innenschale. Dieses System kann als ein bewährtes konkurrenzfähiges Bauprodukt angesehen werden.²⁶

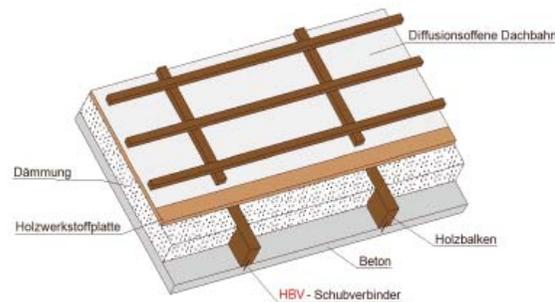


Abb. 56 Systemskizze des HBV-Massivdaches
TiComTec GmbH (2011), S. 26

Das innovative **HBV - TT - Deckensystem** besteht aus Elementdecken, sog. Filigrandecken und BS-Holz-Trägern und verbindet optimal die hervorragenden Eigenschaften der Baustoffe Holz und Beton. Dieses System kann bei Durchlaufträgern und Kragarmsystemen eingesetzt werden.²⁷

²⁵ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 25

²⁶ Vgl. TiComTec GmbH (2011), S. 26

²⁷ Vgl. Holzbau Gröber GmbH (2011)

Lignotrend Brettsperrholz-Elemente LIGNO HBV, LIGNO HBF

Lignotrend ist ein Massivholz-Bausystem, das optimierte und geprüfte Bauteillösungen bietet. Lignotrend Brettsperrholz-Elemente werden industriell aus mitteleuropäischem Nadelholz hergestellt und sind als tragende Bauelemente für Wand, Decke, Dach und Fassade sowie als nicht tragende Elemente beim Ausbau im Einsatz. Sie kommen bei Neubau-, Umbau-, Ausbau- und Sanierungsprojekten zur Anwendung. Lignotrendprodukte sind nach dem Brettsperrholz-Prinzip aufgebaut, was für hohe Formstabilität sorgt. Die Anordnung der Brettlagen auf Abstand ermöglicht zusätzliche Funktionen: Dämmung, Akustikabsorber oder Installationen können im Element untergebracht werden. Hier werden die Holz-Beton-Verbunddecke „LIGNO HBV“ und die Holz-Beton-Fertigteildecke „LIGNO HBF“ dargestellt.

Der Deckenbauteil **LIGNO HBV** besteht aus Brettsperrholz-Rippenelementen LIGNO HBV Q2 als Zuggurt sowie einem Ortbeton-Druckgurt und kann aufgrund seiner hohen Formstabilität bei Geschosdecken mit großen Spannweiten bis 18 m und hohen Belastungen eingesetzt werden. Die Rippenelemente sind 2.500 mm breit

und 143 bis 275 mm (Abstufung 26,5 mm) hoch.²⁸

LIGNO HBF ist eine Holz-Beton-Fertigteildecke mit einer typischen Spannweite von 6 bis 10 m. Die Fertigteildecke besteht aus Brettsperrholz-Rippenelement mit geschlossener Sicht-Gurtplatte; dahinter Querlage, zwei tragende Stege; dazwischen Hohlräume für Längsinstallation und zur Befüllung mit Gewichtsschüttungen, Brückenartiges Beton-Fertigteil als Druckgurt; über HBV-Schubverbinder angeschlossen; darunter Hohlraum (Querinstallationsmöglichkeit bis ca. 13 cm, Gewichtsschüttung). An den Auflagern: Setzungsminimierte Brettsperrholz-Endstücke. Die Rippenelemente sind 625 mm breit und weisen eine Höhe von 288 bis 447 mm auf. Die Verbindung erfolgt über Nut und Feder, Koppelbrett.²⁹

²⁸ Vgl. LIGNOTREND Produktion GmbH (2011)

²⁹ Vgl. LIGNOTREND Produktion GmbH (2011)

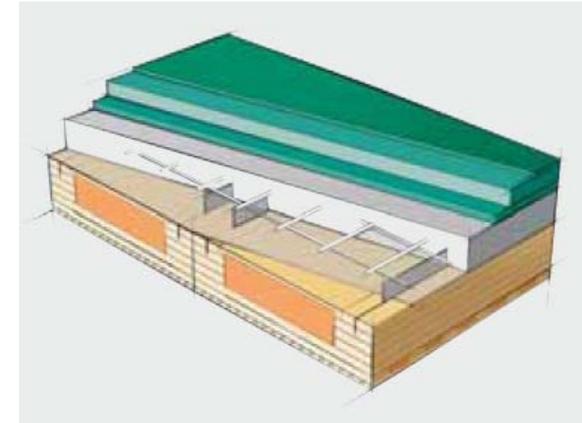


Abb. 57 Systemskizze LIGNO HBV
LIGNOTREND Produktion GmbH (2011)



Abb. 58 Unbefüllte Rohdecke LIGNO HBF
LIGNOTREND Produktion GmbH (2011)

3.2.3 HOLZ-GLAS-VERBUNDELEMENTE

Ende des 19. Jahrhunderts machte das Aufkommen der Skelettbauweise den großflächigen Einsatz von Glas für Umhüllungen möglich. Die Transparenz von Glas in Kombination mit anderen Werkstoffen, allen voran mit dem natürlichen Baustoff Holz, motivierte Architekten, Wissenschaftler und Techniker den materialgerechten Einsatz bei Fassaden zu erforschen und neue Bauweisen zu entwickeln. In Anlehnung an den Erfahrungen über die Klebeverbindung als kraftschlüssige Füge-technik aus vielen Industriebereichen, etwa die Aussteifung der Karosserie durch die Windschutzscheibe im Fahrzeugbau, werden seit den frühen 90er Jahren Holz-Glas-Verbundkonstruktionen erforscht. Durch eine elastische Verklebung soll Glas als mittragendes, aussteifendes Element anstelle von Windverbänden, mineralischen Wänden oder Wandscheiben aus Holzwerkstoffplatten im Holz-Skelettbau eingesetzt werden. Bei den Holz-Glas-Verbundelementen können beide Werkstoffe optimal – ähnlich wie bei Stahlbeton – eingesetzt werden: Holz trägt durch seine hohe Druck- und Zugfestigkeit in Faserrichtung das Eigengewicht und die senkrechten Lasten, während die Glasscheibe die Konstruktion so aussteift, dass die Horizontal-lasten abgetragen werden.

Versuche der Holzforschung Austria (HFA) mit semi-elastisch verklebten Holz-Glas-Verbundelementen haben eine vergleichbare Bemessungslast einer zweiseitigen OSB-Beplankung ergeben. Je nach Anwendung können elastische und semielastische Ein- und Zweikomponentenklebstoffe etwa auf der Basis von Silikonen, Polyurethanen und Acrylaten verwendet werden. Zu den Vorteilen der Holz-Glas-Verbundelementen zählen auch: glatte, kristalline Außenhaut bei gleichzeitiger Wartungsfreiheit, Einsatz von größeren Fensterelementen, schlanke Holzprofile, was einen größeren Lichteinfall bringt und die gestalterische Freiheit des Architekten erhöht, verbesserte thermische Eigenschaften sowie die Erhöhung der Sicherheit, da bei einer optimalen Dimensionierung der (semi-) elastischen Klebefuge spröder Glasbruch bei Überlastung verhindert wird. Außerdem ergibt sich bei materialgerechten Konstruktionen und Umsetzung der fertigungstechnischen Möglichkeiten eine äußerst wirtschaftliche Fenstergeneration. Die Holz-Glas-Verbundkonstruktionen umfassen Structural Sealant Glazing Systems – SSGS, Holz-Glas-Stegträger und Fensterrahmen.

Beispiel für das Holz-Glas Verbundfenster in Ganzglasausführung ist das seit 2008 in Serie hergestellte, geklebte Fenstersystem der Walch GmbH. Die Walchfenster⁰⁴ wurden im Rahmen des Forschungsprogramms „Haus der Zukunft“ entwickelt und werden als Wendefenster WF, Senkklappfenster SKF, Drehfenster DF und Fixfenster FIX produziert. Ergänzt wird das Programm durch die Schiebe-Drehfenster SDF, Schiebetüre ST und Haustüre HT. Die Stufenfalzisolierverglasung überdeckt gleichzeitig komplett Flügel und den flächenbündigen Rahmen (Standardausführung: Keilgezinkte Fichtenlamellen), übernimmt dabei eine zusätzliche Funktion als aussteifendes Element und ermöglicht einen schlanken Holzrahmen mit sehr guten Schall- und Wärmeschutzwerten gemäß EN ISO 10077-1 und EN 10077-2 (34 - 48 dB, U_w 0,79 W/m²K - 1,3 W/m²K) bei gleichzeitig erhöhter Lichteinfallfläche. Die Fenster sind mit einem speziell entwickelten Wendebeschlag ausgestattet, der ein Öffnen bzw. Wenden des Fensters um 165° ermöglicht, können mit Antriebsmotoren ausgestattet und flächenbündig in den Holzrahmen integriert werden und weisen einen Achsmaß bis zu 2,5m auf.

Die Fixverglasungen sind als „Stapelsystem“ für Structural Glazing Fassaden konzipiert und können als Doppelrahmensystem ausgeführt werden, bei dem das Glas durch eine mechanisch ablösbare Verbindung vom Holzrahmen getrennt werden kann.

Ein weiteres Beispiel für Holz-Glas-Verbundelemente stellt die UNIGLAS Fassade dar. Die Holz-Glas-Verbundelemente sind in Anlehnung an ETAG 002 für Structural Sealant Glazing Systeme (SSG) geprüft und versprechen eine verbesserte Wärmedämmung durch den Verzicht auf die Sekundärkonstruktion aus Metall (UCW bis 0,69 W/m²K) sowie eine Senkung des Primärenergiebedarfes von 407 kWh/m² auf 209 kWh/m² (43 Prozent) im Vergleich zu Aluminiumprofilen. Durch eine dauerhaft kraftschlüssige Klebeverbindung mit den Holzkoppelleisten kann das System bis zu zwei Geschossen bzw. sieben Meter Traufhöhe zur Aussteifung des Gebäudes eingesetzt werden, was den Verzicht auf unbefriedigende Windverbände bedeutet. Außerdem ist eine unkomplizierte Umsetzung sowie problemloses Austauschen von Einzelelementen möglich.



Abb. 59 Walchfenster 04-Serie
Walch GmbH, Produktkatalog (2010)



Abb. 60 UNIGLAS Fassade
UNIGLAS GmbH und Co. KG, Produktfolder (11/2013)

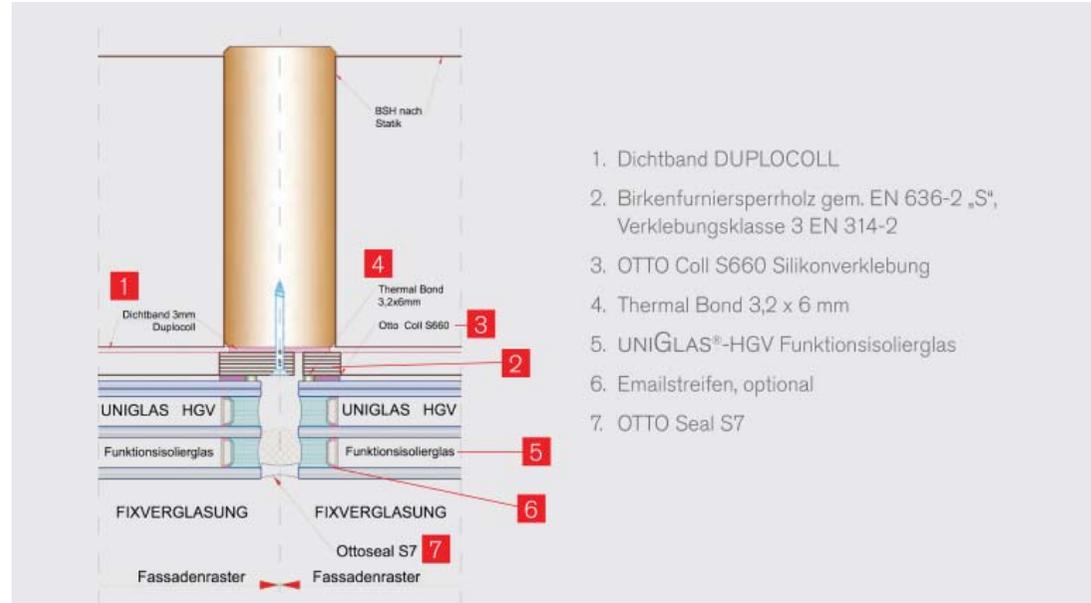


Abb. 61 UNIGLAS Systemschnitt Pfosten
UNIGLAS GmbH und Co. KG, Produktfolder (11/2013)

3.2.4 ZWEISCHALIGE HYBRID-KONSTRUKTIONEN

Ein weiteres alternatives Bausystem stellen die Hybridkonstruktionen der SJB. Kempfer.Fritze AG aus Herisau, Schweiz dar. Unter einer hybriden Konstruktion ist ein Bauteil zu verstehen, das aus zweierlei Baustoffen besteht, um damit erweiterte Funktionalitäten zu schaffen. Bei der zweischaligen Hybridwand handelt es sich um eine statisch steife Struktur nach dem Leiterprinzip. Zwei unterschiedliche dünne Scheiben werden durch Sprossen aus Kovalex mit einander verbunden. Kovalex ist ein Holz-Polymer-Werkstoff (WPC). Das Material entsteht durch das Verschmelzen von Holzfasern mit einem umweltfreundlichen, thermoplastischen Bindemittel in einem Spezialverfahren, der so genannten Extrusion, unter Druck und Temperatur. Der Isolationszwischenraum einer Außenhülle kann mit Kartonwabe, eingeblasener Zellulose faser oder Mineralwolle gefüllt werden. Außerdem kann der Hohlraum zusätzliche Funktionen wie Lüftung oder Leitungsführung erfüllen. Innenscheiben können aus baubiologisch optimalen Stoffen (gute Innenluft und Wohnbehaglichkeit) hergestellt werden. Mit nichtbrennbaren, mineralisch gebundenen Holzwerkstoffen können Wände in Elementbauweise gefertigt werden,

welche dem Feuer großen Widerstand leisten. Mit dem sogenannten „Hilti-Dübel“ können Beton und Holz über einen Abstand statisch (steife Schubverbindung) vereinigt werden und als zweidimensionale Platte einer Deckenkonstruktion wirken. Die untere der beiden tragenden Platten ist in der Regel eine Holzwerkstoffplatte mit ca. 80 mm Stärke. Die obere Platte kann aus Beton, Holzbeton oder Holz sein mit Stärken von 60 bis 120 mm. Der Zwischenraum im Bereich der Sprossen kann für Leitungen, Schall- und Wärmedämmstoffe genutzt werden. Spannweiten bis 10 m bei einer Deckenstärke von 300 mm und einem Eigengewicht von ca. 250 Kg/m² sind realisierbar.

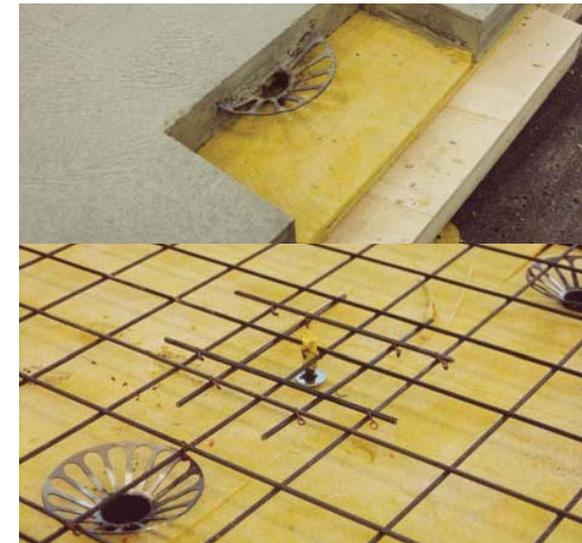


Abb. 62 Deckenaufbau
Blumer (2002)

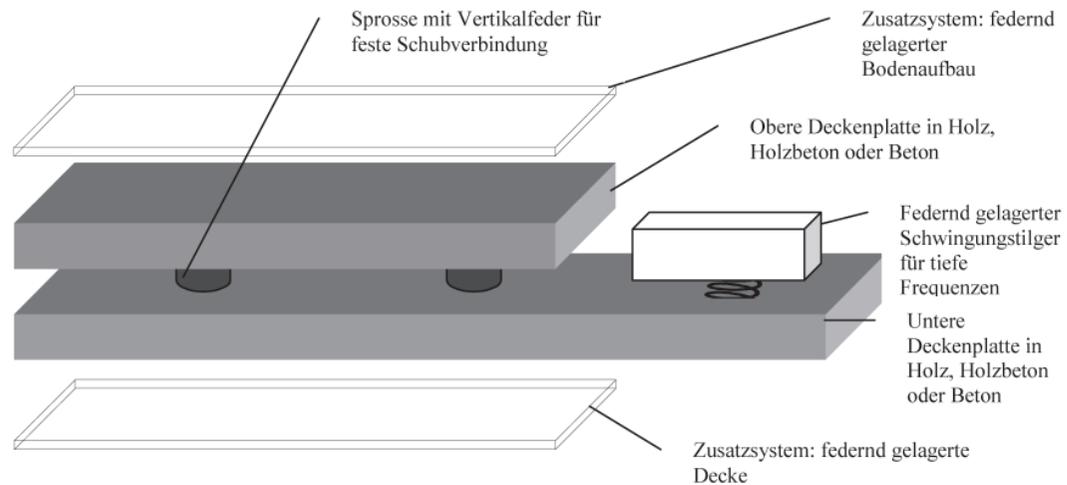


Abb. 63 Aufbau der zweischaligen Hybrid-Holzdecke
Blumer (2002)

3.2.5 BEISPIELE

Finnish Forest Research Institute

Das „Finnish Forest Research Institute“ organisierte im Frühjahr 2002 einen eingeladenen Wettbewerb für den größten Waldforschungszentrum (Metla) in Europa. Der Wettbewerb wurde von SARC Architekten gewonnen. Der Standort befindet sich am Rande von Universitätscampus Joensuu in einer Einfamilienhaus-Wohngegend. Die Typologie mit einem geschlossenen Außen und einem intimen kleinen Hof bezieht sich auf die Nähe zu den Gebäuden der Universität. Um die Rolle des Instituts als Endpunkt der in rotem Backstein errichteten öffentlichen Gebäude an der städtischen Achse und das „Know How“ in der Forstwirtschaft zu demonstrieren, wurde Holz im Gebäude ausgiebig genutzt. Das Forschungszentrum hat eine Bruttofläche von 6.500 m² und besteht aus Büros, Labors und gemeinschaftlich genutzte Räume wie Lobby-Bar, die die Kommunikation fördern sollen. Die Tragstruktur mit großen Spannweiten ermöglicht eine flexible Nutzung des Gebäudes. Einfache Volumina sparen Heizkosten während vertikale hölzerne Schattierungen vor der überschüssigen Hitze schützen.

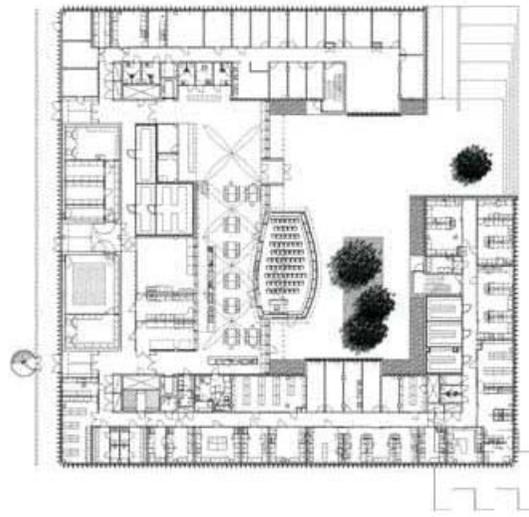


Abb. 64-67 Forest Research Institute in Joensuu, Finnland, 2004 fertig gestellt, Design: Antti-Matti Siikala (SARC Architects) *Archmuseum (2012)*



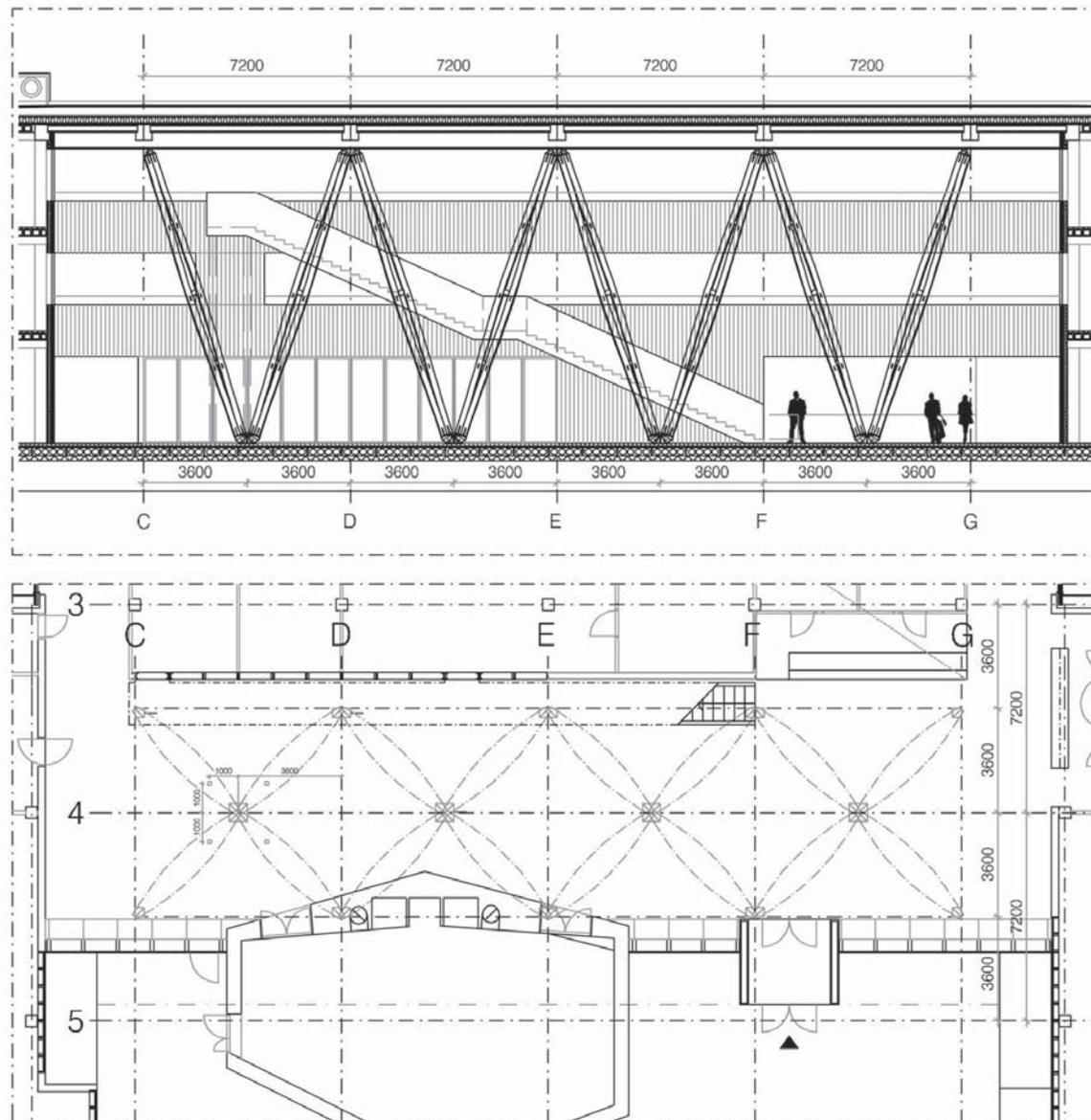


Abb. 68 Jede Säule besteht aus vier gebogenen Trägern, die in Form geklebt und mit Stahlplatten und Schrauben verbunden sind
Archmuseum (2012)

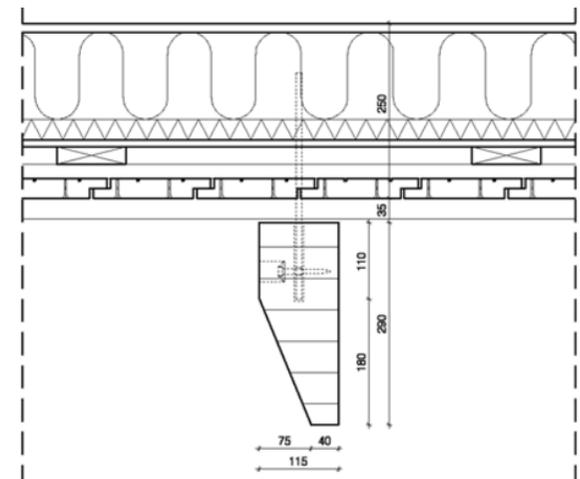


Abb. 69 (Oben) Fassadendetailplan mit den vertikalen hölzernen schattierungselementen (Lamellen)
SARC Architekten (2012)

Abb. 70 (Links) Planausschnitt / Schnitt C-C der Stützen mit Achsabstand / Spannweite von 7,2 m
SARC Architekten (2012)

„bahnorama“, Wien

2009 hat die ÖBB-Infrastruktur Aktiengesellschaft zu einem Gestaltungswettbewerb für das Informationszentrum eingeladen, den das Team „rahm architekten“ für sich entscheiden hat. Im August 2010 wurde das Informationszentrum am Hauptbahnhof im 10 Wiener Gemeindebezirk am Anfang der Fußgängerzone Favoritenstraße eröffnet. Er besteht neben dem Ausstellungsbau aus einem Aussichtsturm „bahnorama“, der sich in drei Ebenen auf 1.084 m² erstreckt und einen Blick auf die Baustelle und auf das neu entstehende Stadtviertel rund um den Hauptbahnhof bietet. Zwei verglaste Panoramalifte führen zu der Aussichtsplattform in rund 40 Meter Höhe. Das Ausstellungsgebäude ist ein schlichter zweigeschöbiger Holzbau mit einer Fläche von 550 m², der sich durch seine rote Signalfarbe hervorhebt. Das Material für die tragende Konstruktion der Ausstellungshalle und für den 66,7 m hohen Aussichtsturm ist unbehandeltes Fichtenholz. Für einfache Montage und Demontage der Konstruktion wurde das Holzfachwerk in 15 Meter hohe Einzelteile (Module) geteilt. Turm und Infocenter sind nach Fertigstellung des Hauptbahnhofs im Jahr 2015 auf andere Großbaustellen übersiedelt.



Abb. 71-74 Aussichtsturm am Hauptbahnhof Wien,
Rahm Architekten
ÖBB (2010)

Windturm, Hannover

Im Oktober 2012 hat die Firma Timber-Tower auf dem Gelände der Universität Hannover nach jahrelanger Entwicklungs- und Überzeugungsarbeit ihren ersten Prototyp für eine Windenergieanlage aus Holz fertiggestellt. Mit dem Holzturm für Windkraftanlagen der Multimegawatt-Klasse (Leistung von 1,5 Megawatt) will das Unternehmen in die Serienproduktion gehen. Die 100 Meter hohen achteckigen Holztürme werden aus 30 Zentimeter dicken Holzsegmenten aufgebaut. Die Segmente werden aus vier Zentimeter dickem Fichtenholz in Kreuzverleimung gefertigt und mit einer Kunststoffhaut verkleidet, um das Material vor Witterungseinflüssen zu schützen. Diese Holztürme stellen ökonomisch und ökologisch eine Alternative zu den herkömmlichen Turmkonzepten für Windkraftanlagen aus Beton und Stahl dar. Sie sind bis zu 20 Prozent kostengünstiger, leichter zu transportieren und werden aus einem nachwachsenden Rohstoff hergestellt, der länger hält und Kohlenstoff speichert. Darüber hinaus fördert Holz die regionale Wirtschaft.



Abb. 75 Windturm Hannover: Montage
Agrarverlag (2013)



Abb. 76 Windturm Hannover: Sockel
Bayerischer Rundfunk (2013)



Abb. 77 Windturm Hannover: Innenansicht
Henkel (2013)

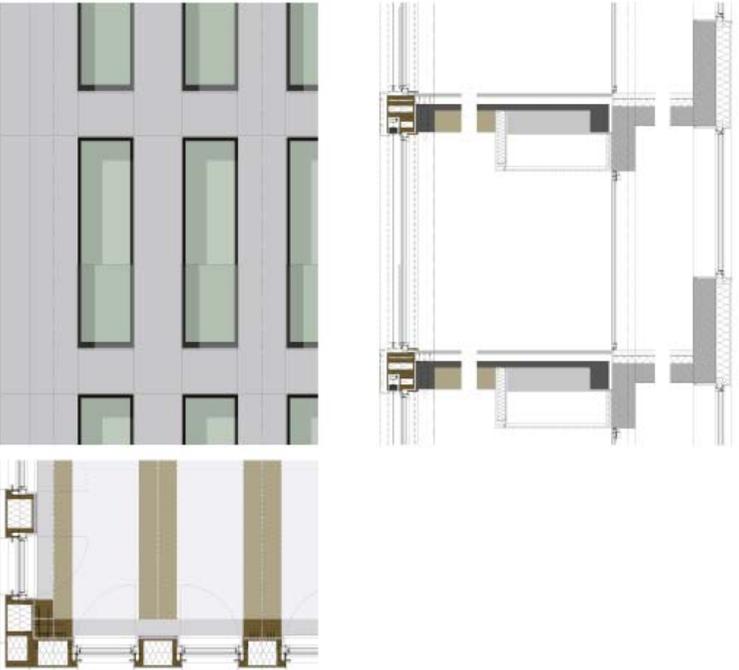
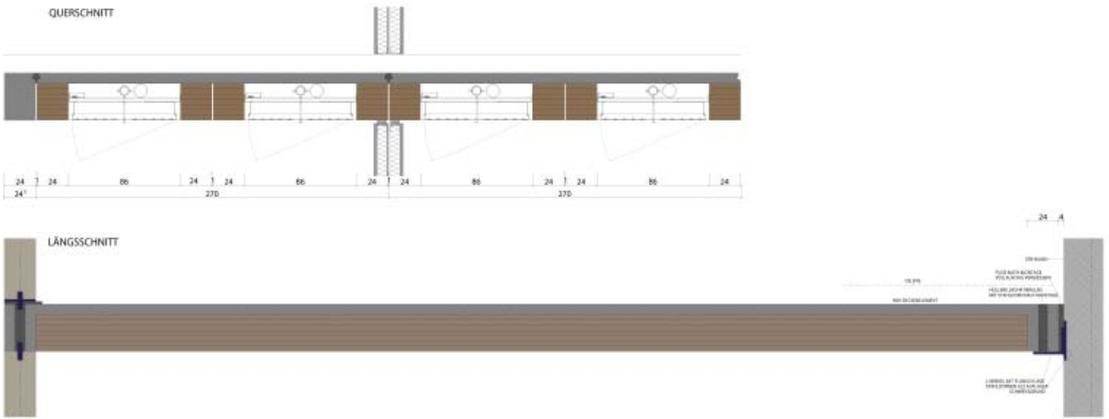
LifeCycle Tower - LCT ONE, Dornbirn

Im Rahmen eines, vom „Haus der Zukunft plus, BMVIT“, geförderten Forschungsprojekts – **LifeCycle Tower** – wurde in den Jahren 2008 bis 2010 unter der Projektleitung von DI Christoph Dünser, Hermann Kaufmann ZT GmbH, mit Ingenieurbüro Arup Group, Holzbau WIEHAG, TU Graz und Rhomberg Bau GmbH als Forschungspartner die Machbarkeit eines 20-geschosigen Hochhauses in reiner Holzbauweise untersucht. Die Vorteile des nachwachsenden Rohstoffs Holz, etwa Energieeffizienz (wenig graue Energie), Kohlenstoff-Speicherung sowie maximaler Vorfertigungsgrad, damit verbunden eine extrem kurze Bauzeit bei hoher Qualität und maximaler Ausführungssicherheit, motivierten zu dieser Studie. Entwickelt wurde ein baureifes, flexibles Holzfertigteil - Baukastensystem zur Errichtung energieeffizienter Bürohochhäuser. Der LifeCycle Tower ist ab dem dritten Geschoss als eine Holzrahmenkonstruktion vorgesehen, während die ersten zwei Geschosse – Einzelhandel und Gastronomie – herkömmlich in Stahlbeton geplant sind. Die Aussteifung erfolgt über einen zentralen Kern, die vertikalen Lasten werden über Stützen abgetragen, diese Bauteile sind aus Brettschichtholz. Als Decken werden Holz-Beton-Verbunddecken eingesetzt, die

sowohl statische, akustische als auch brand-schutztechnische Anforderungen erfüllen. Eine vollständige Sprinklerung sowie eine feuerfeste Verkleidung des Kernes reduzieren die Gefahr der Brandweiterleitung.

Im Anschluss an das ursprüngliche Forschungsprojekt wurde 2010 im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft Plus“ ein achtgeschossiges Demonstrationsgebäude **LCT ONE** am Standort Vorarlberg in Dornbirn, Österreich eingereicht und mit der Errichtung begonnen, welches im November 2012 öffnete. Der LifeCycle Tower (LCT ONE) wurde von der Cree GmbH, einem Tochterunternehmen der Rhomberg Gruppe, nach den Plänen des Architekten Prof. Hermann Kaufmann fertiggestellt. Zielsetzung war es, die im Vorgängerprojekt LifeCycle Tower entwickelte Holz-Systembauweise auf ihre Umsetzbarkeit hin zu prüfen, sowie die Erprobung der Funktionstüchtigkeit und realen Nutzungsbedingungen. Am aussteifenden Stiegenhauskern des LCT ONE werden einhüftig die Büroflächen angehängt. Der Kern wurde in Ortbeton ausgeführt, da er nach den geltenden gesetzlichen Vorschriften des Brandschutzes nicht aus brennbaren Baustoffen bestehen darf. Eine weitere wichtige Voraussetzung der Brandschutz-

behörde ist mit dem Prüfnachweis (nach DIN EN 13501) des Feuerwiderstandes REI 90 der Holzverbundhybriddecke durch Brandversuche an mehreren HBV-Elementen von 2,7 m x 8,1 m – entspricht dem Fassadenraster und der möglichen Raumtiefe – bei der Firma Pavus in Tschechien erfüllt worden. In eine Stahlschalung werden die Holzbalken eingelegt, die Abstände dazwischen geschalt und im Vergussverfahren betoniert. Der Schubverbund zwischen Beton und Leimbinder wird über Schrauben und Schubkerven hergestellt. Die Sturzträger aus Beton sind statisch wesentlich zur Durchleitung der enormen Kräfte aus den Fassadenstützen und ermöglichen die brand-schutztechnisch notwendige geschoßweise Trennung der Konstruktion. Das Hirnholz der Doppelstützen steht direkt auf dem Beton, der verbindende Dorn wird auf der Baustelle im Fertigteil eingegossen.



Fassadenschnitt

Abb. 78-80 LCT ONE, Dornbirn
Hermann Kaufmann ZT GmbH (2014)

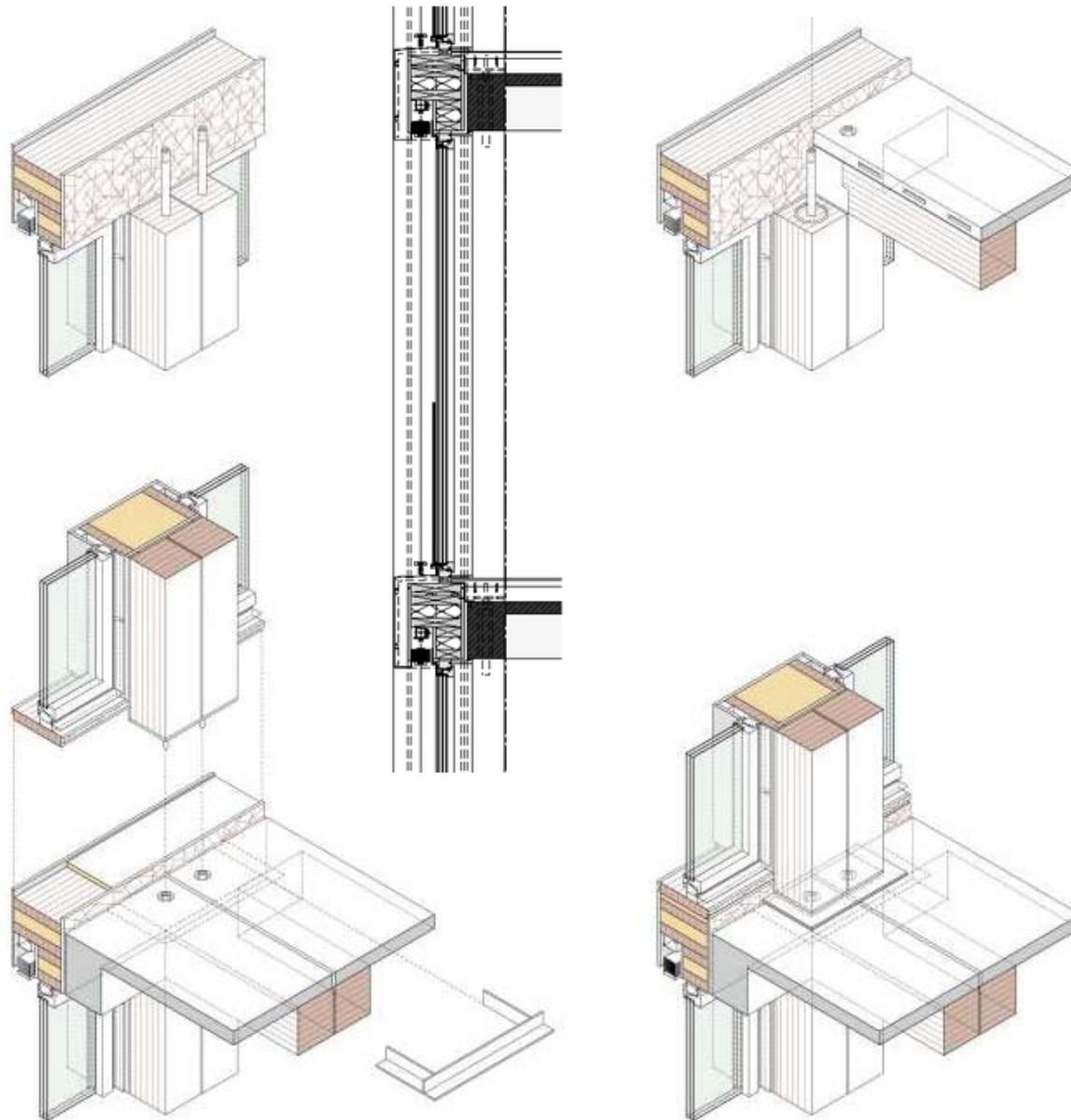


Abb. 81-84 Holzrahmenkonstruktion (Holz-fertigteil-Baukastensystem) mit Doppelstützen und Leimbinder
Hermann Kaufmann ZT GmbH (2014)

Aussichtsturm, Kärnten

Im Juni 2013 wurde nach einer Bauzeit von acht Monaten der neue Weltweit höchste Holzaussichtsturm am Pyramidenkogel in der Kärntner Gemeinde Keutschach eröffnet. Das Turmbauwerk wurde nach den Plänen der, bei dem geladenen Wettbewerb aus dem Jahr 2007 als Sieger hervorgegangenen, Klagenfurter Architekten Markus Klaura, Erich Laure und Dietmar Kaden mit dem Tragwerksplaner Markus Lackner aus Villach fertiggestellt. Der Turm wächst mit seinen 10 Regelebenen mit einer Höhe von je 6,40 m schraubförmig in die Höhe. Die 10 elliptischen Ringe sind in gleichem Winkel zueinander verdreht und tragen zur Aussteifung bei. Darüber sind zwei freilegende aufgeständerte Aussichtsplattformen aus Brettsper Holzplatten mit der jeweiligen Geschosshöhe von 3,20 m angeordnet. Die wettergeschützte Skybox der Ebenen 9 und 10 dient für temporäre Veranstaltungen in ca. 60 Meter Höhe. Auf der frei begehbaren höchsten Aussichtsplattform wird dem Besucher in 70,6 Meter Höhe ein 360° Rundblick geboten. Mit dem Technikzylinder und der Antenne erreicht der Turm die Höhe von 100 Metern. Im freien Inneren befindet sich die Infrastruktur: spiralförmige Panoramastreppe, der gläserne Aufzug und die 160 m

lange, gewendelte Turmrutsche. Das tragende Gerüst ist ein räumliches Fachwerk „Korbtragwerk“ aus 16 langen einfach gekrümmten Brettschichtholzstützen (Lärchenholz) und 80 Stahldiagonalstreben. Ein weiteres Tragelement sind zwei Diagonalstränge aus Rundrohren, die als Doppelhelix das Bauwerk aussteifen.



Abb. 85-87 Aussichtsturm am Pyramidenkogel
Klaura Kaden + Partner, Rubner (2013)

Neuer Hauptsitz des Technologischen Holz - Instituts FCBA, Descartes-Frankreich

Ein aktuelles Beispiel für eine Mischkonstruktion – Kombination aus Beton, Metall und Holz – ist der Bau der neuen Räumlichkeiten des Technologischen Instituts, *L'Institut technologique FCBA (Forêt, Cellulose, Bois-construction, Ameublement)*, in *Champs-sur-Marne (77)* in der Gemeinde *Descartes*. Das Institut ist dem französischen Landwirtschaftsministeriums (MAFF) und der Industrie (MRP) unterstellt. Seine Mission ist es, den technischen Fortschritt zu fördern und an Leistungssteigerung und Qualitätssicherung in der Industrie mitzuwirken. Sein Geltungsbereich erstreckt sich auf folgende Branchen: Forstwirtschaft, Holzeinschlag, Zellstoff, Sägewerk, Verpackung, Holzwerkstoffen, Zimmerei, Schreinerei, Bodenbeläge, Holzkonstruktion und Einrichtung. Es stellt sechs Hauptbereiche: technische Unterstützung und Know-How, Prüfung, Zertifizierung, Ausbildung, Bildung und Forschung, Standardisierung. Der neue Hauptsitz mit Gesamtbaukosten von 33 Mio. € beherbergt 150 Arbeitsplätze und wurde im Jahr 2015 eröffnet. Seit seiner Gründung im Jahr 1952, war der Sitz des Technologischen Instituts FCBA (Wald, Zellulose, Holz - Bau, Möbel) *avenue de Saint-Mande* in Paris. Da der Mietvertrag zu Ende ging, hat das Institut mit dem Bau der neuen

Räumlichkeiten in *Cité Descartes* die Gelegenheit ergriffen, das „Know-How“ der Holzindustrie zu demonstrieren. Der neue Hauptsitz beherbergt, außer dem Hotel im BIA Oberhaus, die neuen Räumlichkeiten der Zentrale, Senior Management, Medienservices (HR, Finanzen, allgemeine Dienste, ...) und Funktionsbereiche (1. Holzverarbeitung, Wirtschaft, Energie, Umwelt und Gesundheit, Möbel etc.).



Abb. 88 Vorderansicht
Atelier 4+ (2014)



Abb. 89 Seitenansicht
Atelier 4+ (2014)

Das U-förmige Gebäude hat eine Bruttogeschossfläche von insgesamt 10.600 m², davon 4.000 m² Büros und Tagungsräume sowie 6.600 m² Labors. Mit der Überlagerung der Volumina – die Räume sind in einer überraschenden Struktur verschachtelt – wollte Architekt Michael Canac, Gründer und Manager des Architekturbüros Atelier 4+, die Leichtigkeit des Gebäudes betonen und einen freien Blick auf die Gartenterrassen ermöglichen. Durch die Höhe des Gebäudes und die beiden Innenhöfe sollte Licht hineingelangen, so dass alle Räume mit Ausnahme der geschlossenen Funktionsbereiche natürlich beleuchtet werden. Das Erdgeschoss ist als Betonsockel gebildet und beinhaltet den Empfang sowie die Labors für die Prüfung auf dem Gebiet der Möbel. Die 4 Etagen und das Zwischengeschoss wurden von der französischen Firma Mathis Holzkonstruktion aus Muttersholtz (Stützen, Balken, Boden und Fassade) gebaut und werden die Büros beherbergen. Insgesamt werden 950 m³ Holz für alle Anwendungen in der Gestaltung des Gebäudes benötigt. Atelier 4+ hat verschiedene Arten von Holz verwendet, um die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten dieses Materials zu zeigen. Somit sind Tragstruktur und Hauptkonstruktion (Balken, Säulen, Böden, Gehwege)

aus Tanne, Fichte und Douglasie – Brett-schichtholz. Für Fassaden (Wände in Holz-rahmenbauweise, Außenhaut, Sonnen-schutz), sind die verwendeten Arten Lärche, Fichte und Douglasie. Der obere Teil des Gebäudes ist auch in einer Holzbauweise mit einer selbstreinigenden dauerhaften Be-schichtung gestaltet. Schließlich sind die Fenster aus Kiefer, Brett-schichtholz-gesto-ßen. Das verwendete Holz stammt zu 95% aus den Französisch Wäldern der Vogesen in Ostfrankreich, während die Bearbeitung in Österreich erfolgte. Der Einsatz von Metall bei der Konstruktion des Gebäudes erweitert die Vielfalt der Verwendeten Materialien. Das Gebäude wird in Bezug auf Energie-einsparung (niedriger Energieverbrauch) und Steuerung von Umweltaspekten (HQE, *Haute Qualité Environnementale* und BBC, *Bâtiment Basse Consommation*) als nach-haltig bewertet. Die Gebäudehülle ist gut isoliert und weist 20 cm Steinwolle für die Wärmedämmung, Dampfsperre und 7,5 cm Mineralwolle für die Schalldämmung auf.

Abb. 90-95 Kombination von Beton, Metal und Holz, während und nach dem Bau
Unbekannt (2014-2017)



SOM Holzhochhaus-Forschungsprojekt - Dewitt-Chestnut Apartments, Chicago-USA

Im Mai 2013 zum erstem Mal als Abschlussbericht und 2014 als Systembericht („Gravity Framing Development of Concrete Jointed Timber Frame System“ (CJTFS)) publiziert, wurde das Holzhochhaus-Forschungsprojekt mit dem Ziel gegründet, ein neues Tragsystem für Hochhausbauten zu entwickeln, das Holz - „Mass Timber“ - als Hauptmaterial verwendet sodass der verkürzte CO₂-Fußabdruck des Gebäudes minimiert wird. Das effiziente Tragsystem soll mit zeitgenössischen Bautechniken wie Stahlbeton und Stahl konkurrieren können und so flexibel sein, dass unterschiedliche architektonische Entwürfe möglich sind. Mit diesen Techniken soll der verkörperte CO₂-Fußabdruck von Gebäuden im Vergleich zu einem Benchmark-Betongebäude um 60 bis 75 Prozent reduziert werden können. Weitere Reduktionen sind mit einem „All-Timber“-Schema möglich, aber dieses Schema wurde aufgrund technischer Komplikationen und erhöhter Materialkosten nicht gewählt.

Das Forschungsprojekt wurde von Skidmore, Owings, and Merrill, LLP, Chicago durchgeführt. Die Finanzierung des Holzhochhaus-Forschungsprojekts wurde von der US amerikanischen „Softwood Lumber Board“ bereitgestellt und hat zum Ziel, die

Position des Holz auf dem Markt zu stärken, pflegen und erweitern, um neue Märkte zu eröffnen und einen Beitrag zur Entwicklung von neuen Anwendungen zu leisten. SOMs Holzhochhaus-Forschungsprojekt hat seine überwiegend Holztragstruktur auf ein prototypisches Gebäude angewendet, die Dewitt-Chestnut Apartments; Ein 120 Meter großes, 42-stöckiges Gebäude in Chicago, das von SOM entworfen und 1966 gebaut wurde. Dies wurde getan, um eine vernünftige Lösung zu entwickeln und die Ergebnisse gegen konkurrierende Technologien zu verteidigen. Die benötigten Materialmengen und der verkörperte CO₂-Fußabdruck („Carbon Footprints“) werden verglichen, um die Gültigkeit des Entwurfs fest zu stellen.

Abb. 96 Dewitt-Chestnut Apartments, Chicago
SOM (2013)



Das vorgeschlagene Tragstruktursystem von SOM für das hohe Holzgebäude Problem ist der Beton-Gelenkholzrahmen („Concrete Jointed Timber Frame (CJTF)“). Dieses System („Gravitations-Framing-System“) beruht in erster Linie auf „Mass Timber“ für die Hauptbauelemente, mit ergänzendem Stahlbeton an stark beanspruchten Stellen der Struktur: die Unterzüge. Dieses System nutzt die Stärken beider Materialien. Er besteht aus Mass-Timber-Produkten für die Primärelemente wie die Bodenplatten, Säulen und Scherwände, die durch Stahlverstärkung mit dem Beton verbunden sind. Das System ist ca. 80% Holz und 20% Beton für ein typisches Stockwerk. Das gesamte Gebäude ist ca. 70% Holz und 30% Beton auf Volumen, wenn Betonunterbau und Fundamente auch in betracht gezogen werden.

Das schwere Rahmensystem verwendet 20 cm dicke Holzdeckenplatten („Cross-Laminated Timber“ (CLT)) mit Fertigteil-Beton-Verbund-Deckung, die zwischen dem aussteifenden Kern in der Mitte des Gebäudes und den Stützen am Gebäudeumfang (einachsrig gespannt) liegen. Die für die Akustik benötigte Beton-Deckplatte ist eine strukturell tragende 50 mm dicke Verbunddecke, die auf der Oberseite der CLT-Bretter vor Ort oder vor Ort vor der Montage

gegossen wird. Da die Deckplatte als Tragstrukturelement konstruiert ist, wurde aufgrund der höheren Materialsteifigkeit Normalgewichtbeton über Leichtbeton gewählt. Die Fertigteil-Verbundplatte ermöglicht ein dünneres Gesamt-Decken-Sandwich, reduzierte Feldarbeit und vereinfachte Momentanschlüsse. Das zusammengesetzte Biegeverhalten zwischen der CLT-Deckenplatte und der Betonfertigplatte wird durch die Bereitstellung einer horizontalen Scherverbindung an der Schnittstelle der beiden Materialien erreicht. Diese Verbindung muss unter endgültigen Lasten dehnbar sein, aber steif im Betrieb, um Schlupf und zusätzliche Auslenkungen zu minimieren. Die Torsion der Tragstruktur einschließlich der Deckenplatten wird durch die Verbindungen zu den Betonbalken vermieden, so dass das Geschoßdeckensystem wirtschaftlicher sein kann. Schließlich werden massive Holzscherswände verwendet, die durch Stahlverbindungen mit dem Beton gekoppelt sind, um die horizontalen Kräfte etwa aus Windbeanspruchung abzutragen. Die Scherswände befinden sich in erster Linie um den senkrechten Transport- und Servicekern (Rohr) in der Mitte des Gebäudes. Zusätzliche Scherswände erstrecken sich vom zentralen Kern bis zum Gebäudeumfang am östlichen und westlichen Ende des Kerns. Die Stützen

leiten die Vertikallasten an die Geschoße darunter und letztlich zu den Fundamenten. Der Entwurfsansatz für dieses System folgte ähnlichen Strategien, die auf ein hohes Betongebäude unter Verwendung gekoppelter Scherswände angewendet werden.

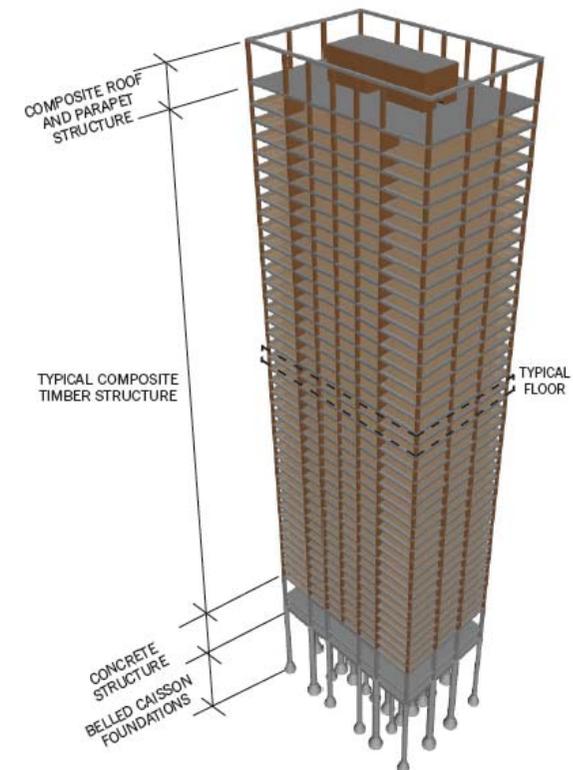


Abb. 97 Tragstruktur
SOM (2013)

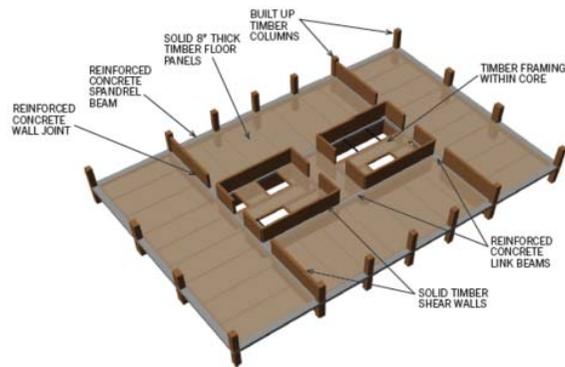


Abb. 98 Tragende Bauteile im Regelgeschoß
SOM (2013)

Um das Potenzial des Systems fest zu stellen, startete SOM mit der Oregon State University ein rigoroses Testprogramm, das fast 20 Tests unterschiedlicher Größen und Konfigurationen beinhaltet. Die nach der typischen Größe eines strukturellen Achsabstands modellierte 11m zu 2.4m Probe wurde aus einem, mit einer dünnen Schicht aus Stahlbeton bedeckten, Cross-Laminat-Timber (CLT) konstruiert, um die Trag-, Akustik- und Feuerleistung des Systems zu verbessern. Speziell entworfene Verbindungen wurden entwickelt, um die beiden Materialien zusammen zu verbinden. Um die CLT-Balken herum wurde die Dicke der Stahlbetonplatte erhöht, um eine starre Verbindung zwischen den Decken zu schaffen, so dass sich die Decken zwischen Balken mit einem minimalen Querschnitt realisieren lassen

können. Das System wurde für 2 Stunden mit einem hydraulischen Stellantrieb getestet und mit 48 verschiedenen Sensoren gemessen. Der Druck wurde erhöht, bis das System bei einer endgültigen Belastung von 82.000 Pfund (ca. 365KN), etwa 8-mal höher als die Codeanforderung, versagt hat. Die Steifigkeit erfüllte auch als Code-Standards. Die erfolgreiche Prüfung der endgültigen maßstäblich gefertigten Versuchsprobe hebt die wirklichen Vorteile des Holz-Beton-Verbundsystemansatzes hervor. Das System wird nun weitere physikalische Prüfungen für andere Themen, einschließlich Feuerwiderstand, durchlaufen, da es machbar ist und für den Einsatz in Hochhäusern zugelassen ist.



Abb. 99 Ausschnitt des Versuchsmodells
SOM (2013)



Abb. 100-102 Testprogramm
SOM (2013)

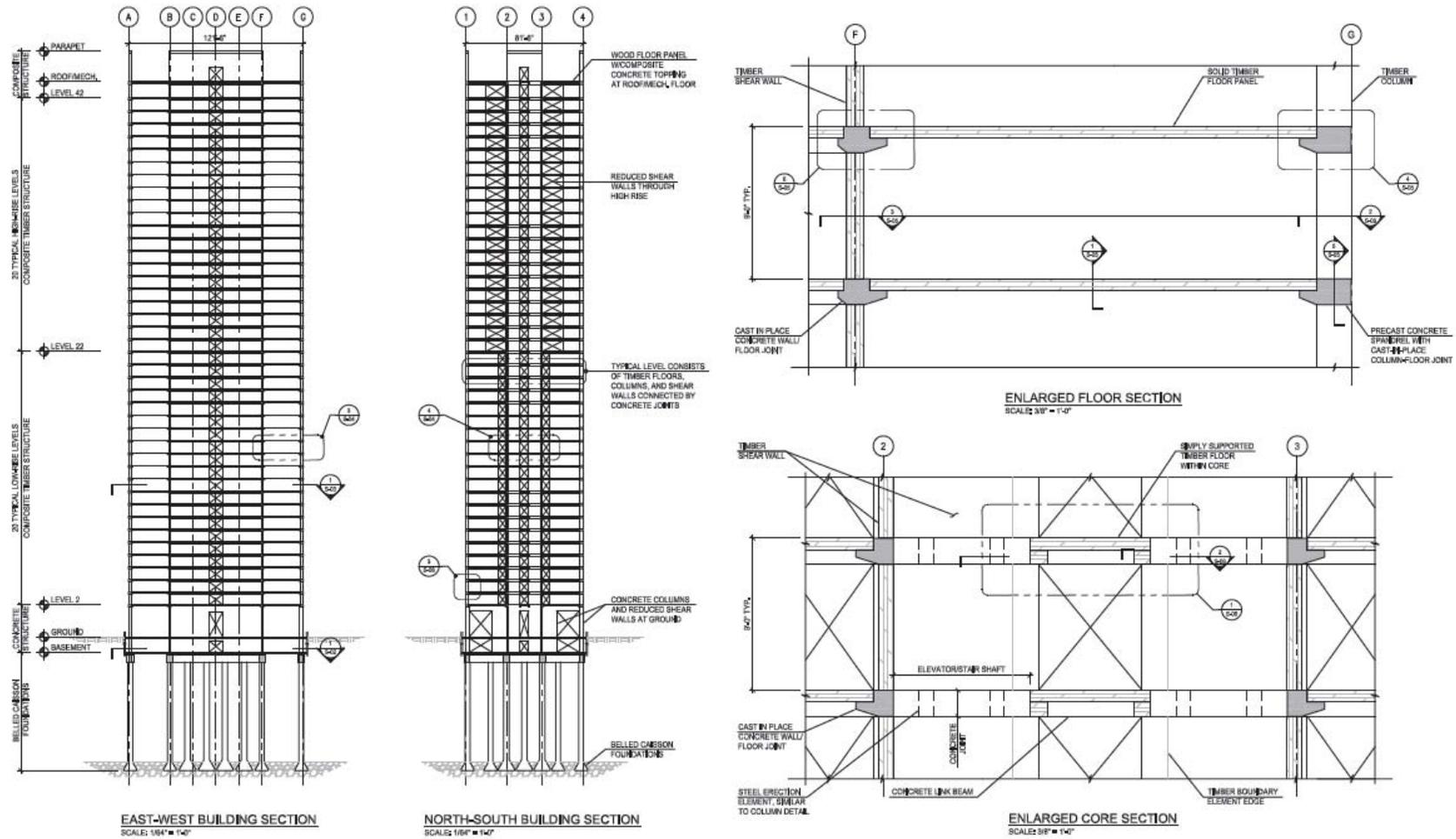


Abb. 103 Schnitte
SOM (2013)

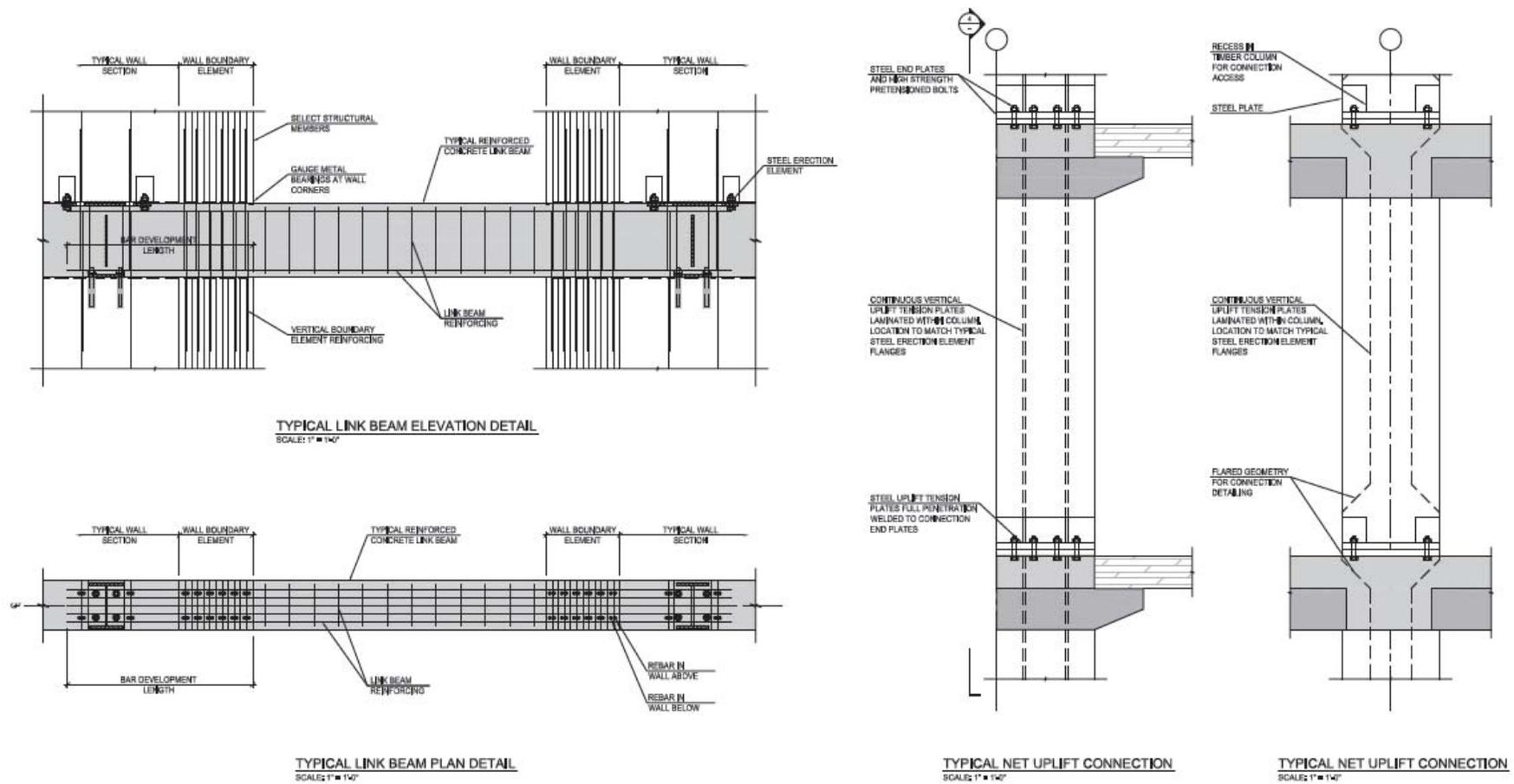


Abb. 104 Riegeldetail mit Anschlußverbindungen
SOM (2013)

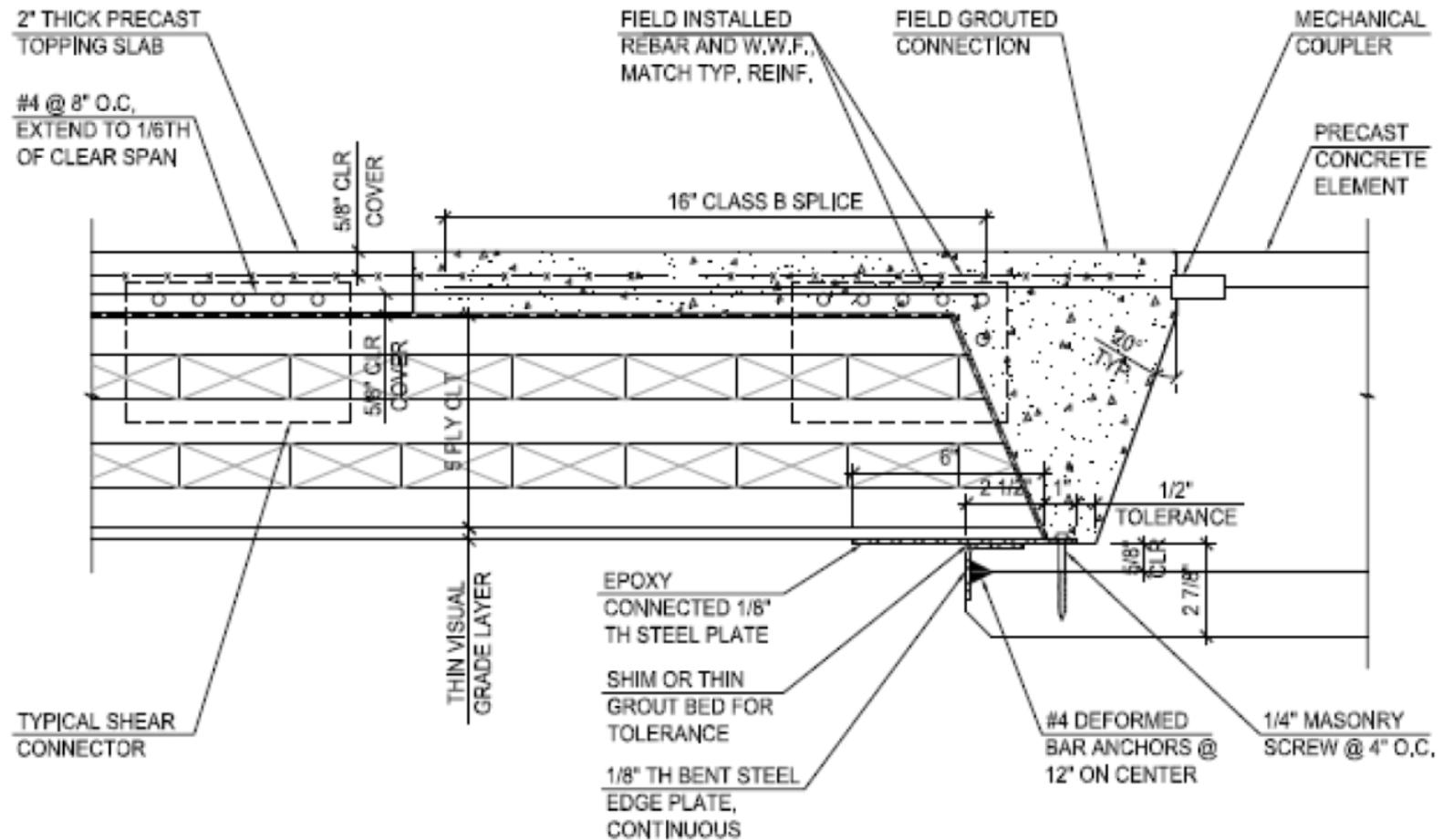


Abb. 105 Verbunddecke - Biegesteifer Anschluß an Fertigteilbeton-Unterzug
SOM (2014)

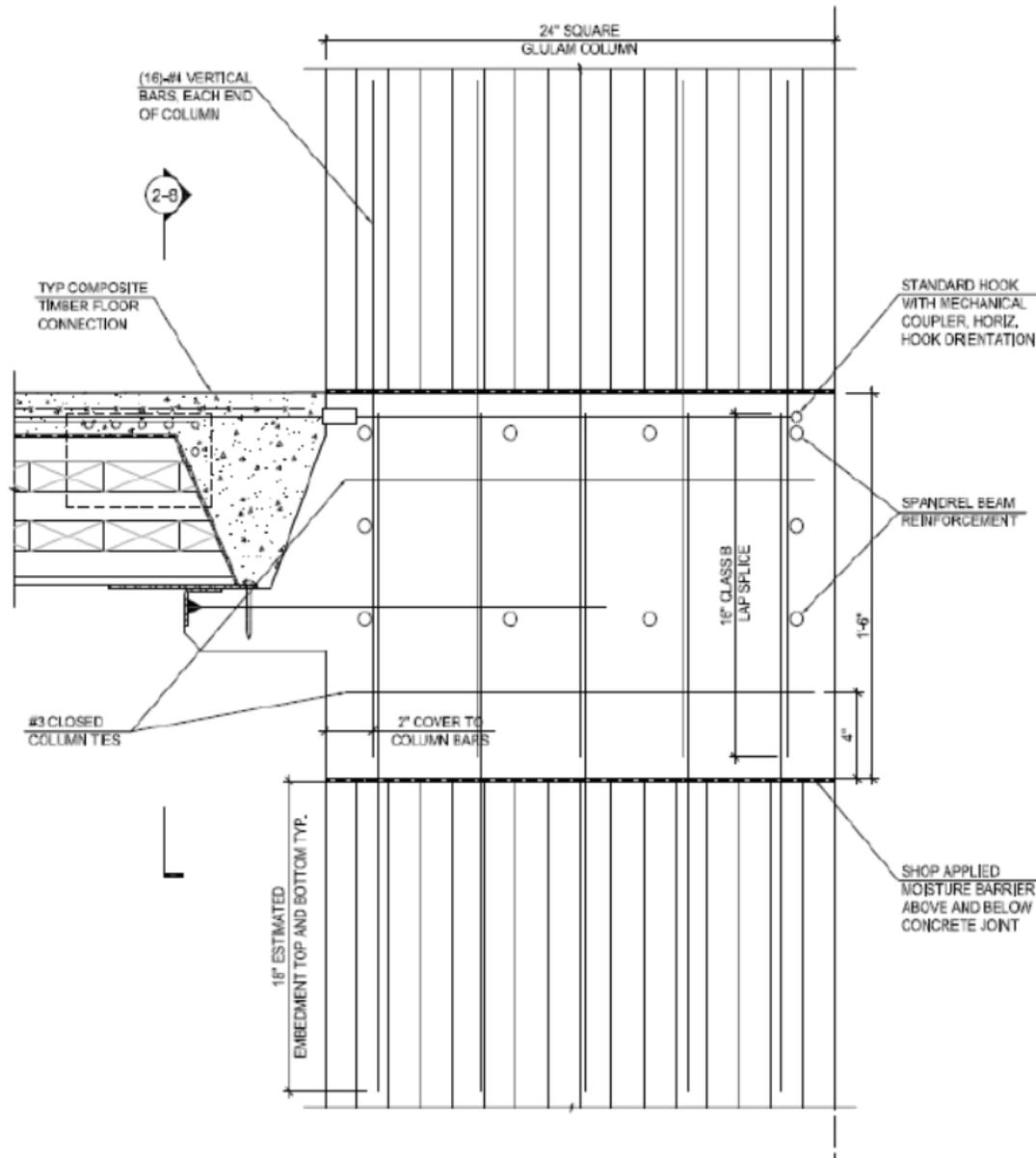


Abb. 106 Verbunddecke - Scherwandanschluß an
Fertigteilbeton-Unterzug
SOM (2014)

„Treet“; 14 Geschossiges und 50m hohes Holzgebäude, Bergen-Norwegen, Fertigstellung Ende 2015

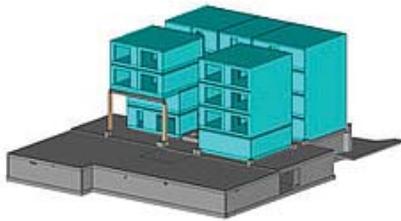
Ende 2015 wurde das vorläufig höchste Holzgebäude der Welt („Treet“; norwegisch für „der Baum“) nach einer Bauzeit von 15 Monaten nahe einer großen Brücke im Hafen vom norwegischen Bergen eröffnet. Das 14 Geschossige und 50m hohe Holzgebäude wurde als eine Komposition aus vorgefertigten Holzmodulen in Holzständerbauweise, Brettschicht- und -sperrholzelementen sowie massiven Fichtenwänden in den Fluren fertiggestellt. Die verbaute Holzmenge beträgt: 550m³ BSH, 385m³ BSP und 1000m³ Schnittholz. Das Wohngebäude wurde von Artec Architekten mit dem Tragwerksplaner Sweco, Oslo für den Bauträger BOB aus Bergen entworfen. Durch die Modulbauweise (fertige Wohneinheiten) wurde die Bauzeit verkürzt und der Installationsaufwand verringert. Außerdem konnten hervorragende Dämmeigenschaften durch die vergleichsweise dicken, doppelten Böden beziehungsweise Decken erreicht werden. Die Module wurden in Holzständerbauweise (Modulbau: Kodumaja, BSP-Lieferant: MERK Timber) produziert und per Schiff aus dem Werk in Estland direkt in den Hafen von Bergen – inklusive Sanitärkeramik und Siemens-Küchenausstattung geliefert. Da die Module nicht für sich allein bis zu einer Höhe von 50m gestapelt werden könnten,

verstärkt ein Skelett aus Brettschichtholzträgern die Konstruktion. Es durchzieht und umschließt – sichtbar aber filigran genug – die Wohneinheiten und bildet im fünften und zehnten Geschoss eine stützende Zwischenschicht. In den Wohnungen wirkt es als sichtbares Stilelement. Bei einem größeren Grundriss wären mit diesem Prinzip noch um bis zu zehn Stockwerke mehr möglich gewesen. „Treet“ wurde dadurch in drei Etappen erbaut, bevor man die Fassade anbrachte. Der Aufzugsschacht, bestehend aus Brettsperrholzwänden, ist ebenfalls dreigeteilt und steht mit einer Abweichung von nur 3mm nahezu perfekt senkrecht. Um das Gebäude vor der Witterung zu schützen, sind West- und Ostwand mit Stahlplatten verkleidet. Zwischen Holz und Stahl wird mit einer 50cm dicken Schicht aus ROCKWOOL RE-DAir FLEX gedämmt. Die beiden Balkonseiten sind hingegen in eine durchgehende Glasfassade gehüllt. Die große Herausforderung der Verhütung von Feuerschäden wurde durch ein Konzept aus großzügiger Bemessung, feuerhemmender Dämmung und Sprinkleranlagen gewährleistet.



Abb. 107 Das fertiggestellte „Treet“ Ende 2015, Bergen-Norwegen
ARTEC, Sweco & BOB (2016)

Holzmodule in Holzständerbauweise, Brettschicht- und -sperrholzelementen sowie massiven Fichtenwänden. Vier Module gestapelt über einander auf dem Betonuntergeschoß.



Skelett aus Brettschichtholzträgern mit einer stützenden Zwischenschicht im fünften und zehnten Geschoß.

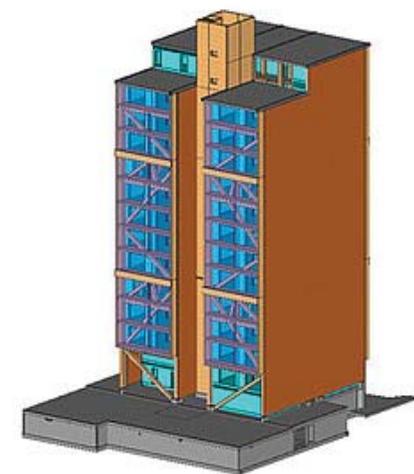
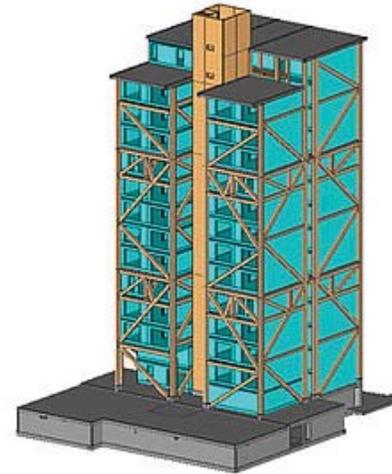
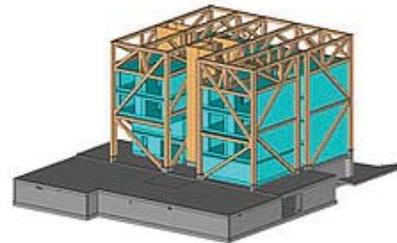


Abb. 108-111 „Treet“ Module, Tragkonstruktion, Erstellung, Front- und Rückansicht
ARTEC, Sweco & BOB (2016)

Aufzugsschacht besteht aus Brettsperrholzwänden. West- und Ostfassade sind mit Stahlplatten verkleidet, während die beiden Balkonseiten an der Nord- und Südfassade in eine durchgehende Glasfassade gehüllt sind.



Abb. 112 Giebelwanddetail - Feuer-, Wetter- und Schallschutz
 ARTEC (2016)



Abb. 113 Metallverkleidung während der Errichtung
ARTEC (2016)



Abb. 114 Die Balkone sind ein Unterstützungssystem für die Glasfassade - hauptsächlich hängen sie in zwei großen Brett-schichtholz-balken. Balkonplatten werden aus CLT hergestellt und sind zwischen CLT-Platten gespannt, die mit den Stützen verbunden sind. Böden, Wände und Decken sind aus ungeschütztes unbehandeltes CLT.
ARTEC (2016)

- Feuerschutzmaßnahmen zwischen den Geschossen und den dreiecken der Brett-schichtholz-trägern. Fenster EI30, Zur Belüftung geöffnet und im Brandfall versiegelt.
- Hohlraum zwischen Verkleidung und Modul ist isoliert. Es sind keine Hohlräume mit brennbaren Materialien unisoliert.
- Das Gebäude ist vollständig gesprinkelt, einschließlich der Balkone.
- Alle wichtigen konstruktiven Teile haben eine Feuerbeständigkeit R90. Die Module sind so dimensioniert, dass sie Feuer für 74 Minuten standhalten. Ein Satz von 4 Modulen muss für 90 Minuten feuerbeständig sein.
- Horizontale Trennung mit Beton auf zwei Ebenen hilft die gesamte Feuerbeständigkeit.
- Die Gebäudeverkleidung, die ursprünglich in Holz geplant war, wurde in Metal ausgeführt, da keine Holzfeuerschutzbehandlung zu finden war, die länger als 5 Jahre hält, was unmögliche Wartungskosten nach sich ziehen würde.
- Alle Sichtbaren Holzelemente sind feu-erlackiert. Alle Vorteile von freiliegendem Holz im Innenraum, wie etwa Luftfeuchtigkeit sind durch die Brandschutzmaßnahmen eliminiert worden. Feuerbehandlung enthält auch verschiedene Chemikalien, die für das Raumklima nicht so gut sind.

„River Beech Tower“, Chicago-USA, 2016

Im Jahre 2016 zeigten die US-amerikanischen Architekten Perkins+Will gemeinsam mit den Ingenieuren von Thornton Tomasetti und Forschern der Universität - University of Cambridge - ein neues Tragwerkssystem und eine Netzkonstruktion (möglicherweise Holzwerkstoffe aus hochfester Buche), durch die die Stärken des Baustoffs Holz voll ausgereizt werden können und ein noch höheres Bauen in Holz ermöglicht werden soll. Sie stellten ein Konzept für einen 80-geschossigen Holzbau, somit nahezu 280 m hohes Holzgebäude, das „Beech“ in „River Beech Tower“, in Chicago vor. Während andere auf Hybridsysteme wie Holz-Beton oder Holz-Stahl setzen, verfolgen die Planer einen neuen Denkansatz mit auf dem Markt befindlichen Holzbauprodukten; Netz-Tragwerk und kreuzweise angeordnete Holzstützen im Inneren, die das Gebäude aussteifen. Es soll sich ein umlaufendes Netz aus diagonalen Holzträgern der natürlich hohen axialen Festigkeit von Holz bedienen. Horizontale wie vertikale Lasten auf die aussteifende innere Konstruktion aus kreuzweise angeordneten Holzstützen werden über eine kraftschlüssige Verbindung an das Außenwandgitter abgeleitet. Der Chicago-Holztower soll laut aktuellem Design Platz für rund 300 Wohnappartements, etagenübergreifende

Gemeinschaftszonen sowie gewerblich genutzte Flächen bieten. Ob das Konzept umgesetzt wird ist unklar. Die verantwortlichen

Planer geben aber an, dass es zum Ende der Projektplanungsphase hin möglicherweise realisiert werden könnte.



Abb. 115 Der „River Beech Tower“ in Chicago
Perkins+Will (2016)



Abb. 116 Der „River Beech Tower“ in Chicago
Perkins+Will (2016)



Abb. 118 Durch eine Netzkonstruktion sollen die Stärken des Baustoffs Holz voll ausgereizt werden
Perkins+Will (2016)



Abb. 117 Fassade, „River Beech Tower“ in Chicago
Perkins+Will (2016)



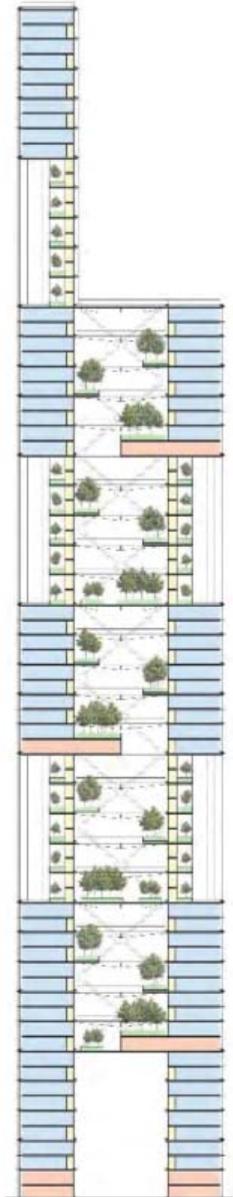
Abb. 119 Himmelsgärten, „River Beech Tower“ in Chicago
Perkins+Will (2016)



Abb. 120 Fassadenmodul
Perkins+Will (2016)



Abb. 121 Kreuzweise angeordnete Holzstützen im Inneren steifen das Gebäude aus
Perkins+Will (2016)



Der Turm ist so konstruiert, dass er aus zwei vorgefertigten Modultypen hergestellt werden kann: einer mit Scherkern und ohne. Jedes Modul würde so weit wie möglich mit einer einheitlichen Vorhangfassade verglast werden. Teile zwischen den Modulen werden im Feld verglast. Die Brandschutzwirkung zwischen Bodenplatte und Fassade folgt einer konventionellen zweistündigen UL-Lösung. Die Haut der Atriumfassade ist ein leichtgewichtiges Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE) -System. In allen Turmbereichen ist das Holz innerhalb der Außenhaut – mit Ausnahme der Balkone – geschützt.

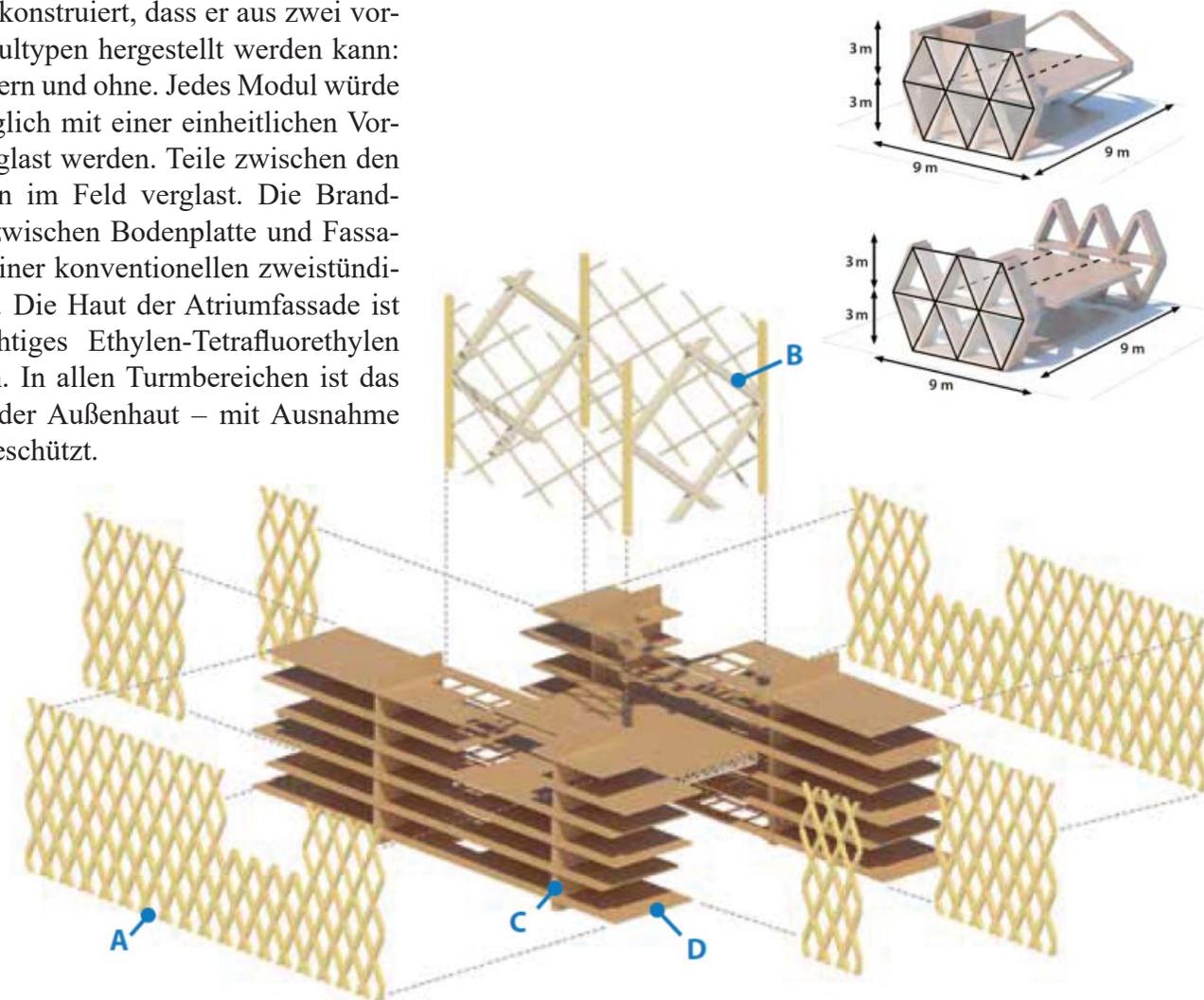


Abb. 122 (Links) Querschnitt

Abb. 123 (Oben) Explosionsaxonometrie von Turmbodenplatten, Massivholzprodukte werden zeigen, die in ihrer optimalen Konfiguration verwendet werden. Das Ergebnis ist ein Massivholzsystem. Furnierschichtholzwaben-Diagrid (A). Brettschichtholz Atrium Querverstrebung (B). Brettsper Holz für den Scherkern (C). Brettsper Holz oder nagelkaschierte Holzdielen für Bodenplatten (D).

Perkins+Will (2016)

„Seattle Mass Timber Tower“ (MTT), Seattle-USA, 2017

Eine Studie aus den USA (März 2017) will belegen, dass Holzbauten mit bis zu 40 Geschossen, über 120 Meter Höhe, und mehr als 50% Holzanteil mit Hybridkonstruktionen technisch machbar sind. Die Studie wurde vom US-amerikanischen Design- und Ingenieurbüro CallisonRTKL durchgeführt. Es handelt sich um den „Seattle Mass Timber Tower“ (MTT) inmitten der US-Metropole Seattle. Man kam zum Schluss, dass sich in Anlehnung an die lokalen Baugesetze (US-Bundesstaat Washington) ein derartiger Wolkenkratzer unter diversen Voraussetzungen durchaus in Massivholz umsetzen ließe. Prämisse für die Machbarkeit eines derart hohen Holzgebäudes sei ein aussteifender Kern in Stahlbetonbauweise, der wiederum auf einem mineralischen Fundament sitzt und die Stiegenhäuser sowie Liftschächte aus nicht brennbarem Baumaterial beherbergt. Das Konzept der Studienautoren sieht darüber hinaus zwei zusätzliche mineralische Auslegerinnenwände pro Geschoss vor. Erhöhte Windlasten werden von zwei Außenwandflächen aus einem hexagonalen Karbonfasernetz kompensiert. In den Stockwerken 1-30 kommen Stahlstützen zum Einsatz, während ab Stockwerk 31 Brettschichtholzstützen die Geschossdecken aus Brettsperrholz tragen. Die Innen- wie auch meisten Außenwände

und Unterzüge sind beim „Mass Timber Tower“ ebenfalls in Holzausführung vorgesehen. Trotz der großen Mengen an Beton und Stahl in dem Gebäudeentwurf überwiegt der Holzanteil volumenmäßig, weshalb von einem Holz- bzw. Holzhybridbau gesprochen werden kann. Mit dem mineralischen Kern, einer Sprinkleranlage sowie einem separaten Lift, der nur von der Feuerwehr benutzt werden darf, wird das Gebäude laut der lokalen Brandschutzvorschriften als Typ-1-Bauwerk deklariert, wodurch ein Brandwiderstand von 180 Minuten für das Primärtragwerk und 120 Minuten für alle anderen Bauteile sichergestellt wird. Auf einer Gesamthöhe von 128 Metern soll der Wohnturm Platz für 650 Apartments (vorgefertigte Wohnungen) unterschiedlicher Größen bieten (18 Wohnungen pro Geschoss). Die Innenausstattung, inklusive Küchenzeile und Nasszelle, soll vorgefertigt werden. Es ist vorgesehen, dass die drei unteren Stockwerke Gewerbe- und Erholungsflächen beherbergen. Die vorgefertigten Module und Elemente in Holzbauweise sollen für eine kurze Bauzeit - Mindest-Zeiteinsparung von zwei Monaten - sorgen, wodurch sich das positiv auf die Baukosten wirkt. Die Autoren nennen weitere unschlagbare pro-Holz-Argumente: massive Einsparungen bei der Gebäude-

Primärenergie, Kohlendioxid-Bindung über die Nutzungsdauer des Objekts und wissenschaftlich erwiesene, positive Effekte von Holz auf die Physiologie des Menschen.

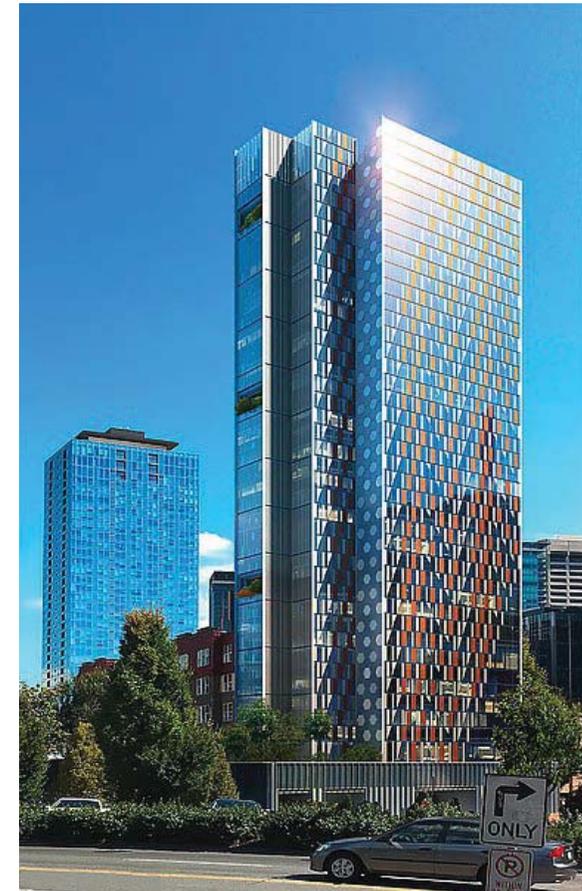


Abb. 124 „Seattle Mass Timber Tower“ (MTT)
CallisonRTKL (2017)

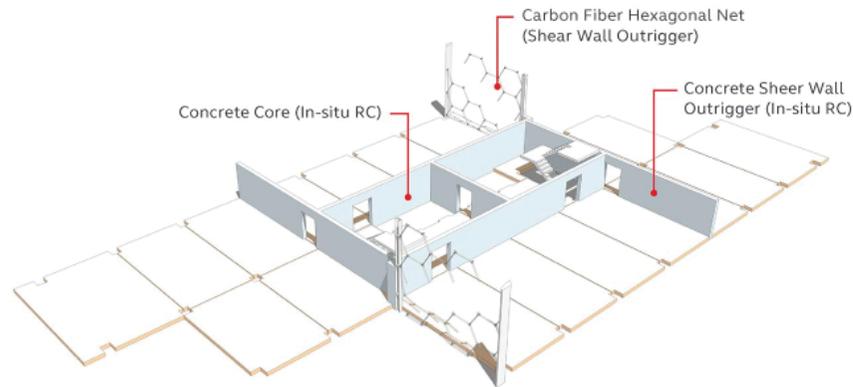


Abb. 125 In der Mitte befindet sich der Stahlbetonkern mit aussteifenden Auslegerwänden. Bei zwei der Außenwandflächen sorgen Karbonfasern dafür, hohe Windlasten auszugleichen
CallisonRTKL (2017)

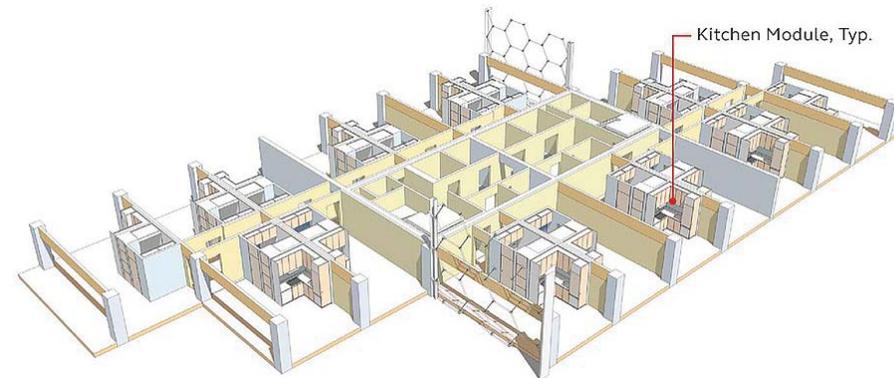


Abb. 127 Die Innen- als auch die meisten Außenwände sowie die Unterzüge werden in Holz gefertigt. Auch die Küchenzeilen und Nasszellen werden vorgefertigt
CallisonRTKL (2017)

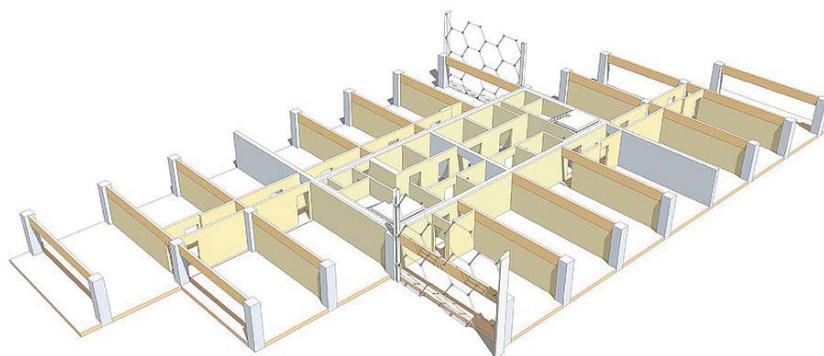


Abb. 126 Vom ersten bis zum 30. Geschoss tragen Stahlstützen die Brettsperrholzdecken. In den oberen Stockwerken kommen BSH-Stützen zum Einsatz
CallisonRTKL (2017)

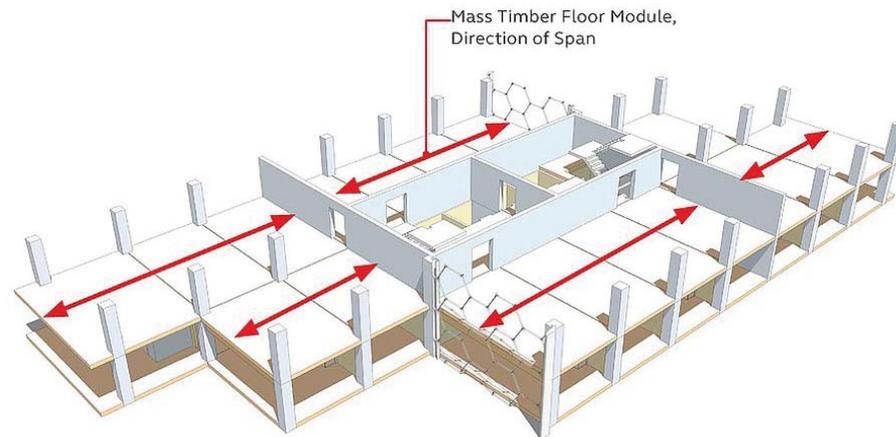


Abb. 128 In Summe sieht das Konzept einen Holzanteil von über 50% vor. Vor allem die Geschossdecken tragen dazu bei
CallisonRTKL (2017)

Studentenwohnheim der „University of British Columbia“, Vancouver-Kanada, Fertigstellung 2017

Im kanadischen Vancouver wurde 2016 der Holzkörper des 18 geschossigen (17 in Holz) Studentenwohnheimes der „University of British Columbia“, sogenannt UBC Brock Commons, in einer Rekordzeit von nur drei Monaten (66 Arbeitstage) aufgestellt. Mit einer Höhe von 53 m ist das von Acton Ostry Architects geplante Gebäude eines der aktuell höchsten Holznutzbauten der Welt. Auch die Expertise des Vorarlberger Architekten Hermann Kaufmann soll für die Holzbaustatik zu Rate gezogen worden sein. Die Tragkonstruktion wurde von Fast + Epp geplant. Das rund 35 Mio. € teure Projekt soll Ende 2017 fertiggestellt werden und beinhaltet über 300 Wohnungen, die über 400 Studenten beherbergen können. Die im Werk vorgefertigten Fassadenelemente bestehen aus einem Stahlrahmen mit 70% Holzfaserdämmung und wetterfester HPL (Hochdrucklaminat)-Außenbeplankung (Platten). Die Tragkonstruktion besteht aus einer Kombination aus Brettschichtholzstützen und fünfschichtigen Brettspertholzdecken mit Stahlverbindern (in einem Raster von 2,85 m x 4,0 m punktgelagert) – Fundament, Erdgeschoss und zwei Kerne mit Stiegen-Lift-Häuser wurden betoniert. Der Bau ist das erste gemäß den neuen Erdbebenanforderungen des National Building Code of Canada 2015 errichtete

Gebäude in British Columbia. Es ist auf eine LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Zertifizierung in Gold ausgerichtet. 2.563 Tonnen CO₂ sollen durch das Gebäude eingespart werden.



Abb. 129 Fassadenelemente
UBC (2017)



Abb. 130-133 Konstruktion & Montage
Seagate Structures / Pollux Chang (2017)



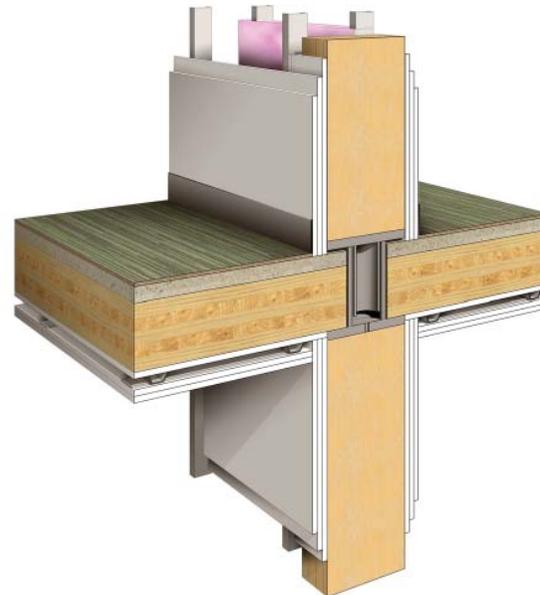
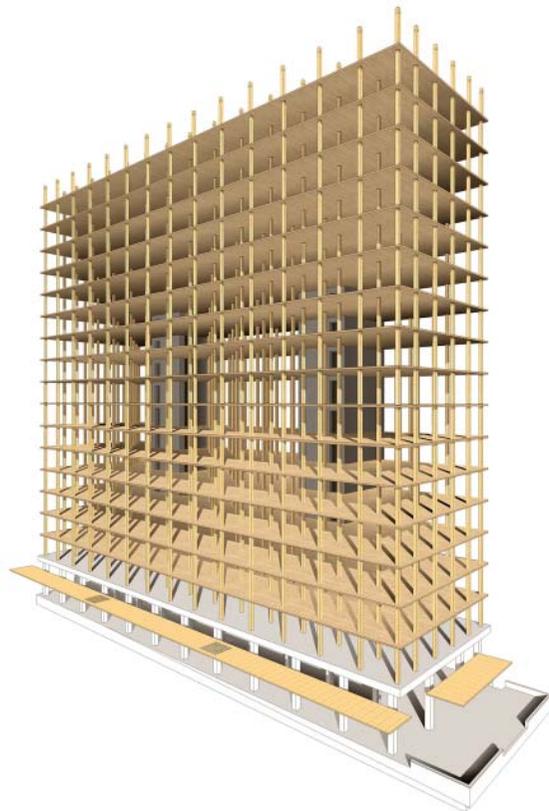


Abb. 134-138 Konstruktion, Gebäudeaussteifung & Fassade. Aussteifung durch zwei Erschließungskerne aus Beton. Brettschichtholzstützen und fünfschichtigen Brettschichtholzdecken mit Stahlverbindern. Betonstruktur und CLT Vordach an der Basis. Verkleidete Holzstruktur in den Regelgeschossen. exponierte Holzstruktur im Studenten-Raum.

Acton Ostry Architects (2017)

Das HoHo, Wiener Seestadt Aspern -Österreich, Baubeginn Herbst 2016, Fertigstellung voraussichtlich Ende 2018

Bis Ende 2018 soll das welthöchste Gebäude, ein 24-geschossige Holzhybridbau, in der Seestadt Aspernim 22. Wiener Gemeindebezirk, Donaustadt, direkt am Seeufer, entstehen, das HoHo Wien. Die Planung auf dem 4.000 Quadratmeter grossen Grundstück erfolgte durch Architekt Rüdiger Lainer (RLP Rüdiger Lainer + Partner Architekten), Tragwerksplaner Dr. Richard Woschitz (RWT+ZT GmbH) und Brandschutzplaner Alexander Kunz (Kunz – Die innovativen Brandschutzplaner). Bauherr: Investor Günter Kerbler / cetus Baudevelopment GmbH. Die Umsetzung erfolgt durch den Generalunternehmer HANDLER. Die innovative Fassade des HoHo Wien wird von Züblin Timber, einer Tochter des österreichischen Baukonzerns STRABAG, ausgeführt. Das Projekt wird im sogenannten STRABAG teamconcept abgewickelt. Das einzigartige 65 Millionen Euro teure Holzhochhaus wird eine Höhe von 84 Metern erreichen und soll 19.500 m² Mietfläche für verschiedene Nutzungsarten, ein Restaurant, ein Hotel, Büros, Beauty, Health, Wellness und Appartements, aufweisen. Eine lebendige Einkaufsstraße sowie hochwertige Freiräume runden den lebendigen Mix ab und sorgen für Wohlfühl-Atmosphäre. Der Branchen-Mix basiert auf der chinesischen Fünf-Elemente-Lehre und

Elementen aus der buddhistischen Theorie (spiegelt Holz, Feuer, Erde, Metall, Wasser, Erde und Leere). Für die Konstruktion werden gut 3600 m³ Holz (Brettsperre- und Brett-schichtholz) zum Einsatz kommen, die gegenüber einer Ausführung in mineralischer Bauweise rund 2800 Tonnen CO₂-Äquivalente einsparen – das entspricht 20 Millionen PKW-Kilometern. Zudem werden gegenüber der konventionellen Ausführung rund 300.000 Megawattstunden Primärenergie eingespart. Der Holzbauanteil wird ab dem Erdgeschoss bei 75 Prozent liegen. Natürlichkeit nach außen und vor allem die Sichtbarkeit der Holzflächen im Innenbereich gehören in diesem Hochhaus zur Kernidee für spürbares Erleben des Elements Holz. Die flexible Grundrissgliederung durch den modularen Büro-Aufbau lässt nachträglich individuelle und jederzeit änderbare Umgestaltungen ohne großen Aufwand zu, so dass dieses Holzhochhaus seine langfristige Attraktivität für Mieter nicht verliert.

Zu den Brandschutz-Maßnahmen gehören (1) eine nicht brennbare Fassade, (2) eine flächendeckende Sprinkleranlage, (3) kleine Brandabschnitte, so dass ein Brand nicht auf den nächsten Abschnitt übergreifen kann und (4) kurze Fluchtwege, die im

massiven Kern liegen. Zudem wurden die Holzbauteile so bemessen, dass das Holz im Brandfall durch das kontrollierte abbrennen noch in der Lage ist, die Lasten zu tragen; überdimensionierte Holzstützen. Die lt. Österreichischer Brandschutzrichtlinie erforderliche Feuerwiderstandsdauer von mindestens 90 Minuten für die Konstruktion wurde in den Brandschutztests übertroffen.



Abb. 139 Das HoHo Wien
RLP (2016)

Zwei heimische Unternehmen werden die Holzelemente für das HoHo Wien in der Seesdtadt Aspern liefern. MMK ein Joint Venture der Mayr-Melnhof Holz Holding AG und der Kirchdorfer Gruppe, ist für die Produktion der Holz-Beton-Verbunddecken nach einem intern bereits geprüften System verantwortlich, HASSLACHER NORICA TIMBER liefert die Holzstützen sowie die Wände aus Brettspertholz. Der dazu benötigte Rohstoff kommt ausschließlich aus heimischen Sägewerken.

Beim Hoho Wien kommt die Hybridbauweise, also eine Mischbauweise von Holz und Beton zur Anwendung. Es werden massive Brettspertholz-Elemente und vorgefertigte Betonplatten zu einem Verbundwerkstoff kombiniert. Das bewusst „einfache“ System verwendet die Stapelung vier vorgefertigter, serieller Bauelemente: Stützen, Unterzug, Decken- und Fassadenelemente. Die Neuheit der Holz-Beton-Verbund-Deckenelemente für das HoHo Wien liegt vorwiegend am stark reduzierten Anteil an Stahlverbindungsmitteln und dem hohen Vorfertigungsgrad, realisiert durch den Einsatz neuartiger Verbindungen zwischen Holz und Beton. Die vorgefertigten, seriellen Holz-Elemente werden auf der Baustelle sofort verbunden. Die BSH-Stützen wiederum bilden mit den

ebenfalls vorgefertigten Außenwandmodulen aus Massivholz (Module in Sandwichbauweise) ein gemeinsames Montageelement. Dieses Bau-System spart Arbeitszeit auf der Baustelle, witterungsbedingte Schwierigkeiten und lange Trocknungszeiten entfallen. Mit besonderer Sorgfalt sind jedoch die sichtbaren Holzoberflächen (BSP-Innenwänden) zu behandeln, die innen sichtbar bleiben. Der aussteifende Kern, der der Versorgung und Erschließung dient, wird jedoch in Stahlbeton ausgeführt.

Das HoHo Wien wird nach den Kriterien des neuen Bewertungssystems TQB (Total Quality Building) der ÖGNB errichtet. Dadurch wird die Qualität des Holzhochhauses von der Planung über die Errichtung bis zur Nutzung dokumentiert und zertifiziert.

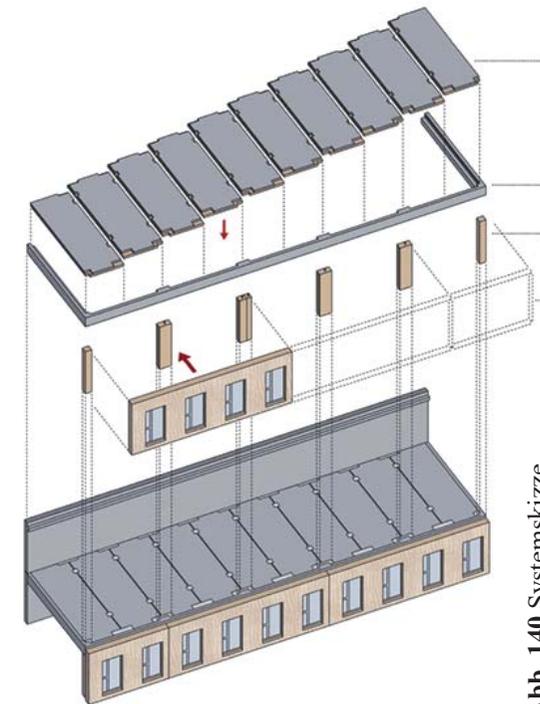


Abb. 140 Systemskizze
RLP (2016)

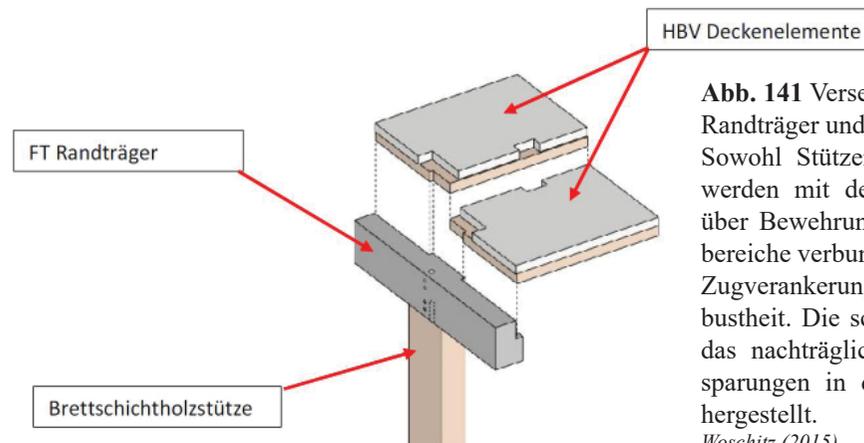
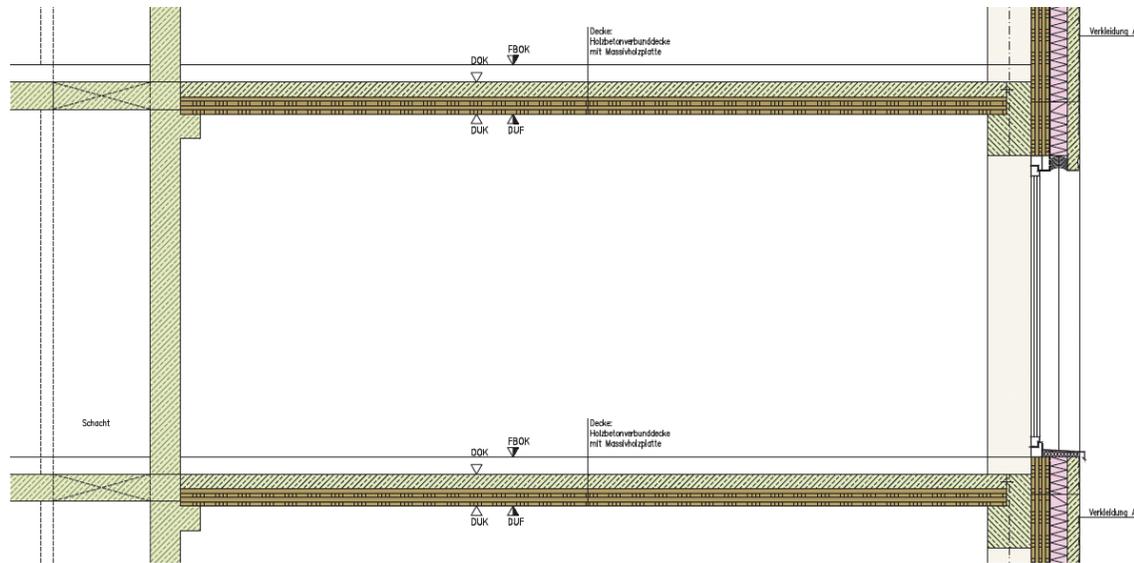
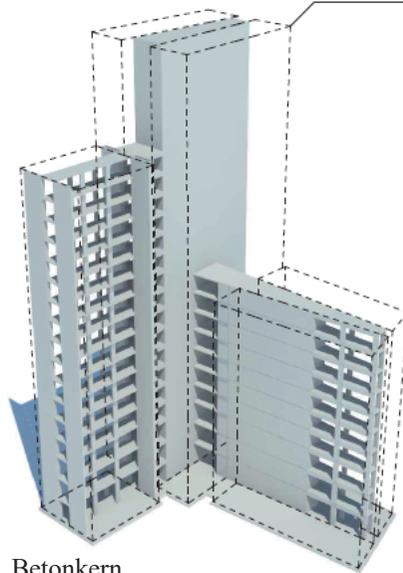


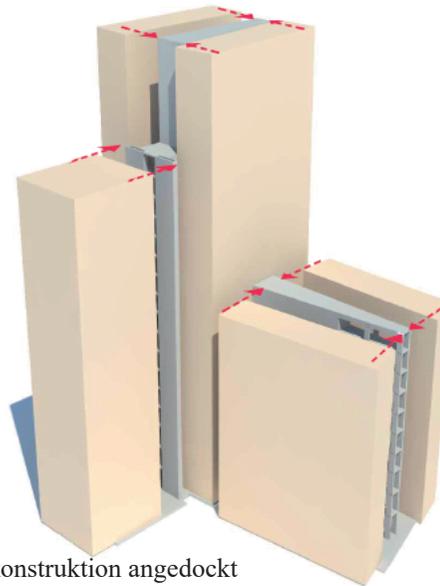
Abb. 141 Versetzen von Holzstütze mit dem Randträger und den HBV Deckenelementen. Sowohl Stützen als auch Deckenelemente werden mit dem FT-Träger kraftschlüssig über Bewehrungsstäbe und lokale Vergussbereiche verbunden und erreichen über diese Zugverankerungen somit die geforderte Robustheit. Die schubsteife Decke wird durch das nachträgliche Ausbetonieren der Ausparungen in den HBV Deckenelementen hergestellt.
Woschitz (2015)



Angedockte Holzkonstruktion
Decken Holz-Beton Verbund



Betonkern



Holzkonstruktion angedockt



Abb. 142-144 Grundkonzept der Tragstruktur
RLP, Woschitz (2016)

Das Grundkonzept der Tragstruktur sieht ein Mischsystem aus einem aussteifenden mineralischen massiven vertikalen Erschließungskern mit den zugehörigen Stiegenhäusern sowie den horizontalen Gangerschließungszonen und einem vorgesetzten bzw. an den Massivkern angedockten Holzbau vor. An die Holztragstruktur wird die Holzfassadenkonstruktion vorgesetzt.

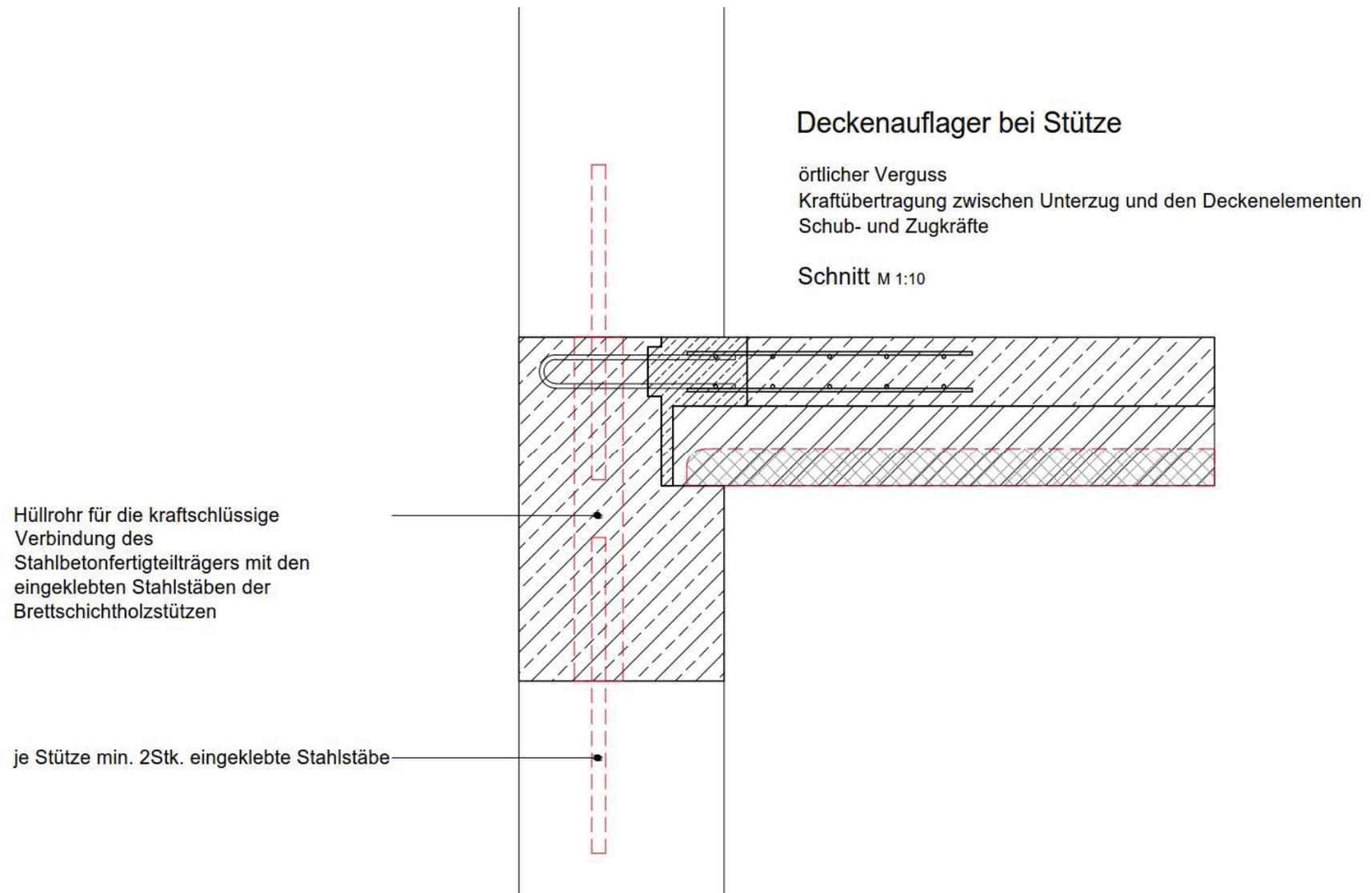


Abb. 145 Schnittdetail Deckenaufleger
Woschitz (2015)

„Mjøstårnet“ - Holzhochhaus, Brumanddal-Südosten Norwegens, Montage von September 2017 bis April 2018, Fertigstellung im Laufe des Jahres 2019 geplant

Anfang 2017 wurde der Bau des 80 Meter hohen (inklusive der Ständerkonstruktion am Dach), 18-geschossigen Holzhochhauses in norwegischen Brumanddal von Auftraggeber AB Invest AS und der Generalunternehmer HENT AS beschlossen. Mit der Planung des Gebäudes wurden VOLL Arkitekten aus Trondheim beauftragt. Der Baustoff Holz wird sowohl bei der Fassade als auch bei der Gestaltung der Dachterrasse im 18. Stockwerk allgegenwärtig sein. Auf einer Gesamtnutzfläche von über 15.000 m² soll Mjøstårnet Platz für ein Restaurant (Erdgeschoss), Büros (Stockwerke 2 und 4-7), ein Fitnesscenter (Stockwerk 3), ein Hotel (Stockwerke 8-11), Wohnungen (Stockwerke 12-16; sechs Wohnungen pro Geschoss), einen Konferenzsaal (Stockwerk 17) sowie eine gemeinschaftliche Dachterrasse mit Aussicht über die ansprechende Naturlandschaft rund um den angrenzenden Mjøsa-See (Stockwerk 18) bieten.

Die tragende Hauptkonstruktion des Gebäudes (Stützen, Querträger, Diagonalträger) wird in Brettschichtholz ausgeführt. Die Deckenelemente auf den unteren zehn Geschossen werden aus BSH-Trägern und Kerto-Furnierschichtholz gefertigt.

Brettspertholz kommt für die Lift- und Stieghäuser zum Einsatz. Auch die Fassade soll sich laut dem Plan der Architekten in Holz präsentieren. Den Lieferauftrag für alle Holzprodukte über eine Gesamtrechnungssumme von 5,3 Mio. Euro erhielt Moelven Limtre AS. Die Gesamtbaukosten des Projekts belaufen sich auf umgerechnet rund 56 Mio. Euro.



Abb. 146-148 „Mjøstårnet“ - Holzhochhaus
VOLL Arkitekten (2017)



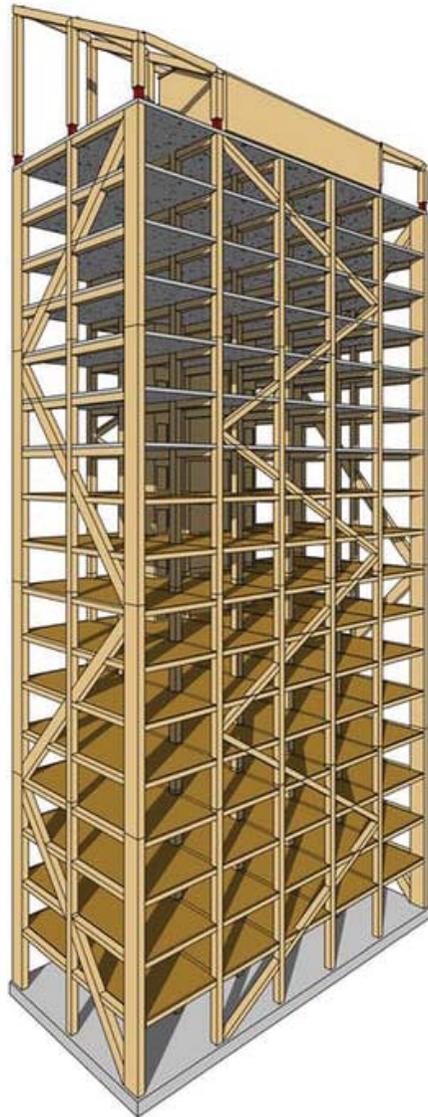


Abb. 149 „Mjøstårnet“ - Tragstruktur
Moelven (2017)

- 30 m höher als „Treet“ in Bergen, ähnliche BSH-Struktur aber ohne Module,
- BSH-Säulen, Balken und Diagonalen,
- CLT Schächte für Aufzüge und Treppen,
- Holzplatten in den ersten zehn Etagen und Betonplatten in den oberen sieben Etagen für Wohnungen,
- vorgefertigte Holzfassadenelemente bilden die Gebäudehülle,
- Deckenelemente mit einer 50 mm dicken Betonschicht gewährleisten Akustik und Feuer (R90) Anforderungen und überspannen mehr als 7 m (bis zu 10 m),
- größte Säule 625 x 1485, meist verwendete Säulen 625 x 630, typische Balken Holzboden 395 x 585/675, typische Balken Betonboden 625 x 585/720,
- Brettschichtholz und CLT sind innerhalb des Gebäudes exponiert, außer CLT in Fluchttreppen,
- Höhe vom Fundament bis Oberdeck 68m und bis zur Pergola 81 m,
- Feuer: R120 auf Hauptstrukturelementen, Säulen auf 4 Seiten exponiert, Balken auf 3 Seiten exponiert, Anschlüsse sind nicht exponiert, sichtbare Holzoberflächen in Fluchtwegen werden mit Farbe behandelt, um den Brandschutz zu verbessern, das Gebäude kann das Versagen einer Holzdecke und den Zusammenbruch einer Diagonale überleben.



Abb. 150-152 Erstellung & Montage
Moelven (2017)

Ausgewählte Beispiele von den Siegerprojekten des nationalen Holzbauwettbewerbs, ADIVBOIS („Association pour le Développement des Immeubles à Vivre Bois“), Frankreich 2017

DIJON, 4 – Ecopolis
 2267m², EG+6, *GRAMM Architektur, C & E Engineering – Statiker*

Ziel der Architekten ist es, ein Bürogebäude zu schaffen, das die technischen und ökologischen Aspekte der Öko-Nachbarschaft erfüllt. Mit dem Konzept des Holzhauses wollten die Architekten Geschwindigkeit, Zugänglichkeit und Dauerhaftigkeit demonstrieren. Das Gebäude besteht aus zwei Bänden und einem zentralen Erschließungskern. Klare Öffnungen lassen das Licht durch und bilden ein starkes Signal in der Landschaft. Die Fassaden der beiden Bände der Büros sind völlig anders entworfen. Während die Nordfassade im zentralen Garten ruhig und offen gehalten wird und horizontal gegliedert ist, wird die Südfassade von senkrechten Lamellen unterbrochen, die den Einblick in die Landschaft gewähren aber gleichzeitig vor der Hitze schützen. Das Projekt weist eine Fläche von 2190m² auf, die auf EG und 6 Oberschosse aufgeteilt ist und frei zwischen verschiedenen Mietern unterteilt werden kann. Des Weiteren werden Aspekte wie Flexibilität, Nachhaltigkeit sowie Komfort und Nutzungsqualität für zukünftige Büronutzer im Entwurf stark berücksichtigt.

Abgesehen von den Fundamenten und der Tragstruktur des Erdgeschosses, die in Beton sein wird, wird der Rest des Gebäudes in Leichtbauweise ausgeführt. Es wurde ein bewährtes, an das Programm angepasstes Skelettsystem (Pfosten-Riegel) ausgewählt, um das Projekt durchzuführen. Dadurch soll maximale Freiheit der Innenarchitektur sowie freie Öffnungen auf der Vorderseite ermöglicht werden. Eine maximale Freiheit der Innenarchitektur wird durch Module (Baukastenprinzip) ermöglicht. Deckenlüftungssysteme sind sichtbar, um den Verbrauch Materialverbrauch und Abfall zu reduzieren, was für größere Flexibilität in der Nutzung sorgt und einfacheren Ausbau durch die zukünftigen Mieter ermöglicht. Die Verwendung von Holz, Beton und Stahl erweitert diese Reflexion der Flexibilität durch Begrenzung der Kosten. Während die Verwendung dieser Materialien Baukosten spart, geben ihre Oberflächen den Räumen eine reiche und freundliche Atmosphäre. Der Aussteifungskern mit der Treppe und den Sanitärräumen befindet sich in der Mitte. Zwei Rahmen auf jeder Etage tragen die Deckenkonstruktion. Die Deckenträger (Holzrippen) mit einem Achsabstand von 90 cm verbinden den Kern mit den Fassaden.



Abb. 153 Südfassade
GRAMM Architektur (2017)



Abb. 154 Nordfassade
GRAMM Architektur (2017)

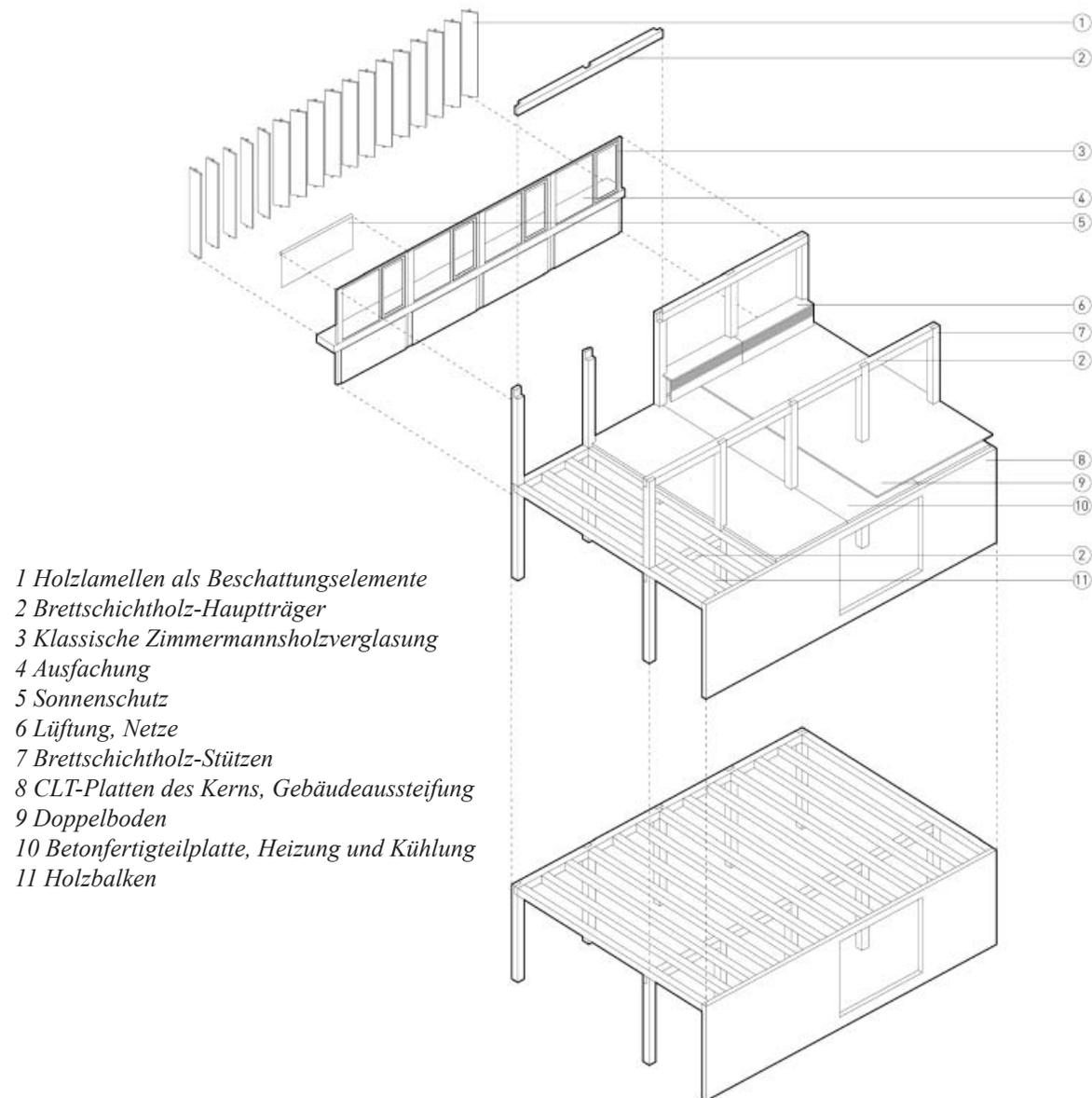


Abb. 155 Perspektive Richtung Hauptlobby
 GRAMM Architektur (2017)

Abb. 156 (Links) Explosionsaxonometrie des Strukturprinzips
 GRAMM Architektur (2017)

GRENOBLE, 15 – Haut Bois – Habiter Des Alpes Au Jardin (Holz Loggien – Wohnen Im Garten Der Alpen; Das Haus Der Landwirtschaft)

8600 m², EG + 9, TEKHNE und R2K Architekten, ARBORESCENCE (BE Holztragstruktur)



Abb. 157-158 Haut Bois
TEKHNE und R2K Architekten (2017)

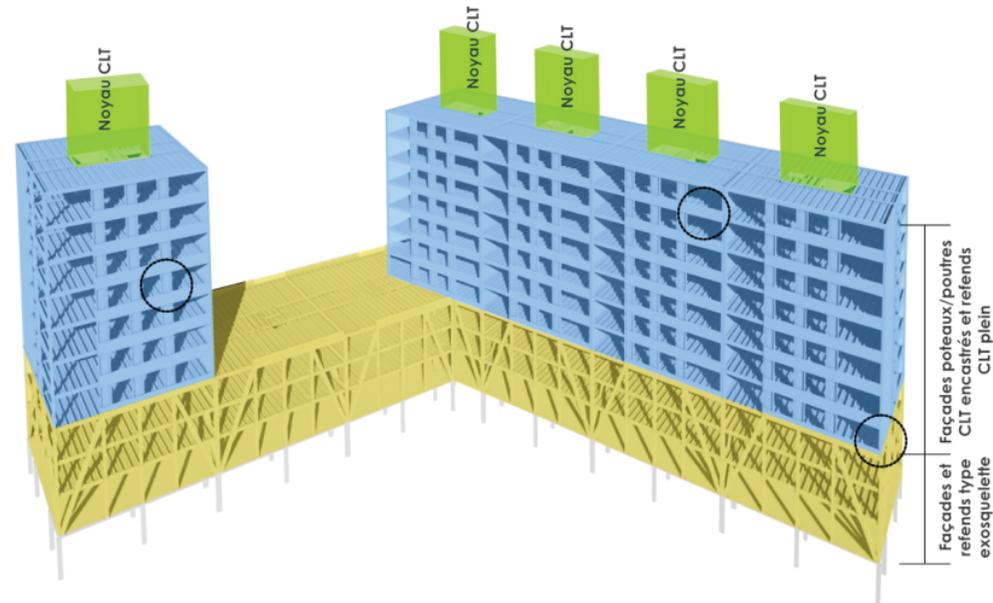
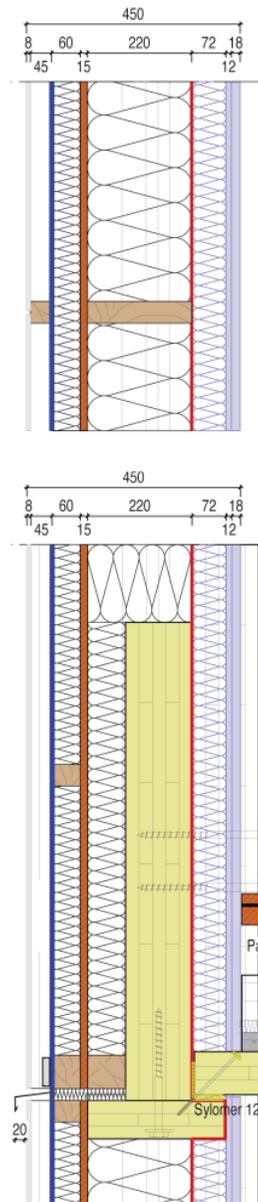
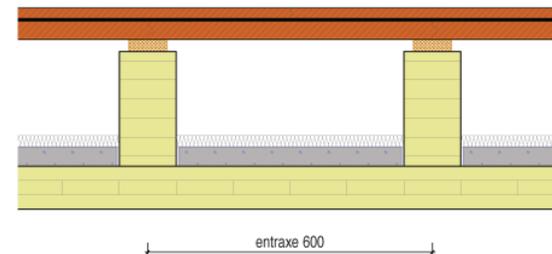


Abb. 159 3D-Modell der Holztragstruktur
TEKHNE und R2K Architekten (2017)

Geschoßdecke

- Bodenbeläge (Linoleum, Parkett, Fliesen)
- Schwimmender Estrich auf elastomeren Blöcken
- 40mm Betonverbundplatte + Mineralwolle
- CLT 90mm + Rippen 120x240 e.0,60m Geklebt



Außenwandkonstruktion

- Mineralische Beplankung A2-s2, d0
- Lattung 45x45 + Joint Sealing
- Feuchtigkeitsabdichtung
- Holzkonterlattung 45x60, Achsabstand 0,60m
- Isolierung Steinwolle ep. 60mm
- Agepan DWD ep.16mm Platte
- Holzrahmen 45x220, Achsabstand 0,60m
- Isolierung Holzwolle ep.220mm
- Hygrovariable Dampfbremse
- Isolationsdoppelschicht ep.70mm (Hors-lot)
- Verkleidungsplatten ep.12 + 18mm (off-lot)

Abb. 160 Geschossdecke- / Fassadenverbindungs-
detail

TEKHNE und R2K Architekten (2017)

LE HAVRE, 16 – Wood Up

3.015 m², EG + 14,

Architekturatelier Marie Schweitzer: Architektin, Konzept Holztragstruktur: Bet Bois

Dieser Turm ist ein Signal, dass ein Wahrzeichen für die Holzindustrie der Zukunft von der Stadt Le Havre sein soll. Der Turm steht frei auf Stützen, um hebt sich vom Sockel mit der begrünten Fassaden hervor. Die begrünte Basis bekräftigt die Größe des Gebäudes im Vergleich zur menschlichen Größe.



Abb. 161-162 Wood Up

Architekturatelier Marie Schweitzer (2017)



BAU	ARCHITEKT	ORT	HOHE	FERTIGSTELLUNG	MERKMALE, BESONDERE EIGENSCHAFTEN
Finnish Forest Research Institute	SARC Architekten	Joensuu, Finland	–	2004	Holz-Tragstruktur mit großen Spannweiten; Säulen aus vier gebogenen Trägern, vertikale hölzerne Schattierungen.
Aussichtsturm „bahnorama“, Wien	„rahm architekten“	Wien, Österreich	66,7 m	2010	Fichten-Holzfachwerk bestehend aus 15 Meter hohe Einzelteile (Module).
Prototyp für einen Windturm	Timber-Tower	Hannover, Deutschland	100 m	2012	achteckiger Holzturm aus Fichtenholzsegmenten; 30 Zentimeter dicke CLT-Platten mit einer Kunststoffverkleidung.
LifeCycle Tower - LCT ONE	Hermann Kaufmann ZT GmbH	Vorarlberg, Österreich	27 m	2012	Baukastensystem; Holzrahmenkonstruktion aus Brettschichtholz mit Holz-Beton-Verbunddecken und Beton-Sturzträgern.
Holzaussichtsturm	Markus Klaura, Erich Laure und Dietmar Kaden	Kärnten, Österreich	100 m	2013	räumliches Fachwerk „Korbtragwerk“ aus einfach gekrümmten Brettschichtholzstützen (Lärchenholz) mit Stahl diagonalstreben, Aussteifung durch Diagonalstränge aus Rundrohren.
Holz - Institut FCBA	Atelier 4 +, Michael Canac	Descartes, Frankreich	–	2015	Mischkonstruktion – Kombination aus Beton, Metall und Holz, Verwendung von verschiedenen Arten von Holz, Holz-Außenwände in Holzrahmenbauweise.
Dewitt-Chestnut Apartments	SOM Architekten	Chicago, USA	120 m	Forschungsprojekt	Tragstruktursystem: Beton-Gelenkholzrahmen („Concrete Jointed Timber Frame (CJTF)“); Mass-Timber für Bodenplatten, Säulen und Scherwände, das durch Stahlverbindungen mit den Stahlbetonunterzügen gekoppelt sind, Holz-Beton-Verunddecke (CLT-Platten).
„Treet“	Artec Architekten	Bergen, Norwegen	50 m	Ende 2015	Komposition aus vorgefertigten Holzmodulen in Holzständerbauweise, Brettschicht- und -sperrholzelementen sowie massiven Fichtenwänden, Aussteifung durch Skelett aus Brettschichtholzträgern.
„River Beech Tower“	Perkins+Will	Chicago, USA	280 m	Forschungsprojekt	vorgefertigten Modultypen, Netz-Tragwerk aus Buchenholz für die Außenrohre (Furnierschichtholzwaben-Diagrid), Aussteifung durch kreuzweise angeordnete Holzstützen.
„Seattle Mass Timber Tower“ (MTT)	CallisonRTKL	Seattle, USA	120 m	Studie	Hybridkonstruktion – Holz, Beton und Stahl, vorgefertigte Module und Elemente in Holzbauweise.
Studentenwohnheim UBC Brock Commons	Acton Ostry Architects	Vancouver, Kanada	53 m	2017	Tragkonstruktion: Kombination aus Brettschichtholzstützen und fünfschichtigen Brettsperrholzdecken mit Stahlverbindern.
HoHo Seestadt Aspern	RLP Rüdiger Lainer + Partner	Wien, Österreich	84 m	Ende 2018	Hybridbauweise, Mischkonstruktion aus Holz und Beton: Stapelung vier vorgefertigter, serieller Bauelemente: BSH-Stützen, Unterzug (FT Randträger), Decken (HBV)- und Fassadenelemente, Brettsperr- und Brettschichtholz-Elemente, Holzbauanteil ab dem Erdgeschoss liegt bei 75 Prozent, stark reduzierter Anteil an Stahlverbindungsmitteln und hoher Vorfertigungsgrad, vorgefertigte Außenwandmodule aus Massivholz (Module in Sandwichbauweise), Sichtbarkeit der Holzflächen im Innenbereich.
„Mjøstårnet“ - Holzhochhaus	VOLL Arkitekten	Brumandal, Norwegens	80 m	2019	BSH-Säulen, Balken und Diagonalen, vorgefertigte Holzfassadenelemente.

BAU	ARCHITEKT	ORT	HÖHE	FERTIGSTELLUNG	MERKMALE, BESONDERE EIGENSCHAFTEN
Ecopolis	GRAAM Architektur,	Dijon, Frankreich		Wettbewerb	Skelettsystem (Pfosten-Riegel-Konstruktion), Hybridkonstruktion – Holz, Beton und Stahl, Module (Baukastenprinzip), Brettschichtholz-Deckenträger (Holzrippen), Holzlamellen als Beschattungselemente.
Haut Bois	TEKHNÉ und R2K Architekten	Gernoble, Frankreich		Wettbewerb	Holzrahmensystem mit Rippendecke.
Wood Up	Marie Schweitzer	Le Havre, Frankreich		Wettbewerb	Signal für die Verwendung von Holz in Hochhausbau

Tabelle 1: Zeitliche Auflistung der Beispiele mit deren besonderen Eigenschaften

Verfasser (2017)

3.2.6 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Baufolie

Die Baufolie wird überwiegend aus recycelten PE Materialien hergestellt, daher hat sie ihren meist grauen Farbton. Man unterscheidet Baufolien nach Folienstärke und Transparenz der Folie: Baufolie transluzent und Baufolie opak oder kunterbunt. Es werden auch spezielle Arten von Baufolien (Dampfbremssfolie, Dachunterzugsfolie und Bagitterfolien) angeboten.

Bauholz

Holz, das als Baustoff zur Errichtung von Gebäuden und anderen Bauwerken verwendet wird. Je nach Form und Verarbeitungsgrad wird zwischen verschiedenen Bauholzprodukten unterschieden, die in die Kategorien Vollholz, Brettschichtholz und Holzwerkstoff eingeordnet werden. Qualitätsansprüche und Eigenschaften, welche die Bauholzprodukte, je nach Verwendung, erfüllen müssen, werden durch verschiedene Normen definiert.

Betongüteklasse / Festigkeitsklasse

Die Druckfestigkeit ist eine der wichtigsten Eigenschaften des Betons. Die Druckfestigkeit wird durch die Prüfung nach 28 Tagen Wasserlagerung anhand von Würfeln mit 15 cm Kantenlänge oder 30 cm langen Zylindern mit 15 cm Durchmesser ermittelt. Ein C12/15 hat danach die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit von 12 N/mm² sowie eine charakteristische Würfeldruckfestigkeit von 15 N/mm². Das C in der Nomenklatur steht für den englischen Begriff concrete (deutsch: Beton). Im Zuge der Harmonisierung des europäischen Normenwerks sind diese Betonfestigkeitsklassen in der aktuellen Normengeneration europaweit vereinheitlicht.

Bewehrungsmatte / Betonstahlmatte

Betonstahlmatten sind Gitter aus verschweißten Stäben aus Betonstahl, welche zur Bewehrung (Verstärkung durch Aufnahme der Zugkräfte) von flächigen Stahlbetonbauteilen, wie zum Beispiel Bodenplatten, Decken oder Wänden dient. Sie werden in güteüberwachten Herstellerwerken industriell auf Halb- oder Vollautomaten gefertigt und bestehen aus sich kreuzenden Längs- und Querstäben von warm- oder kaltverformtem, geripptem Betonstahl, die an den Kreuzungspunkten durch Widerstandspunktschweißung scherfest verbunden sind.

Bewerteter Norm-Trittschallpegel

Der bewertete Norm-Trittschallpegel ist eine Einzahl-Angabe zur Kennzeichnung des Trittschallverhaltens von Bauteilen. Der bewertete Norm-Trittschallpegel beruht auf der Bestimmung des frequenzabhängigen Norm-Trittschallpegels mittels Terzfilter-Analyse.

Bewertetes Schalldämmmaß

Das bewertete Schalldämm-Maß R_w wird durch Vergleich des Terz- oder Oktavband-Spektrums des Schalldämm-Maßes mit einer in der Norm festgelegten Bezugskurve (typischer Verlauf für Massivbauteile) ermittelt. Das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R_w' bezeichnet ein so ermitteltes Schalldämm-Maß, das für ein Bauteil im eingebauten Zustand („am Bau“) gemessen oder berechnet wurde.

Brettschichtholz

Unter Brettschichtholz (kurz BSH, früher auch oft als Leimholz bezeichnet) versteht man aus mindestens drei Brettlagen und in gleicher Faserrichtung verleimte Hölzer. Sie werden vorwiegend im Ingenieurholzbau, also bei hoher statischer Beanspruchung, verwendet. Binder aus Brettschichtholz werden als Brettschichtbinder oder Leimbinder bezeichnet.

Brettsperrholz

Brettsperrholz (auch als Dickholz, Mehrschichtige Massivholzplatte oder Kreuzlagenholz bezeichnet) ist der Überbegriff für im Bauwesen verwendete Massivholztafeln, die aus mehreren über Kreuz flach aufeinanderliegenden Brettlagen bestehen. Dieser Aufbau unterscheidet sie von Brettschichtholz, bei dem die Lagen längs zur Faser angeordnet sind.

HBV-Schubverbinder

HBV-Schubverbinder sind perforierte Streckmetallstreifen (Materialdicke 2,0 mm, Höhe 9–12 cm), die holzseitig in Trägerrichtung in eine 3,2 mm breite und 4 cm tiefe Nut eingeklebt werden. Die Nut wird dabei in einem vorherigen Arbeitsgang mit einer Kreissäge eingebracht. Der herausragende Teil des HBV-Schubverbinders wird in der Betonplatte verankert. Als Kleber wird ein Spezialkleber verwendet. Das Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern ist bauaufsichtlich zugelassen (Z-9.1-557). Es darf bei statischen Einfeldsystemen, Mehrfeldsystemen und Kragarmsystemen eingesetzt werden. Aufgrund der kontinuierlichen Kraftübertragung zwischen den Teilquerschnitten Holz und Beton und der eingesetzten Klebetechnologie kann ein nahezu starrer Verbund zwischen den Teilquerschnitten hergestellt werden. Anwendungen finden sich vor allem im Neubau von Holz-Beton-Verbunddecken, Holz-Beton-Verbundwänden und Holz-Beton-Verbunddächern sowie der Sanierung und Ertüchtigung von bestehenden Holzbalkendecken. Laut Zulassung sind Spannweiten bis 15 m realisierbar, unter bestimmten Voraussetzungen allerdings auch mehr. Auch Brückenkonstruktionen wurden mit dem HBV-Verbundsystem bereits gebaut.

Kerto

Kerto ist ein Furnierschichtholz mit hoher Festigkeit und geringer Schwind- und Quellverformung, das als Balken, Stütze, Platte oder Scheibe in verschiedensten Tragwerken eingesetzt werden kann.

OSB-Platten

Grobspanplatten, auch OSB-Platten (für englisch: oriented strand (bzw. structural) board – Platte aus ausgerichteten Spänen) sind Holzwerkstoffe, die aus langen, schlanken Spänen (strands) hergestellt werden.

Stahlfaserbeton

Stahlfaserbeton ist ein aus dem Grundbaustoff Beton ergänzt mit Stahlfasern bestehender Verbundwerkstoff. Er ist ein homogener Baustoff, der sowohl durch Druck, Zug und Biegung belastet werden und somit bei allen Bauformen und Belastungen angewendet werden kann. Für die Dimensionierung werden eigene Berechnungsmethoden (Bemessung) je nach Belastungsart verwendet.

3.3 STAHLGESCHOSSBAU

Beim Stahlbau werden gewalzte Stahlträger, Bleche, Rohre und Stahlgussteile durch Nieten, Verschweißen oder Verschrauben miteinander zu einem Tragwerk verbunden. Die Vorteile des Stahlbaus liegen in der vergleichsweise kurzen Planungs- und Bauzeit, im hohen wie auch präzisen Vorfertigungsgrad sowie in einer flexiblen Ausführung (relativ leichte, schlanke und hochbelastbare Bauteile) des Tragwerks. Nachteile sind hohe und schwankende Stahlpreise, ein relativ aufwendiger Korrosions- und Brandschutz, die hohe Schwingungsanfälligkeit sowie die ungünstige Schallübertragung. Stahlbaukonstruktionen sind sinnvoll eingesetzt, wo überdurchschnittlich hohe Festigkeitsanforderungen an die Konstruktion gestellt werden (große Spannweiten bei Decken und Dachtragwerken, Stahl-Skelettbau im Hochhausbau) oder dort, wo ästhetische, formale Gestaltungsgründe schlanke Konstruktionen fordern (transparente, repräsentative Stahl-Glas-Architektur). Der aufwendige Korrosionsschutz von Stahlbaukonstruktionen erfolgt durch Beschichten des Tragwerks oder durch Überzüge (metallische Schutzschicht, meistens in Form einer Feuerverzinkung in Tauchbädern). Die mechanischen Eigenschaften des Stahls (beispielsweise Streckgrenze und E-Modul)

sind temperaturabhängig und nehmen mit zunehmender Temperatur ab, sodass besondere Brandschutzvorkehrungen bei Stahlbauwerken notwendig sind. Abhängig von der Brandlast und dem vorgesehenen Gebrauch des Bauwerks kann mit einer der geforderten Feuerwiderstandsdauer angepassten Überdimensionierung der Bauteile oder mit speziellen Ummantelungen das Versagen der Konstruktion verhindert werden. Brandschutzmaßnahmen haben **dämmende, abschirmende** oder **wärmeabführende Wirkung**.

Dämmende Brandschutzmaßnahmen: Ummantelungen und Verkleidungen aus zementgebundenen Spritzputzen mit Vermiculite oder Mineralfasern, meistens mit notwendigem Putzträger. Dämmschichtbildner in Form von Beschichtungen (Spritz-/ Streich-/ Rollauftrag) sind mit wirtschaftlich interessanten Schichtdicken (ca. 300 bis 1400 µm entspricht ca. 2-4 Arbeitsgängen) bis F60 realisierbar. Mit Schichtdicken von mehr als 3 mm (>5 Arbeitsgänge) lassen sich mittlerweile Dämmschichtbildner auch für eine Feuerwiderstandsklasse F90 aufbringen. Die Festlegung der notwendigen Schichtdicken hängt vom Verhältnis des beflamten Querschnittsumfangs zur Querschnittsfläche

(U/A-Wert), der Profilart (offen bzw. geschlossen) sowie der Bauteilart ab.

Abschirmende Brandschutzmaßnahmen: meistens schon vorhandene, raumabschließende Systeme wie abgehängte Decken.

Wärmeabführende Brandschutzmaßnahmen: Verfüllung der Stahlprofil-Hohlräume (Stützen) mit pumpenunabhängigem, thermisch frei zirkulierendem Wasser. Besonders im Hochhausbau geeignet.

Abhängig vom für die Tragstruktur eingesetzten Material wird von einer Stahl-, Stahlbeton- oder Holzbauweise gesprochen. Bei einer Kombination verschiedener Baustoffe liegt eine Mischbauweise vor. Im Stahl-Verbundbau werden die Tragelemente durch die Baustoffe Stahl und Beton gemeinsam gebildet, wobei das Tragkonzept der Stahlbauweise zuzuordnen ist. Konstruktive Lösungen wie Anschlüsse, Verbände, Lagerungen und deren technologische Umsetzung kommen auch aus dem Stahlbau. Nach der Art der Haupttragglieder und der Lastabtragung erfolgt die Einteilung in Wand- und Skelettbauweise. Die Skelettbauweise umfasst unter anderem die Rahmenbauweise, die Fachwerkbauweise, die Kernbauweise, die Tube-Bauweise sowie deren Kombinationen.

3.3.1 STÜTZEN

Stützen im Skelettbau haben die Aufgabe, einen geradlinigen und kürzesten Lastabtrag der Beanspruchungen aus Druck und Biegung vom obersten Geschoss bis zum Fundament axial zu gewährleisten. Dabei sind das Deckensystem und die daraus resultierenden Stützweiten sowie Querschnittswahl und Materialgüte der Stahlstützen von besonderer Bedeutung. Außenstützen werden meist nach ästhetischen Gesichtspunkten innerhalb oder außerhalb der Gebäudehülle angeordnet oder werden direkt in der Gebäudehülle integriert. Die Lage der Innenstützen hängt vom Verlauf der Hauptträger sowie von der funktionalen Raumaufteilung ab. Stahlstützen beanspruchen aufgrund des hohen Elastizitätsmoduls und der großen Festigkeit wenig Fläche und können über Querschnittsänderungen und / oder Änderung der Materialqualität an die sich geschossweise ändernden Beanspruchungen angepasst werden. Die Profilwahl wird von gestalterischen Aspekten sowie von statischen Überlegungen beeinflusst. Typische Querschnittsformen sind I-Profile (Walzprofile der HE-Reihen: HE-A, HE-B und HE-M), Kastenprofile, Rohrprofile und Vollprofile. Aus statischer Sicht sind Hohlprofile und Vollprofile mit Rechteck- oder Kreisquerschnitt am günstigsten.

Eine weitere Gruppe von Stützenprofilen bilden die aus Blechen oder gewalzten Profilen zusammengesetzten oder geschweißten Querschnitte. Verbundstützen stellen für den Stahlskelettbau die bedeutendste Gruppe dar, da sie die Vorzüge des Stahls (hohe Festigkeit) und des Betons (hohe Brandsicherheit) vereinen. Sie bestehen in der Regel aus einbetonierten I-Profilen oder ausbetonierten Hohlprofilen.

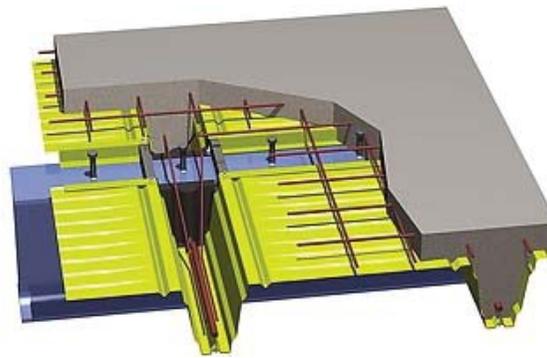


Abb. 163-164 Stahstütze / Hoesch Additiv Decke
Hoesch (2013)



3.3.2 ANSCHLÜSSE

Die Ausbildung der Fußpunkte erfolgt nach der erforderlichen Art des Anschlusses (gelenkig oder biegesteif). Während Biegemomente über Köcherfundamente, einbetonierte Stahlkonstruktionen oder Hammerkopfschrauben übertragen werden, müssen bei gelenkigen Anschlüssen lediglich ausreichende Querkraftschub- und Lagesicherung gewährleistet sein. Dies erfolgt in der Regel über lastverteilende massive Fußplatten. Stützen werden geschoßweise über Stirnplatten auf den Rohdecken verdübelt oder vorzugsweise – vor allem bei Außenstützen – über mehrere Geschoße (stumpf gestoßen und verschweißt) durchlaufend montiert. Trägeranschlüsse werden entsprechend den Bemessungsschnittkräften ausgebildet und sind in biegesteife und gelenkige Anschlüsse einzuteilen. Biegesteife Anschlüsse sind aufwendig, sehr kostenintensiv und werden in der Regel im Geschoßbau über Kopfplatten realisiert. Den überwiegenden Anteil im Geschoßbau machen die gelenkigen Anschlüsse aus. Sie werden über Knoten- oder Fahnenbleche, über Winkelprofile oder Knaggen mit zusätzlicher Lagesicherung ausgeführt.

3.3.3 AUSSTEIFUNGSSYSTEME

Aussteifungsprinzipien beim Skelettbau sind: Rahmen, Fachwerke, schubsteife Scheiben oder stabile Kerne. Im Geschossbau ist die Rahmenwirkung ein wichtiger Bestandteil stabilisierender Maßnahmen, da Rahmen eine flexible Anordnung von Wänden und Wandöffnungen erlauben. Fachwerke werden aus Stützen, Riegeln und diagonalen Verbandsstäben zusammengesetzt. Mögliche Ausfachungen sind gekreuzte Diagonalen oder der K-Verband. Kerne werden in der Regel aus Ortbeton hergestellt – ab 50 Geschossen auch als Stahlfachwerken, Stahlrahmen oder deren Kombination sinnvoll – und können aufgrund ihrer hohen Biege-, Schub- und Torsionssteifigkeit zur Gebäudestabilisierung herangezogen werden. Die Anordnung im Grundriss wird von funktionalen und statischen Überlegungen (Tragwerkskonzept) bestimmt.



Abb. 165-166 Housing Bank Amman-Jordanien, Architekt: NBBJ, Konstruktionsingenieur: Arup
Verfasser (2014)

3.3.4 GESCHOSSDECKENSYSTEME

Bei den Stahldeckensystemen sind Stahlverbundbauweise und Stahl Flachdeckenbauweise von Bedeutung. Generell wird beim Verbundtragwerk zwischen Trägerverbund (Zusammenwirken zwischen dem Stahlträger und der Betondecke) und Decken- oder Flächenverbund (gemeinsames Tragverhalten zwischen der Betondecke und den Verbundblechen) unterschieden. Verbunddecken werden aus tragenden Stahlblechen (Holorib, Hoesch, Haircol sowie cofrastra) und schubfest aufgebrachtem Aufbeton gebildet. Eine andere Art der Verbunddecke wird mit Filigranplatten (4 bis 5 cm dünnen Stahlbetonschalen mit eingebauter unterer Bewehrung) und Ortbeton gebildet. Stahl-Flachdecken sind Decken-Trägersysteme, deren Deckenträger weitestgehend in die Deckenebene integriert werden. Verbreitete Systeme sind: die Hoesch Additiv Decke, das britische Slimdek-System sowie Kombinationen der einfachsymmetrischen I-Träger mit Spannbetonhohlplatten oder Filigranplatten. Als Stahldeckenträger werden auch Doppel-T-Träger mit verbreitetem Untergurt (Integrated Floor Beam „IFB“, Slim Floor Beam „SFB“) sowie Hut-Profile eingesetzt. Mit dem IFB-System (Integrated Floor Beam) sind Stützenraster von bis zu 8 x 12 m möglich.

In Großbritannien entstand das erste Stahlflachdeckensystem mit tiefen, weitspannenden Trapezprofilen („Fast-Track-Slimflor“-System). Dieses System wurde durch die Einführung des „ASB-Trägers“ und die Entwicklung des Tiefsicken-Verbundblechs „SD 225“ der Firma PMF ComFlor vom neuen „Slimdek“-Stahlflachdeckensystem abgelöst. ASB steht für „Asymmetric Beam“, ein in England gewalztes Doppel-T-Profil mit schmalen Ober- und breitem Untergurt. Auf dem Obergurt ist zur Erzielung der Trägerverbundwirkung ein Riffelmuster eingewalzt.

Geschossdecken müssen eine Feuerwiderstandsdauer von 30 bis 90 Minuten aufweisen, was zu entsprechenden Forderungen an Plattendicke und Betondeckung bei Stahlbetonplatten führt. Bei Verbunddecken mit tragendem Stahlblech wird dieser für die Heißbemessung ausgespart und der Restquerschnitt mit entsprechender Zulagebewehrung unter Einhaltung der Betondeckung herangezogen. Brandschutzmaßnahmen bei den Deckenträgern sind: Putzummantelung aus Vermiculite oder Mineralfasern, Kastenförmige Plattenverkleidung aus Gipskarton, Perlite- oder Vermiculiteplatten sowie bewehrter Kammerbeton.

Sollte eine abgehängte Unterdecke ohnehin vorgesehen sein, ist die gesamte Deckenkonstruktion (Stahlblech der Deckenplatte und Stahlträger) geschützt und die erforderliche Feuerwiderstandsklasse erfüllt.

Die horizontale Leitungsführung erfolgt direkt unterhalb oder oberhalb (Doppelboden) der Geschossdecke. Stegdurchbrüche in den Stahlträgern sollten bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden und müssen ab einer Größe von $d < h_{\text{steg}}/2$ eine Randversteifung erhalten. Bei hochinstallierten Gebäuden kann die Anwendung von Lochsteg- oder Fachwerkträgern sinnvoll sein.

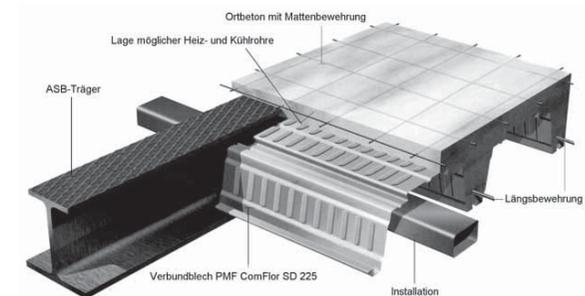


Abb. 167 Stahlflachdecke mit tiefsickentrapezprofilen „Slimdek“
DSTV (2005)

3.3.5 BEISPIEL, GC OSAKA BUILDING

Die GC Corporation ist ein bedeutender Hersteller von zahnmedizinischen Geräten. Für das Bürogebäude in Osaka beauftragte das Unternehmen den japanischen Architekten Shigeru Ban. Das resultierende Gebäude (Fertigstellung 2000) ist ein sechsstöckiger Bau mit einem unverwechselbaren Design. Um die erforderliche Feuerwiderstandsklasse zu gewährleisten und eine fertige Oberfläche zu schaffen, wurde die Stahlkonstruktion mit 25 mm + 25 mm dicken Spanplatten (Holz-ähnliche Oberfläche) abgedeckt. Die Tragstruktur besteht aus eingeschossigen Vierendeel-Fachwerken, die 22 Meter überspannen. Kleine Zimmer befinden sich in den Etagen mit Fachwerk während große Zimmer wie der „Showroom“ in den stützenfreien Etagen platziert wurden. Das Gebäude hat eine Vorhangsfassade, die es ermöglicht das System von außen zu erkennen.



Abb. 168-169 GC Osaka Building - Japan,
Architekt Shigeru Ban
Architectook (2008)

3.4 GLAS-FASSADEN-SYSTEME

Beim Fassadenaufbau unterscheidet man grundsätzlich bei gläsernen Gebäudehüllen zwischen Warm- und Kaltfassade. Eine **Warmfassade** übernimmt direkt die Funktion des Raumabschlusses, des Witterungsschutzes sowie der thermischen Isolation (einschichtig). Einschalige Fassaden, deren Schichtenaufbau aus einem oder aus mehreren Materialien bestehen, werden auch Warmfassaden genannt. Sowohl der äußere Witterungsschutz, als auch der Wärmeschutz, werden von der einschaligen Fassadenkonstruktion erfüllt. **Kaltfassaden** sind mehrschalige Außenwandkonstruktionen (z. B. vorgehängte, hinterlüftete Konstruktionen), die als Doppelfassaden oder Zweite-Haut-Fassaden bezeichnet werden. Die einzelnen Schalen übernehmen unterschiedliche konstruktive und bauphysikalische Funktionen. Bei Zweite-Haut-Fassaden wird eine Glasfront einer konventionellen Gebäudehülle vorgelagert. Im Luftspalt, dem sogenannten Fassadenkorridor, können Sonnen- und Blendschutzsysteme angeordnet werden, wo sie vor Beschädigung durch Windkräfte geschützt sind. Durch den thermischen Auftrieb entsteht am Sonnenschutz eine Art Kaminströmung, die im Kühlfall Abwärme an die Umgebung abtransportiert. Mit einer Zweite-Haut-Fassade kann dem

Wunsch nach einer natürlichen Belüftung auch bei hohen Gebäuden entsprochen werden, wenn in der Innenschale offenbare Fenster vorgesehen sind. Der Fassadenkorridor ist zu Reinigungszwecken begehbar und kann als Fluchtweg genutzt werden. Er hat die Funktion des Wärmeschutzes des Gebäudes, des Windschutzes, er dient wie ein Wintergarten als passiv solares Element und vermittelt den Luftaustausch zwischen den Innenräumen und der Umgebung. Er sollte nach Möglichkeit stockwerksweise belüftet werden. Für den Fassadenaufbau bestehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten: innen eine Zweifach-Isolierverglasung und außen eine Einfachverglasung oder umgekehrt. Eine Isolierverglasung der Außenschale verbessert generell die Wärmeschutzwirkung und reduziert das Risiko der Kondensation von warmer, feuchter Raumluft an der kalten Außenschale. Der Tauwasserniederschlag beginnt erst bei Temperaturen unterhalb von 0°C. Demgegenüber verlangt der höhere Wärmeschutz außen im Sommer einen erhöhten Luftwechsel im Korridor, um die gestaute Wärme abzutransportieren. Ideal wäre also für die Außenschale im Winter eine Isolierverglasung und im Sommer eine Einfachverglasung. Daher ist letztendlich die Nutzung entscheidend.

Ist das Gebäude ein Kühlfall (Bürogebäude mit hohen inneren Wärmelasten) sollte die Außenhaut einfach verglast werden, während im Heizfall (z.B. Wohngebäude) die Einsparung von Heizenergie und damit die Isolierverglasung vorzuziehen sind.

Pfosten-Riegel-Bauweise

Die Pfosten-Riegel-Bauweise basiert auf der Verbindungsmöglichkeit von einzelnen Stäben der Pfosten und Riegel-Profile. Die Riegelanschlüsse können geschraubt, gesteckt oder geschweißt ausgebildet werden. Durch variable Profilmessungen, speziell in Profiltiefe und durch die Verwendung unterschiedlicher Materialien, wie z. B. Holz, Stahl oder Aluminium, können die Konstruktionen auf nahezu jede Einbausituation abgestimmt werden. Durch Ihre modulare Bauweise ist sowohl die Vorfertigung großer Elemente bereits im Herstellwerk, als auch die Verbindung einzelner Profile vor Ort möglich. Öffnungselemente können in allen gängigen Systemen, z. B. als Kipp-, Klapp-, Dreh-, Drehkippflügel-Fenster, etc. hergestellt werden. Als Material für die Ausfachungen wird im Allgemeinen Mehrscheiben-Isolierglas verwendet. Ein praxisübliches Scheibenraster ist 1,2 m bis 1,8 m.

Die Befestigung der Verglasung an der Konstruktion erfolgt meist mit Aluminium-Preßleisten, die mit dem Tragwerk durch Verschrauben mechanisch verbunden werden. Die Pfosten und Riegel sind bei Holzkonstruktionen in der Regel zwischen 50 mm und 80 mm breit (Standardbreite 60 mm). Neben gewachsenen Vollholzquerschnitten bzw. lamellierten Vollhölzern setzen sich im Fassadenbau immer stärker Werkstoffe in Mehrschichtbauweise durch. Als äußere Abdeckung der Preßleisten kommen sowohl Holz- als auch Aluminiumleisten zum Einsatz.

Elementfassaden

Elementfassaden bilden als werkseitig vorgefertigtes, mindestens geschosshohes modulares Element, den kompletten Raumabschluss. Je nach gewünschter Flexibilitätsstufe im Innenausbau (Raumaufteilung) bzw. unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Längsschalldämmung können achsweise gefertigte Einzelelemente oder mehrachsige Elemente realisiert werden. Element-Fassaden werden vor der Rohbauebene angeordnet. Sie integrieren sowohl opake Brüstungen, Deckenkopfbekleidungen, als auch transparente, zum Teil offenbare Felder in einem „Element“. Sie

eignen sich vornehmlich für großflächige, einheitlich gestaltete Fassadenflächen. Elementfassaden können als einschalige oder zweischalige Fassaden konzipiert werden. Die Profile bestehen in der Regel aus Sonderentwicklungen, die speziell auf die besonderen Anforderungen des Gebäudes (Schallschutz, Brandschutz, Feldgrößen, etc.) bzw. der Elementfertigung (Ausbildung der Kopplungsstöße) abgestimmt werden. Bedingt durch den hohen Anteil von stranggepressten Sonderprofilen, werden Elementfassaden in der Regel aus thermisch getrennten Aluminiumprofilen gefertigt. Profilverbindungen erfolgen gesteckt, gesickt und geklebt. Durch die Auswahl bzw. Entwicklung der Profile und Ausfachungen werden die Anforderungen an den Wärme- und Schallschutz entscheidend beeinflusst. Öffnungselemente können in allen gängigen Systemen, z. B. als Kipp-, Klapp-, Dreh-, Drehkipppflügel, etc. hergestellt und eingesetzt werden. Ausfachungen können aus transparenten oder opaken Materialien bestehen.

Bei den **Verglasungssystemen** in Fassaden unterscheidet man grundsätzlich zwischen *Verglasung mit außenliegenden Preßleisten* und *Structural Glazing System* (Geklebte Verglasung).

Bei **Verglasungen mit Pressleisten** wird durch von außen aufgebrachte Profile ein linearer Anpressdruck auf das Glas und die Unterkonstruktion erzeugt. Zwischengelegte, dauerelastische Dichtprofile sorgen für Dichtheit und Elastizität der Befestigung. Da bei der Pressleistenverglasung die tragende Struktur hinter der Glasebene liegt, kann die Ansichtsbreite relativ klein ausfallen. Sie ergibt sich aus dem zu überdeckenden Glasrandverbund zuzüglich des notwendigen Maßes für das Befestigungsmittel. Bei Isolierverglasungen und Pressleisten sind hierfür in der Regel 50 mm ausreichend. Bei den meisten Systemen kann durch aufclipsbare Deckleisten die Verschraubung abgedeckt werden. Das Material der Pressleiste kann unabhängig vom Material der Unterkonstruktion gewählt werden.

Die grundlegende Idee von **Structural Glazing** beruht auf dem Kleben des Glases - sowohl als Einfachglas als auch als Mehrscheiben-Isolierglas - an einen Adapterrahmen, der meistens aus Aluminium besteht. Zu öffnende Elemente (Klapp-, Kipp- oder Drehkipppflügel) - können neben den Festverglasungen Bestandteile eines Structural Glazing Systems sein. Wind-, Sog- und Erdbebenlasten werden über die Verklebung aufgenommen. Die Eigenlast der Scheiben

Ausfachungen

wird durch eine verdeckt liegende, mechanische Vorrichtung abgetragen. Alle Dichtungsprofile müssen aus Silikon oder aus silikonverträglichem Material sein. Bei Fassadenhöhen ab acht Metern wird in Deutschland die Structural-Glazing-Fassade nur mit einem zusätzlichen umlaufenden Halteprofil zugelassen, das ein Herausfallen der Scheiben bei Versagen der Verklebung verhindern soll. Die geklebte Befestigung von Glasscheiben auf die Unterkonstruktion bzw. auf Rahmenelemente ermöglicht den Verzicht auf sichtbare Pressleisten. Das Silikon dient nicht mehr nur als Abdichtung gegen Witterungseinflüsse, sondern es trägt auch das Scheibengewicht und führt den Winddruck und Sog von der Verglasung in die Unterkonstruktion ab. Isolier- bzw. Verbundgläser werden mittels Silikonkleber auf Rahmen aus thermisch getrennten Aluminiumprofilen geklebt. Nach intensiver Säuberung werden die zu verklebenden Flächen mit Primer behandelt. Anschließend werden die Glasscheiben aufgeklebt. Bei Isoliergläsern erfolgt die Verklebung der Innenscheibe mit dem Rahmenprofil so, dass entweder der Randverbund allein den Schub der äußeren Scheibe aufnimmt oder diese punktweise von kleinen Konsolen am unteren Rand gesetzt wird.

Bedingt durch die gesetzlichen Wärmetechnischen Anforderungen werden die Ausfachungen mit Glas bei Fenstern und Fassaden heutzutage in der Regel mit Mehrscheiben-Isolierglas vorgenommen. Der Aufbau des Mehrscheiben-Isolierglases setzt sich je nach Anforderung meist aus Floatglasscheiben, Einscheibensicherheitsglas, Verbundsicherheitsglas (Glasschichten, verbunden mit Folien, Gießharz oder Polycarbonat) zusammen. Durch die Kombination unterschiedlicher Glasprodukte, Beschichtungen, Gasfüllungen (Argon, Krypton und eventuell in Zukunft Xenon) und Variationen der Scheibenzwischenraumbreite kann eine Vielzahl von Sondergläsern z. B. mit Wärmeschutz-, Sonnenschutz-, Schallschutz oder Brandschutzfunktion („G-Verglasungen“ und „F-Verglasungen“) hergestellt werden. Doppelte Sonnenschutzverglasungen bestehen meist aus reflektierendem, beschichtetem Glas außen und klarem Glas innen. Die beschichtete Fläche ist je nach „hartem“ bzw. „weichem“ Beschichtungsverfahren nach außen gerichtet bzw. dem inneren Hohlraum zugewandt. Die Funktion dieser Art der Beschichtung besteht in der Reflexion einfallender Sonnenstrahlung. Diese Verglasungen haben mitunter den Nachteil einer sehr geringen Lichtdurchlässigkeit und

führen damit zu schlechten Lichtverhältnissen sowie verstärkter Nutzung elektrischer Beleuchtung von Seiten der Gebäudenutzer. Zur Reduzierung der Wärmebelastung im Sommer bieten sich daher „spektralselektiv“ beschichtete Verglasungen an, welche die Nah-Infrarotstrahlung (NIR) nahezu vollständig reflektieren, jedoch gleichzeitig lichtdurchlässig sind. Die Kosteneffizienz selektiver Verglasung ist bei Gebäudetypen mit hohem Kühlbedarf und Tageslichtschutz in wärmeren Klimaregionen am höchsten (Amortisierung in weniger als 10 Jahren). Der Selektivitätsgrad steht im Zusammenhang mit dem LSG-Verhältnis $3v/g$ („Light to Solar Gain“ – Verhältnis von Lichtdurchlässigkeit zum Solarfaktor). Die höchsten Selektivitätswerte werden in der Regel mit „weichen“, dünnen Metallbeschichtungen erzielt, die ein geringes Emissionsvermögen von sowohl Fern- als auch Nah-Infrarotstrahlung aufweisen. Diese können selbst in kälteren Klimazonen kosteneffizient sein, da sowohl Kühllasten im Sommer als auch Wärmeverluste im Winter reduziert werden. Spektralselektive Produkte sollten in Gebäuden mit hohem Heizbedarf jedoch nicht zur Anwendung kommen.

Sonnen- und Blendschutz

Die Beurteilung der thermischen, visuellen und akustischen Behaglichkeit spielt in der Planung eines Gebäudes und bei der Auswahl eines qualitativ hochwertigen Sonnenschutzsystems eine wichtige Rolle und beeinflusst zukünftig die Nutzerzufriedenheit und den Nutzerkomfort maßgeblich. Die thermische Behaglichkeit wird insbesondere durch Lufttemperatur, Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen, dem Maß der Luftbewegung und der Luftfeuchte bestimmt. Abhängig vom Sonnenschutzsystem werden Raumtemperatur und Oberflächentemperaturen maßgebend durch die Sonneneinstrahlung in einen Raum beeinflusst. Neben dem überhöhten solaren Energieeintrag sind Nutzung und eingesetzte Lüftungskonzepte weitere Einflussfaktoren. Die visuelle Behaglichkeit ist dann gewährleistet, wenn Sehleistung und Sehkomfort (keine Blendung, ungleichmäßige Leuchtdichtenverteilung, Schattigkeit bzw. ungünstige Kontrastverhältnisse) nicht beeinträchtigt sind und ein visueller Kontakt nach Außen gewahrt werden kann. Außenliegende Sonnenschutzsysteme verhindern das Eindringen der solaren Sonneneinstrahlung in den Räumen am wirkungsvollsten.

Sonnenverlauf und Strahlungsintensität

Der Einstrahlwinkel der Sonne variiert in europäischen Breitengraden innerhalb eines Jahres um 47° (Einstrahlwinkel in den Sommermonaten ca. 63° und in den Wintermonaten ca. 16°). Für die Verschattungswirkung besonders von Großlamellensystemen ist der gesamte Einstrahlwinkel der sich aus Azimut- und Sonnenwinkel / Sonnenhöhe ergibt maßgebend. Im Gegensatz zu fest stehenden Großlamellen können bewegliche Systeme durch Veränderung der Lamellenwinkel immer eine optimale Verschattung bei gleichzeitigem Licht von außen bieten. Im Sommer erhalten Ost- und Westfassade das höchste Strahlungsangebot. Im Winter trifft das höchste Strahlungsangebot auf die Südfassade. Damit können viele solare Gewinne während der Heizperiode für das Gebäude eingefahren werden. Bei der Planung von feststehenden Sonnenschutz-Lamellensystemen sind Lamellenneigung, Lamellenabstand, Fassadenabstand, Lamellenbreite, Kragarmlänge, Fensterhöhe, Beschattungslänge und Grenzwinkel für Sonneneinfall (α) zu berücksichtigen. Der Grenzwinkel gibt an, ab welcher Sonnenstandshöhe direkte Sonnenstrahlung durch das Fenster einfallen kann.

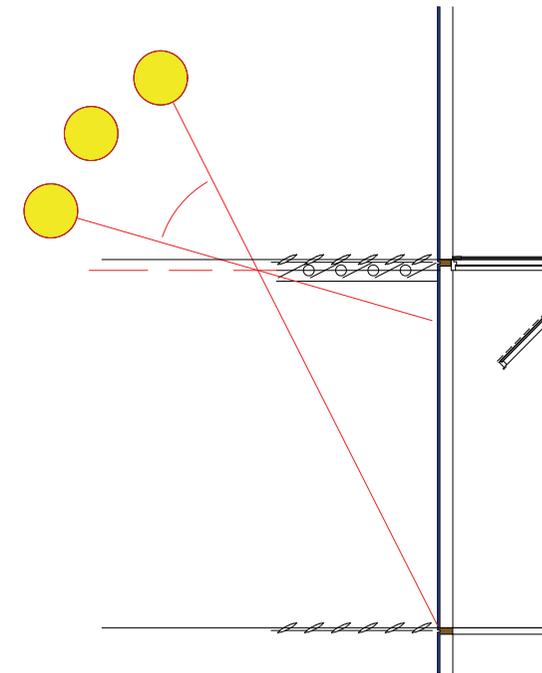


Abb. 170 Grenzwinkel für Sonneneinfall (α)
Verfasser (2013)

Sonnenschutzsysteme

Es lassen sich zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze unterscheiden:

- **starre Systeme** mit festen, unveränderbaren Werten bezüglich Sonnenschutz und Tageslichttransmission. Unter dieser Kategorie fallen zum einen auskragende Bauteile, vorgesetzte Blenden, horizontale und vertikale Sonnenbrecher (*brise-soleil*), zum anderen spezielle Sonnenschutzgläser, die mit selektierenden Beschichtungen (hohe Tageslichttransmission bei geringer Gesamtenergietransmission) oder mit reflektierenden Beschichtungen unterschiedlicher Dichte und Farbigkeit vorhanden sind (z.B. dem neutralen Glas SGG COOL LITE SKN 174, reflektierendem Glas wie SGG ANTELIO oder farbigem Glas wie SGG PARSOL).

- **variable Systeme** mit veränderbaren Charakteristika. Zu variablen Systemen gehören alle Arten beweglicher Lamellenblenden, Jalousien und textiler Elemente. Entscheidend ist hier neben Material und Oberfläche die Frage, wo sie angebracht werden. Es sind drei Anordnungsebenen für Sonnenschutzmaßnahmen möglich:

Innen hinter der Verglasungsebene auf der Rauminnenseite. Innenliegende Elemente sind zwar ein guter Blendschutz, transportieren aber durch Absorption der Strahlung die Wärme in den Raum.

Außen vor der Verglasungsebene. Außenliegende Elemente bilden den effektivsten Sonnenschutz bei einschaligen Fassaden; niedrigere Gesamtenergiedurchlaßgrade (*g*-Werte). Ein Nachteil ist, daß solche vorgehängten Konstruktionen reinigungs- und wartungsintensiv sind und wegen der Windanfälligkeit für Hochhäuser nicht geeignet.

Im Scheibenzwischenraum (SZR). Bei Isolierglas-Jalousien handelt es sich um hermetisch in den Scheibenzwischenraum integrierte Jalousien mit einer Lamellenbreite von ca. 16 mm bis 25 mm. Durch den Einbau in den Scheibenzwischenraum sind die Jalousien absolut witterungsunempfindlich und in der Regel dauerhaft wartungsfrei.

Tageslichtsysteme / Tageslichtlenkung

Die Aufgabe eines Lichtlenkelementes ist es, für eine gleichmäßige Verteilung des vorhandenen Tageslichtes zu sorgen. Je nach geographischer Ausrichtung, Klimaregion, Jahres- und Tageszeit ergeben sich unterschiedliche Formen der Solarstrahlung. Nach diesem Angebot richtet sich auch das zu verwendende System. Tageslichtsysteme lassen sich prinzipiell in drei unterschiedliche Verwendungsarten unterteilen:

Diffuslichtumlenkung, Sonnenschutz mit Diffuslichtdurchlaß und Sonnenlichtlenkung (Umlenkung ohne Sonnenschutz).

Zur Realisierung der Tageslichtlenkung nutzt man optische Effekte wie Reflexion, Totalreflexion, Beugung, Lichtstreuung usw. Die Nutzung dieser Effekte erfolgt beispielsweise durch Lamellensysteme. Typische Vertreter von Lamellensystemen sind:

Hochreflektierende Lamellensysteme, prismatische Systeme aus Glas oder Kunststoffen, lichtbeugende Systeme wie z.B. holographische Elemente und transluzente (lichtstreuende) Systeme.

3.4.1 INTELLIGENTE GLASFASSADEN

Das Ziel der energieeffizienten zweischaligen Fassaden, intelligente Glasfassaden genannt, ist es, den Wind-, Wärme-, Sonnen- und Schallschutz eines Gebäudes durch selbst regulierende Maßnahmen zu gewährleisten. Sie passen sich wechselnden Licht- und Klimaverhältnissen an, um Energie zu sparen und das Klima für den Nutzer zu verbessern. Ein wesentlicher Faktor ist in diesem Zusammenhang die Beschränkung der unerwünschten Wärmegewinne aus der Solarstrahlung und der damit verbundenen Anordnung des beweglichen Sonnenschutzes. Zweischalige Glasfassaden, auch Doppelfassaden genannt, lassen sich je nach Art der Be- und Entlüftung in *Pufferfassaden*, *Abluftfassaden* und *Zweite-Haut-Fassaden* unterscheiden. **Pufferfassaden** werden als geschlossene Systeme ohne Lüftungsöffnungen nach innen oder außen ausgebildet, so dass der Fassadenzwischenraum der Verbesserung des Wärme- und Schallschutzes dient. Zu den Nachteilen der Pufferfassaden zählen enorme Aufheizung des Fassadenzwischenraumes im Sommer, hoher Energieaufwand sowie schlechtes Behaglichkeitsempfinden durch die Klimaanlage (mechanische Lüftung) und kommen daher vornehmlich an der Nordseite eines Gebäudes zur Anwendung.

Bei **Abluftfassaden** wird die äußere Hülle in der Regel als Isolierverglasung ohne Fensteröffnungen ausgeführt, während für die innere Fassade meistens eine Einfachverglasung eingesetzt ist, die nur zu Reinigungs- und Wartungszwecken geöffnet wird. Der Fassadenzwischenraum funktioniert als luftführender Kanal, aus dem die warme Abluft über einen Wärmetauscher zur Klimaanlage zurückgeführt wird. Abluftfassaden sind bezüglich Komfort in Fassadennähe sowie Wind-, Sonnen- und Schallschutz sehr effizient, erfordern aber eine ganzjährige Klimatisierung (Lüftung und Kühlung), was mit hohem Energieaufwand verbunden ist. Bei der **Zweite-Haut-Fassade** wird vor der eigentlichen Außenhaut eine zweite nichttragende Schale vorgehängt. Zweite-Haut-Fassaden ermöglichen eine natürliche Raumbelüftung (während 50% des Jahres möglich) und senken damit den Energieverbrauch für mechanische Lüftung und Kühlung (Reduzierung von Betriebsstunden der Lüftungszentrale). Der Fassadenzwischenraum steht in Verbindung mit der Aussenluft, so dass die Fenster der Innenfassade auch bei hohen, windausgesetzten Gebäuden geöffnet werden können und für die natürliche Belüftung sowie die Nachtauskühlung der Speichermasse im Gebäude sorgen. Im Winter bildet der

Zwischenraum eine thermische Pufferzone, welche die Wärmeverluste reduziert und passive Gewinne aus der Sonneneinstrahlung ermöglicht. Bei starker Sonneneinstrahlung muss der Fassadenzwischenraum gut durchlüftet werden, um eine Überhitzung zu vermeiden. Ausschlaggebend hierfür sind die Breite des Zwischenraums und die Dimensionierung der Lüftungsöffnungen in der äußeren Hülle. Die Lüftungsöffnungen können entweder immer offen stehen (passive Systeme) oder nach Bedarf durch manuell oder motorisch bewegliche Klappen geregelt werden (aktive Systeme). Die geringste Lufterwärmung und damit die optimale Wirkungsweise bei natürlicher Raumbelüftung sind zu erwarten, wenn die Zu- und Abluftöffnungen pro Geschoss angeordnet sind. Um den Nachteil der Aufheizung der Luft im Fassadenzwischenraum zu umgehen und eine natürliche Lüftung über das ganze Jahr zu ermöglichen, wurde eine Kombination von Doppelfassaden mit einschaligen Fassadenelementen – sogenannten Wechselfassaden, auch Hybridfassaden genannt – entwickelt, die als Alternative zu den technisch aufwendigen und damit kostspieligen zweischaligen Glasfassaden betrachtet werden können. Eine weitere Alternative bieten Fassaden mit Integration von dezentralen

Heizungs- und Lüftungsgeräten, welche die klimatischen Parameter außen und innen detektieren und raumgesteuert anpassen, wie etwa die Deutsche Post in Bonn, errichtet in den Jahren 1998-2003 von Murphy/Jahn Architekten mit Klimakonzept von Transsolar. Die Außenschale – unbeschichtetes Weißglas – ermöglicht über alle Jahreszeiten eine natürliche Belüftung über Steuerklappen. Während bei der Südfassade die Aussenverglasung schuppenartig gestaltet ist, weist die Nordfassade eine glatte Aussenhaut auf, und die Lüftungsklappen sind bündig eingebaut. Die frische Aussenluft strömt vom Fassadenzwischenraum in die Büros über die Lüftungsgeräte, die in Doppelböden bei jeder zweiten Achse entlang der innenliegenden Fassade angeordnet sind. Die innenliegende Fassade ist zusätzlich mit Lüftungsflügeln versehen, und der Sonnenschutz ist im windgeschützten Zwischenraum integriert. Die entstehende Abluft wird über die Flure zum zentralen Wintergarten geleitet und gelangt von dort durch Lüftungsklappen wieder ins Freie. Ein weiteres Beispiel, wo die Aussenverglasung geöffnet werden kann, ist die „debis“-Hauptverwaltung in Berlin, 1991-97 von Renzo Piano Building Workshop mit Christoph Kohlbecker realisiert. Es handelt sich um eine zweischalige Fassade mit einer Aussenhaut aus rahmenlosen, drehbaren

Glaslamellen, die bei höheren Temperaturen vollständig ausgeschwenkt werden – Luftzufuhr und zusätzlicher aussenliegender Sonnenschutz. Im Winter sind die Lamellen geschlossen und schaffen dadurch einen Wärmepuffer. Die Innenschale ist eine Lochfassade besteht aus einem geschlossenen Brüstungsbereich, einem Dreh-Kippflügel in der Mitte und einem Kippflügel im Oberlichtbereich. Für eine Nachtauskühlung der Gebäudespeichermasse werden die Kippflügel und die Glaslamellen automatisch geöffnet.



Abb. 171 Deutsche Post
Schittich (2006), S48

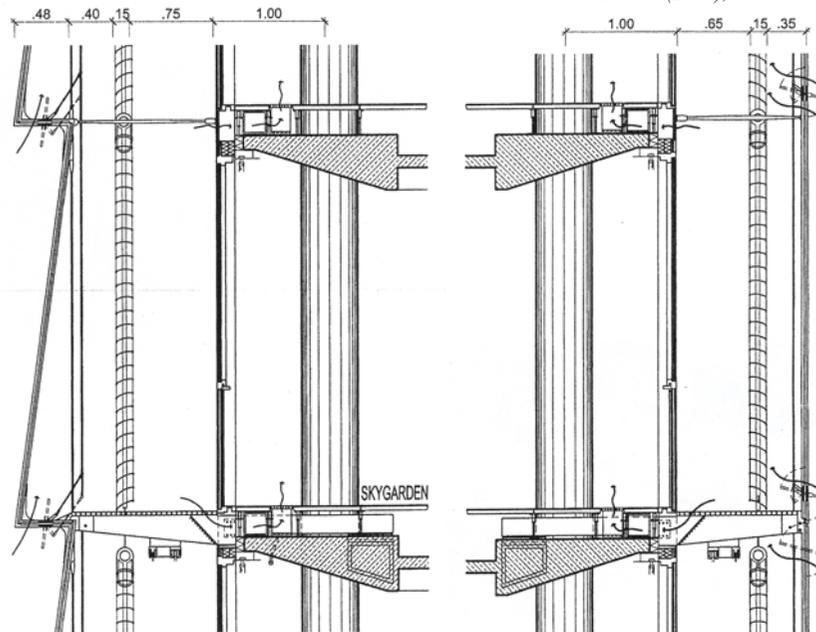


Abb. 172 Deutsche Post,
Murphy/Jahn Architekten,
Fassadenschnitte
Wettbewerb Aktuell (2003), S94

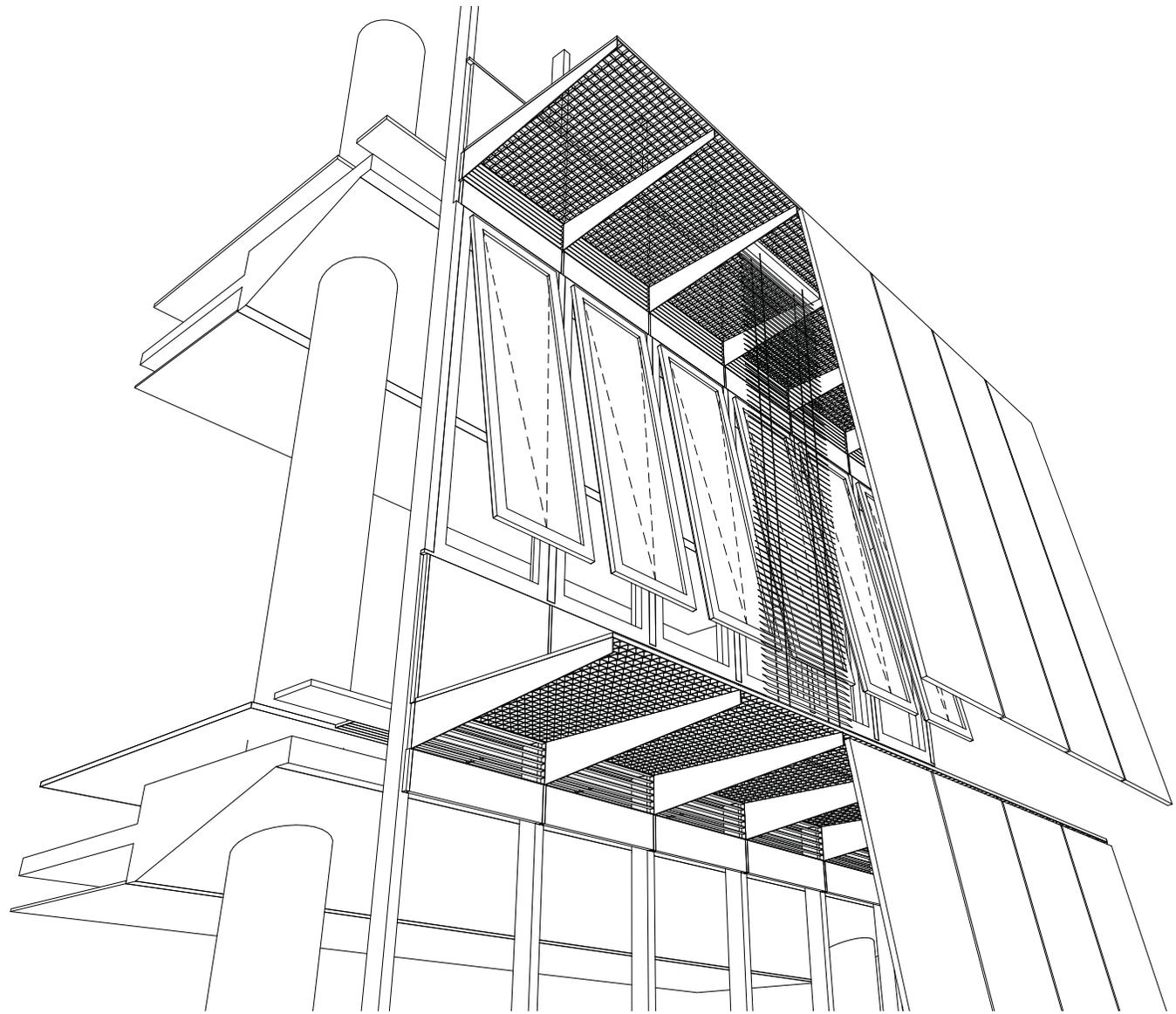


Abb. 173 Deutsche Post - Bonn, Fassadensystem
Verfasser (2013)

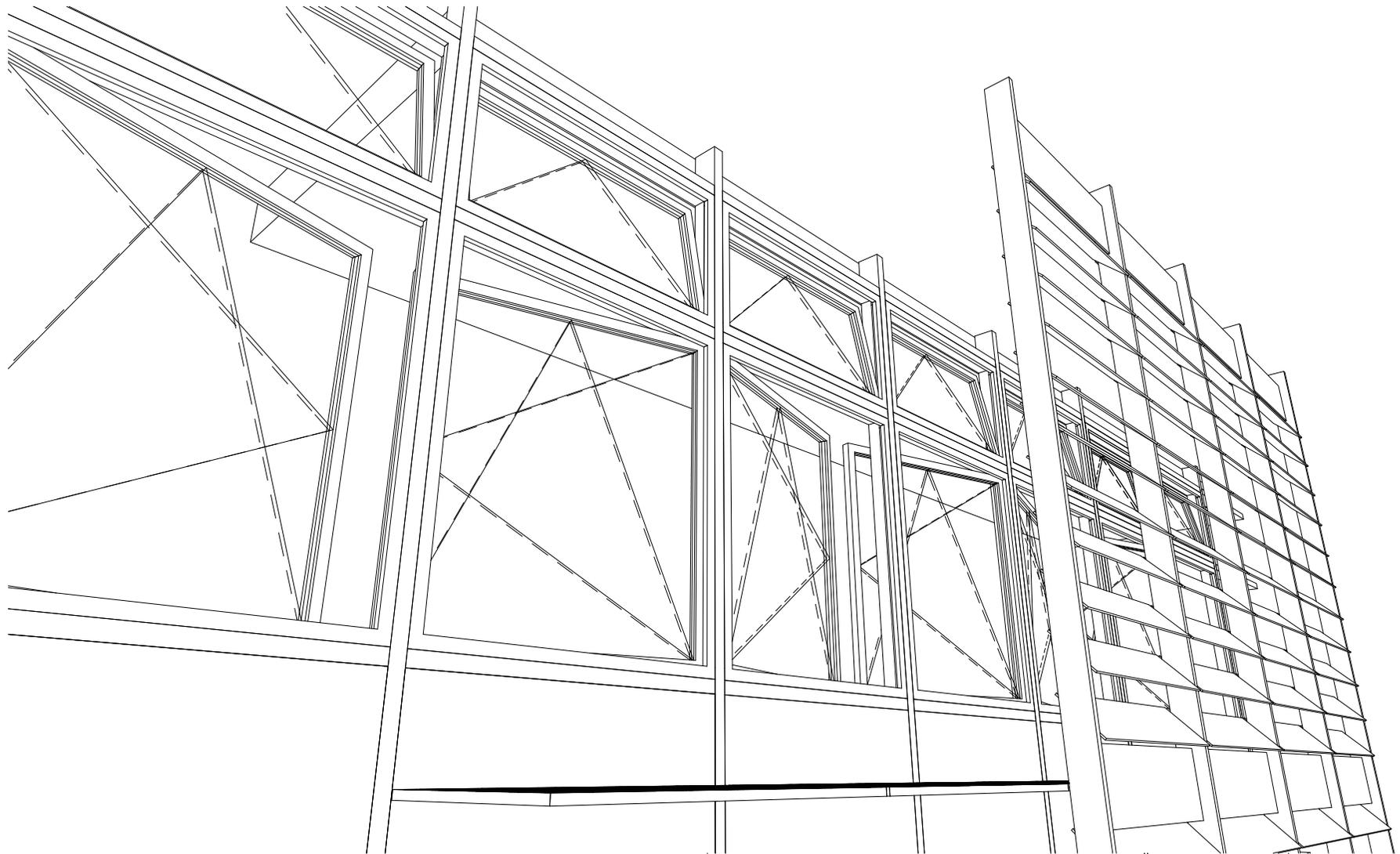


Abb. 174 „debis“-Hauptverwaltung - Berlin, Fassadensystem
Verfasser (2013)

3.4.2 ALGENFASSADEN

Bioreaktive Glasfassaden zur Energiegewinnung

Im Rahmen der Internationalen Bauausstellung 2013 in Hamburger Stadtteil Wilhelmsburg wurde Ende April das kubische, fünfgeschossige Passivwohnhaus mit insgesamt 15 Wohnungen BIQ - steht für Bio-Intelligenzquotient - eröffnet. Es handelt sich um das erste Gebäude weltweit, das mit einer Bioreaktorfassade als Teil eines ganzheitlich regenerativen Energiekonzepts ausgestattet wurde. Das Projekt wurde von Splitterwerk Architekten aus Graz geplant, die 2010 den Realisierungswettbewerb für ein Smart Material House im Rahmen der IBA Hamburg 2013 gewannen. Als „Smart Materials“ bezeichnet man Materialien, die sich im Unterschied zu herkömmlichen Baustoffen nicht statisch, sondern dynamisch verhalten. Entwickelt wurde das Gebäude von SSC Strategic Science Consult GmbH aus Hamburg (Verfahrenstechnik und Prozessführung), Arup Deutschland GmbH aus Berlin (Projektkoordination, Konzeption und Engineering) und Colt International aus Kleve (Design, System- und Komponentenfertigung). In plattenförmigen an Südwest- und Südostfassade angeordneten vertikalen Glaselementen werden Mikroalgen gezüchtet, die durch Photosynthese und

Solarthermie Biomasse und Wärme produzieren. Die Biomasse wird regelmäßig abgeerntet und in einer Biogasanlage verwertet, so dass die Algen immer wieder neu nachwachsen können. Die geschosshohen Glaselemente (SolarLeaf) sind auf ihrer Vertikalachse drehbar gelagert und können so dem Sonnenstand nachgeführt werden. Bei geschlossener Stellung bilden sie eine thermische Pufferzone. Jedes Fassadenelement misst 2,70 X 0,70 Meter und weist einen mehrschichtigen Glasaufbau auf. Von den Deckscheiben aus Verbundsicherheitsglas (VSG) geschützt und thermisch isoliert befindet sich der 18 Millimeter breite Hohlraum, der sogenannte Photobioreaktor, der 24 Liter Nährflüssigkeit enthält und in dem die Mikroalgen wachsen. Bei dieser Pilotanlage entsprechen das Biomasse-Potenzial etwa 30 kWh je Quadratmeter Fassade und Jahr und der solare Wärmegegewinn rund 150 kWh/m²a. Insgesamt reduziert die Algenfassade den CO₂-Ausstoß des Gebäudes um geschätzt rund sechs Tonnen pro Jahr. Zusätzlich absorbieren die Algen 2,5 Tonnen CO₂ jährlich aus der zugeführten Luft. Beide Energieträger (Biomasse und Wärme) werden über ein Kreislaufsystem in die

Technikzentrale des Gebäudes geleitet und dort über einen Wärmetauscher bzw. einen Algenabscheider entnommen. Das Temperaturniveau wird über eine angeschlossene Wärmepumpe gesteuert, die Wärme kann für die Warmwasseraufbereitung und Raumheizung über Radiatoren bzw. Luftheizung, direkt am Gebäude genutzt werden. Überschüssige Wärme kann geothermisch z.B. über Erdsonden unter dem Gebäude gespeichert werden.



Abb. 175 Passivwohnhaus BIQ, Hamburg-Wilhelmsburg, Algenbioreaktorfassade
Rheinische Post Verlagsgesellschaft mbH (2013)

3.4.3 FASSADENINTEGRIERTE PHOTOVOLTAIK UND SOLARTHERMIE

Die photovoltaische Stromerzeugung am Gebäude ermöglicht auf elegante und vielfältige Weise die direkte, emissionsfreie (ohne laufende Rohstoffzufuhr sowie ohne Lärm und Geruch), dezentrale und verbrauchernahe Umwandlung von Sonnenlicht in Strom. Neben den Photovoltaikmodulen auf Dächern, können Fassaden auch zur Solarstromerzeugung herangezogen werden. Die Gebäudeintegrierte Photovoltaik, kurz GiPV oder auch BiPV (von englisch Building-integrated Photovoltaic) genannt, bedeutet die Integration von PV-Modulen in die Gebäudehülle, die einzelne Gebäudeteile ergänzen oder ersetzen können z.B. als Dachdeckung, Fassadenelement, Wandverkleidung (Vorhangschale bei einer massiven hinterlüfteten Konstruktion), Brüstungselement, Verglasung oder Ausfachungselement einer Glasfassade (Pfosten-Riegel-Konstruktion) oder als Sonnenschutz (schräg gestellte Lamellen vor der raumabschließenden Außenwand). Als besonders gut geeignet für den Einsatz von Photovoltaik-elementen gelten Doppelfassaden, wobei die Dünnschichtmodule im Verbundssicherheitsglas der Außenhaut – vollflächig oder nur vor den Parapetbereichen – einlamierten werden. Durch die Hinterlüftung ist ein ausgezeichneter

Wirkungsgrad der Photovoltaik-elemente gegeben. Die BiPV-Elemente können in Größe, Form, Material, Farbe, Varianz in der Transparenz und Design – frei wählbare Abstände zwischen den einzelnen Modulen – an das jeweilige Gebäude angepasst werden. Aus technischer Sicht existieren bei der Gebäudeintegration von Photovoltaik grundsätzlich drei Möglichkeiten: Applikation (additive Einbindung vor oder über der eigentlichen Gebäudehülle sowie im Sonnenschutzsystem, ob feststehend, beweglich oder kombiniert), Konstruktive Addition (Substitution als Bestandteil der Gebäudehülle, Kaltfassade) und Konstruktive Vollintegration als Bestandteile einer Warmfassade oder Dacheindeckung, wo die PV-Module all deren Funktionen, wie etwa Wetter-, Wärme-, Sonnen- und Schallschutz, übernehmen.

Neben der konventionellen Silizium-Wafer-Solarzellen, Marktanteil von mehr als 80 Prozent, setzt man seit einigen Jahren verstärkt auf die Entwicklung von Dünnschicht-technologie, polymerbasierten Solarzellen (organische Solarzellen) und Farbstoffsolarzellen (FSZ, elektrochemische Dünnschicht-solarzellen). Bei der Herstellung von PV-

Dünnschicht-Fassadenmodulen werden dünne fotoelektrisch aktive Schichten auf ein Trägermaterial wie Glas, Metall oder flexible Kunststofffolien aufgebracht. Geläufige Produktionstechniken sind: amorphe/mikrokristalline Siliziumtechnik (technologisch am weitesten entwickelt), CdTe-basierte Technik und die Kupfer-Indium-Selenid (Sulfid)-Technik, kurz CIS-Technologie. Zu den Vorteilen der CIS-Solarmodulen gegenüber Solarmodulen auf Siliziumbasis zählen: höchste Wirkungsgrade von derzeit 20,3 Prozent sowie kostengünstige und flexible Anwendung mit vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten in der Fassade. Polymerbasierte Solarzellen bestehen aus einer Kombination von dünnen Schichten aus sogenannten konjugierten Polymeren und Fulleren (Kohlenstoffmolekülen). Sie sind kostengünstig in der Herstellung und können aufgrund ihrer biegsamen und dünnen Beschaffenheit auf eine einfache Weise wie Klarsichtfolie auf Hausdächern, Fassaden, Fenstern oder Markisen aufgebracht werden. Gebäudeintegrierte Module sind noch in der Entwicklungsphase. Als Beispiele hierfür sind die organische Photovoltaik-Folie der Dresdner Firma Heliatek (Oligomere als Lichtsammler, also kürzere Molekülketten),

die sowohl transparent als auch getönt hergestellt werden kann, oder die transparenten Zellen der bayerische Firma Belectric sowie Crystalsol aus Österreich (gedruckte Polymer-Zellen aus langen Molekülketten) zu nennen. Farbstoffsolarzellen bieten eine große Freiheit bei der Farb- und Formgebung und werden mittels Verfahren der Siebdrucktechnik hergestellt. Sie wandeln die Energie des Sonnenlichts mittels eines metallorganischen Farbstoffs auf Basis von Ruthenium, einem Halbmetall, nach dem Prinzip der Fotosynthese bei Pflanzen in elektrischen Strom um. Der Wirkungsgrad liegt derzeit bei acht Prozent, soll sich jedoch deutlich erhöhen. Ein neuer vielversprechender Photovoltaik-Halbleiter mit einem Wirkungsgrad von 19,3 Prozent, der jedoch aufgrund seiner Lebensdauer und Wasserempfindlichkeit sich noch in der Entwicklungsphase befindet, ist Perowskit. Perowskitzelle bestehen aus Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Blei, Chlor und Jod, die sich auf eine einfache und sehr sparsame Weise als hauchdünne Schicht auf Glas aufdampfen oder auf Folie drucken lassen. Als weitere Beispiele für die Gebäudeintegration von Photovoltaik sind das seit 2006 serienreife Schüco E²-Fassadesystem, das als modularer Baukasten mit den Kernfunktionen: Dezentrale Lüftung, flächenbündig

integrierte Öffnungselemente, Hochleistungssonnenschutz und solare Energiegewinnung mit moderner Dünnschicht-Technologie konzipiert ist, sowie die im Kapitel „Leistung der Natur“ bereits erwähnten Photovoltaiklamellen, bewegliches Großlamellensystem, zu nennen. Die Fassadenintegrierten Photovoltaikmodule sind in Form, Farbe und Struktur flexibel gestaltbar und können transluzent (monokristalline Zellen mit homogener Oberfläche oder polykristalline Zellen mit lebhaft schillernder Struktur) oder transparent im Sichtbereich der Fassade – Kalt-, Kalt-Warm- oder Warmfassaden – eingesetzt werden. Die BIPV-Module sind in den Standardfarben Blau und Schwarz in individuellen Glasmaßen zwischen 300 x 200 mm und maximal 5.000 x 2.200 mm erhältlich und können eine Belegung zwischen 30% und 90% der Elementfläche aufweisen.



Abb. 176 Heliatek / Smack Communications, Berlin Heliatek (2014)

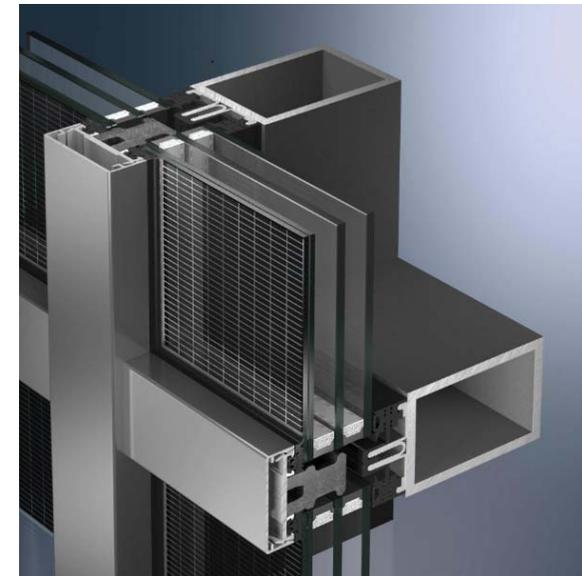


Abb. 177-178 Transparente Photovoltaik mit Dünnschichttechnologie, Sonnenschutzlamelle Schüco (2014)

Gebäudeintegrierte Solarkollektoren mit oder ohne Hinterlüftung, auf dem Dach und an der Fassade, verbessern die Wärmedämmung und den Schallschutz, dienen als Witterungsschutz für das Gebäude, ersetzen das Bedachungs- oder das Fassadenmaterial und lassen die Dach- oder Fassadenfläche ruhiger wirken, da die Kollektoren nicht so weit herausragen. Außerdem stellen sie keine zusätzliche Windangriffsfläche dar. Als Fassadenkollektoren kommen Flach-, Röhren- und Luftkollektoren zum Einsatz, die in der Regel an der nach Süden ausgerichteten senkrechten Fassade montiert werden. Sie können auf Massivwänden oder Holzkonstruktionen, auf Balkonbrüstungen und Schrägfassaden montiert werden. Im Bereich der Solarthermie gelten die Doma Flex Holz- und Alu- Großflächenkollektoren – Aluminium-Absorber, die mit einer hochselektiven Mirotherm®-Beschichtung und lasergeschweißten Kupferrohren ausgestattet sind – mit einem Wirkungsgrad von 86,7%, bezogen auf die Absorberfläche, als leistungsstärkste Sonnenkollektoren der Branche. Die DOMA FLEX Holz – Großflächenkollektoren werden als Indach- oder Fassadenkollektoren mit unbehandeltem Fichtenholzrahmen in verschiedenen Formen, Farbgebung und mehr als 25 Standard-Größen produziert, während die DOMA FLEX

Alu – Großflächenkollektoren speziell für Aufdach-Lösungen, Flachdächer und für die Freiaufstellung, speziell auf die Gegebenheiten in Westösterreich angepasst, konzipiert wurden.

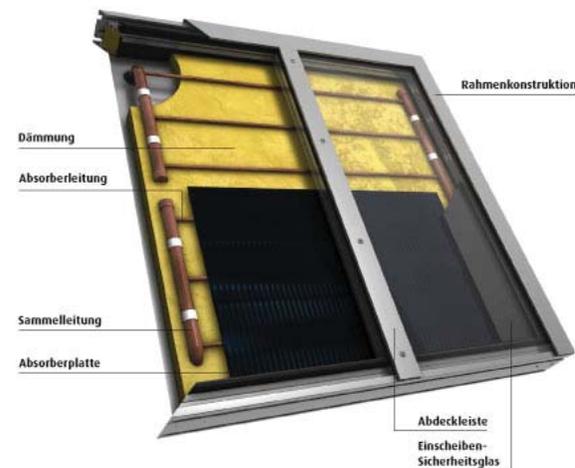


Abb. 179 DOMA / AKS Kollektor
Doma Solartechnik (2014)

Von österreichischer staatlicher Seite verfolgt das Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie durch das Forschungs- und Technologieprogramm „Haus der Zukunft“ und sein Folgeprogramm „Haus der Zukunft Plus“ langfristig die Vision „die energetische Effizienz bezüglich Produktion und Betrieb derart zu erhöhen, dass über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden die treibhausrelevanten Emissionen in Summe auf null reduziert werden“. In diesem Zusammenhang werden unterschiedliche Forschungsprojekte gefördert, welche sich etwa mit der technologischen Weiterentwicklung von Baustandards für Büro- und Betriebsgebäude, Wohnbaumodernisierung – „plus Fassaden“ – oder der gebäudeintegrierten Photovoltaik – Projekt „PV@Fassade“, im April 2014 unter der Leitung von OFI mit neun österreichischen Partner aus Forschung und Unternehmen aus dem Fassadenbau und der PV-Branche, wie z. B. Ertex-Solartechnik oder die CTR Carinthian Tech Research, gestartet – auseinandersetzen.

3.5 MEMBRANFASSADEN

Der Membranbau stellt in Form von textilen Einhausungen und Überdachungen eine der ältesten Bauweisen dar, wurde Mitte des vergangenen Jahrhunderts durch Frei Otto als Vertreter der organischen Formensprache wieder entdeckt und ist in den letzten zwei Jahrzehnten durch exzeptionelle Bauwerke wie die Allianz-Arena München, das Eden-Projekt in Cornwall, die Stadien der Fußball-Weltmeisterschaft in Südafrika und die Megastruktur der Expo Shanghai 2010 in das Betrachtungsfeld von Architekten und Ingenieuren gerückt. Membrane Architektur verwendet Segel, Kissen, Folien, etc. als eine durchlässige Abgrenzung, um ein System bzw. Territorium abzutrennen oder zu ergänzen und vor den Umwelteinflüssen – Wind, Regen, Schnee, Sonne - zu schützen. Membrankonstruktionen unterscheiden sich, entsprechend der Verwendung, stark in Größe und Art der Ausführung und werden neben großflächigen Überdachungen – Stadien, Platzüberdachungen, Ausstellungszentren, Flughäfen – und mobilen Konstruktionen, wie etwa Ausstellungspavillons, immer häufiger als Fassadengestaltungselement bzw. Klimahülle eingesetzt. Moderne Membranfassaden sind dünnhäutige, lastabtragende, auf Zug beanspruchte, mechanisch oder pneumatisch vorgespannte Konstruktionen,

vorgespannte Konstruktionen, die die Belastungen aus Winddruck- und Windsog in Primärkonstruktionen abtragen können und variable Gestaltungsmöglichkeiten bieten. Membrankonstruktionen haben architektonische, konstruktive, ökonomische und ökologische Vorteile. Dazu zählen: Realisierung von außergewöhnlichen Gestaltungsformen, geringes Eigengewicht und der damit verbundenen Reduzierung der weiterführenden lastabtragenden Sekundärbauteile (filigrane Tragwerke besteht z.B. aus Stahlstützen, Stahlseilen und dem Flächenelement Membran), ein abgestimmtes Maß an Transluzenz oder Transparenz, niedrigere Realisierungskosten, fast vollständige Recyclingfähigkeit am Ende ihrer Nutzungsdauer, geringer Einsatz von Primärenergie für die Herstellung sowie der Verzicht auf schwere Transport- und Montagegeräte beim Bau.



Abb. 180 Deutsch-Chinesischer Pavillon, EXPO 2010 Shanghai: Bambusbauwerk mit PVC-Membrandach und ETFE-Membranfassade, Künstler Markus Heinsdorff
Wikipedia (2014)



Abb. 181 Allianz Arena München, 2005, Herzog & de Meuron: Fassade besteht aus pneumatisch vorgespannten, extrem transparenten Kissen aus ETFE-Folie, die eine Lichtdurchlässigkeit von 93% aufweisen.
Wikipedia (2010)

Die im modernen Membranbau verwendeten Materialien lassen sich in die Gruppen der aus der historischen Entwicklung heraus weit verbreiteten **Gewebemembranen** (Textile Membrane aus thermoplastischen Kunststofffasern bzw. Naturfasern wie Leinen, Baumwolle, Seide oder Hanf) und der **Folien** unterscheiden. Gewebemembranen kommen unbeschichtet oder beschichtet zur Anwendung. Die zweiseitig aufgebrachte wasserdichte Beschichtung schützt sie vor UV-Strahlung, Witterungseinflüssen sowie Mikroorganismen und verbessert die Brandeigenschaften. Je nach Anwendungsfall, architektonischen und konstruktiven systembedingten Anforderungen, werden heute Membranen aus PVC (meist Polyestergerewebe mit Polyvinylchlorid-Beschichtung), Silikon (meist Nylongewebe mit Silikon-Beschichtung), PTFE (meist Glasfasergewebe mit Poly-Tetra-Fluorethylen-Beschichtung) oder Fluorpolymer-Kunststofffolien aus ETFE (Ethylen-Tetrafluorethylen) eingesetzt. Das *PVC-PES-Gewebe* (Polyvinylchlorid-Polyester), beidseitig mit PVC beschichtetes Polyestergerewebe, ist extrem reißfest, sehr flexibel, UV- und Witterungsbeständig, günstig in der Herstellung, für Bedruckung geeignet, bei hellen Farben lichtdurchlässig, schwer entflammbar und knickbeständig. Die Oberfläche bekommt

durch eine ergänzende Schutzlackierung antiadhäsive Eigenschaften. Membranen aus PVC/Polyester haben eine Lebensdauer von zehn bis 15 Jahren (Acrylfinish) und 15 bis 20 Jahren (PVDF, Polyvinylidenfluorid -beschichtung). *PTFE-beschichtetes Glasgewebe* ist nicht brennbar sowie gegen Chemikalien, Laugen, Basen und Temperaturen (von -73°C bis $+260^{\circ}\text{C}$) sehr beständig. Weitere Vorteile liegen in der geringen elektrischen Leitfähigkeit, geringen Knickgefährdung, der Abriebfestigkeit, dem Selbstreinigungseffekt, dem leichten Handling, der Selbstkühlung – PTFE besitzt eine Reflexionsfunktion gegen Sonneneinstrahlung und homogene Lichtstreuung – und der langen Lebensdauer von über 25 Jahren. Die glasklaren *ETFE-Folien*, aus einem äußerst stabilen Fluorpolymer-Kunststoff (Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymere) hergestellt, besitzen eine hohe Licht- und UV-Durchlässigkeit (Transparenz liegt bei über 95%, g-Wert zwischen 0,05 und 0,85), UV-Beständigkeit, lange Haltbarkeit ca. 25 – 30 Jahre, hohe Reiß-/ Weiterreißfestigkeit, Durchstoßfestigkeit und Hagelbeständigkeit sowie eine antiadhäsive Oberfläche (selbstreinigend und kaum schmutzanfällig). Sie haben ein geringes Flächengewicht (15 bis 35 g/m^2) und eine Foliendicke 0,1 bis 0,3 mm (Stärke von 50 bis $250\text{ }\mu\text{m}$). Die Folien

können bedruckt, eingefärbt, mit Solarzellen, LED-Leuchten oder Lichtbändern ausgestattet werden. Außerdem sind sie chemisch resistent, ökologisch unbedenklich, voll recyclebar und gemäß DIN 4102 in die Klasse B1 „schwer entflammbar“ in Verbindung mit „nicht brennend abtropfend“ eingestuft. Handelsnamen sind Dyneon® ETFE (Dyneon), Tefzel® (DuPont) und Fluon® ETFE (Asahi Glass). ETFE-Folien werden überwiegend bei pneumatisch gestützten Kissenkonstruktionen (Einkammer- oder Mehrkammersysteme), aber auch für mechanisch gespannte, ein- oder mehrlagige Membrankonstruktionen z. B. als modulare Fassadensysteme – in Aluminiumrahmen eingespannt – im Bereich der Gebäudehülle eingesetzt. Während Einlagige ETFE-Konstruktionen in den Ausmaßen begrenzt sind und in der Regel nur mit Seilunterstützung realisiert werden können, kann die Spannweite der einzelnen Kissen in Abhängigkeit von der Kissen geometrie und den äußeren Lasten ohne weitere Stützkonstruktion 4,50 m betragen. Bei der Anwendung von ETFE-Folie in Form von luftgestützten Kissen mit mehreren Kammern können niedrige U-Werte und somit eine bessere Wärmedämmung erreicht werden.

Beispiel: MEDIA-TIC, Barcelona

Als international angesehenes Beispiel für die Anwendung der Membran als Fassadengestaltungselement bzw. Klimahülle ist der Medienkubus „Media-Tic-Building“ in der katalanischen Metropole Barcelona zu nennen. Der bei den „World Architecture Festival Awards (WAF)“ in Spanien zum „World Building of the Year“ gekürte neungeschossige Neubau eines Informations-, Kommunikations- und Technologie-Zentrums im ehemaligen Industrie-Viertel Poble Nou wurde im Jahr 2010 nach den Plänen von den Architekten Enric Ruiz Geli / Cloud 9 fertiggestellt. Bauherr des 21 Millionen Euro teuren nachhaltigen innovativen Gebäudes – 32 x 32 x 32 Meter großen Kubus – mit heller, Neon- grüner Stahlkonstruktion und einer digital gesteuerten Plastik-Fassade ist das „Konsortium der Zona Franca (CZF) Band 22@“. Das Media-TIC-Building – der so genannte „Digital Pedrera“, zu deutsch „digitaler Steinbruch“, – gliedert sich in mehreren Ebenen: vom großen, freien Raum „Communication Exhibition Zone“ im Erdgeschoss, der sich für Ausstellungen, Workshops und andere öffentliche Veranstaltungen eignet, über den öffentlichen Bereich mit „Cibernarium“ (Zentrum für technologische Bildung) und Vortragssaal in der ersten Etage, bis zu den Büroflächen – viertes bis

achtes Stockwerk – der etablierten Firmen und Institutionen. Um Energie zu generieren und den Energieverbrauch zu optimieren, wurden in zwei der vier Fassaden des Media-Tic-Building performative Elemente aus dem Material Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE) verbaut. Diese ETFE-Oberflächen an der Süd-Ost-Fassade, die einem unregelmäßigen Mosaik aus konkaven und konvexen Dreiecken ähneln, bilden kleine Bläschen und können bis zu sechs Stunden Sonnenlicht am Tag absorbieren. Die extrem dünne Haut filtert das UV-Licht und ist dank einer Antihaft-Oberfläche selbst reinigend. Während die aufblasbaren ETFE-Kissen im Sommer geschlossen werden können, um den Sonnenschutz zu bilden, werden sie im Winter mit Luft gefüllt, um soviel Sonnenenergie wie möglich aufzunehmen. An der südwestlichen Fassade sind die ETFE-Kissen mit Stickstoffnebel gefüllt, um den Sonnenschutz zu gewährleisten. Ein pneumatischer Mechanismus aus bis zu 300 Lichtsensoren reguliert des Weiteren die Stickstoffmenge innerhalb der Zellen. Kritisiert wird bei dem Projekt jedoch die niedrige Raumhöhe von knapp 3 Metern.



Abb. 182 Media-Tic, Süd-Ost Ansicht
Wordpress (2014)



Abb. 183 Media-Tic, Süd-West Ansicht
Wikimedia (2014)

3.6 BRANDSCHUTZ

3.6.1 VORBEUGENDER BRANDSCHUTZ

Der Brandschutz setzt sich aus dem vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz zusammen. **Vorbeugender Brandschutz** dient dem Schutz von Leib und Leben, der Umwelt und der öffentlichen Sicherheit und umfasst die persönlichen Vorkehrungen zur Brandverhütung, alle baulichen und organisatorischen Maßnahmen zur Schadensbegrenzung für den Fall eines Brandes, die Sicherung der Fluchtwege und Notausgänge zum raschen und gefahrlosen Verlassen von Gebäuden sowie die Vorkehrungen für einen erfolgreichen Feuerwehreinsatz. Der vorbeugende Brandschutz gliedert sich in *baulicher Brandschutz*, *anlagentechnischer Brandschutz* und *organisatorischer Brandschutz*.

An den **baulichen Brandschutz** werden rechtliche und technische Anforderungen gestellt, um den Brand über einen bestimmten Zeitraum innerhalb eines Gebäudeteiles zu begrenzen und das Übergreifen des Brandes auf benachbarte Bauwerksteile während dieser Zeit zu verhindern. Wesentliche Grundlagen sind ÖNORM EN 13501 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizie-

rung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“ und Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen“, OIB-Richtlinien, Arbeitsstättenverordnung, Technische Richtlinien für den Vorbeugenden Brandschutz (TRVB), etc. Dabei spielen Feuerwiderstand von Bauteilen, Brennbarkeit von Baustoffen, Brandabschnittsbildung sowie Planung von Fluchtwegen und Sicherheitstreppehäusern eine essentielle Rolle.

Der **organisatorische Brandschutz** umfasst die Bestellung von Brandschutzbeauftragten und Brandschutzwarten sowie die Erstellung von Alarmplänen, Brandschutzordnung und Brandschutzplänen. Schulungen zum Umgang mit brennbaren Stoffen und Zündquellen sowie zum Verhalten im Brandfall fallen auch in diesem Bereich.

Unter **anlagentechnischem Brandschutz** fallen alle technischen Anlagen und Einrichtungen, welche zur Verbesserung des Brandschutzes dienen. Zu den typischen, dem Brandschutz dienenden gebäudetechnischen Anlagen zählen insbesondere *Brand-*

meldeanlagen, Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, selbsttätige und nichtselbsttätige Feuerlöschanlagen, Flucht- und Rettungswegbeleuchtung, etc. Stationäre (ortsfeste) Feuerlöschanlagen werden entweder automatisch indirekt durch Brandmelde- und Löschsteueranlagen oder direkt durch mechanische Branderkennungs- und Auslöselemente oder auch manuell ausgelöst. Automatische Löschanlagen sind Einrichtungen, die einen Entstehungsbrand erkennen und selbsttätig geeignete Löschmaßnahmen durchführen. Die Löschmittel werden dazu in Behältern bereitgehalten und über ein Rohrleitungssystem mit geeigneten Ausgabevorrichtungen (Sprinkler, Löschdüse) im Schutzbereich ausgetragen. Nach der Art des Löschmittels und der Löschmittelaufbringung wird bei automatischen Löschanlagen in *Nasslöschanlagen, Schaumlöschanlagen, Pulverlöschanlagen* und *Gaslöschanlagen* unterschieden.

3.6.2 NASSLÖSCHANLAGEN

verwenden Wasser als Löschmittel und sind zur Bekämpfung von glutbildenden Feststoffbränden sehr gut geeignet. Sie können in *Sprinkleranlagen*, *Sprühwasser-Löschanlagen* und *Wasservernebelungsanlagen* unterteilt werden.

Sprinkleranlagen

Der Ursprung der Sprinklersysteme reicht bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück und liegt in der amerikanischen Textilindustrie. Sie sind die am häufigsten verwendeten Nasslöschanlagen. In Sprinkleranlagen steht das Löschwasser ständig unter Druck an den „Sprinklerdüsen“ an. In frostgefährdeten (in ungeheizten Räumen) oder hoch temperierten Bereichen kann zur Druckhaltung auch Luft eingesetzt werden (Trockensystem). Sprinkleranlagen löschen auf Grund des Temperaturanstieges ausschließlich im Bereich des Entstehungsbrandes und verursachen meist nur unbedeutenden Wasserschaden. Eingesetzt werden Sprinkleranlagen in großen Brandabschnitten, großen Garagen, Lagerhallen und Hochregallagern, bei brennbaren Stoffen mit geringer bis normaler Brandausbreitungsgeschwindigkeit.

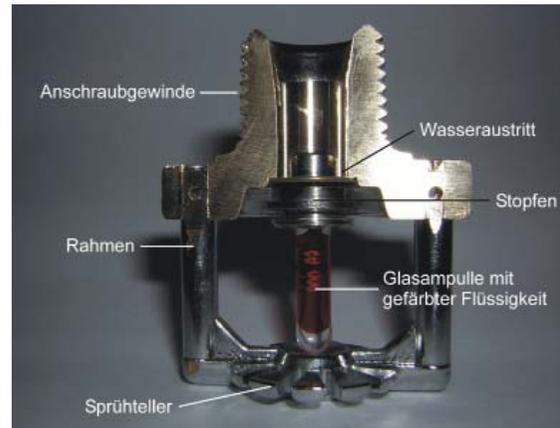


Abb. 184 Aufbau eines Sprinklers
Wikimedia (2013)

Sprühwasser-Löschanlagen

Die Anlagentechnik von Sprühwasser-Löschanlagen (auch „Regenanlage“ genannt) entspricht im Prinzip der einer Sprinkleranlage (festverlegte Rohrleitungen mit Düsen, Ventilstationen, Auslöseeinrichtungen und Wasserversorgung). Ihr Löschbereich umfasst aber nicht nur die Umgebung des Entstehungsbrandes, sondern eine ganze technische Anlage oder einen ganzen Raum. Sprühwasser-Löschanlagen werden zum Schutz von Maschinen (z.B. Papiermaschinen) oder Anlagen (z.B. Trafostationen) und bei der Gefahr einer raschen Brandausbreitung (leicht brennbare Stoffe) eingesetzt. Zudem bietet die rauchgas-

reinigende Wirkung im Brandfall hervorragenden Personenschutz (Großbühnen). Im Brandfall können einzelne Anlagengruppen automatisch (elektrisch, pneumatisch, hydraulisch) angesteuert oder von Hand ausgelöst werden.

Hochdruckwassernebel

Wasservernebelungsanlagen stellen in der Entwicklung von automatischen Löschanlagen eine junge Technologie dar. Im Gegensatz zu herkömmlichen Sprinkleranlagen werden hier sehr kleine Wassertropfen (Durchmesser von Wassernebeltropfen beträgt ca. 50 µm) unter hohem Druck (> 35 bar) durch Edelstahlleitungen bis zu den Löschdüsen gepresst.

3.6.3 OIB-RICHTLINIEN 2 u. 2.3

In Österreich werden die Brandschutzvorschriften in den OIB-Richtlinien 2 und OIB-Richtlinie 2.3 (Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m) bestimmt. Die Anforderungen an das Brandverhalten von Bauprodukten sowie an den Feuerwiderstand von Bauteilen sind in den Tabellen 1a und 1b aufgelistet. Ergänzend dazu sind die Vorschriften nach OIB-Richtlinie 4, Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit (Ausgabe: Oktober 2011) einzuhalten.

Nach OIB-Richtlinien 2 darf ein **Brandabschnitt** bei oberirdischen Geschoßen eine Netto-Grundfläche von 1.200 m² - bei Büronutzung eine Netto-Grundfläche von 1.600 m² - und eine Längsausdehnung von 60 m nicht überschreiten. Bei Türen und Tore in brandabschnittsbildenden Wänden ist eine Ausführung in EI2 30-C zulässig. Um den Brandüberschlag zwischen übereinander liegende Brandabschnitte zu verhindern, muss entweder ein deckenübergreifender Außenwandstreifen von mindestens 1,2 m Höhe in EI 90 vorhanden sein oder die brandabschnittsbildende Decke muss mit einem mindestens 0,8 m horizontal auskragenden Bauteil gleicher Feuerwiderstandsklasse verlängert werden.

Bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 sind jedenfalls Baustoffe der Klasse A2 zu verwenden.

Fassaden (Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete Fassaden) sind bei Gebäuden der Gebäudeklassen 4 und 5 auch so auszuführen, dass eine Brandweiterleitung über die Fassadenoberfläche auf das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß, das Herabfallen großer Fassadenteile sowie eine Gefährdung von Personen wirksam eingeschränkt wird. Eine Brandausbreitung über die Zwischenräume, Anschlussfugen und Hohlräume innerhalb der Fassade im Bereich von Trenndecken bzw. brandabschnittsbildenden Decken ist auch wirksam einzuschränken.³⁰

In der OIB-Richtlinie 2.3 (Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m) werden die Anforderungen an das Brandverhalten von Bauprodukten (Baustoffen) in Tabelle 1 angeführt. Nicht angeführte Baustoffe müssen der Klasse E entsprechen. Im folgenden werden die **Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen** aufgelistet:

- Tragende und aussteifende Bauteile sowie

Läufe und Podeste von Sicherheitstreppehäusern müssen R 90 und A2 entsprechen,

- Tragende Trennwände, brandabschnittsbildende Wände und Decken, Decken von Loggien und Balkonen, Decken und Dachschrägen mit einer Neigung zur Horizontalen von nicht mehr als 60 Grad sowie Wände von Sicherheitstreppehäusern müssen REI 90 und A2 entsprechen.

Brandabschnitte dürfen in den untersten vier oberirdischen Geschoßen eine Netto-Grundfläche von 1.200 m², in sonstigen Geschoßen eine Netto-Grundfläche von 800 m² nicht überschreiten. Sicherheitstreppehäuser müssen jedenfalls einen unmittelbaren Ausgang zu einem sicheren Ort des angrenzenden Geländes im Freien (öffentlichen Verkehrsfläche bzw. Feuerwehrezufahrt) haben.

Für Gebäude mit einem **Fluchtniveau von mehr als 32 m und nicht mehr als 90 m** gelten ergänzend folgende Anforderungen an den Fluchtweg:

- Von jeder Stelle jedes Raumes müssen in höchstens 40 m Gehweglänge zwei Sicherheitstreppehäuser der Stufe 2 (OIB-Richtlinie 2.3, Punkt 4.2) mit jeweils einem Ausgang zu einem sicheren Ort des angrenzenden Geländes im Freien erreichbar sein,

- Es müssen zwei von einander unabhängige Fluchtwege in entgegengesetzter Richtung zu den Sicherheitstreppehäusern der Stufe 2 vorhanden sein,
- Die zwei Fluchtwege dürfen auf eine Länge von höchstens 25 m gemeinsam verlaufen. Einer der beiden Fluchtwege darf durch einen anderen Brandabschnitt führen, sofern dieser innerhalb von höchstens 40 m Gehweglänge erreichbar ist,
- Jeder Brandabschnitt ist mindestens an ein Sicherheitstreppehaus der Stufe 2 anzuschließen,
- Bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 60 m muß für flüchtende Personen zumindest alle sechs Geschoße innerhalb bzw. im unmittelbar angrenzenden Bereich des Sicherheitstreppehauses eine Fläche geschaffen werden, die ein Ausweichen vom Fluchtstrom ermöglicht,
- Für die Feuerwehr müssen im Brandfall sämtliche Geschoße vom Sicherheitstreppehaus aus zugänglich sein.

Für Gebäude mit einem **Fluchtniveau von mehr als 90 m** ist ein Brandschutzkonzept erforderlich, das dem OIB-Leitfaden „Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte“ zu entsprechen hat. Dabei sind insbesondere Personenanzahl bei der Flucht, Evakuierungszeiten, Angriffsbedingungen der Feuerwehr, Art der

Nutzung und die Umgebungssituation zu berücksichtigen.³¹

30 Vgl. OIB-Richtlinie 2 (2011)

31 Vgl. OIB-Richtlinie 2.3 (2011)

Gebäudeklasse (GK)	GK 5
1 Fassaden	
1.1 Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme	C-d1
1.2 Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete	
1.2.1 Klassifiziertes Gesamtsystem oder	B-d1 ⁽²⁾
1.2.2 Klassifizierte Einzelkomponenten	
- Außenschicht	A2-d1 ⁽⁴⁾
- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	C / A2
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	B ⁽⁴⁾
1.3 Sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge	B-d1 ⁽⁶⁾
1.4 Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl.	B ⁽⁶⁾
2 Gänge und Treppen jeweils außerhalb von Wohnungen: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken	
2.1 Wandbekleidungen ⁽⁷⁾	
2.1.1 Klassifiziertes Gesamtsystem oder	B
2.1.2 Klassifizierte Einzelkomponenten	
- Außenschicht	B
- Unterkonstruktion	A2 ⁽⁵⁾
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2
2.2 abgehängte Decken	B-s1, d0
2.3 Wand- und Deckenbeläge	B-s1, d0
2.4 Bodenbeläge	C _{fl} -s1
3 Treppenhäuser: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken	
3.1 Wandbekleidungen ⁽⁷⁾	
3.1.1 Klassifiziertes Gesamtsystem oder	A2
3.1.2 Klassifizierte Einzelkomponenten	
- Außenschicht	A2
- Unterkonstruktion	A2 ⁽⁵⁾
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2
3.2 abgehängte Decken	A2-s1, d0
3.3 Wand- und Deckenbeläge	A2-s1, d0
3.4 Bodenbeläge	
3.4.1 in Treppenhäusern gemäß Tabelle 2a, 2b	A2 _{fl} -s1
3.4.2 in Treppenhäusern gemäß Tabelle 3	A2 _{fl} -s1 ⁽⁹⁾

Gebäudeklasse (GK)	GK 5
4 Dächer mit einer Neigung $\leq 60^\circ$	
4.1 Bedachung (Gesamtsystem) ⁽¹⁰⁾	$B_{ROOF}(t1)$ ⁽¹¹⁾
4.2 Dämmschicht bzw. Wärmedämmung in der Dach-konstruktion	B ⁽¹³⁾
5 nicht ausgebaute Dachräume: Fußbodenkonstruktionen und Beläge	
5.1 Fußbodenkonstruktionen (Bekleidungen)	
5.1.1 Klassifiziertes Gesamtsystem oder	B
5.1.2 Klassifizierte Einzelkomponenten	
- Außenschicht	B
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	B ⁽¹³⁾
5.2 Bodenbeläge	B_{fl-s1}
(2) Bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschoßen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig, wenn das klassifizierte Gesamtsystem die Klasse D-d0 erfüllt	
(4) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 zulässig; bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschoßen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;	
(5) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;	
(6) Bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschoßen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;	
(9) Bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschoßen genügt B_{fl-s1} ;	
(11) Bei Dächern mit einer Neigung $\geq 20^\circ$ müssen Eindeckung, Lattung, Konterlattung und Schalung der Klasse A2 entsprechen; abweichend davon sind für Lattung, Konterlattung und Schalung auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;	
(13) Es sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E bei Dächern mit einer Neigung $< 20^\circ$ bzw. auf der obersten Geschoßdecke zulässig, sofern diese in A2 hergestellt sind und die gemäß Tabelle 1b erforderliche Feuerwiderstandsdauer auch hinsichtlich der Leistungseigenschaften E und I erfüllt wird.	

Tabelle 2: Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten (Auszug aus Tabelle 1a, OIB-Richtlinie 2)

Gebäudeklasse (GK)	GK 5
1 tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)	
1.1 im obersten Geschoß	R 60 ⁽¹⁾
1.2 in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 90 und A2
1.3 in unterirdischen Geschoßen	R 90 und A2
2 Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)	
2.1 im obersten Geschoß	REI 60 ⁽¹⁾ EI 60 ⁽¹⁾
2.2 in oberirdischen Geschoßen	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.3 in unterirdischen Geschoßen	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.4 zwischen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in Reihenhäusern	nicht zutreffend
3 brandabschnittsbildende Wände und Decken	
3.1 brandabschnittsbildende Wände an der Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 90 und A2 EI 90 und A2
3.2 sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	REI 90 und A2 EI 90 und A2
4 Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤ 60°	
4.1 Decken über dem obersten Geschoß	R 60 ⁽¹⁾
4.2 Trenndecken über dem obersten Geschoß	REI 60 ⁽¹⁾
4.3 Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschoßen	REI 90 und A2
4.4 Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschoßen	R 90 ⁽¹⁾ und A2
4.5 Decken über unterirdischen Geschoßen	REI 90 und A2
5 Balkonplatten	R 30 und A2

(1) Bei Gebäuden mit nicht mehr als sechs oberirdischen Geschoßen genügt für die beiden obersten Geschoße die Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten ohne A2;

Tabelle 3: Allgemeine Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen (Auszug aus Tabelle 1b, OIB-Richtlinie 2)

3.6.4 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Brandabschnitt

Bereich, der durch brandabschnittsbildende Wände bzw. Decken von Teilen eines Gebäudes getrennt ist. Öffnungen in Brandwänden sind durch selbstschließende und zumindest brandhemmende Brandschutztüren oder Brandschutztore abzuschließen. Als eigene Brandabschnitte sollten Heizräume, Brennstofflager, Aufzugschächte, Müllabwurfschächte, Garagen, sowie alle Räume mit einer hohen Brandgefährdung ausgeführt sein. Durchtrittsstellen von Kabel-, Rohr-, Lüftungsleitungen etc. müssen mit Brandschutz-Schottungen abgeschlossen werden.

Brandwiderstandsklasse

Der Feuerwiderstand (auch Brandwiderstand) eines Bauteils steht für die Dauer, während der ein Bauteil im Brandfall seine Funktion behält. Die ÖNORMEN B 3800-2 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Bauteile“ und B 3800-3 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Sonderbauteile“ wurden durch die ÖNORM EN 13501-2 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen“ mit 1. Jänner 2004 ersetzt. Die bisher üblichen Klassifikationen für den Brandwiderstand: F 30, F 60, F 90 und F 180 wurden durch Leistungskriterien, wie z.B. „R“ für Tragfähigkeit, „E“ für Raumabschluss, „I“ für Wärmedämmung, „W“ für Strahlungsabgrenzung, „M“ für Widerstand gegen mechanische Beanspruchung, „C“ für selbstschließende Eigenschaft, „S“ für Rauchdichtheit abgelöst. Für die Klassifizierungsperioden wurden folgende Zeiten festgelegt: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 und 360 Minuten.

Kurzzeichen	Bedeutung	abgeleitet von	Anwendungsbereich
R	Tragfähigkeit	Résistance	Beschreibung der
E	Raumabschluss	Étanchéité	Feuerwiderstandsfähigkeit
I	Wärmedämmung	Isolation	
I ₂	Wärmedämmung (keine Temperaturmessung innerhalb eines 100 mm breiten Randbereichs des Türblattes)	Isolation	Feuerschutztüren
30, 60, 90	Feuerwiderstandsdauer [min]		alle Bauteile
S, S _m	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate)	Smoke	Rauchschutztüren, Lüftungsanlagen einschließlich Klappen
C	Klasse für selbstschließende Eigenschaft einschließlich Dauerfunktion	Closing	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüsse

Tabelle 4: Klassifizierung analog ÖNORM EN 13501-2 (Auszug)

Brennbarkeitsklasse

Als Brennbarkeit bezeichnet man die chemische Eigenschaft von Stoffen, mit dem Sauerstoff unter Freisetzung von Strahlungsenergie bzw. Wärme zu reagieren. Die VORNORM ÖNORM B 3800-1 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ wurde mit 1. Jänner 2004 zurückgezogen. Ersetzt wurde sie durch die 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“. Die bisher üblichen Brennbarkeitsklassen A, B1, B2 und B3 wurden somit durch europäische Brennbarkeitsklassen ersetzt.

EN 13501-1 „Beitrag zum Brand“

A1 / A2	kein Beitrag zum Brand
B	sehr begrenzter Beitrag zum Brand
C	begrenzter Beitrag zum Brand
D	hinnehmbarer Beitrag zum Brand
E	hinnehmbares Brandverhalten
F	keine Leistung (im Hinblick auf Flammwidrigkeit) feststellbar

Bodenbeläge zus. „fl“

Qualmbildung

s1	schwach qualmend
s2	normal qualmend
s3	stark qualmend

Tropfenbildung

d0	nicht tropfend
d1	tropfend
d2	zündend tropfend

Fluchtniveau

Höhendifferenz zwischen der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen oberirdischen Geschoßes und dem tiefsten Punkt des an das Gebäude angrenzenden Geländes nach Fertigstellung.

Fluchtweg

Weg, der den Benützern eines Bauwerkes im Gefahrenfall grundsätzlich ohne fremde Hilfe das Erreichen eines sicheren Ortes des angrenzenden Geländes im Freien - in der Regel eine Verkehrsfläche - ermöglicht.

Gebäude der Gebäudeklasse 1 (GK1)

Freistehende, an mindestens drei Seiten auf eigenem Grund oder von Verkehrsflächen für die Brandbekämpfung von außen zugängliche Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7 m, bestehend aus einer Wohnung oder einer Betriebseinheit von jeweils nicht mehr als 400 m² Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse.

Gebäude der Gebäudeklasse 2 (GK2)

Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7 m, bestehend aus höchstens fünf Wohnungen bzw. Betriebseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse; Reihenhäuser mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7 m, bestehend aus Wohnungen bzw. Betriebseinheiten von jeweils nicht mehr als 400 m² Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse.

Gebäude der Gebäudeklasse 3 (GK3)

Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7 m, die nicht in die Gebäudeklassen 1 oder 2 fallen.

Gebäude der Gebäudeklasse 4 (GK4)

Gebäude mit nicht mehr als vier oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 11 m, bestehend aus einer Wohnung bzw. einer Betriebseinheit ohne Begrenzung der Grundfläche oder aus mehreren Wohnungen bzw. mehreren Betriebseinheiten von jeweils nicht mehr als 400 m² Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse.

Gebäude der Gebäudeklasse 5 (GK5)

Gebäude mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 22 m, die nicht in die Gebäudeklassen 1, 2, 3 oder 4 fallen, sowie Gebäude mit ausschließlich unterirdischen Geschossen.

Trenndecke / Trennwand

Decke / Wand zwischen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten untereinander sowie zu anderen Gebäudeteilen.

4 DER „BÜROBAU“

4.1 GEBÄUDETYPOLOGIE UND ERSCHLIEßUNG

Der Gebäudeentwurf wird einerseits von der städtebaulichen Typologie, die einen Einfluss auf die Gebäudegröße, -tiefe und -höhe sowie jahreszeitliche Besonnung in Zusammenhang mit der Orientierung bzw. Himmelsrichtung der Fassaden hat, andererseits von Gebäudetypologie, Gebäudenutzung, Konstruktion sowie Grundrissorganisation und Erschließung beeinflusst. Neben der klassischen Zeilenform wurden im vergangenen Jahrhundert weitere Gebäudetypen entwickelt, die sich in Ecke, Kammtyp oder Doppel-Kammtyp, Block oder Atrium, Punkthaus, Winkel oder Kreis sowie Campus einteilen lassen. Bei der Bedarfsplanung von Büro- und Verwaltungsbauten wird zwischen Programmflächen, auch Primärflächen genannt – Büro- und Sonderflächen – sowie Versorgungsflächen, die für Gebäudetechnik, Erschließung sowie Konstruktion notwendig sind, unterschieden. Die Gebäudeerschließung erfolgt horizontal und vertikal. Die Erschließungsarten – Lage der Kerne, ihre Verknüpfung im Normalgeschoß durch (Haupt-) Flure sowie den Zugang zu den Arbeitsflächen durch (Neben-) Flure – sind: zentral im Kernbereich, aufgereiht und dezentral, über das Grundrissgefüge

gleichmäßig orthogonal verteilt oder diagonal angeordnet. Die zentrale Erschließungsart ist eine Haupteerschließung mit sternförmig geordneten Nebenerschließungen, während bei der dezentralen Anordnung von einem einfachen Quadrat bis hin zu einem weitmaschigen Netz als Verbindung der Haupt- und Nebenerschließungen ausgegangen werden kann. Die aufgereichte Anordnung erfolgt als lineare Verbindung mehrerer Haupteerschließungen und kammartig angefügten Nebenerschließungen. Unterschieden werden bei der Fluranordnung ein-, zwei- oder dreibündige Systeme. Einbündige Systeme haben einseitig belichtete Flure, sie eignen sich vor allem für starken Publikumsverkehr, sind dennoch unwirtschaftlich. Zweibündige Systeme zeichnen sich durch einen erschließenden Innenflur, während die Büros an den Außenwänden liegen und gut belichtet sind. Sie kommen meistens in Verwaltungs- und Krankenhausbauten zur Anwendung und sind wegen der ungleichen Stützenstellung statisch ungünstig. Dreibündige Systeme, die statisch besser sind und als besonders wirtschaftlich gelten, haben zwei Flure und einen inneren Kern für Treppen, Aufzüge, Archive und Sanitärzellen.

Der Erschließungsaufwand – in % der Nutzflächen – liegt beim Verwaltungsbau bei 25 % für Gruppen-, Zellen- und Kombibüros ohne Publikumsverkehr bis zu 50 % für Kassen und Büros mit starkem Publikumsverkehr.

Bürogebäude sind in der Grundstruktur sehr ähnlich und stellen nur mehr Flächen zur Verfügung, während Gebäudedimensionen und die Platzierung der Erschließung erhalten bleiben. Die Auflösung innenräumlicher Strukturen und die Reduktion des Gebäudes auf Geschoßflächen, Infrastruktur und Hülle hat zum Ziel, neutrale eigenschaftslose (generic) und flexible Räumlichkeiten zu schaffen, die für verschiedenste Nutzer und über Jahrzehnte gleichermaßen brauchbar sind. Man spricht heute von Flächenbedarf, von Nutz-, Funktions- und Verkehrsfläche. Organisation und Struktur der Fläche folgt den Anforderungen an Fassade, Konstruktion und Erschließung. Der typische Plan (,Typical Plan‘), durch die Skelettbauweise – radikale Trennung zwischen Gebäudestruktur und Raum – möglich geworden, trifft nicht nur auf amerikanische Bürogebäude, sondern auch auf

europäische Bürogebäude zu. Im Unterschied zu den künstlich klimatisierten amerikanischen Bürobauten zeichnen sich europäische Gebäude vom Mittelalter bis zum heutigen Bürobau durch eine geringere Tiefe aus, wodurch für die Arbeitsplätze natürliche Belichtung und Belüftung sowie eine ‚Sichtverbindung nach außen‘ mit ‚ausreichendem Tageslicht‘ ermöglicht wird. Eine lichtdurchlässige Fläche (Fenster, Türen, Wände, Dachoberlichter) von mindestens 1/10 der Raumgrundfläche, bei Räumen mit höheren Sehansforderungen mindestens 1/5 sollte gewährleistet sein, da die sich während des Tages ändernde natürliche Beleuchtung als Signalgeber für den biologischen Rhythmus (circadianen Rhythmen) gilt und einen wesentlichen Wohlfühlfaktor darstellt.

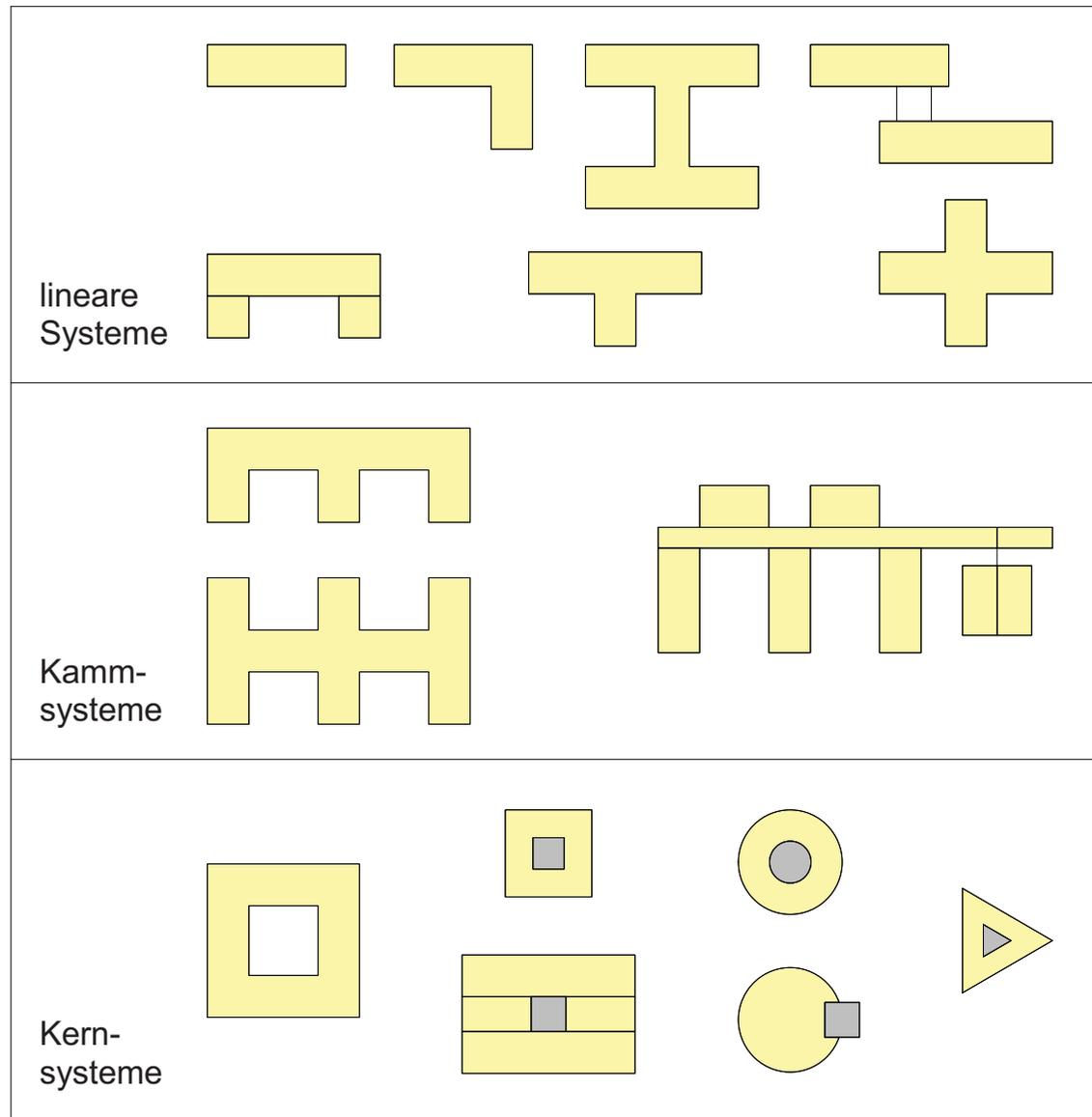
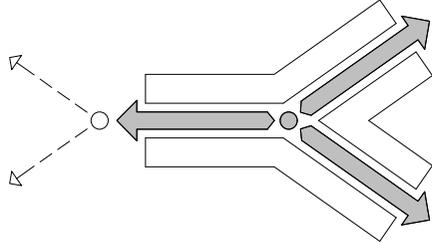
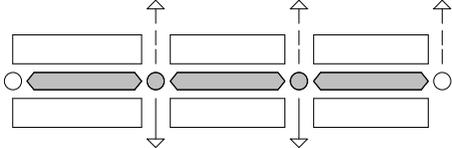
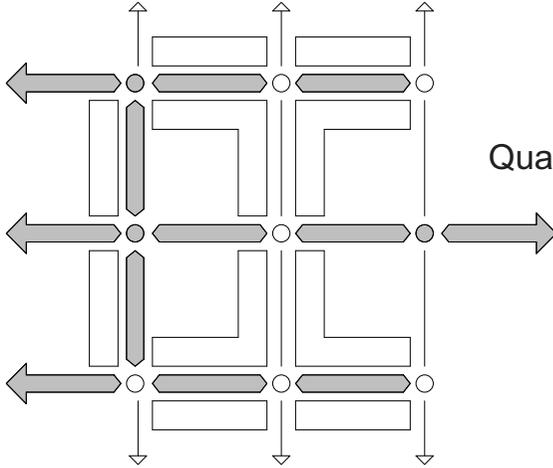


Abb. 185 Versuch einer typologischen Kategorisierung für Bürogebäude
Verfasser (2017)

Prinzip	Beschreibung	Architektonische Bezeichnung
Zentral	Punkt Stern Bündel Strahl	 Platz
Aufgereiht	Linie Band Kamm	 Straße
Dezentral	Ring Quadrat Netz	 Quartier

- Hauptkern
- Nebenkern
- ← Hauptflur
- ← Nebenflur
- ▭ Arbeitsfläche

Abb. 186 Erschließungsprinzipien
 Verfasser (2017)

4.2 RAUMKONZEPTE

Bürraumkonzepte sind Strukturmodelle zur Gestaltung von Büroflächen, die nach ökonomischen, ökologischen und ergonomischen Gesichtspunkten erfolgt. Sie bieten prinzipielle Lösungen für die funktionalen Erfordernisse, stellen Werte der Organisationskultur räumlich dar, gliedern die Arbeitsabläufe und bilden den Rahmen für ihre Anpassungsfähigkeit. Sie unterscheiden sich aber in ihren Anforderungen an Brandschutz, technische Ausrüstung und Innenausbau und sind daher frühzeitig auf die Architektur abzustimmen.

Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts entstand im Zuge einer explodierenden wirtschaftlichen Entwicklung das moderne Büro. Ordnung, Hierarchie, Überwachung und Depersonalisation waren die Leitgedanken des Scientific Management (wissenschaftliche Betriebsführung) F.W. TAYLORS, das als Managementlehre vorherrschte. Als Spiegel tayloristischer Managementlehre gilt das, im Jahr 1904 von FRANK L. WRIGHT errichtete, Larkin Building. Das Gebäude diente als Versandhaus und wurde zum Maßstab nachfolgender Gebäude. In den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden durch neue Theorien und Ansätze, etwa das Büro als kybernetisches³² System, weitere

Bürotypen wie Bürolandschaft oder Gruppenbüro entwickelt. In den letzten drei Jahrzehnten wurde der Bürohausbau durch grundlegende Veränderungen in der Managementlehre und rasante Fortentwicklungen in der Informationstechnologie stark beeinflusst. Während die Prinzipien des Fordismus³³ und Taylorismus³⁴ in der Managementlehre durch neue Ansätze wie das Lean Management (Dezentralisierung und Simultanisierung; enthierarchisierte Organisation des Büros) revidiert wurden, ist das Arbeiten durch mobile Telekommunikation und Vernetzung an jedem Ort und zu jeder Zeit möglich geworden. Dadurch entstanden neue veränderte Konzepte im Bürohausbau, die als „Alternative Officing“ bezeichnet werden. Bei diesen neuen Büroorganisationen bedienen sich dynamische Teams einer gemeinsamen, vielfältigen und differenzierten räumlichen Umgebung. Unter dem Oberbegriff „Alternative Bürokonzepte“ werden etwa Business Club, offene Bürokonzepte, reversibles Büro oder non-territoriales Büro propagiert.

32 Der Begriff Kybernetik bezeichnet die 1948 von Norbert Wiener begründete Wissenschaft von dynamischen Systemen, deren Bestandteile in funktionalen Beziehungen zueinander stehen und auf Einwirkungen (Informationen) von außerhalb des Systems reagieren. Dementsprechend wurde zum einen das Büro nicht mehr länger als statische Maschine, sondern als dynamisches System betrachtet; zum anderen wurden die Angestellten nicht mehr länger nur als voneinander isolierte, austauschbare Teile der Maschine sondern als untereinander (über Informationen) agierende und einander beeinflussende Bestandteile des Gesamtsystems Büro betrachtet.

33 Als Fordismus bezeichnet man eine nach dem Ersten Weltkrieg etablierte Form der Warenproduktion. Geprägt wurde der Begriff unter anderem durch den marxistischen Intellektuellen Antonio Gramsci. Namensgebend ist der US-amerikanische Industrielle Henry Ford, dessen Organisation von Arbeit und Kapital als typisch für die gesamte Epoche angesehen wird

34 Als Taylorismus bezeichnet man das von dem US-Amerikaner Frederick Winslow Taylor (1856–1915) begründete Prinzip einer Prozesssteuerung von Arbeitsabläufen, welche in einem sich auf Arbeitsstudien stützenden arbeitsvorbereitendem Management detailliert vorgeschrieben werden, und für die der Begriff „Scientific Management“ geprägt wurde.

4.2.1 TRADITIONELLE BÜRO-KONZEPTE

Zellenbüro

Das Zellenbüro kann auf den italienischen Raumtypus des Studiolo, einen dem Studium und der Beschäftigung mit den Künsten gewidmeter Raum, zurückgeführt werden, welcher im 14.-15. Jh. entstand und seine Vorbilder in den Mönchszellen mittelalterlicher Klöster hatte. Das Studiolo diente dem völlig auf sich bezogenen, ungestörten Arbeiten und war damit Ausdruck humanistischen Denkens. Während es sich bei den Studioli um Einzelarbeitsräume handelt, sind die von 1559 bis ca. 1581 von Giorgio Vasari in Florenz errichteten Uffizien (Ufficio = Büro), zeilenförmige Baukörper mit langen Korridoren, an denen sich Arbeitsräume für privatwirtschaftliche Verwaltungsaufgaben reihen, der früheste Vorläufer des Zellenbüros als Typus, obgleich das Original seit seiner Fertigstellung als Kunstmuseum genutzt wird. Beim Zellenbüro werden einzelne Zellen entlang eines Gangs in einer einbündigen, zweibündigen oder dreibündigen Anordnung entlang der belichteten Fassadenseiten bei einem gleichmäßigen Achsraster gruppiert. Während Inflexibilität durch feste Systemtrennwände, monofunktionale Struktur, mangelnde Integration bzw.

Abschottung, geringe Flächeneffizienz durch hohen Anteil an Verkehrs- und Konstruktionsflächen sowie lange Laufwege zu Sonderfunktionen, ungenügende Kommunikation sowie Beförderung vom „Burgdenken“ zu den Nachteilen des Einzelbüros gelten und es daher den Ansprüchen dynamischer Wissensarbeiter (flexible bereichsübergreifende Projekt- und Teamarbeit) nicht gerecht wird, werden anspruchsvolles konzentriertes und störungsfreies Arbeiten sowie individuelle Bedienung bzw. Regelung von Temperatur, Sonnenschutz und Beleuchtung als Vorteile hervorgerufen. Bei einer Raumtiefe zwischen 5,40 bis maximal 7,20 m und einem Arbeitsflächenbedarf je Mitarbeiter bei etwa 8-12 m² wird zwischen Einzelbüros (1 Person) oder Mehrpersonen-Büros (2-5 Personen) unterschieden. In neueren Bauten werden die Nutzflächen häufig so geplant, dass dem Bedarf entsprechend – Nutzungsänderungen oder Mieterwechsel – unterschiedliche Raumgrößen ausgeführt bzw. die Raumaufteilungen verändert werden können.

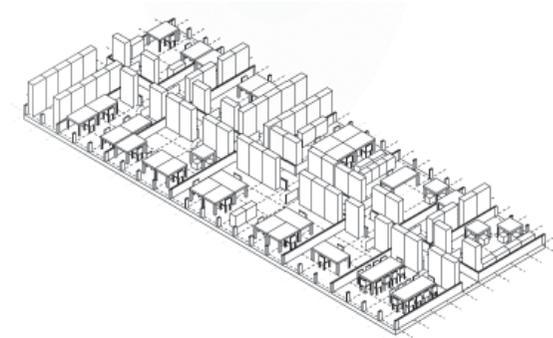


Abb. 187 Zellenbüro
Robert Uhl (2015)

Großraumbüro

Der Begriff des Großraumbüros bezeichnet einerseits das typische traditionelle nordamerikanische aber auch britische Bürohaus, welches historisch betrachtet die Prinzipien der Effizienz des Taylorismus und des Fordismus der zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts annahm, andererseits den Typus des Großraumbüros, der unter dem Einfluss der Theorien des Quickborner Team in den sechziger und siebziger Jahren in größerem Umfang in Nordeuropa verwendet wurde. Das Quickborner Team entwickelte auf der Basis von Analysen der Kommunikationsmuster und der Arbeitsbeziehungen das Konzept der Bürolandschaft, dessen Leitbild die Intensivierung der Kommunikation und Kontakte durch die Bildung von Teams mit eigenen Arbeitszonen war. Großraumbüros sind Büroräume mit mehr als 10 Arbeitsplätzen, die über 400 m² Fläche bis ein paar Tausend Quadratmeter verfügen, wobei die einzelnen Arbeitsplätze häufig durch Stellwände, Schränke oder Wandsysteme gegliedert werden. Die großdimensionierten Räumlichkeiten sollen die Kommunikation und Kooperation fördern, flexibel in der Nutzung und bei der Organisation der Arbeit sowie flächenwirtschaftlich sein. Zudem lassen sich flache Hierarchien und dezentrale Verantwortung verwirklichen.

Als Nachteile dieses Konzepts können die akustischen und visuellen Störungen, der hohe Aufwand für die künstliche Be- und Entlüftung (Klima- oder Lüftungsanlagen) und das Fehlen von Tageslicht im Rauminneren erwähnt werden. Die Raumtiefen betragen in Nordeuropa zwischen 20 und 40 m und der Mindestflächenstandard für Großraumbüros (ab 400 m²) beträgt wegen des erhöhten Anteils der Verkehrswege und des größeren Störpotentials pro Arbeitsplatz im Durchschnitt inklusive anteiliger Verkehrs- und Möbelflächen 12 – 15 m².

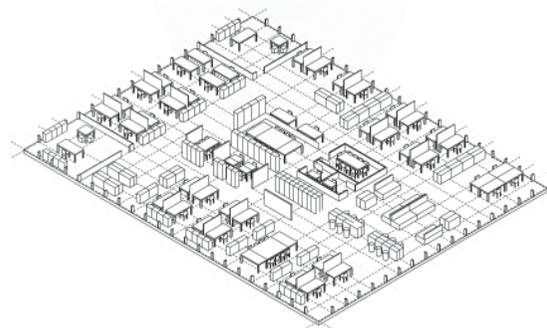


Abb. 188 Großraumbüro
Robert Uhl (2015)

Kombibüro

Das Kombibüro wurde in den 1980er Jahren in Skandinavien entwickelt und stellt den Versuch eines Kompromisses dar, die Vorteile des Großraumbüros, der vor allem in den USA und Großbritannien bevorzugt wird, mit den Vorzügen des Zellenbüros zu kombinieren und eignet sich besonders für Unternehmen, in denen sich konzentriertes Arbeiten und Projektarbeit im Team abwechseln. Um eine Kommunikationszone (Multi-funktionsfläche nebst Erschließungsfluren) mit einer Tiefe zwischen 7,20-7,80 m, in der Gemeinschaftseinrichtungen wie Kopierer, Besprechungsmöglichkeiten, Teeküche, Pausenzonen, Technik und Ablage untergebracht sind und die zugleich die Räume erschließt, gruppieren sich standardisierte Einzelbüros, so genannte „Arbeitskojen“, oder auch Mehrpersonenbüros (2,30-2,70 m breit und 3,80-4,50 m tief; Fläche von ca. 10-12 m²) mit transparenten Systemtrennwänden aus Glas entlang der Gebäudeaußenseite. Trotz Flexibilität, spontane Kommunikation, individuelle Steuerung des Raumklimas, Nutzung allgemeiner Ressourcen im Mittelbereich, standardisierte Ausstattung und gute Kundenbetreuung gilt das Kombibüro wegen des hohen Anteils an Verkehrs- und Konstruktionsflächen in seiner Reinform als flächenunwirtschaftlich. Die sogenannte

Office-Performance im Kombibüro wird nur noch vom Büroformenmix (Businessclub oder andere offene Konzepte) übertroffen. Das Kombibüro hat sich bei Neubauten fest etabliert und gilt als die zukunftsträchtigste unter den klassischen Büroorganisationsformen. Häufig zitiertes Beispiel ist die SAS (Scandinavian Airlines Systems) Hauptverwaltung in Stockholm (1987) von Niels Thorp oder das Verwaltungsgebäude der Edding AG in Ahrensburg, Deutschland von Hans Struhk.

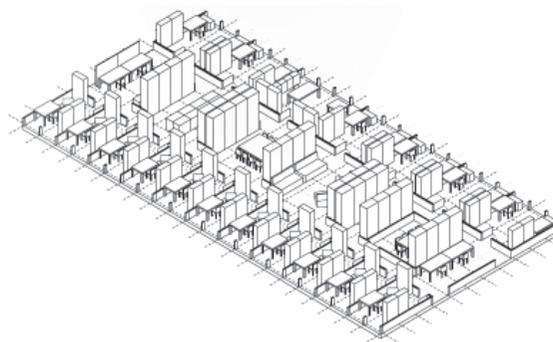


Abb. 189 Kombibüro
Robert Uhl (2015)

Gruppenbüro

Das Gruppenbüro ist eine Weiterentwicklung des Großraumgedankens. Es soll die Vorzüge des Großraumbüros hervorheben und dessen Nachteile kompensieren. Gruppenbüros unterscheiden sich vom Zellenbüro in der großzügigen Grundrissteilung, werden auf die Größe eines Teams oder einer Abteilung (drei bis 20 Arbeitsplätze) zugeschnitten und zeichnen sich durch gute Möglichkeiten für intensive Kommunikation und Kooperation der Beschäftigten aus. Ein Gruppenbüro wird in der Regel mit sogenannten Raumgliederungssystemen (Stellwände oder Schrankelemente, Teilabschirmung der Arbeitsplätze etc.) strukturiert. In Gruppenbüros wird häufig auch in zweiter Reihe möbliert, was sich auf die Gebäudetiefe (2x Büro zweireihig möbliert + 1x Flur) auswirkt. Der durchschnittliche Flächenbedarf beträgt für Arbeitsplätze in Gruppenbüros 10 - 12 m². Ein Gruppenraum verfügt üblicherweise über mindestens eine Fensterfront. Teilweise werden transparente Trennwände zum Flur bzw. zur aktiv genutzten Mittelzone eingesetzt. Die Raumtiefe beträgt meist weniger als sieben Meter. Das garantiert Tageslichteinfall, natürliche Belüftung und freien Ausblick an sämtlichen Arbeitsplätzen und sichert damit eine annähernd gleiche Qualität hinsichtlich der

Umgebungsfaktoren für alle Beschäftigten. Die Mitarbeiterakzeptanz sinkt häufig mit zunehmender Größe der Gruppen. Die akustischen und visuellen Störungen sind trotz geeigneter Maßnahmen kaum gänzlich zu beseitigen. Diese Büroform weist eine mittlere Flächeneffizienz durch einen hohen Anteil an Verkehrs- und Konstruktionsflächen auf. Häufig zitierte Beispiele sind das 1967 bis 1972 von Herman Hertzberger erbaute Bürogebäude der Centraal Beheer in Apeldoorn, die Hauptverwaltung der Colonia Versicherung in Köln von Thomas Beucker, in der Gruppen-, Einzelpersonen- und Mehrpersonenräume miteinander verwendet werden oder die Leybold Heraeus Werke von Günther Behnisch.

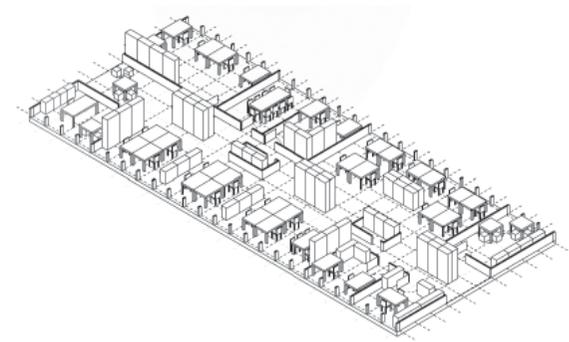


Abb. 190 Gruppenbüro
Robert Uhl (2015)

4.2.2 ALTERNATIVE BÜROKONZEPTE

Business Club

Das Konzept der Business-Clubs entstand in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts aus der Notwendigkeit, teure Bürofläche durch flexible Nutzung besser auszulasten. Als räumliches Vorbild dafür gelten sowohl die Business Lounges in Flughäfen und Bahnhöfen, die Cafés, Schreibtische und informelle Sitzgruppen nebeneinander zum Entspannen, Arbeiten und Konferieren anbieten, als auch der traditionelle britische Club, in dem es weder Schreibtische noch Büros gibt, dafür Kaminfeuer, Bibliothek und entspanntes Ambiente. Anstelle von persönlichen Arbeitsplätzen bieten Business-Clubs deshalb eine Vielfalt an Arbeitsorten, die je nach Tätigkeiten und Arbeitsstil zeitweise genutzt werden. Die Rolle des persönlichen Arbeitsplatzes als Heimat übernimmt die Mitgliedschaft in einer räumlich und sozial überschaubaren Nachbarschaft, dem Club, der sich durch informell gestaltetes Ambiente vom traditionellen Büro unterscheidet. Zu den Vorteilen zählen Flächeneffizienz, hohe Flexibilität & Anpassbarkeit an unterschiedliche Anforderungen, individuelle Steuerung von Licht / Luft, Nutzung allgemeiner Ressourcen, offener Raumeindruck, inspirierendes

Arbeitsumfeld und die Möglichkeit von Konzentration, Kommunikation sowie Kreativität. Zu den Nachteilen zählen erhöhter technischer Aufwand, eingeschränkte Privatsphäre, wenig Rückzugsmöglichkeiten, geringe individuelle Gestaltungsmöglichkeiten / geringe Identifikation sowie die Möglichkeit von Überbelegung.

Offene Bürokonzepte – Open Space oder Multispace Office

Die Büroarbeit hat sich durch ökonomische Vorgaben, erhebliche Beschleunigung in der Informations- und Kommunikationstechnologien, globale Vernetzung, neue Organisationskonzepte, Flexibilisierung der Arbeitszeiten & Arbeitsorte und zunehmende fachliche Anforderungen sowie Komplexität der Arbeitsinhalte (wissensintensive Arbeitsaufgaben) verändert, was neue Raumstrukturen erfordert. Jedes Unternehmen und jede Abteilung braucht auf Grund von wechselnden Arbeitsaufgaben, Projekten und Teamzusammensetzungen seine eigenen, spezifischen, wandelbaren, variablen Büroflächen und Raumstrukturen. Anhand von Nutzeranalysen (Aufgaben und Prozessen sowie Führungs- und Teamstruktur) können Bürolandschaften zusammengestellt werden, die auf die jeweiligen Bedürfnisse der Mitarbeiter einer Abteilung / Firma reagieren und für die diversifizierten Ansprüche moderner Wissensarbeiter gut geeignet sind. Das Open Space Büro ist eine Weiterentwicklung des Großraumbüros. In sinnvolle Teilgrößen strukturiert und ergänzt, durch ein breites Angebot an Kommunikationsflächen wie z.B. Lounges oder

Kaffeebars, funktionalen Zusatzangeboten wie z.B. Team-Zone, Think Tank und der Möglichkeit von temporären Sonderarbeitsformen, bildet das heutige Open Space Büro hohe Flexibilität in der Grundrißgestaltung und eine extrem hohe Flächeneffizienz. Zu den Vorteilen dieses Konzepts zählen auch: kurze Wege zu infrastrukturellen Einrichtungen, kurze Abstimmungswege, Möglichkeit der spontanen Kommunikation (dynamische Arbeitsprozesse) und das Büro wird zum Erlebnisraum. Vor allem in Branchen, in denen die interne Wissensweitergabe wie auch Kreativität und Kommunikation eine essentielle Rolle spielen, können Open Space Konzepte eine attraktive Arbeitsumgebung schaffen. Da gibt es einen kleinen, abgeteilten Konferenzraum für die Meetings, eine schallgeschützte Ecke für wichtige Kundentelefonate, eine Sitzgruppe für die kurzfristige Abstimmung eines Projekts und die ganz normalen Schreibtische für die Arbeit am Computer. Andere Zonen haben viele Pflanzen, die sich um Besprechungstische gruppieren. Und wieder andere Teile sind so flexibel, dass man sich eine kleine Kommunikationswerkstatt aufbauen kann. Fürs konzentriertes Arbeiten gibt es auch Bereiche, in denen Sprechen und Telefonieren verboten sind. Das Open Space Büro benötigt tiefe

Grundrisse, in denen neben den beiden Büroflächen entlang der Fassade, die teilweise dreireihig möbliert werden, eine zusätzliche Mittelzone nebst Erschließungsfluren eingeplant werden muss (2x Büro + 1x Multifunktionszone + 2x Flur). Als Nachteil sind die großen akustischen und visuellen Störungen zu nennen, was die Umsetzung entsprechender Gegenmaßnahmen erforderlich macht.

Reversibles Büro

Das reversible Büro, auch Lean Office genannt, schafft ein kommunikationsförderndes Umfeld und stellt organisatorisch Möglichkeiten zur Verfügung, die sich an wechselnden Abläufen orientieren. Daraus ergibt sich ein unternehmensspezifisches Büroraumkonzept in das Team- und Einzelarbeit integriert werden. Es handelt sich um eine Art von Großraumbüro, das flexible Arbeitsplätze mit Club-Charakter bietet. Hinsichtlich der Dynamik eines Unternehmens bietet das reversible Büro in Bezug auf die Gebäudestruktur ein Maximum an Variabilität und Flexibilität durch standardisierte Grundausstattung. Es geht dabei um die Möglichkeit innerhalb eines Bürogebäudes oder auch eines Geschosses völlig unterschiedliche Büroraumformen – offene und geschlossene Raumstrukturen – wie das Zellen-, Gruppen- oder Kombibüro zu verwirklichen und gleichzeitig eine effektive Flächennutzung zu ermöglichen. Unabhängig von Bauform und Bauphase können die Büroformen vor- und während der Nutzung schnell und mit geringem Aufwand an die jeweiligen Anforderungen und Bedingungen angepasst und verändert werden. Feste Wände sind in solchen Büros die Ausnahme. Akustische und raumbildende Funktionen übernehmen Raumgliederungs- oder

Trennwandsysteme. Diese lassen sich flexibel aufstellen, sodass abgeschirmte Räume für Einzelarbeit, Räume für Arbeitsgruppen bis hin zu Besprechungs- und Kurzpausenzonen (Kommunikation) entstehen können. An Stelle eines persönlichen Arbeitsplatzes kommt eine Vielfalt von Arbeitsplätzen (Sitz- und Steharbeitsplätze sowie Ruhebereiche), an die sich die betreffende Person begibt, wenn sie eine bestimmte Arbeit ausführt, also keine fest zugeordneten Arbeitsplätze mehr. Damit es funktioniert und keine Konflikte entstehen, müsste das Unternehmen Regeln erstellen, wie man die begehrten Arbeitsplätze für alle Mitarbeiter entsprechend der Arbeitsabläufe gleichwertig zugänglich machen kann. Die Arbeitsabläufe der einzelnen Mitarbeiter müssten untereinander sinnvoll abgestimmt werden, etwa durch moderne Informations- und Kommunikationsmittel. Trotz höheren Investitionskosten, etwa durch die hohe technische Vorhaltung, großem Raumbedarf und großer Geschoßhöhe, ist das reversible Büro besonders für Investorenprojekte geeignet, bei denen der künftige Nutzer noch nicht feststeht, aber auch für Unternehmen, die sich dauerhaft auf eine Organisationsform nicht festlegen können. Das reversible Büro wird, kombiniert mit einem non-territorialen

Konzept, als Ideallösung für Neubauten gesehen.

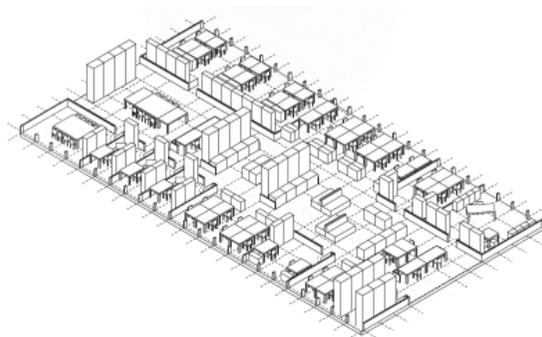


Abb. 191 Reversibles Büro
Robert Uhl (2015)

Non-Territoriales Büro

Beim Konzept des non-territorialen Büros handelt es sich um Büroräume ohne oder mit nur teilweise fester Belegung durch persönlich zugewiesene Arbeitsplätze bzw. Arbeitsgruppen. Bei dieser Büroform stehen die meisten Arbeitsplätze allen Beschäftigten zur Verfügung und werden entweder nach fachlichem Bedarf oder nach Anwesenheit zugewiesen. Die Anzahl der Arbeitsplätze ist geringer als die der Mitarbeiter. Damit ist das Non-territorial Office eine spezielle Form des Desk-Sharing. Mit der Einführung des Non-territorialen Büros kann eine Flächenreduzierung bis zu 60% bei Einbeziehung aller Mitarbeiter erreicht werden. Diese Flächen können als Kommunikationszonen verwendet werden. Ausgestattet mit einem persönlichen Rollcontainer (Tender) wählen die Mitarbeiter ihren Arbeitsplatz nach der jeweiligen Aufgabe aus. Von diesem Konzept verspricht man sich hohe Raumflexibilität und Flächenwirtschaftlichkeit sowie gute Teamkommunikation. Zu den Nachteilen zählen visuelle und akustische Störungen sowie Verlust des persönlichen Arbeitsplatzes. Für das „Non-territorial Office“ sind transparente und offene Bürostrukturen (Gruppenbüro, Kombi-Büro) zu empfehlen, da die Kommunikation der Mitarbeiter von diesen Raumformen eher unterstützt wird.

Im „Non-territorial Office“ werden unterschiedliche Arbeitsplatz-Typen vorgesehen: abgeschirmte Einzelarbeitsplätze, Teamarbeitsbereiche, Plätze für informelle Kommunikation in den Begegnungsbereichen oder Denk-Arbeitsplätzen in den Denker-Zellen. Beim Desk Sharing werden geeignete Steuerungs- und Planungsinstrumente benötigt, um die Belegung der Arbeitsplätze organisieren zu können. Desk Sharing setzt eine gut ausgebaute und funktionierende Informations- und Kommunikationstechnologie (zum Beispiel Netzwerk, Dokumentationssystem) voraus.

4.2.3 ZWISCHENFAZIT

Die Bürowelt hat sich, durch die phasenweise rasante technische Entwicklung der Arbeits- und Kommunikationsmittel, Verflüssigung ökonomischer Strukturen (befristete oder projektgebundene Verträge), die vielfältigen Bemühungen um eine Humanisierung und um eine zeitgemäße Organisation der Büroarbeit sowie die veränderten Wertvorstellungen einer Generation von „digital natives“, für die globale Mobilität, soziale Netzwerke und eine veränderte „work-life-balance“ Selbstverständlichkeiten sind, verändert.

Die Arbeitsweisen haben sich aufgrund komplexer dynamisch veränderlicher Aufgaben, Leistungsdruck und Arbeitsdichte, höheren Abstimmungsbedarfs, technologischen Fortschritts, technologischer Infrastruktur, internationaler Zusammenarbeit, Kundenservice vor Ort, firmenübergreifender Zusammenarbeit (interne und externe Unternehmensgrenzen werden löchriger) sowie vermehrter Auszeiten verändert. Heute sind Wissensarbeit und Kreativität gefragt, die mehr Kompetenz, Selbstorganisation und Verantwortlichkeit erfordern. Beschleunigung und Globalisierung prägen zunehmend den Arbeitsalltag. Büroarbeit wird hyperflexibel, multilokal, individuell, bildschirmorientiert, netzwerkartig und nachhaltig.

Die Integration von Arbeit und Freizeit wird sich weiter verbreiten. Da die Arbeit weiterhin nicht papierlos sein wird und Rituale braucht, wird das Büro der Zukunft ein unverzichtbarer Koordinations- und Knotenpunkt der Wissensarbeit - sozial nutzbarer Bereich, der den offenen Austausch ermöglicht - sein.

An die Stelle des eigenen und persönlichen Arbeitsplatzes tritt eine eigene „Bürolandschaft“ mit unterschiedlichen Angeboten für unterschiedliche Tätigkeiten. Büroraumkonzepte müssen entsprechend dem Organisationsbedarf und nach einer intensiven und kontinuierlichen Analyse der Arbeitsabläufe aller Mitarbeiter und des Managements immer neu auf die individuellen Bedürfnisse der Nutzer abgestimmt werden. Dabei werden technisch-funktionale Aspekte, Fragen der Effizienz, Vielfalt und Ökonomie sowie empirisch nachweisbaren und quantifizierbaren menschlichen Bedürfnisse – ergonomische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen – berücksichtigt. Bei der Einrichtung von Büros sind hybride Organisationsformen gefragt. Statt Schränke, Regale, Hängeregistaturen und Schubladenkästen, sind heute Schließfächer und mobile Trolleys gefragt. Außerdem sollen bei der Gestaltung von Büros die emotionalen und sozialen

Bedürfnisse nach Individualität, Privatsphäre und Rückzugsmöglichkeit im Vordergrund stehen, um die Zufriedenheit und das Wohlbefinden zu erhöhen. Das Büro soll als abwechslungsreicher, anregender und inspirierender Arbeitsplatz gestaltet werden, der als Ort der temporären Entspannung, der konzentrierten Einzelarbeit oder der informellen Besprechung dienen kann.

Für das zukünftige Büro kristallisieren sich drei Kernbereiche in einer Arbeitslandschaft heraus: ruhige Orte für konzentriertes Arbeiten, Kommunikationsbereiche zum intensiven Gespräch in kleiner Runde und Ruhezonen zum informellen Austausch. Die Anforderungen an Raumorganisationen sind kleinteiliger, variabler und transparenter als in herkömmlichen Büros, sodass das bestehende „System Büro“ verfeinert werden soll. Raumstrukturen sollen elastisch, multifunktional und so flexibel sein, dass bei einer Umnutzung der Umbau ohne größeren Aufwand realisierbar ist. Es geht um ein Zusammenspiel von mehreren klassischen Raumorganisationsprinzipien. Das Zellenbüro wird mit mehr Transparenz und Licht, attraktiven Verkäuflichkeiten, Austauschflächen zur freien Gestaltung, ergänzende Arbeitsplatzmöglichkeit sowie Rückzugsflächen ergänzt.

5 „BIM“ GEBÄUDEDATENMODELLIERUNG

5.1 ALLGEMEINES

Die Arbeitsweise im architektonischen Entwurf hat sich seit den ersten Baumeistern kaum verändert. Die Möglichkeiten der Computertechnologie wurden im Falle des architektonischen Entwurfes nur für eine Übersetzung des Reißbrettes auf den Bildschirm genutzt. Die Abläufe wie das Erstellen und Nachführen von Grundrissen, Ansichten, Schnitten und Details sind dennoch gleich geblieben. Durch die neuen Anforderungen zum Nachweis der statischen, bauphysikalischen, energetischen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit von Gebäuden wird der Planungsprozess technisch immer komplexer. Seit fünf Jahren, etwa zehn Jahre nach der endgültigen Ablösung von Tuschenstift und Zeichenbrett durch CAD-Systeme (Computer Aided Design, auch Drawing) ist eine weitere Veränderung in der Bauplanungsmethodik durch BIM im Gange. BIM, ausformuliert «Building Information Modeling» oder auf Deutsch Gebäudedatenmodellierung, ist eine modellbasierte Planungsmethode. Die Basis bildet ein integrales digitales 3D-Gebäudemodell aus attribuierten Bauteilen (Kombination von 3D-Geometrie mit alphanumerischer Information, sogenannte BIM Objekte), das als

konsistenter und jederzeit abrufbarer Datenpool (Verknüpfung der heterogenen, komplexen Datenmengen aller beteiligten Disziplinen) von der Planungs- und Bauphase bis zur späteren Nutzungszeit von allen Beteiligten verwendet und adaptiert werden kann. Im Modell werden die räumliche Abbildung des Gebäudes, Bauteile und Attribute (z.B. Bauteiltyp, verwendete Materialien, bauphysikalische Eigenschaften, Ausstattung und Kosten) abgebildet und verwaltet. Die parametrischen Objekte können – je nach Projektphase – vage und undefiniert, generisch oder produktspezifisch sein, solide Formen oder offene Formen haben, wie Räume, konzeptionell und abstrakt sein oder es können detaillierte Konstruktionselemente sein. Die Objekte beinhalten die relevanten Produkteigenschaften sowie deren Beziehungen bzw. Relationen zueinander und erneuern sich gemäß ihrer eingebetteten Regeln selbst, wenn sich die zugeordneten Objekte ändern: Am Beispiel einer Wand wären ihre Höhe, ihre Dicke und das verwendete Material Basisparameter, erweiterte Eigenschaften wären z.B. ihre Tragfähigkeit, Feuerwiderstandsklasse und Oberflächenbeschaffenheit.



Abb. 192 3D Fassadenschnitt aus Revit dar al-handasah Projekt, Verfasser (2016)

BIM ist ein Führungsinstrument und eine Zusammenarbeitsmethode mit Mehrwert in den Bereichen Architektur, Gebäudetechnik, Facility-Management und Betriebsplanung. Es hat einen positiven Einfluss auf die laufende Aktualisierung des Planungsstands in Bezug auf Qualität, Funktionalität, Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz, Nachhaltigkeit, Kosten und Realisierungszeit. Die Daten ermöglichen Analysen, Simulationen, Prognosen, Verifizierungen und Validierungen. Gebaut wird anschließend nach dem getesteten Modell. Nach der Bauübergabe steht das 3-D-BIM mit allen notwendigen Informationen für die Bewirtschaftung und das Facility-Management zur Verfügung, von der strategischen Raumplanung über das Energiemanagement bis zur Unterhaltsplanung. Mit BIM wird die Exploration von Alternativen stark vereinfacht und die Prüfung der Anforderungen am virtuellen Gebäude möglich. Neben Kollisionsprüfungen etwa zwischen Haustechnikleitungen und Tragwerkselementen ist beispielsweise auch die Überprüfung der Qualität der Modelle – Untersuchung der Zulässigkeit von Fluchtwegen, Behindertengerechtigkeit des Entwurfs oder ob der Modellaustausch zwischen Architekt und Bauingenieur die notwendigen oder korrekten Informationen enthält – durchführbar.

Auch computergestützte Simulationen, etwa zum Tragwerksverhalten, zu Raumtemperatursimulationen oder Energieberechnungen, Simulationen von Tages- oder Kunstlicht lassen sich aus dem 3D-Modell heraus erstellen lassen. Das dreidimensionale Gebäudedatenmodell erlaubt es, automatisch konsistente Views und Zeichnungen abzuleiten. Es können ansprechende fotorealistische perspektivische Renderings, Planungsvarianten, verschiedenen Ausstattungsvarianten, virtuelle Rundgänge, 3D-Schnitten bzw. Ansichten oder Explosionszeichnungen der Konstruktion und Struktur des Gebäudes erstellt werden. In der Praxis wird die Visualisierung vom Entwurf im Modellbereich getrennt und in speziellen Anwendungen nachmodelliert. Bei einer genauen Modellierung ist es jedoch auch möglich, den Entwurf in andere Programme wie 3D Max zu exportieren und dort zu rendern.

Abb. 193 Kollisionsprüfung im Revit. Eingblendet sind Architektur, links des Tragwerks (blau) sowie HLK
dar al-handasah Projekt, Verfasser (2017)



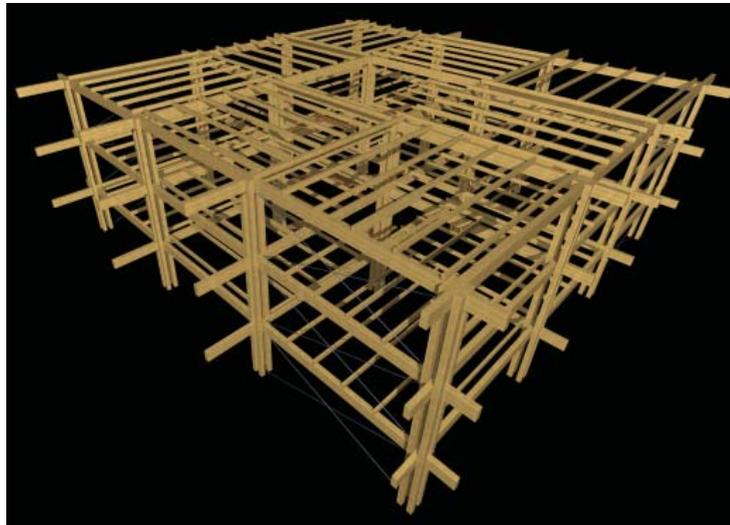


Abb. 194-195 3D Darstellung der Tragstruktur aus ArchiCAD
Verfasser (2009, 2017)

Die Modelldaten der Einzelobjekte können in Listen und Tabellen ausgegeben werden, was eine Massen- und Mengenermittlung sowie Materialbestellungen und Materialverfolgungen ermöglicht. Das setzt voraus, dass diese Elemente modelliert werden und ein phasengerechter Grad der Detaillierung und Entwicklung vorhanden ist. Außerdem können komplexe Formen parametrisch gesteuert erzeugt werden. Das digitale Modell hilft, Schnittstellen mit den Fachplanern zu erkennen und zu visualisieren, löst jedoch die bewährte Entwurfs- und Konstruktionslogik nicht ab. Die Lösungen müssen in interdisziplinären Fachplanersitzungen „ICE (Integrated Concurrent Engineering)-Sessions“ entwickelt werden. Das digitale Bau-

werksmodell kann unabhängig von der jeweiligen Größe und Objektart genutzt werden. Entscheidend ist der Detaillierungsgrad (Umfang und Tiefe der Informationen, die mit dem Modell verknüpft werden), da die Ziele der Anwendung der BIM-Methode von Projekt zu Projekt sehr unterschiedlich sind. BIM ist ein Dokumentationstool, das von der Kreativität und dem Gestaltungsprozess entkoppelt ist. Die Werkzeuge sollten nur so weit eingesetzt werden, dass man im Entwurf nicht behindert wird. Das architektonische Gesamtwerk darf ebenso nicht durch irgendwelche Bauteilkataloge – Schubkastensystem – zerstückelt werden. Der Prozess soll vielmehr dazu dienen, ein gesamthaftes, integriertes Gebäude zu gewinnen.



Abb. 196 Deckenkonstruktion aus ArchiCAD
Verfasser (2009)

Die ersten Ansätze eines Gebäudedatenmodells stammen von der ursprünglich ungarischen Softwarefirma Graphisoft aus den 1980er Jahren, die in ihrer Anwendung ArchiCAD sich von der herkömmlichen 2D-Plangrafik lösten und dreidimensionale Gebäudemodelle zur Extraktion von Plandaten nutzten. Das Grundkonstruktionskonzept wurde später von anderen Herstellern übernommen und etablierte sich erst in den letzten Jahren als virtuelles Gebäudemodell im Architekturbereich. Derzeit sind verschiedene BIM Anwendungen mit unterschiedlichen Konzepten verbreitet. Dazu zählen Autodesk Revit (Revit Architecture, Revit-Building und RevitMEP), Bentley Architecture und ArchiCAD, wo der BIM-Ansatz am progressivsten umgesetzt wird.

In den USA, Skandinavien, Australien, Singapur, Dänemark, Niederlanden und Großbritannien setzte sich die Planung mit BIM bereits durch und wird seitens des Gesetzgebers gefordert und gefördert, während die Einführung dieser integrierten Planungsmethode in Deutschland, Frankreich, Österreich und der Schweiz in der Baupraxis erst bei großen Unternehmen an Bedeutung gewinnt. Mit Ausnahme einiger innovativer Bauunternehmer und Generalplaner sowie vereinzelter Pilotprojekte, führen kleine

Architektur- und Ingenieurbüros ihre traditionellen Planungs- und Konstruktionsmethoden weiter. Außerdem schöpfen die Planer die Potenziale ihrer erworbenen modellorientierten CAD- Systemen nur zu einem geringen Teil aus und setzen sie oft nur für dreidimensionale Planung ein. Um bei komplexen Großprojekten international wettbewerbsfähig zu sein, müssen die integrierte Arbeitsweise sowie der Einsatz digitaler Planungsmittel verstärkt werden.

Die Software kommt aber in der Kommunikation zwischen Architekt und anderen Fachplanern an ihre Grenzen, da der Datenaustausch nicht immer optimal funktioniert; zu detaillierte 3-D-Modelle der Fachplaner sowie Inkompatibilität zwischen den verschiedenen Programmen (die meisten BIM – Modelle funktionieren hauptsächlich CAD intern). Sinnvoll wäre es auch, wenn das System eine gewisse Flexibilität und Reaktionsfähigkeit ermöglicht.

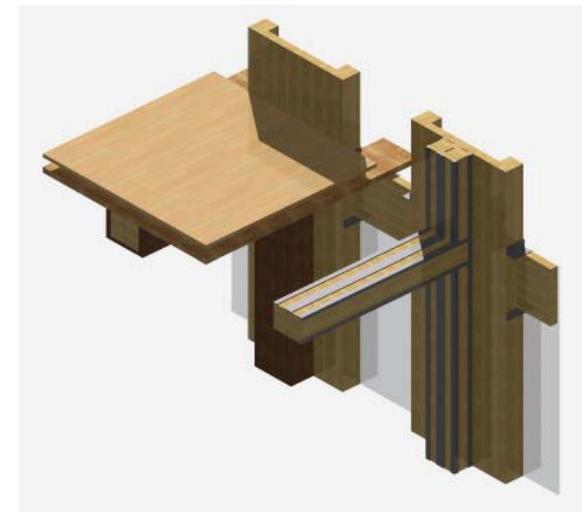


Abb. 197-198 Gebäudestrukturen aus ArchiCAD
Verfasser (2009)

Dass die 3-D-basierte Planung bei den Architektur- und Ingenieurbüros einen zeichnerischen Mehraufwand mit sich bringt, muss angezweifelt werden. Der Mehr Aufwand bei der primären Eingabe der Gebäudegeometrie im Entwurfsstadium rechnet sich in den späteren Phasen bei Änderungen oder beim Planwechsel zur Einreich- oder Polierplanung. Außerdem ermöglichen intelligente Darstellungsmöglichkeiten eine exakte, in sich konsistente und der jeweiligen Landesnorm angepasster Plandarstellung von der Entwurfs- bis zur Ausführungsplanung und ihren jeweiligen Maßstäben. Anmerken muss man aber, dass mit den BIM-Möglichkeiten ein neuer Komplexitäts- und Entwicklungsschub entsteht. Die neuen Rollen und Verantwortlichkeiten im Planungsteam müssen geklärt werden, die Plangrafik und der Planstandard müssen mit zwingender Logik vorweg entwickelt werden und die Bauteilverknüpfungen konsequent aufgestellt sein. Dies erfordert oft die Anstellung einer BIM-ManagerIn, sodass der kreative Entwurfprozess nicht durch die Informationsflut an Daten negativ beeinflusst wird. Zudem müssen wir die Gebäudeplanung einfacher und insbesondere integrierter denken, ein Gebäude als System oder Produkt begreifen.

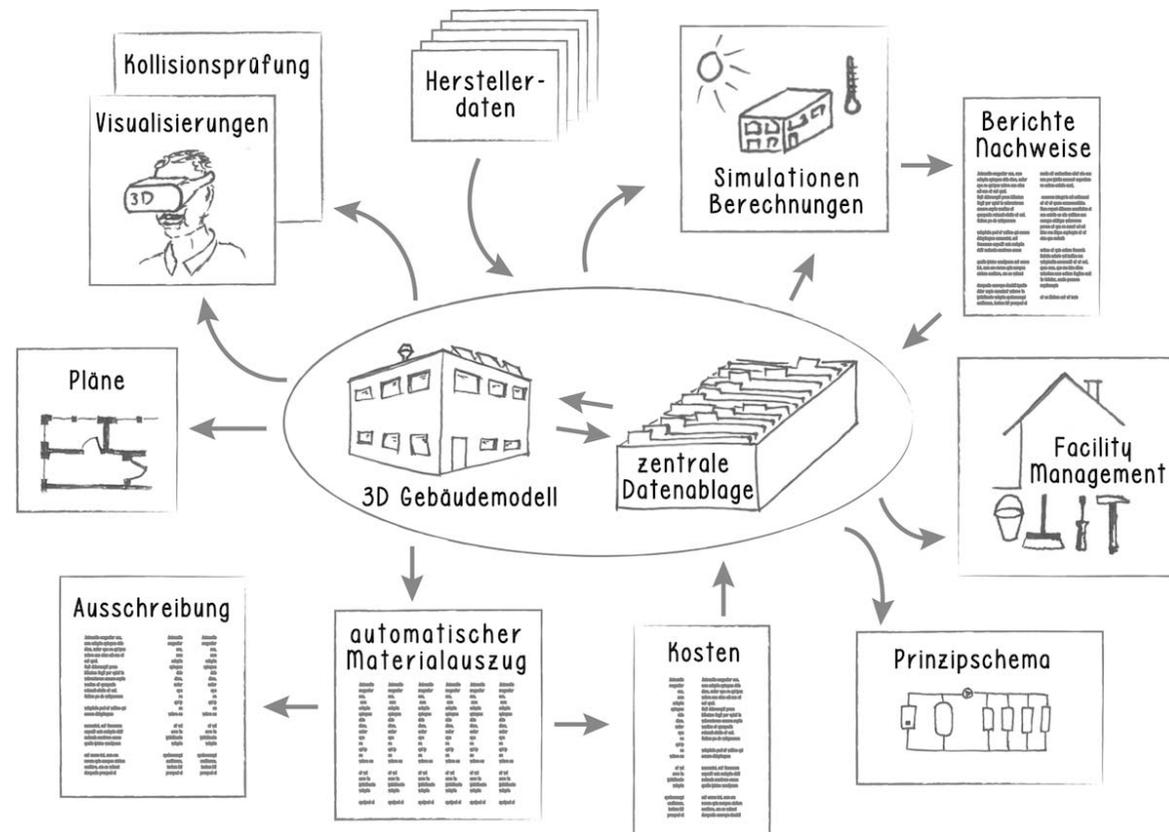


Abb. 199 Erweitertes Informationsmodell und Formen der Datenverarbeitung und -darstellung
 espazium AG / TEC21 (2015)

5.2 „BIM“ IN DEN PLANUNGSPHASEN WETTBEWERB, KONZEPTION UND ENTWURF

Die Methode BIM hat nicht nur einen positiven Einfluss auf die Ausführungsplanung und das Facility Management, sie beeinflusst auch die Planungsphasen Konzeption und Entwurf. Auch im Wettbewerbswesen kann BIM den Entwurfsprozess unterstützen. Wesentlich dabei ist eine klare Definition der Ziele, da der Entwurf eines Gebäudes ein iterativer Prozess ist und man sich beim Wettbewerbsentwurf, oft gleichzeitig, auf unterschiedlichen Maßstabsebenen, vom Städtebau bis ins Gebäudedetail (z.B. Untersuchungen zur Materialisierung einer Fassade bis ins LOD 400), bewegt (Wechselwirkung von grob zu fein und umgekehrt). BIM geht aber von einer progressiven Vertiefung der Detaillierung aus (LOD 100 bis 500); summarisch anfangen und dann ins Detail gehen. LOD 100 (Level of Development): festlegung der Geometrie und Anordnung der Räume. Erst in Folge die genaue Ausarbeitung der Dimensionen von Bauteilen sowie die Materialisierung. Die Planung / Gebäudeentwicklung folgt aber nicht immer diesem Schema: detaillierte Ausschnitte im Vorentwurf lange bevor die Kubatur des Gebäudes festgelegt ist.

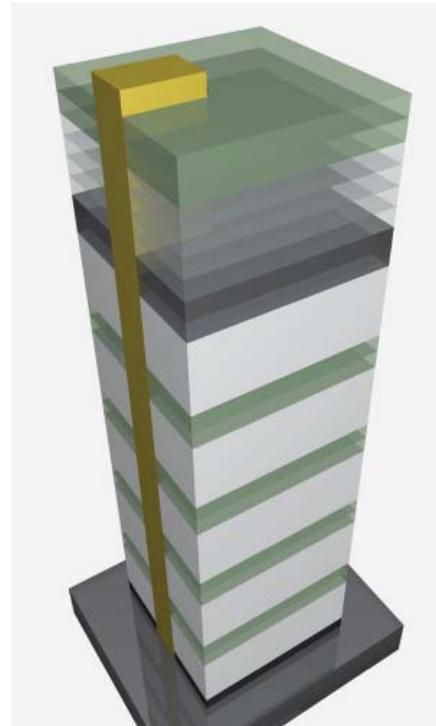
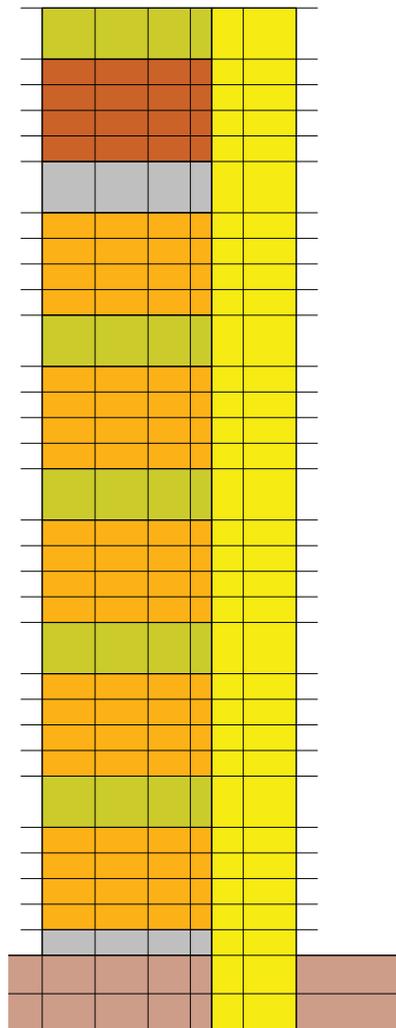
Da Entwurf und Planung, wie bereits erwähnt, kein linearer Vorgang ist, stellt BIM bei der Konzepterstellung nur eine Ergänzung zu den konventionellen, teils überlegenen Werkzeugen wie etwa Skizzen, Zeichnungen oder Architekturmodelle dar und kann etwa zur Koordination der Projektdaten eingesetzt werden. Die Wahl des jeweils passenden Werkzeuges zur Formulierung und Ausarbeitung der architektonischen Idee und vor allem, wie und wann es eingesetzt wird, muss genau überlegt sein. Sowohl bei physischen als auch bei digitalen 3-D-Modellen ist zwischen Arbeitsmodell und Präsentationsmodell zu unterscheiden, sodass auch ein digitales Gebäudemodell lebendiges Entwurfswerkzeug und Dokumentationsinstrument zugleich sein kann. Das digitale Modell ist nicht der beste Ort für schnelle und präzise Untersuchungen von Licht und Material oder das Evaluieren von Optionen zu abgegrenzten Themen. Es ist auch schwer grundlegend verschiedene Optionen gleichzeitig zu verfolgen, während BIM konzeptionell darauf abzielt, den einen koordinierten Stand des Modells zu beschreiben. Über reine Raummodelle, die

sinnvollerweise nur die nötigen Informationen enthalten, können jedoch Kenngrößen wie zum Beispiel «Hauptnutzfläche zu Geschossfläche» festgestellt oder die architektonische Wirkung geprüft werden.

In der Praxis wird verlangt, dass zum Wettbewerbsentwurf ein Energienachweis und manchmal Tragwerks- bzw. Haustechnikkonzept und ein behördlicher Brandschutznachweis erbracht sind, was ein hoher Detaillierungsgrad nach sich zieht. Die Anwendung von BIM bereits im Wettbewerb birgt die Gefahr, dass der Bauherr zu viel erwartet und dass der Aufwand beliebig groß werden kann. Sinnvoll ist es im ersten Stadium, Handskizzen anzufertigen und anschließend im virtuellen Arbeitsraum zu fixieren, ohne unnötig ins Detail zu gehen. Auch während den nächsten Planungsphasen besteht die Gefahr, dass unzählige Varianten und Änderungen verlangt werden.

5.3 BEISPIEL

Konzeption eines 40 geschossigen Hochhauses (Beton / Stahl / Holz) unter Verwendung von ArchiCAD



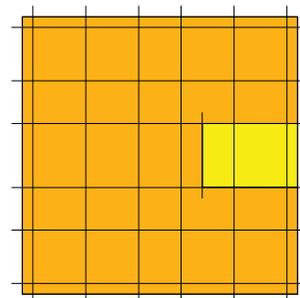
Hochhaus mit Büro- und Wohnnutzung

4 geschossige Büroeinheiten mit dazwischenliegender grüner Doppelgeschoss.

Wohnnutzung in den obersten Geschossen sowie ein Veranstaltungszentrum im letzten Doppelgeschoss.

Abmessungen: 39 X 39 m.

Vorhangfassade, Fassadenraster: 1,5 m.



- Einganglobby
- Technik
- Büros
- Wohnen
- Erschließung
- Grünräume

Abb. 200 Nutzungsschema / Massenmodell
Verfasser (2012)

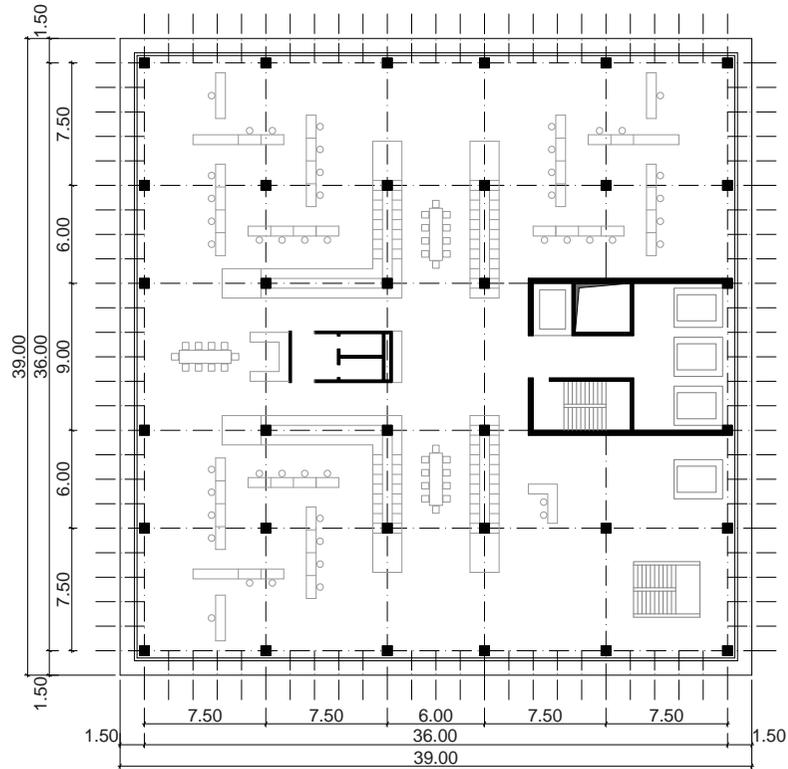


Abb. 201 Grundriss Bürogeschoss
Verfasser (2012)

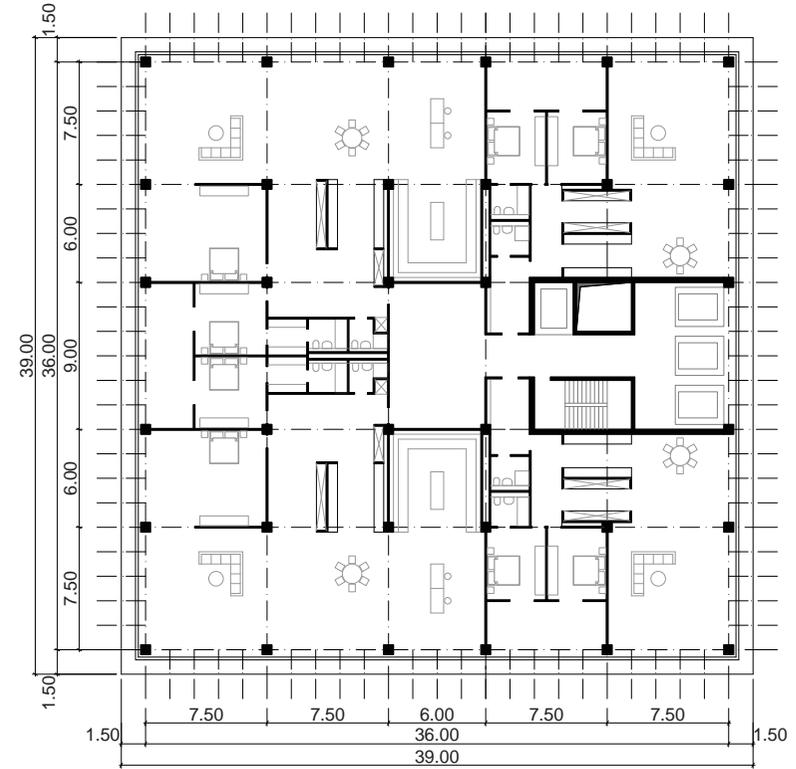


Abb. 202 Grundriss Wohnen
Verfasser (2012)

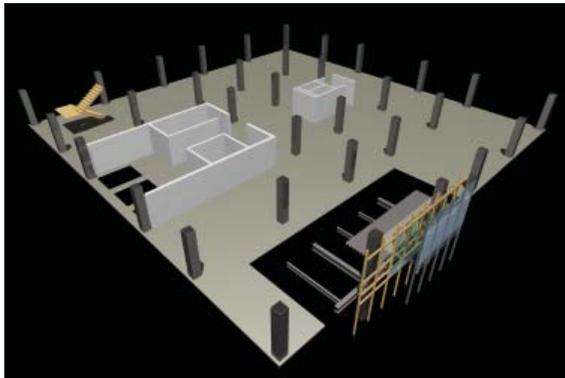


Abb. 203 Tragstruktur; massiver Erschließungskern,
Verbundstützen sowie eine Stahl-Beton-Verbund-
decke
Verfasser (2012)

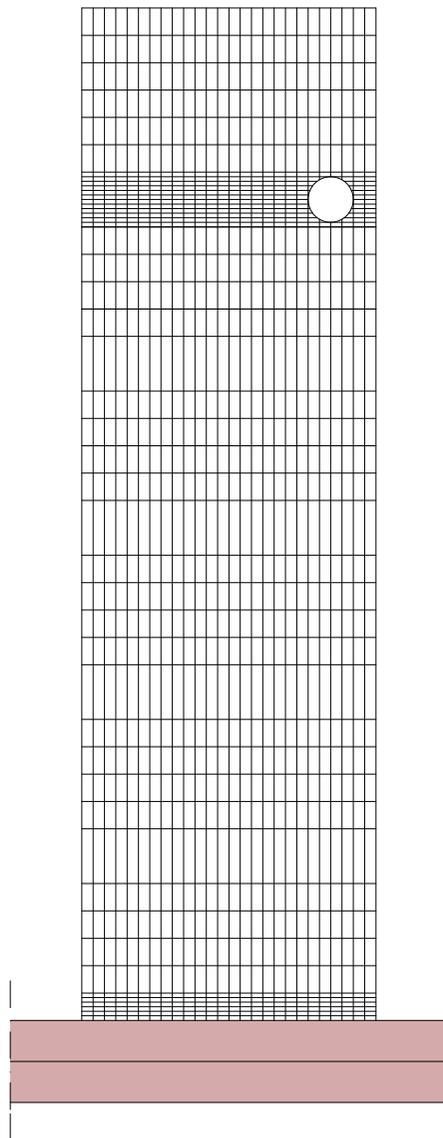


Abb. 204 Südansicht
Verfasser (2012)

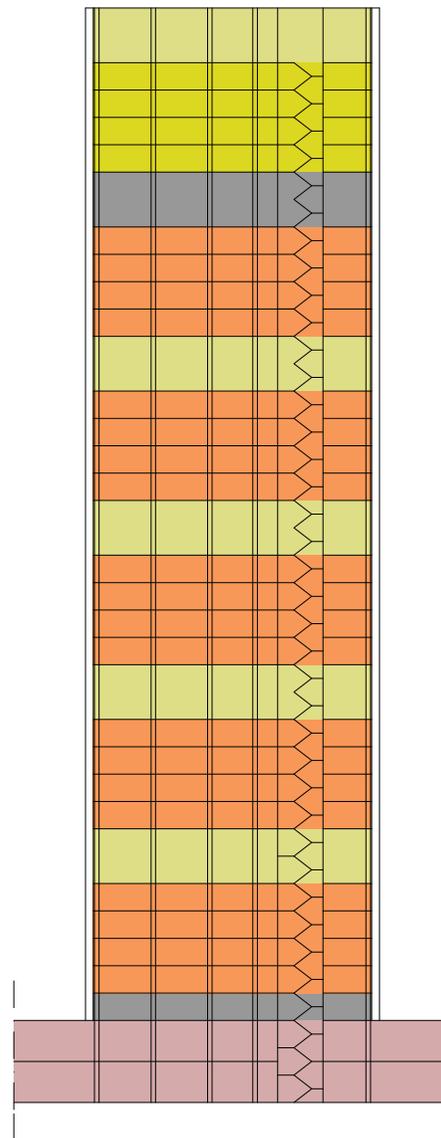


Abb. 205 Funktionsschnitt
Verfasser (2012)

- Sky-Garten / Veranstaltungszentrum
- Wohnen
- Technikgeschoss
- Bürogesschoss
- Lobby

Das 40 geschossige Hochhaus ist ein Aufeinanderichten von 4 geschossigen Einheiten mit dazwischenliegenden Doppelgeschossen als Himmelsgärten und einem quadratischen Grundriss mit massivem Erschließungskern im Norden, der gleichzeitig die horizontale Aussteifung des Gebäudes übernimmt. In den obersten Geschossen ist eine Wohnnutzung vorgesehen, die von den Büros durch ein Technikgeschoss getrennt ist. Das Tragwerk besteht aus Verbundstützen– Pendelstützen – mit einem Achsraster von 6, 7,5 u. 9 m. sowie eine Stahl-Beton-Verbunddecke. Die Vorhangfassade ist eine Zweite-Haut-Fassade: Innere Haut ist eine Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Holz mit Zweifach-Isolierverglasung und eingebauten Fenstern, Außenhaut besteht aus rahmenlosen, drehbaren Glaslamellen. Im Winter dient die Außenhaut als Wärmepuffer, im Sommer funktioniert sie wie eine einschalige Fassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

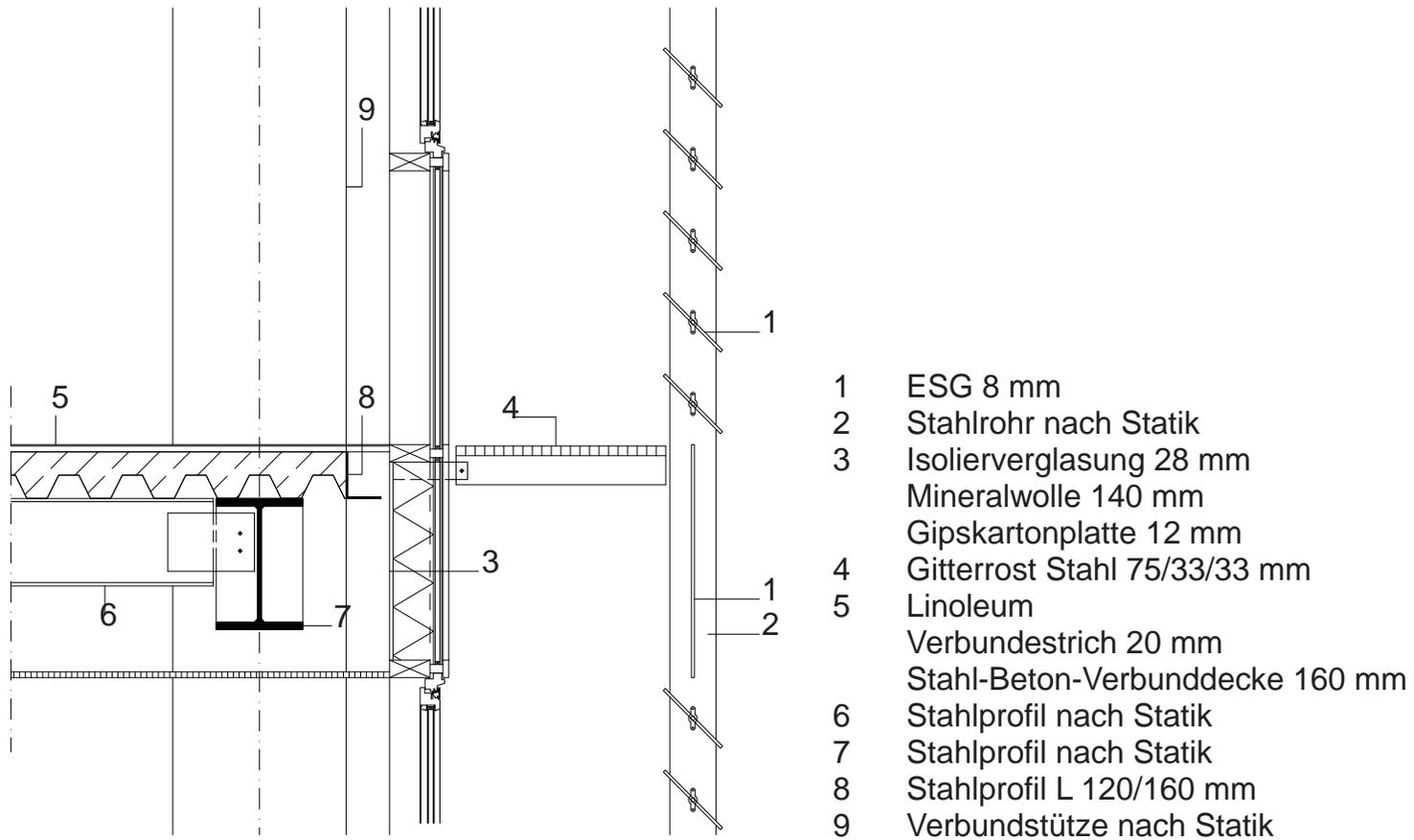


Abb. 206 Fassadenschnitt, Anschluss Fassade an das Deckensystem
 Verfasser (2012)

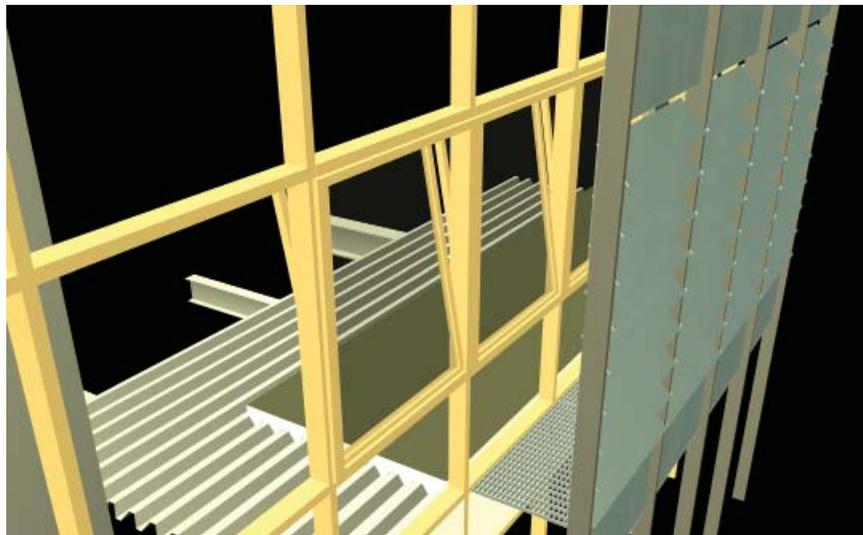
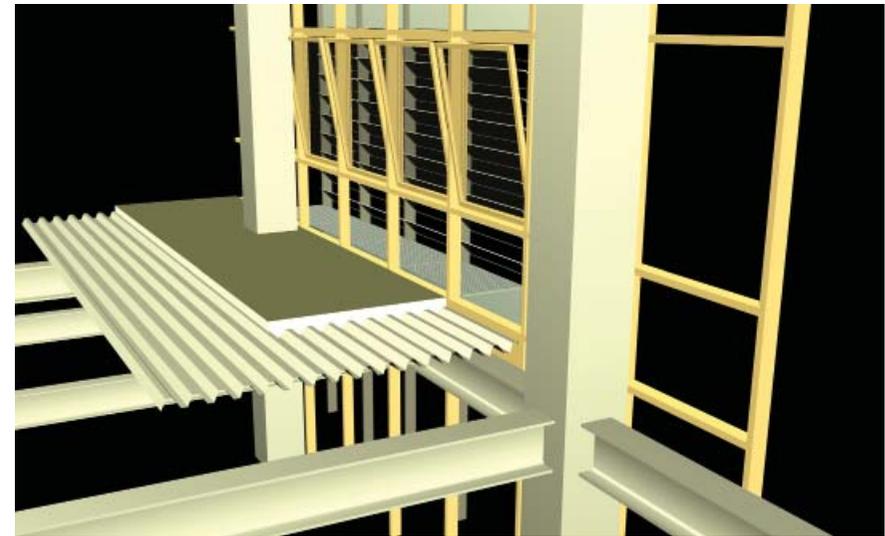
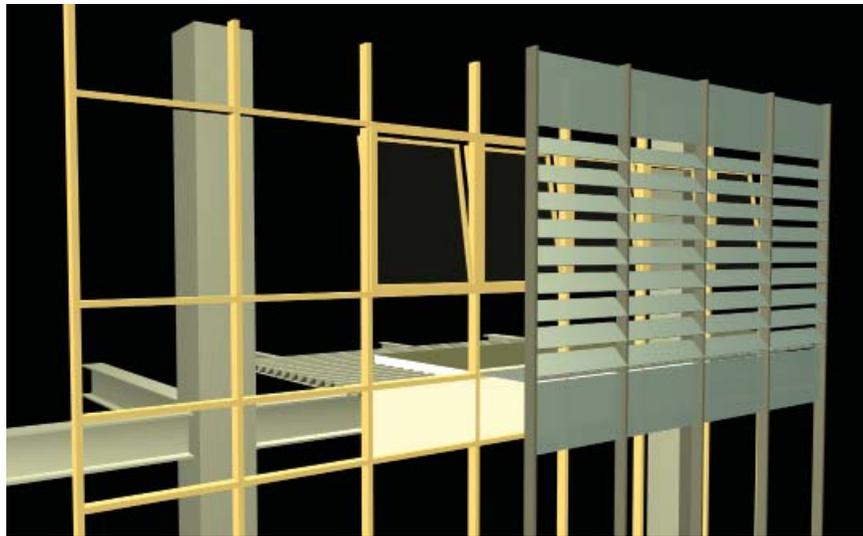


Abb. 207-210 3D-Schnitte
Verfasser (2012)

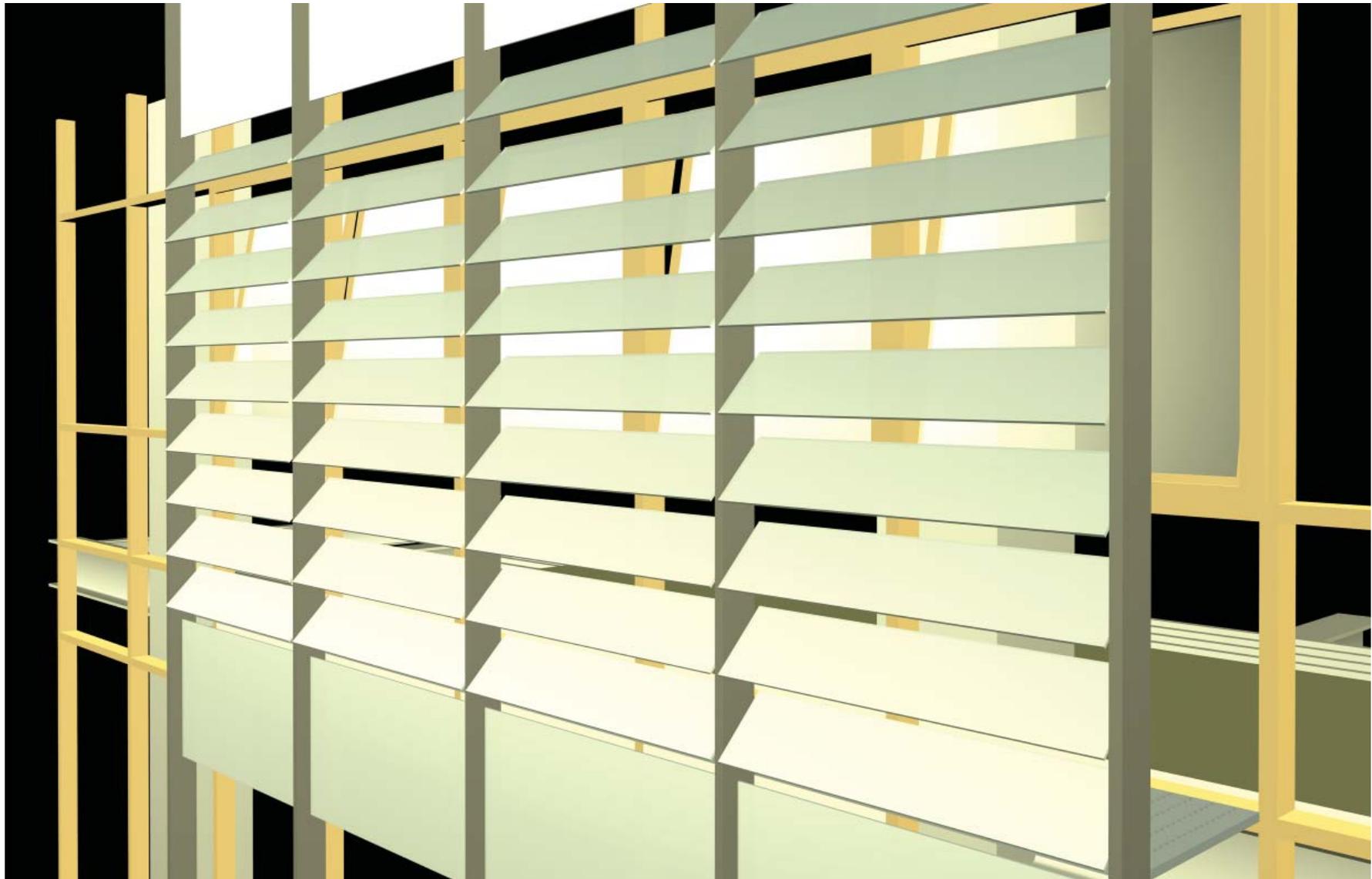


Abb. 211 Fassade
Verfasser (2012)

6 KONZEPTE

6.1 KONZEPTSTUDIEN (Erste Überlegungen)

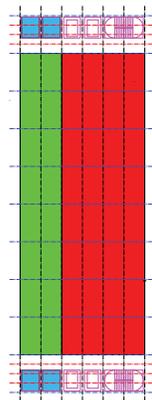
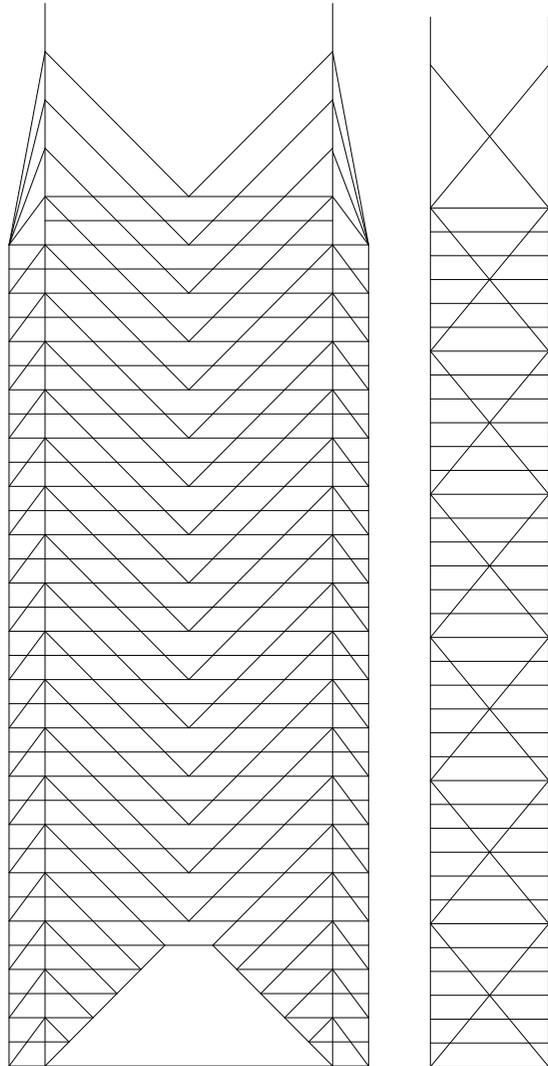


Abb. 212 Stahlbau
Verfasser (2010)

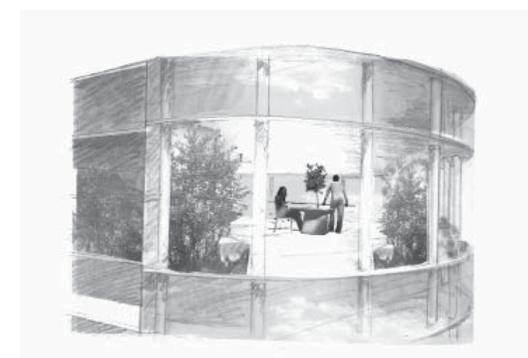
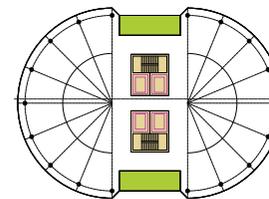
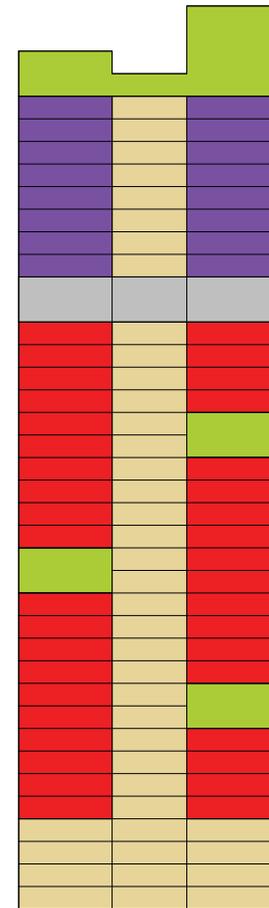


Abb. 213 Stahlbau
Verfasser (2010)

6.2 ENTWÜRFE

6.2.1 6 GESCHOSSER

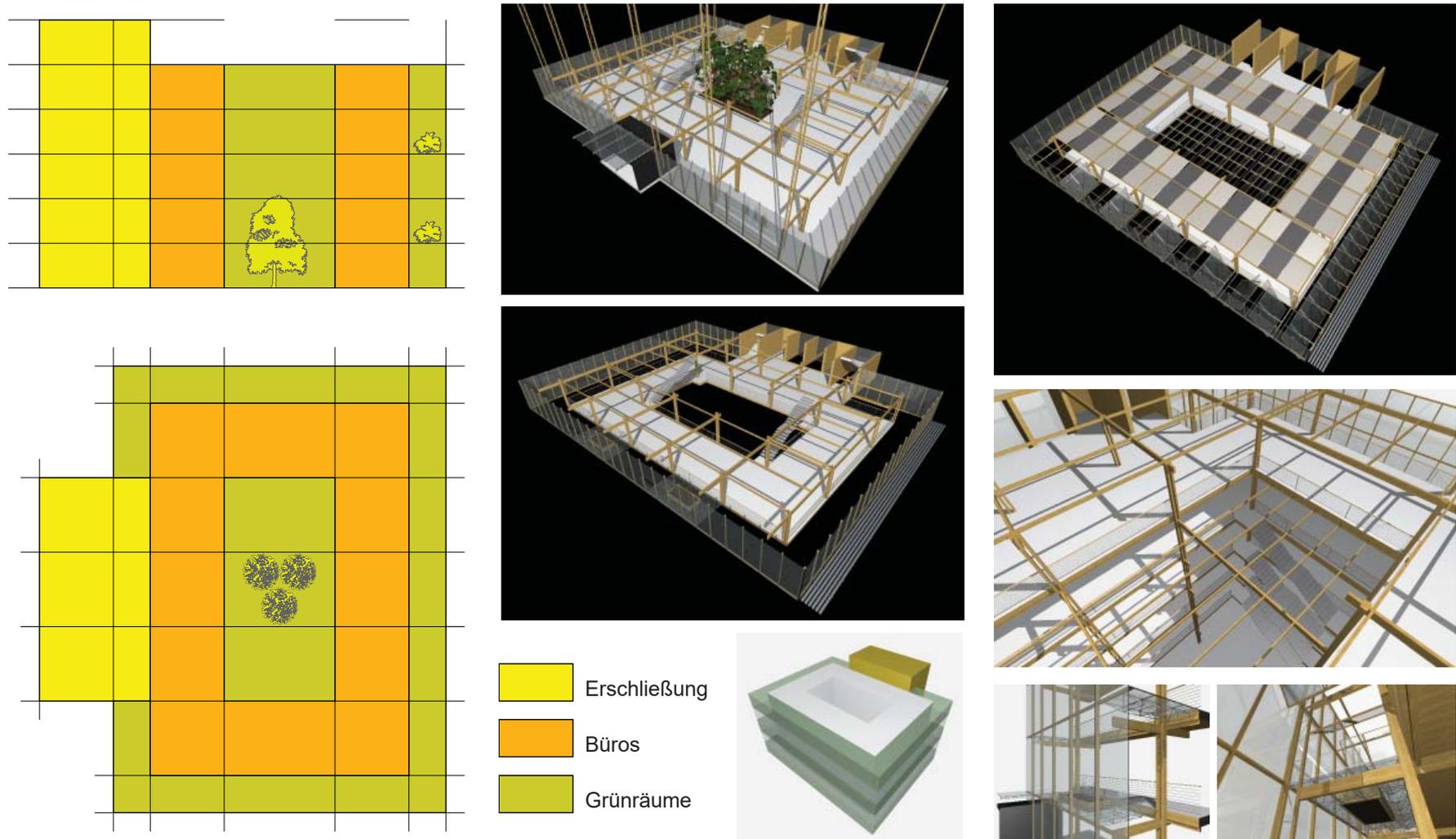


Abb. 214 Holzbau

Prototyp für ein 6 geschossiges Bürogebäude in Holzbauweise

Verfasser (2012)



Abb. 215 Klimakonzept-Querschnitt: das Gebäude soll ohne Klimaanlage auskommen; großes Volumina und kleine Luftwechselrate, thermische Dynamik, natürliche Belüftung und Befeuchtung, Sonnenschutz sowie Blendschutz
 Verfasser (2012)

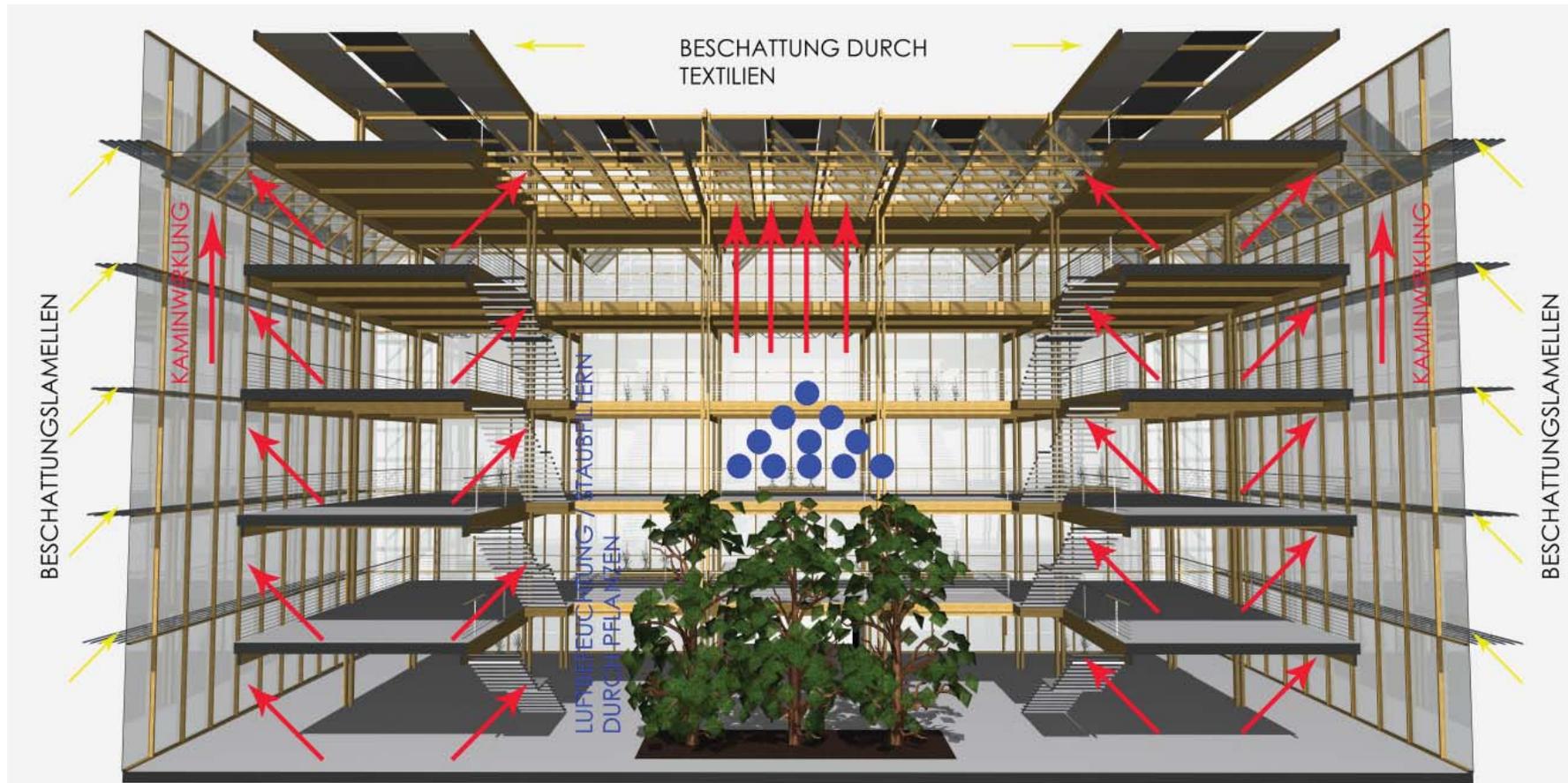


Abb. 216 Klimakzept-Längsschnitt
Verfasser (2012)

PROTOTYP FÜR EIN BÜROGEBÄUDE MIT
EINEM OFFENEN GRUNDRISS, INNEN-
HOF, ZURÜCKGESETZTE GESCHOSS-
DECKEN SOWIE EINEN GRÜNEN
FASSADENKORRIDOR IM SÜDEN.

LEICHTBAUWEISE, HOLZBAU
GESCHOSSDECKE - SICHTBALKEN
2 GETEILTER STÜTZE
FASSADE:
PFOSTEN-RIEGEL-KONSTRUKTION

STÜTZENRASTER 6 m
FASSADENRASTER 1,5 m

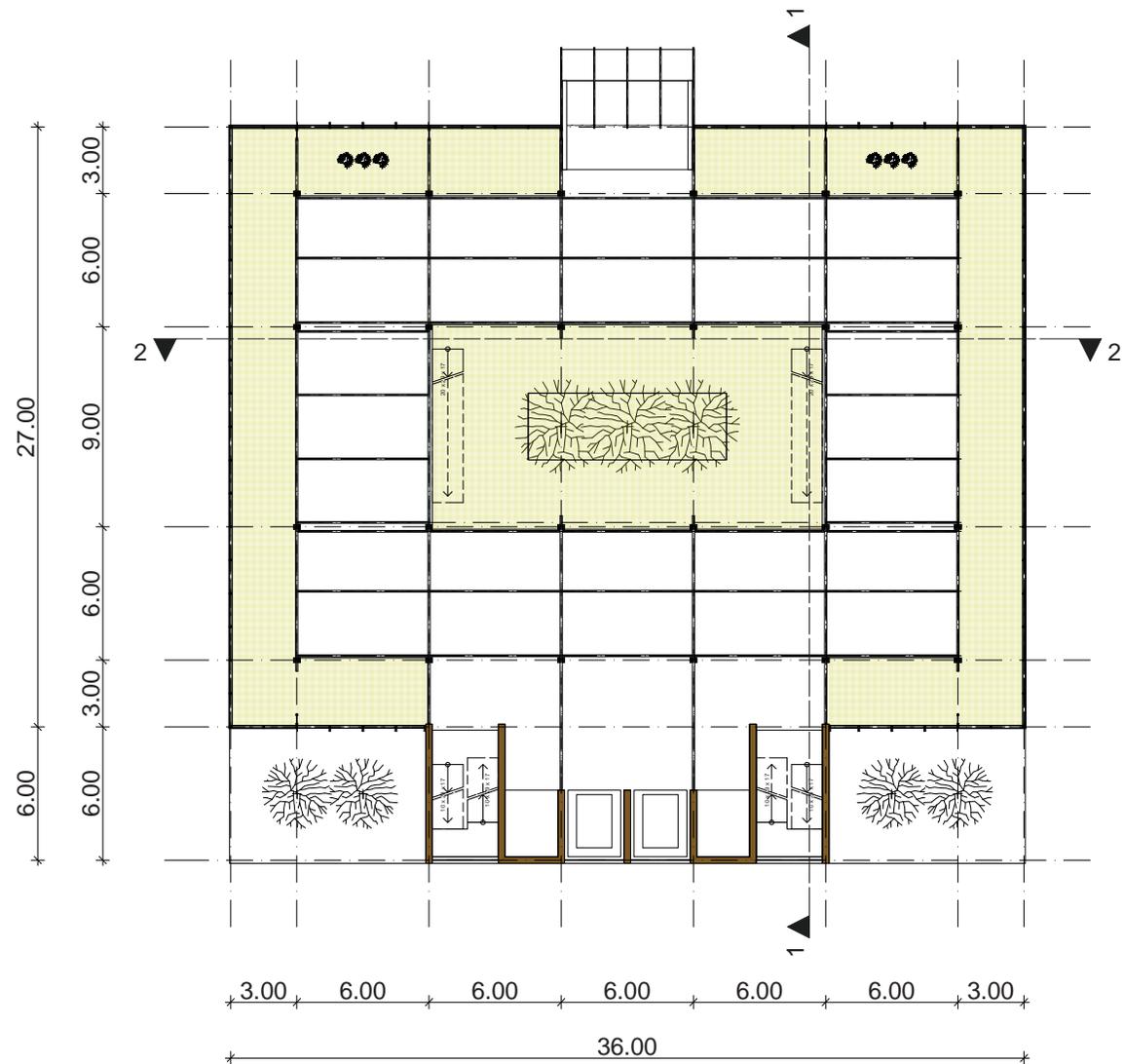


Abb. 217 Grundriss
Verfasser (2012)

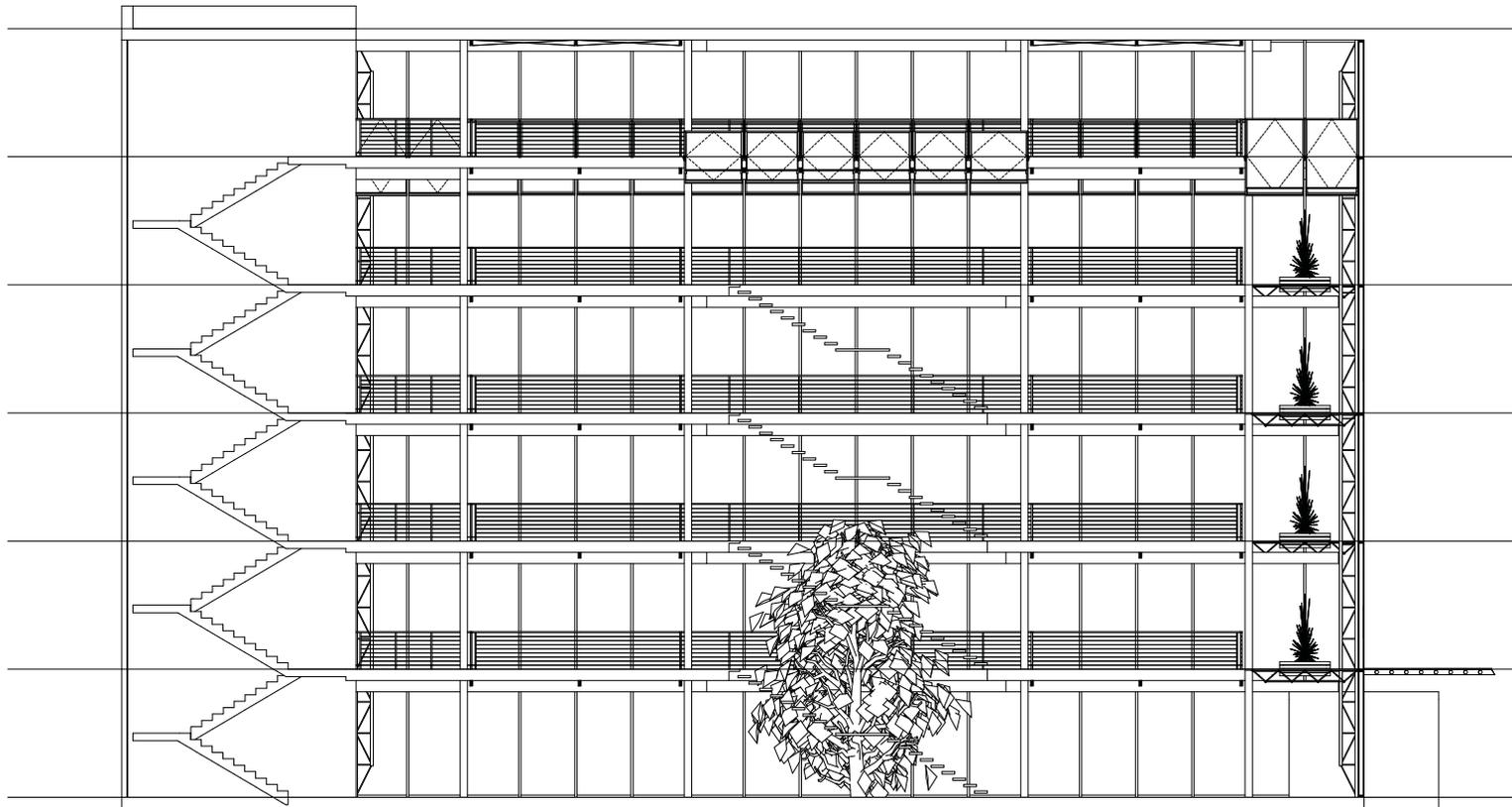


Abb. 218 Schnitt 1-1, M=1:200
Verfasser (2012)

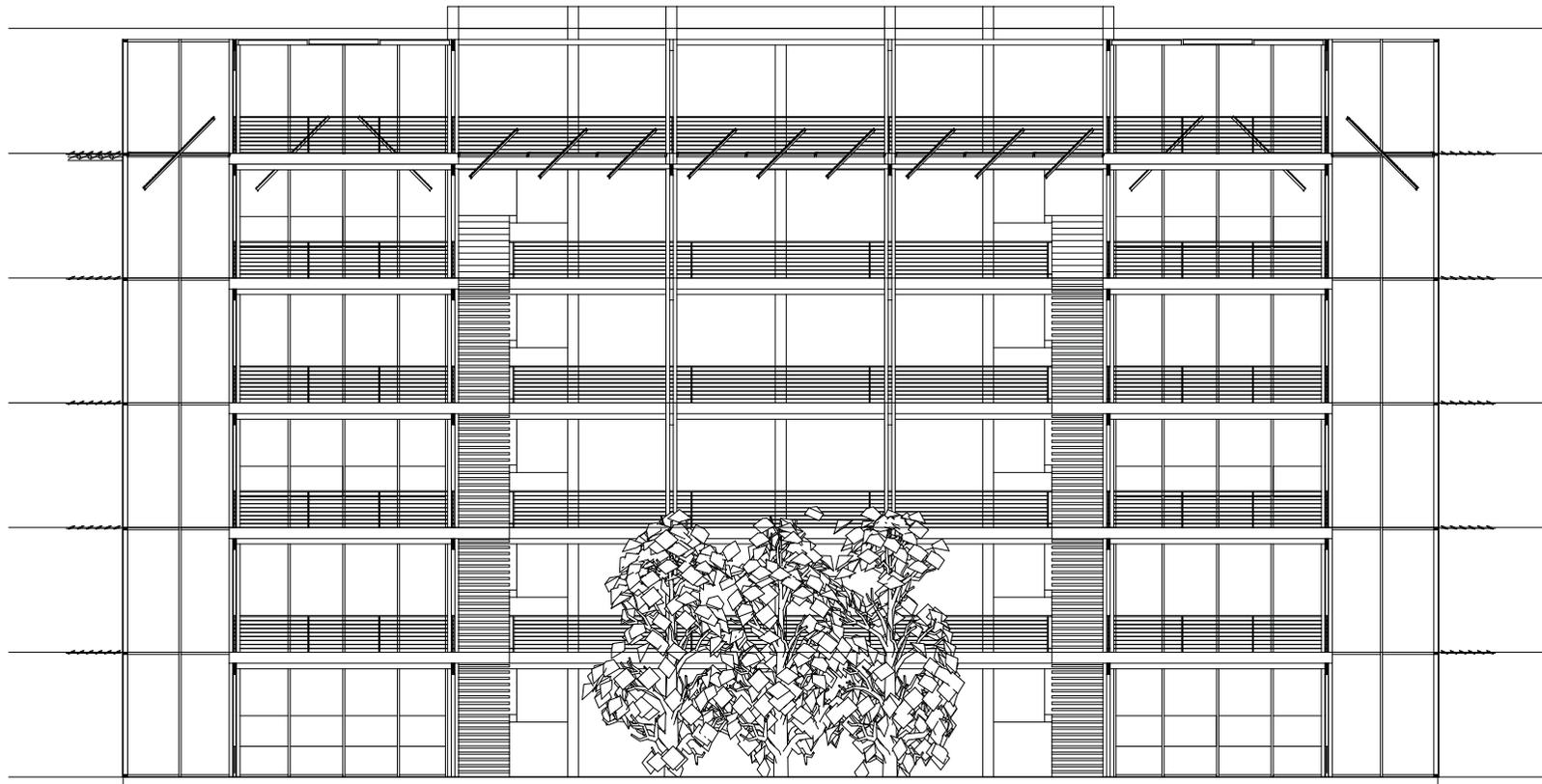


Abb. 219 Schnitt 2-2, M=1:200
Verfasser (2012)



Abb. 220 Perspektive
Verfasser (2012)

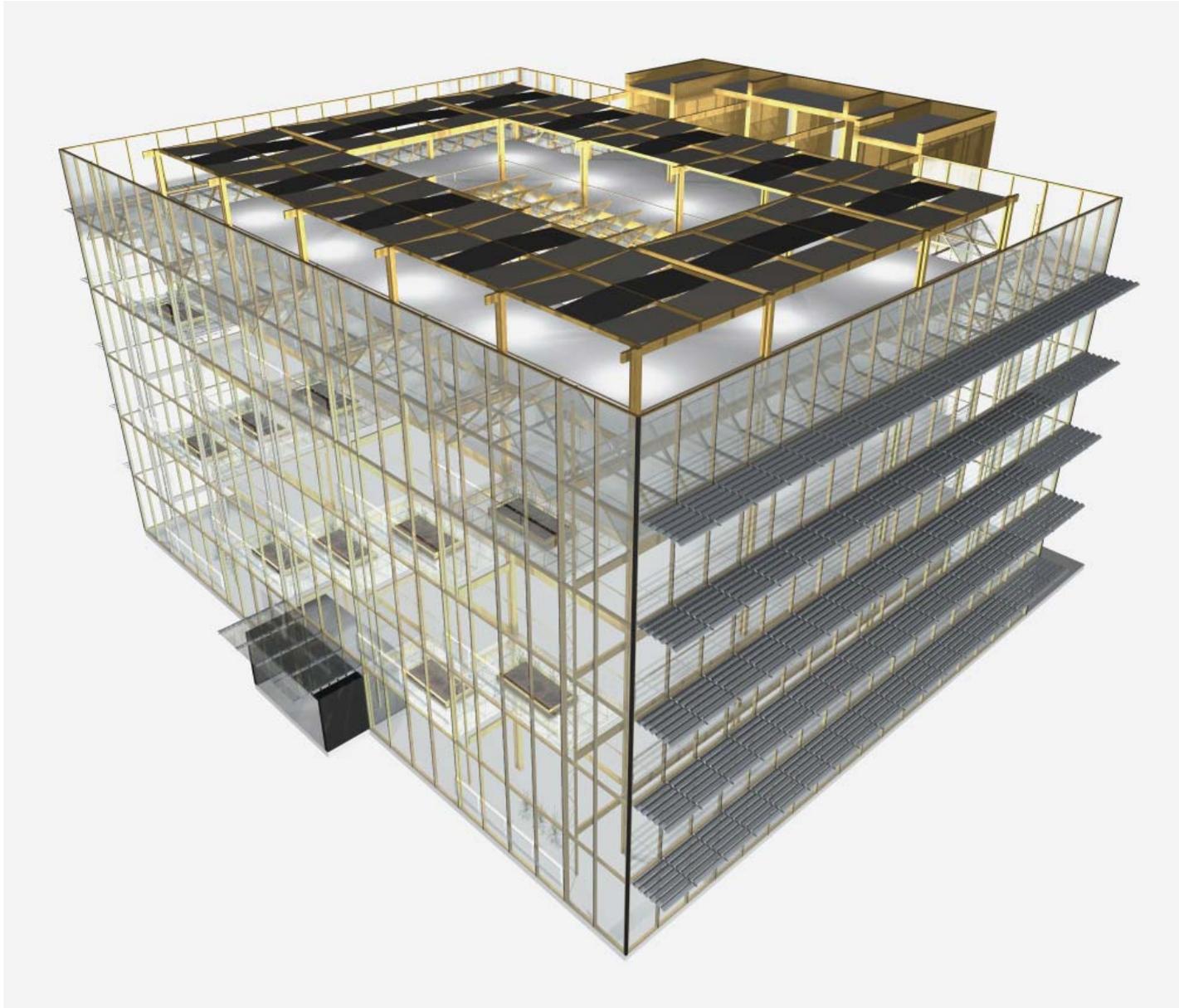


Abb. 221 Perspektive
Verfasser (2012)

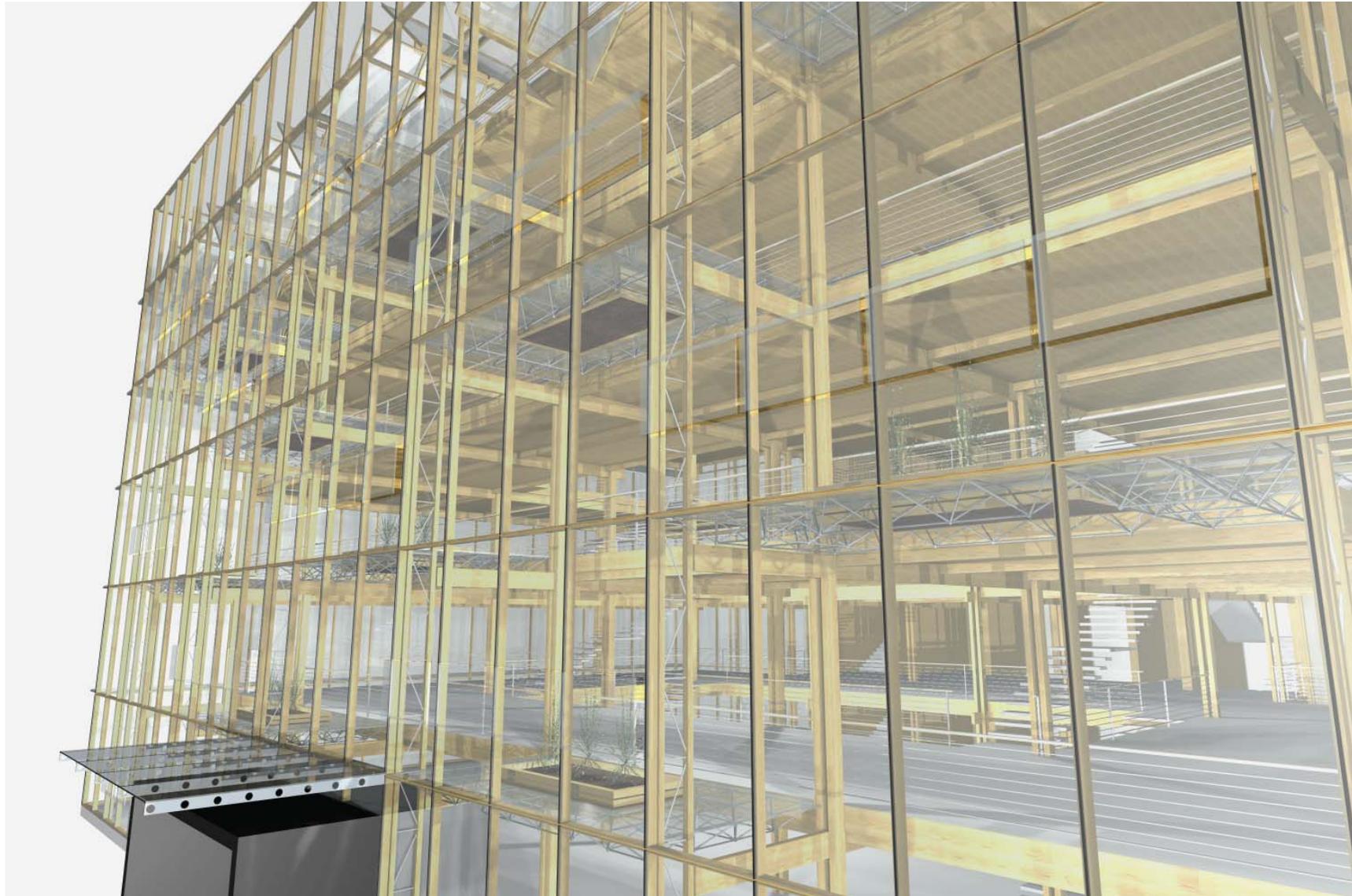


Abb. 222 Perspektive
Terfasser (2012)

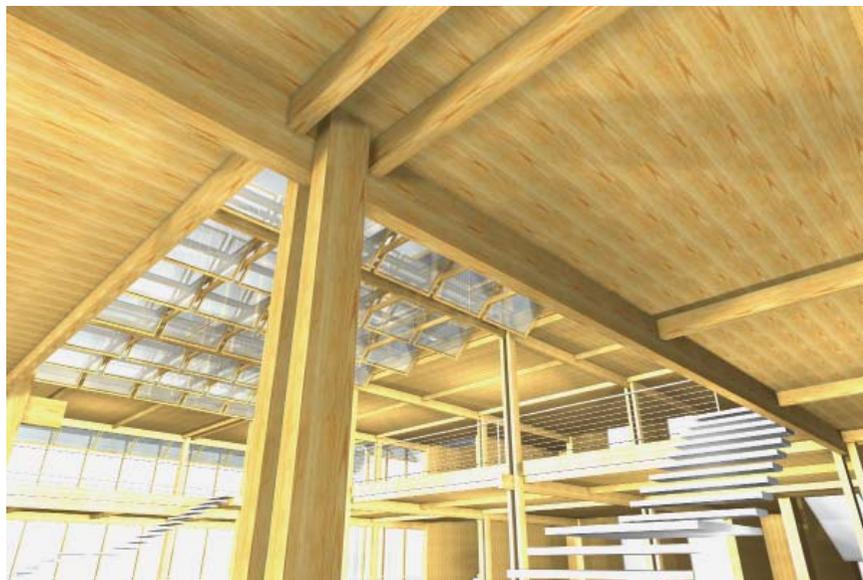
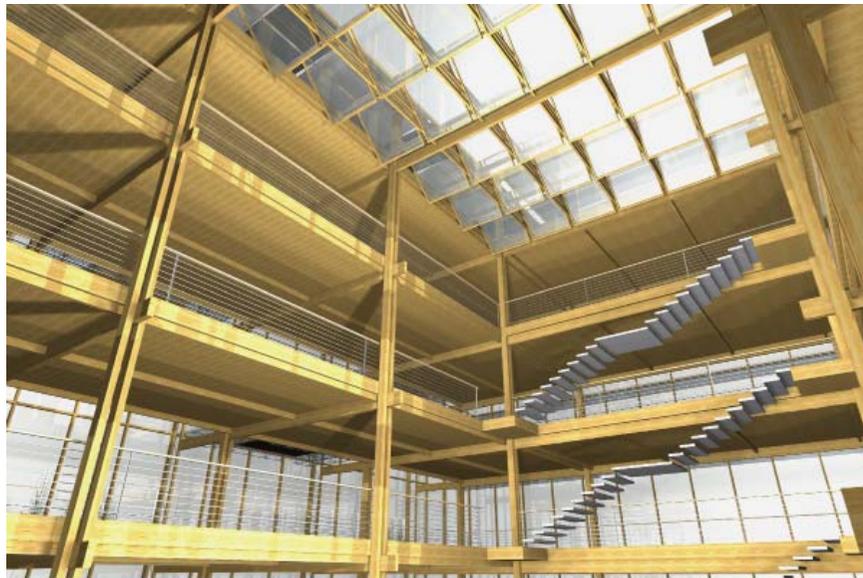


Abb. 223-226 Perspektiven
Verfasser (2012)

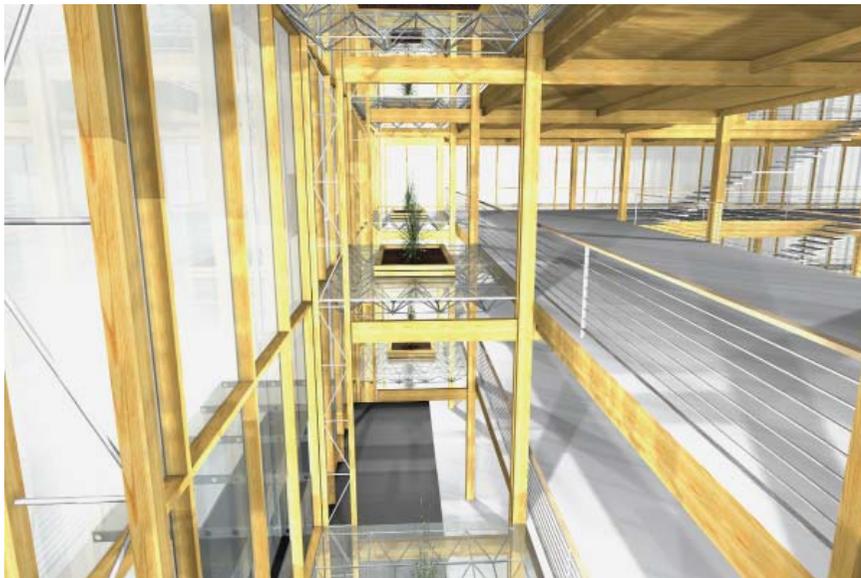
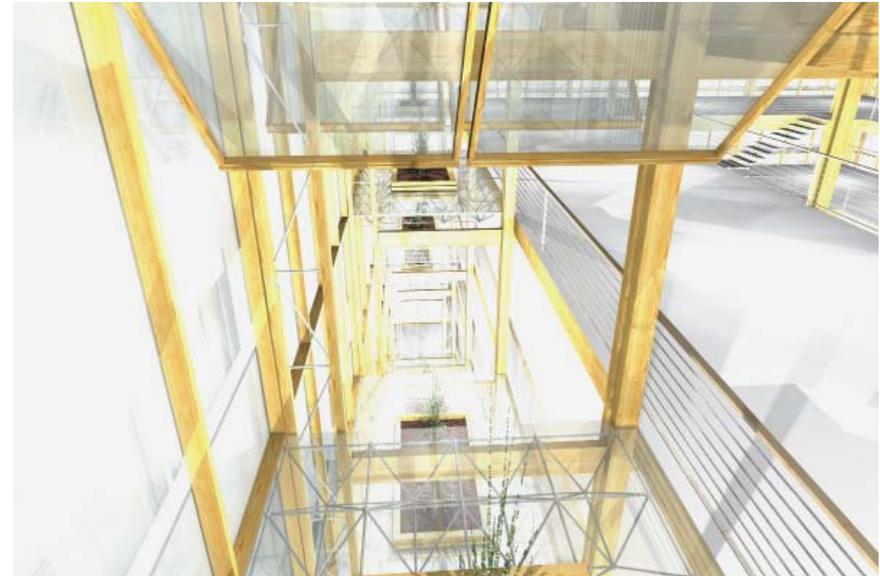


Abb. 227-229 Perspektiven
Verfasser (2012)

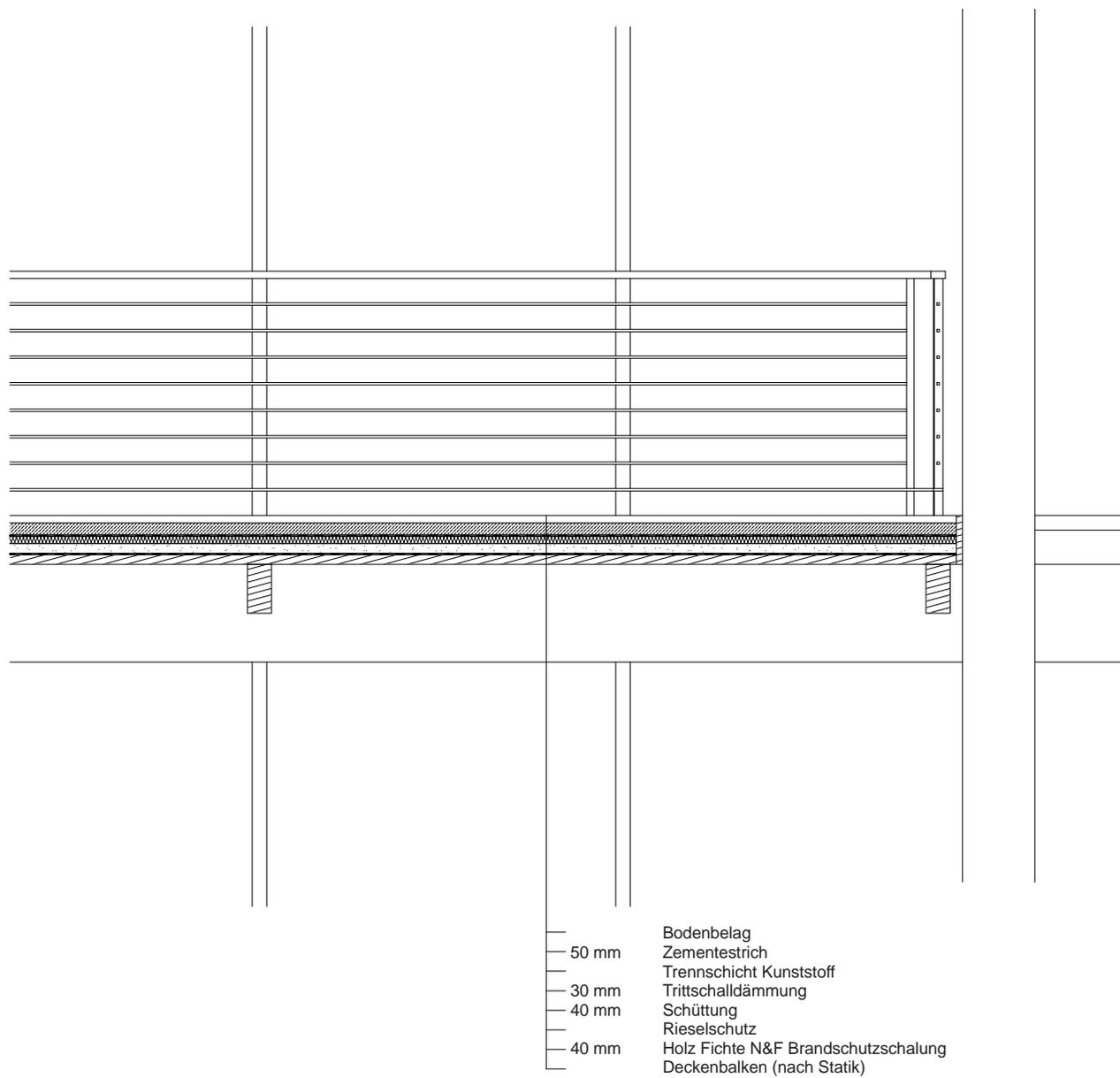
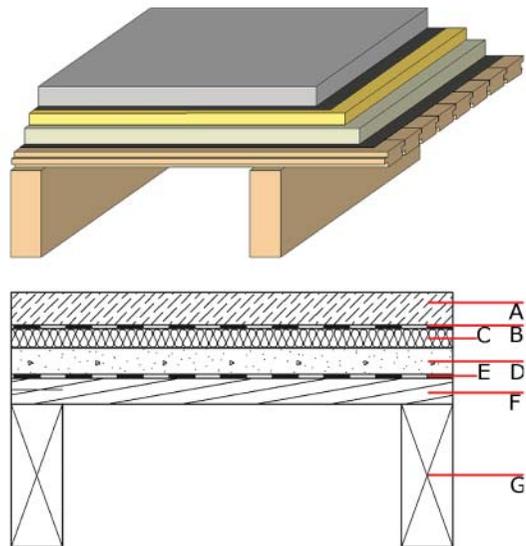


Abb. 230 Deckendetail-Regelgeschoss
Verfasser (2012)



Bemerkung: [0,033]; e=625

Bauphysikalische Bewertung

Brandschutz	REI	30
--------------------	-----	----

max. Spannweite = 5 m; max. Last $E_{d,fi}$ = 5,5 kN/m

Klassifizierung durch IBS

Wärmeschutz	U[W/(m ² K)]	
	Diffusionsverhalten	geeignet
	$m_{w,B,A}$ [kg/m ²]	41,9

Berechnung durch HFA

Schallschutz	R_w (C;C _{tr})	66(-1;7)
	$L_{n,w}$ (C _i)	58(-4)

Beurteilung durch TGM

Flächenbezogene Masse	m [kg/m ²]	201,70
------------------------------	--------------------------	--------

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

(von außen nach innen, Maße in mm)

	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltenskl. EN
			λ	μ min - max	ρ	c	
A	50,0	Zementestrich	1,330	50 - 100	2000	1,080	A1
B		Trennschicht Kunststoff	0,200	100000	1400	1,400	E
C	30,0	Trittschalldämmung MW-T	0,035	1	68	1,030	A1
D	40,0	Schüttung	0,700	1	1800	1,000	A1
E		Rieselschutz					E
F	40,0	Holzschalung Fichte N&F Brandschutzschalung	0,120	50	450	1,600	D
G		Konstruktionsholz ($\geq 80/200$) - Deckenbalken (nach Statik)	0,120	50	450	1,600	D

Abb. 231 Geschossdecke
Holzforschung Austria, dataholz.com (2012)

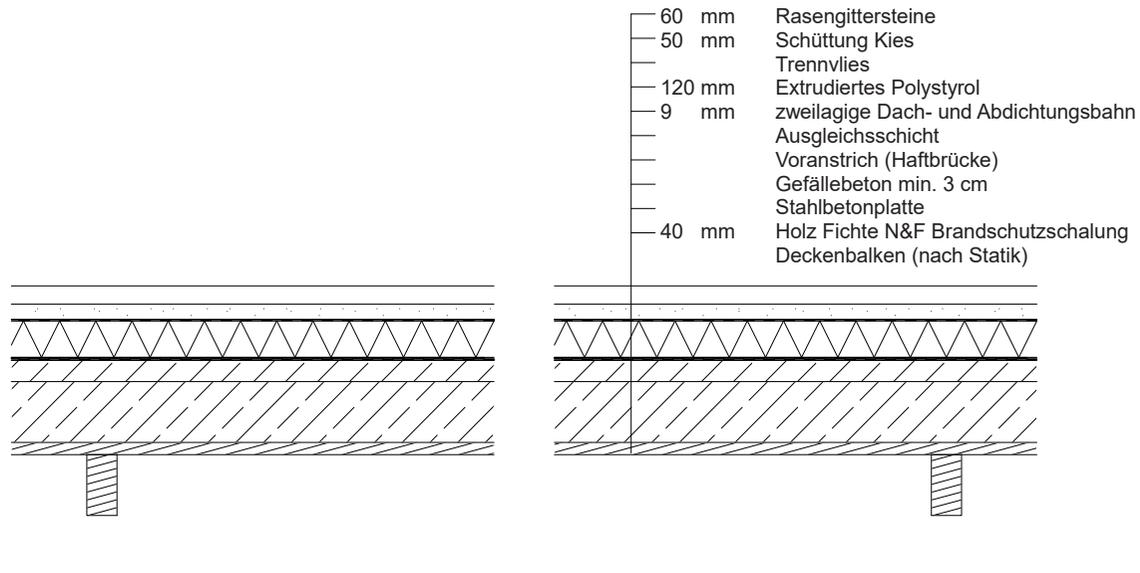


Abb. 232 Deckendetail-Dachterrasse
Verfasser (2012)

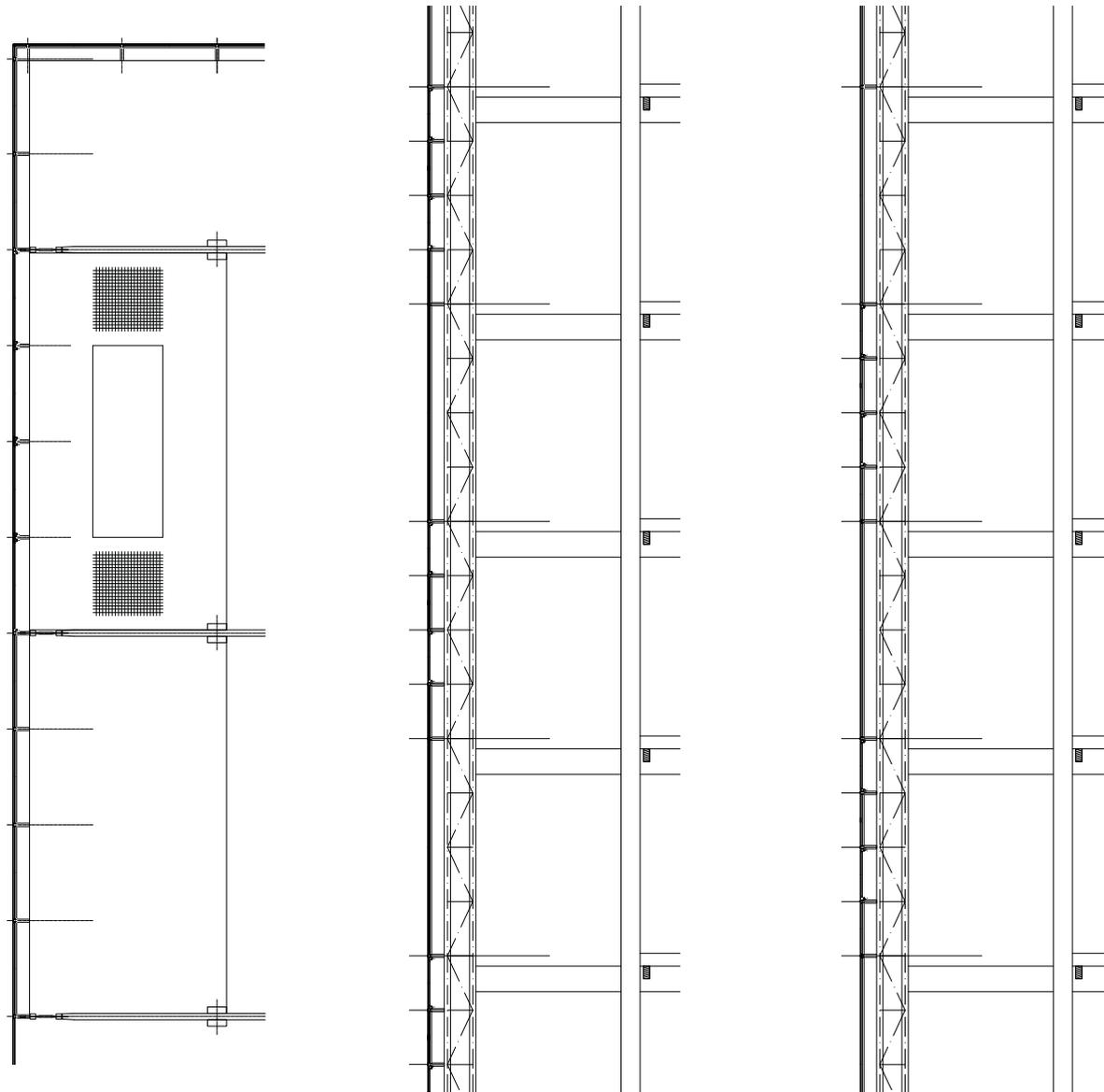


Abb. 233 Fassadendetail, Horizontal- und Vertikalschnitte. Vollständig transparente Vorhangfassaden. Das Gebäude soll zu allen Zeiten natürlich be- und entlüftet werden. Die Fassade besteht aus einer einschaligen, Sonnenschutz- und Isolierverglasung. Die natürliche Beleuchtung des Innenraums auch in der Tiefe erfolgt neben der Fassade zusätzlich über das Atrium.
Verfasser (2012)

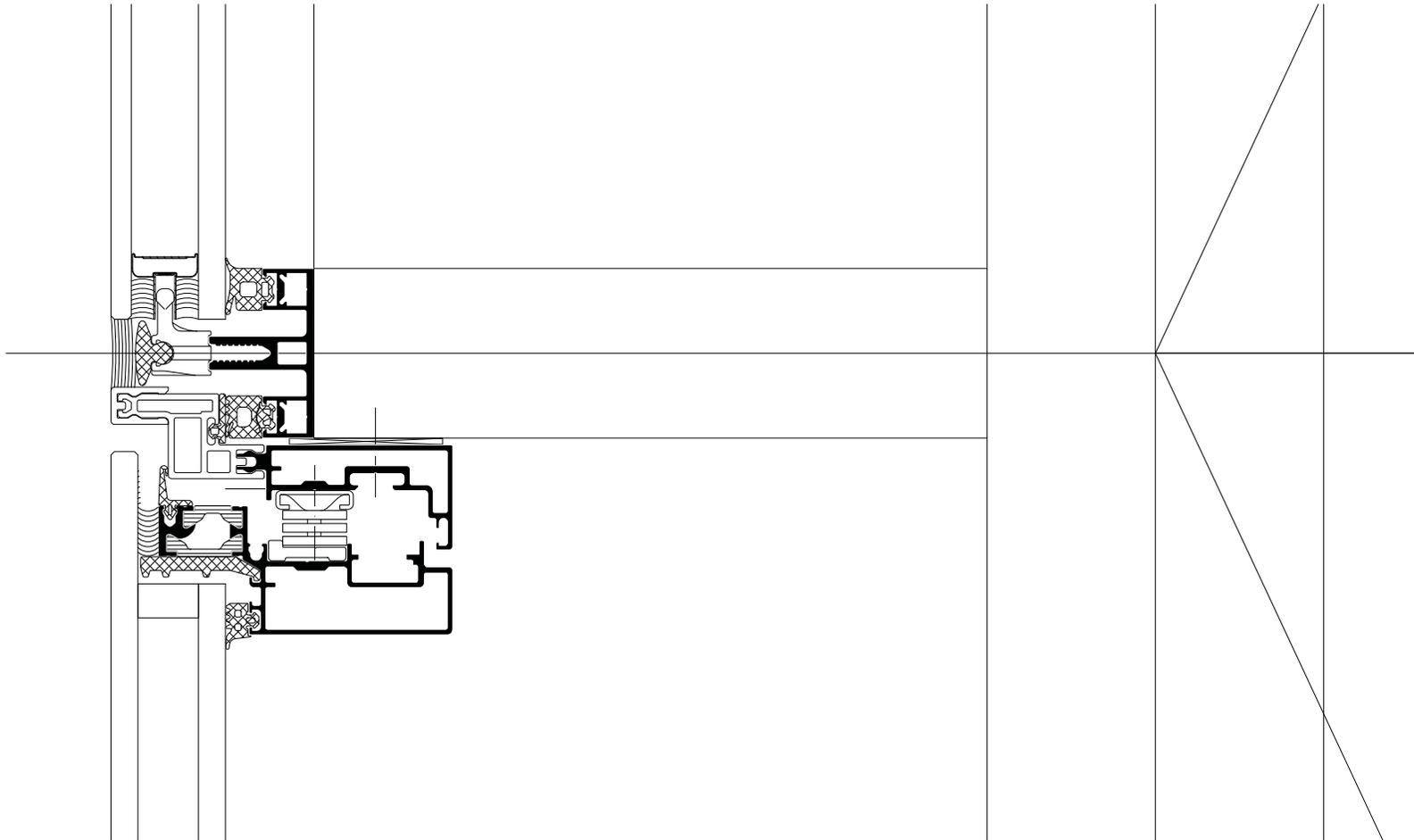
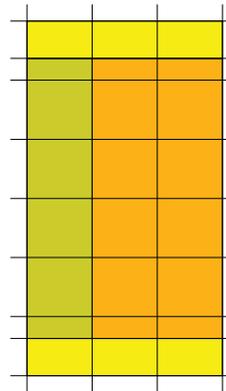
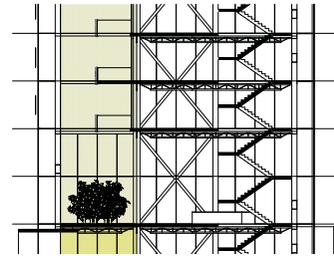
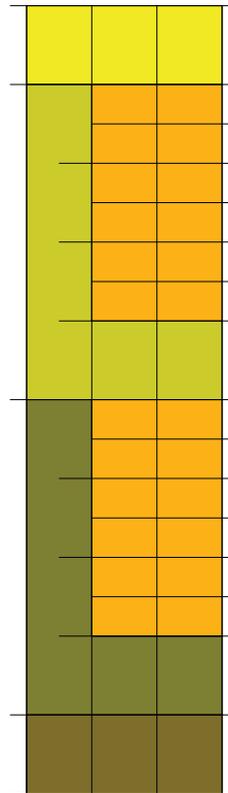
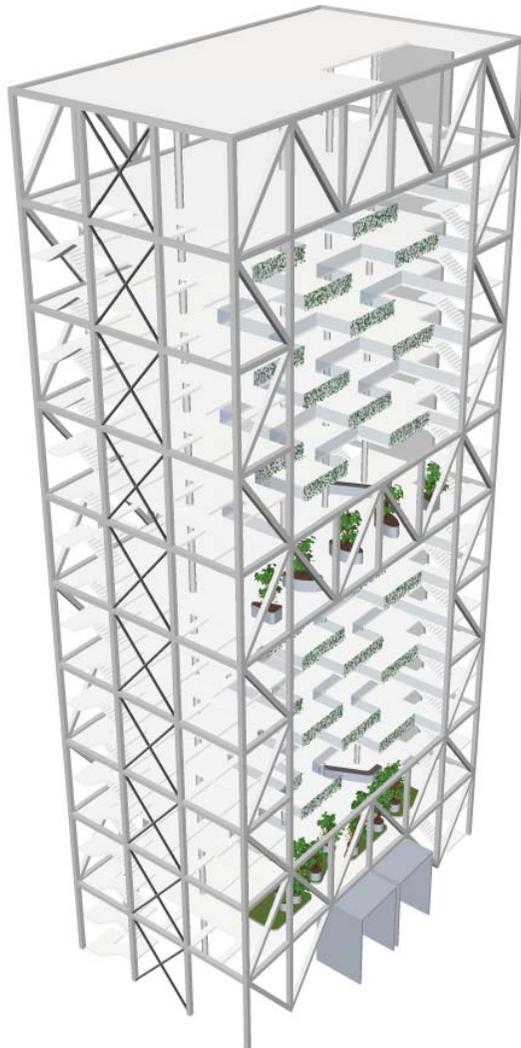


Abb. 234 Fensteranschlußdetail 1:2
Verfasser (2012)

6.2.2 20 GESCHOSSER



- Erschließung
- Büros
- Grünräume

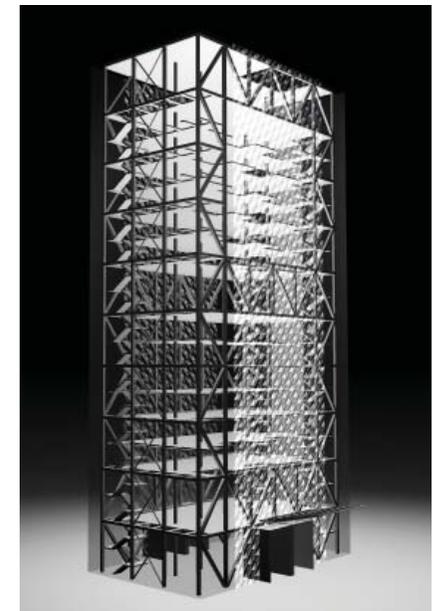
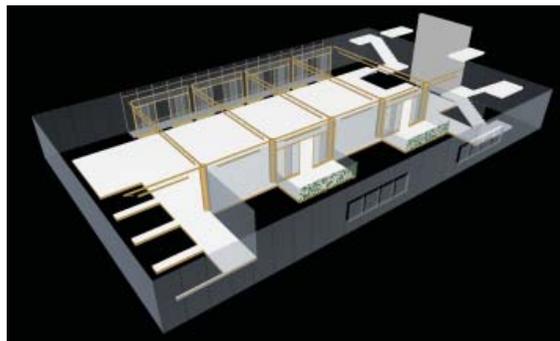
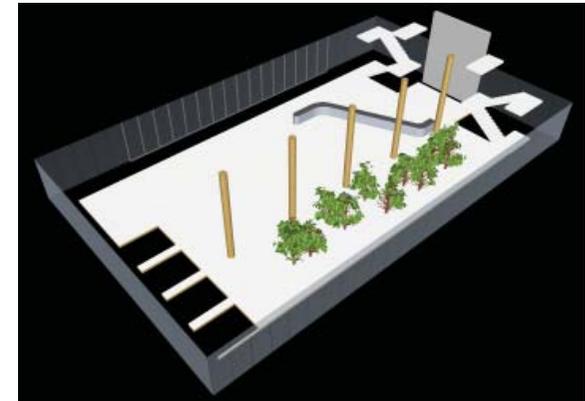


Abb. 235 Holzbau
 Prototyp für ein 20 geschossiges Hochhaus
Verfasser (2012)



Abb. 236 Konzept Skylobby / Himmelsgarten
Verfasser (2012)

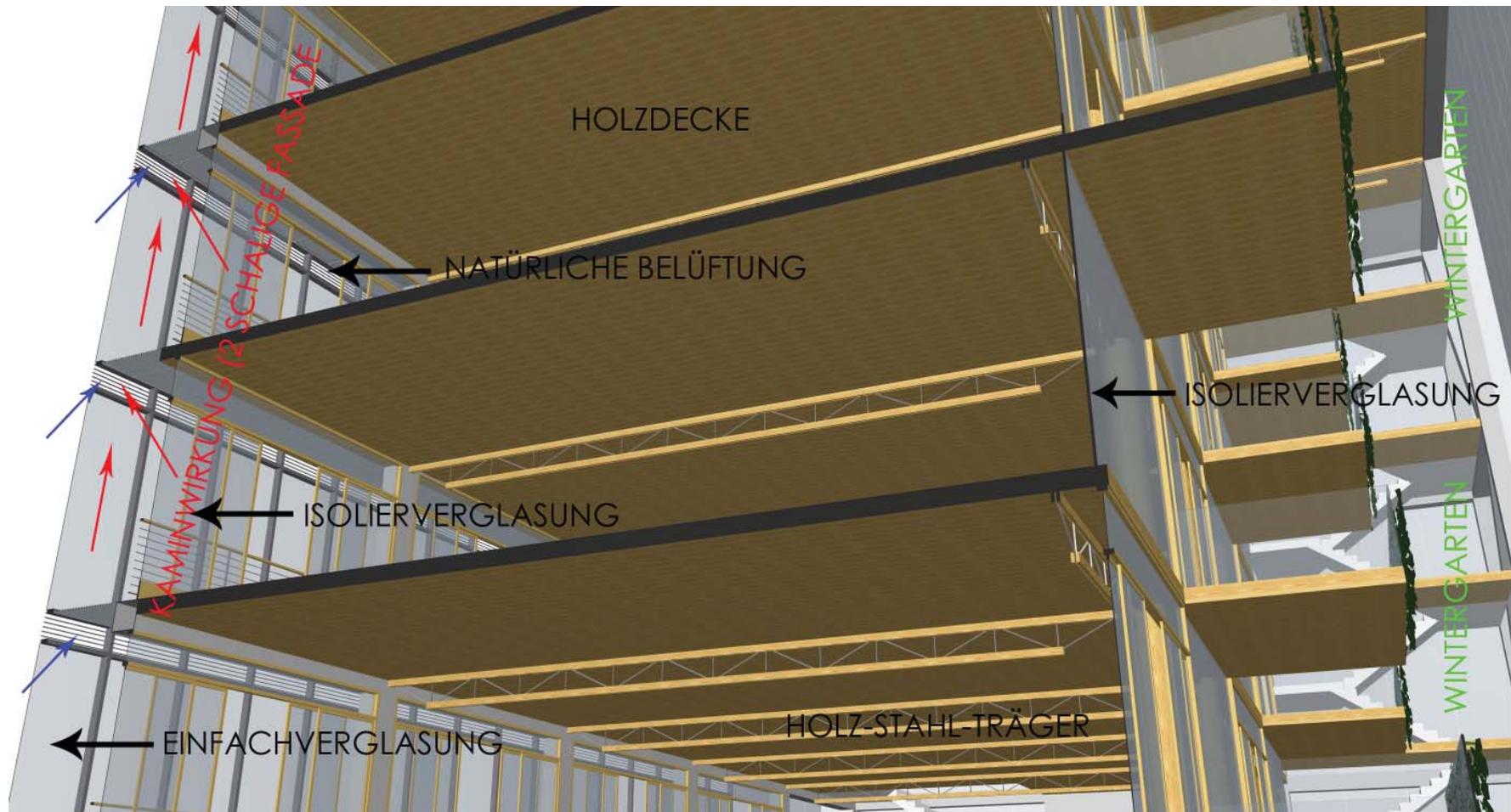


Abb. 237 Konzept Bürogeschoss
Verfasser (2012)

PROTOTYP FÜR EIN BÜROHOCHHAUS
 MIT BEGRÜNTE SKYLOBBIES, 6m
 BREITEN NACH SÜDEN ORIENTIERTEN
 FASSADENKORRIDOR IN DEN BALKONE
 AUSKRAGEN SOWIE EINEN VERANSTAL-
 TUNGSZENTRUM IM LETZTEN DOPPEL-
 GESCHOß.

GESCHOSSDECKE: FACHWERKSBALEN
 NORDFASSADE: ZWEISCHALIGE HAUT
 ABMESSUNGEN: 18 X 32,40 m
 ACHSRASTER 5,4 u. 6 m
 FASSADENRASTER 1,35 u. 1,5 m

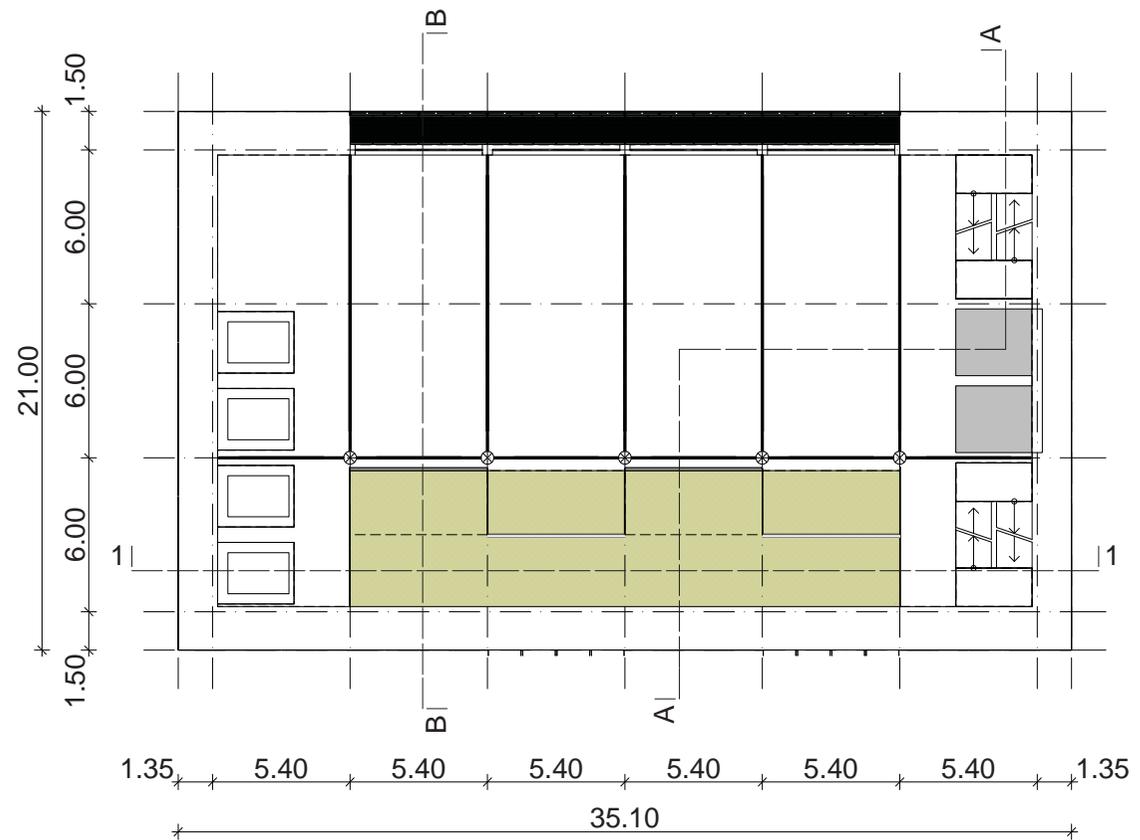


Abb. 238 Grundriss-Regelgeschoss
 Verfasser (2012)

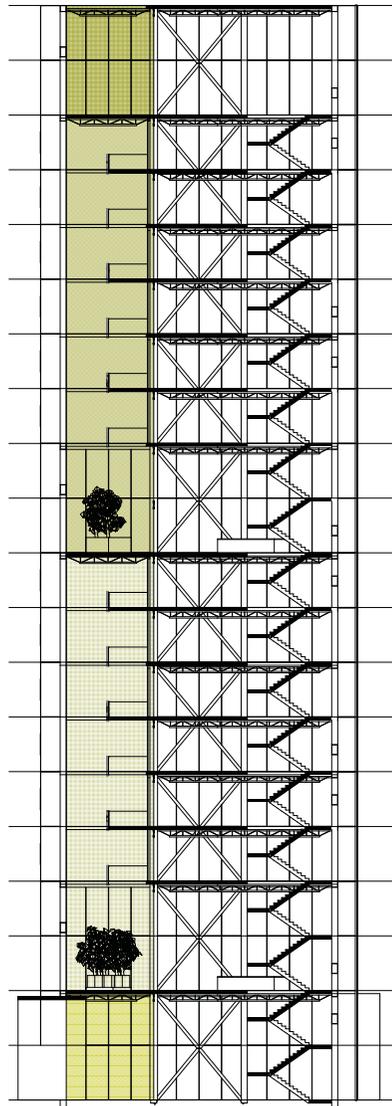


Abb. 239 Schnitt A-A
Verfasser (2012)

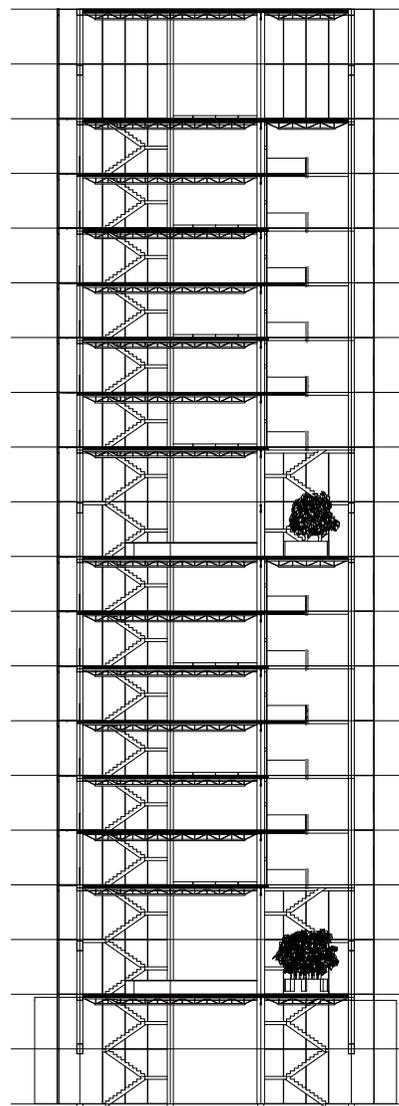


Abb. 240 Schnitt B-B
Verfasser (2012)

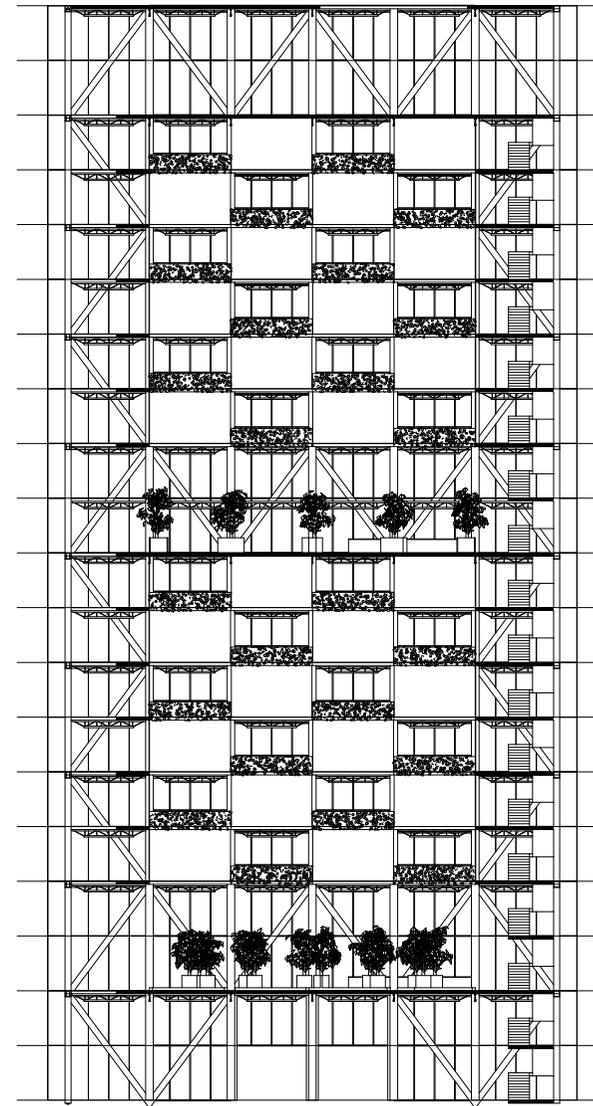


Abb. 241 Schnitt 1-1
Verfasser (2012)



Abb. 242 Perspektive-Süden
Verfasser (2012)

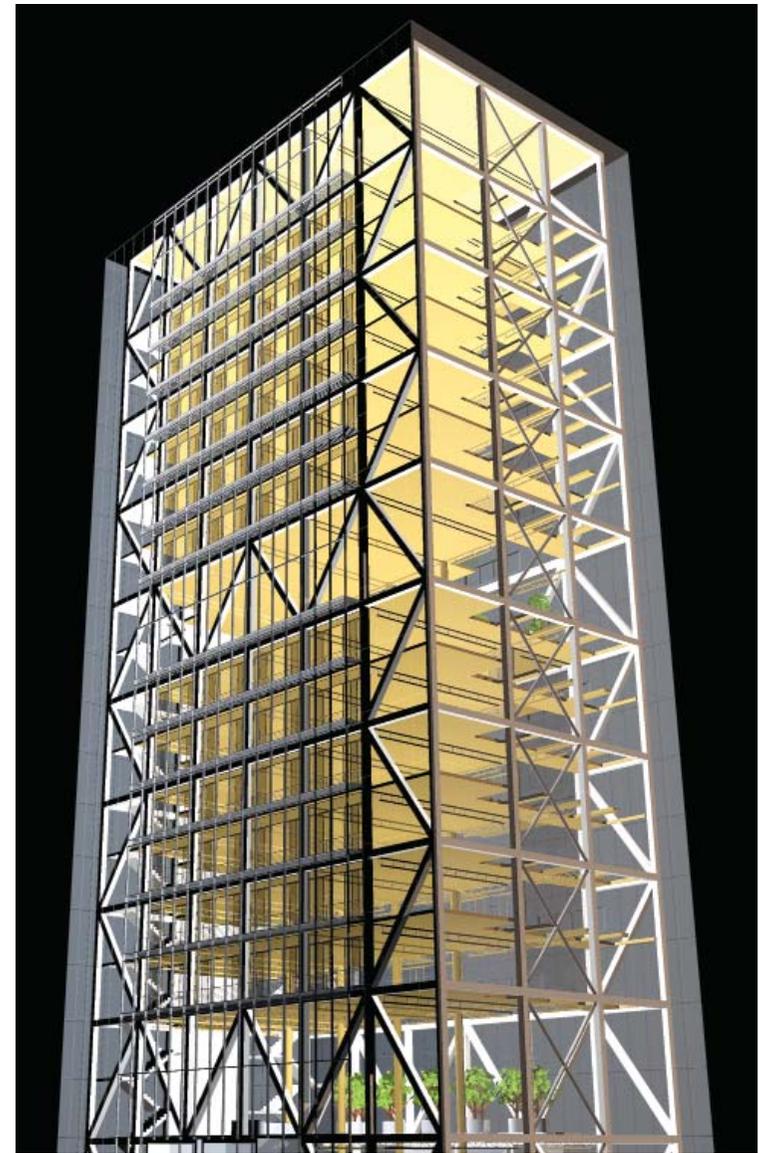


Abb. 243 Perspektive-Norden
Verfasser (2012)

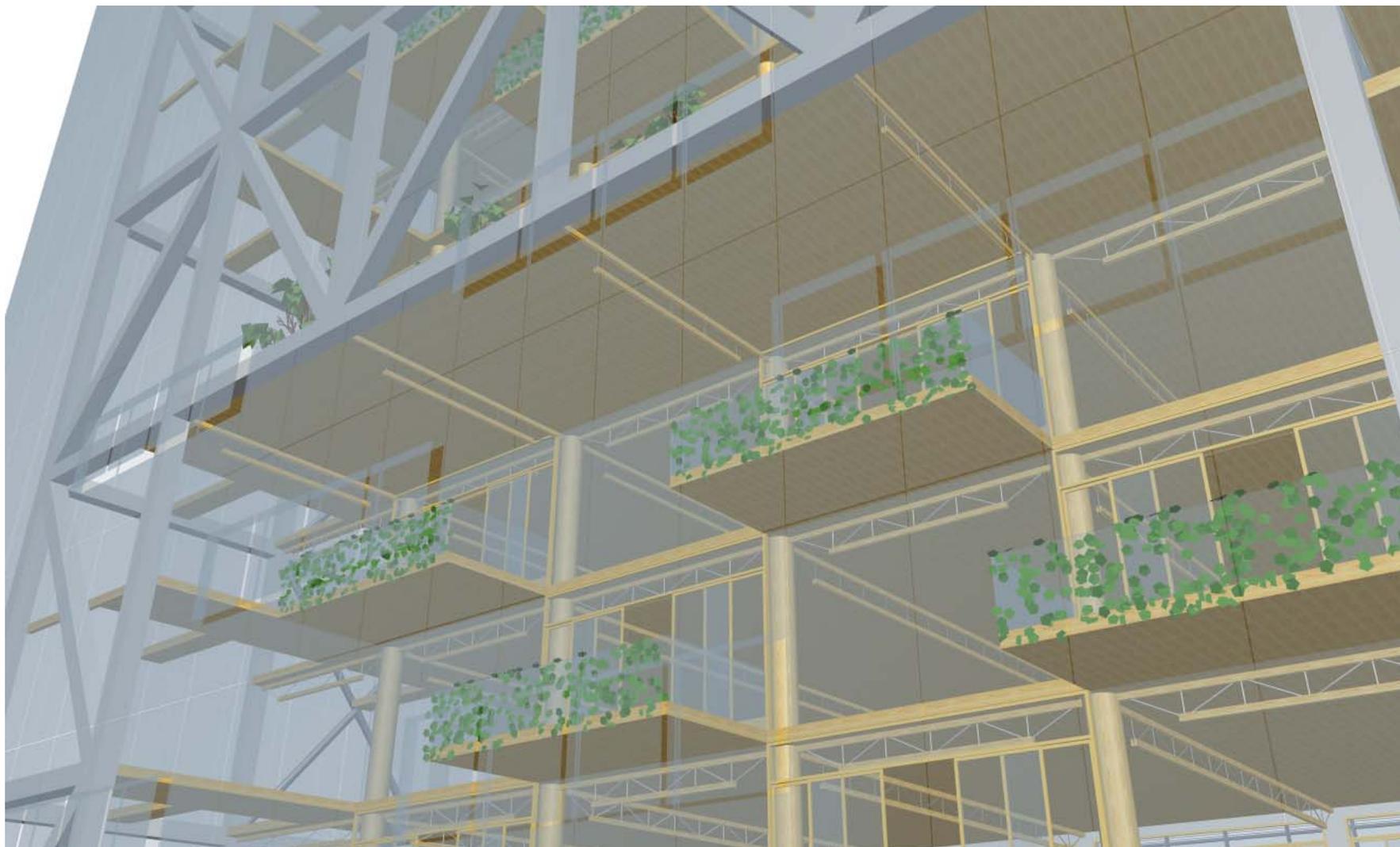


Abb. 244 Südfassade
Verfasser (2012)

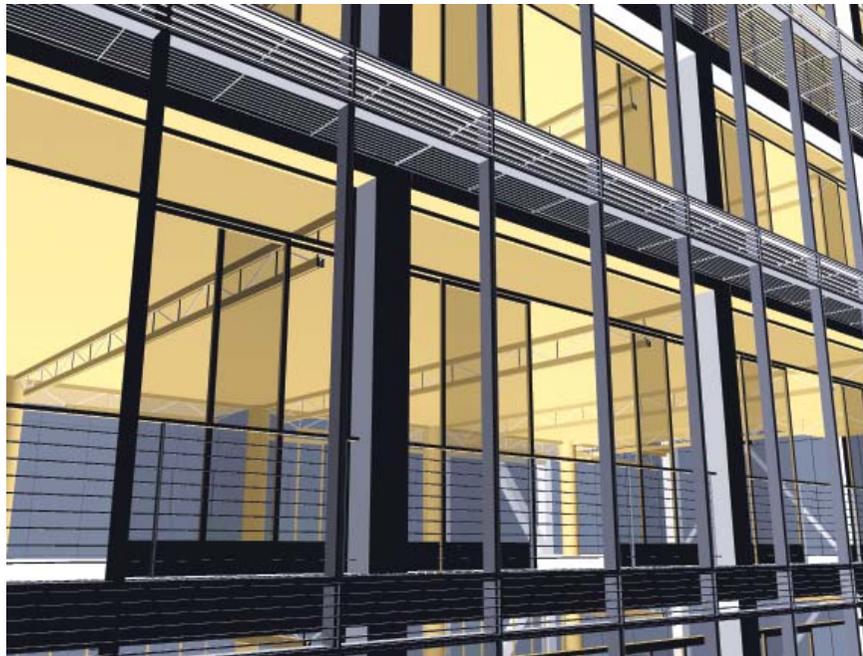


Abb. 245-246 Nordfassade. Die Fassade besteht aus einer zweischaligen Haut (ESG außen und Isolierverglasung innen). Die äußere Schale ist fest verglast. Die regelbaren Lüftungsklappen befinden sich im Attika- und Fußbereich. In der inneren Haut sind Schiebetüren untergebracht, so daß jeder Nutzer sein individuelles Klima schaffen kann.

Verfasser (2012)

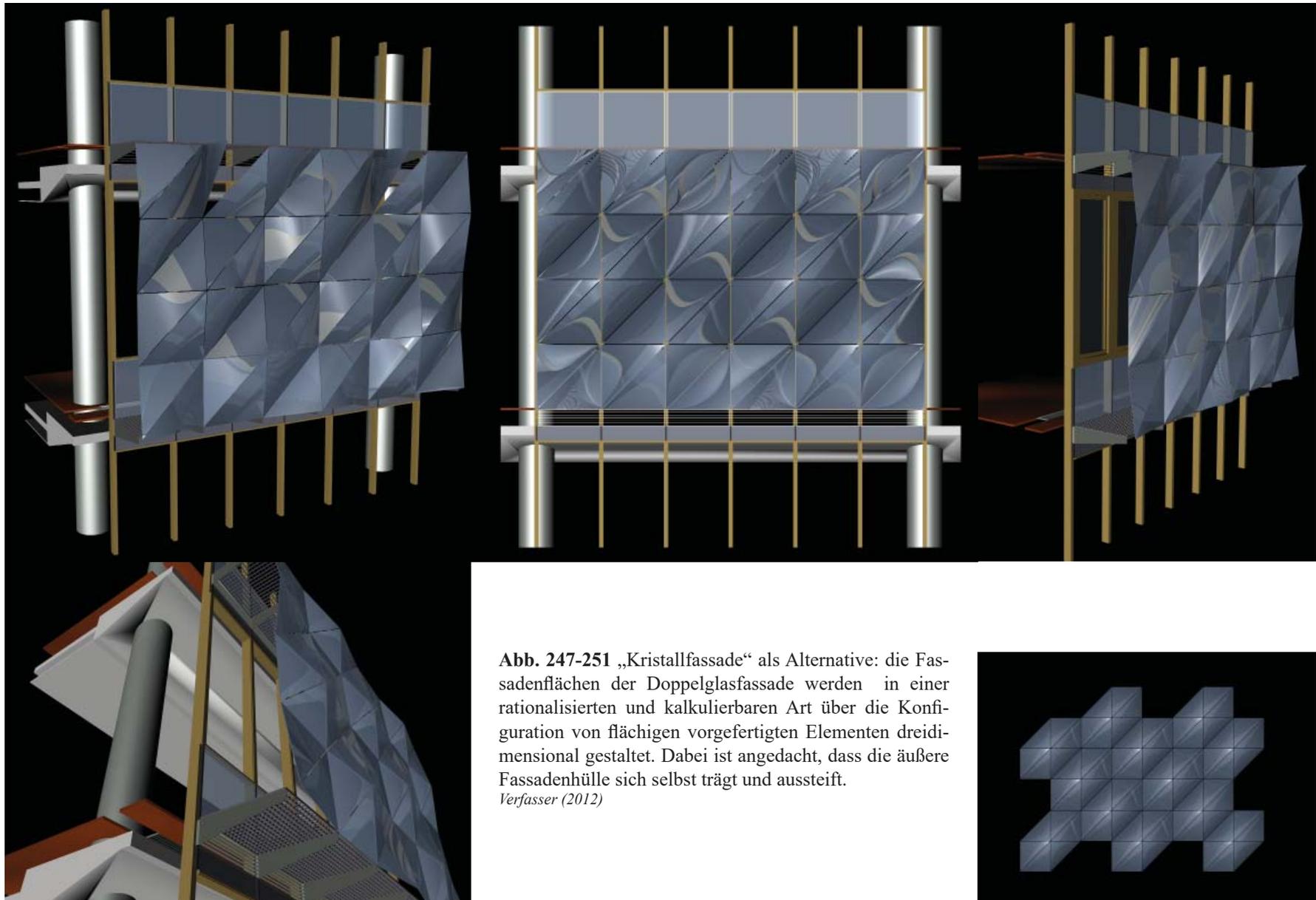


Abb. 247-251 „Kristallfassade“ als Alternative: die Fassadenflächen der Doppelglasfassade werden in einer rationalisierten und kalkulierbaren Art über die Konfiguration von flächigen vorgefertigten Elementen dreidimensional gestaltet. Dabei ist angedacht, dass die äußere Fassadenhülle sich selbst trägt und aussteift.
Verfasser (2012)

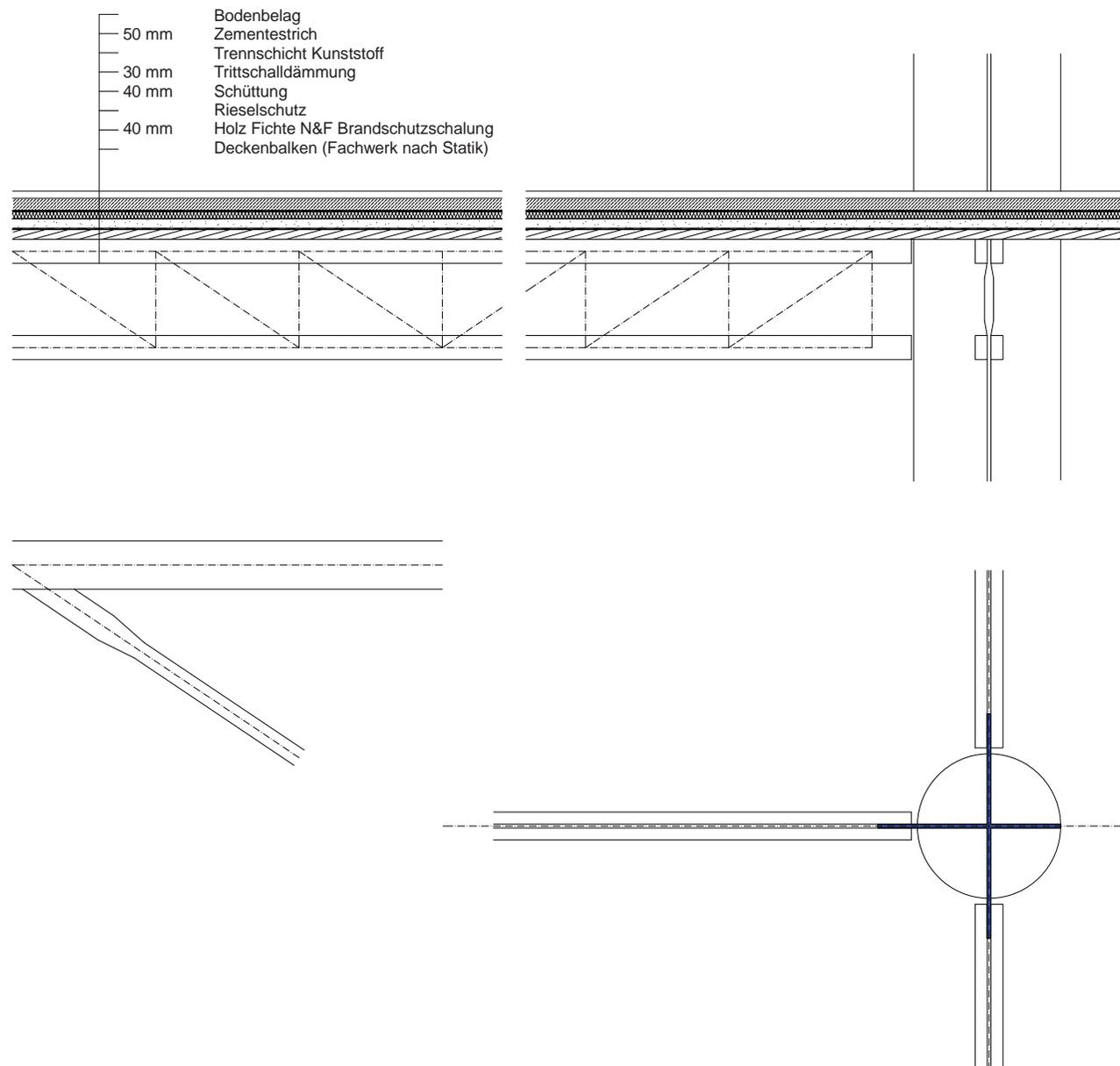


Abb. 252 Deckendetail-Regelgeschoss
Verfasser (2012)

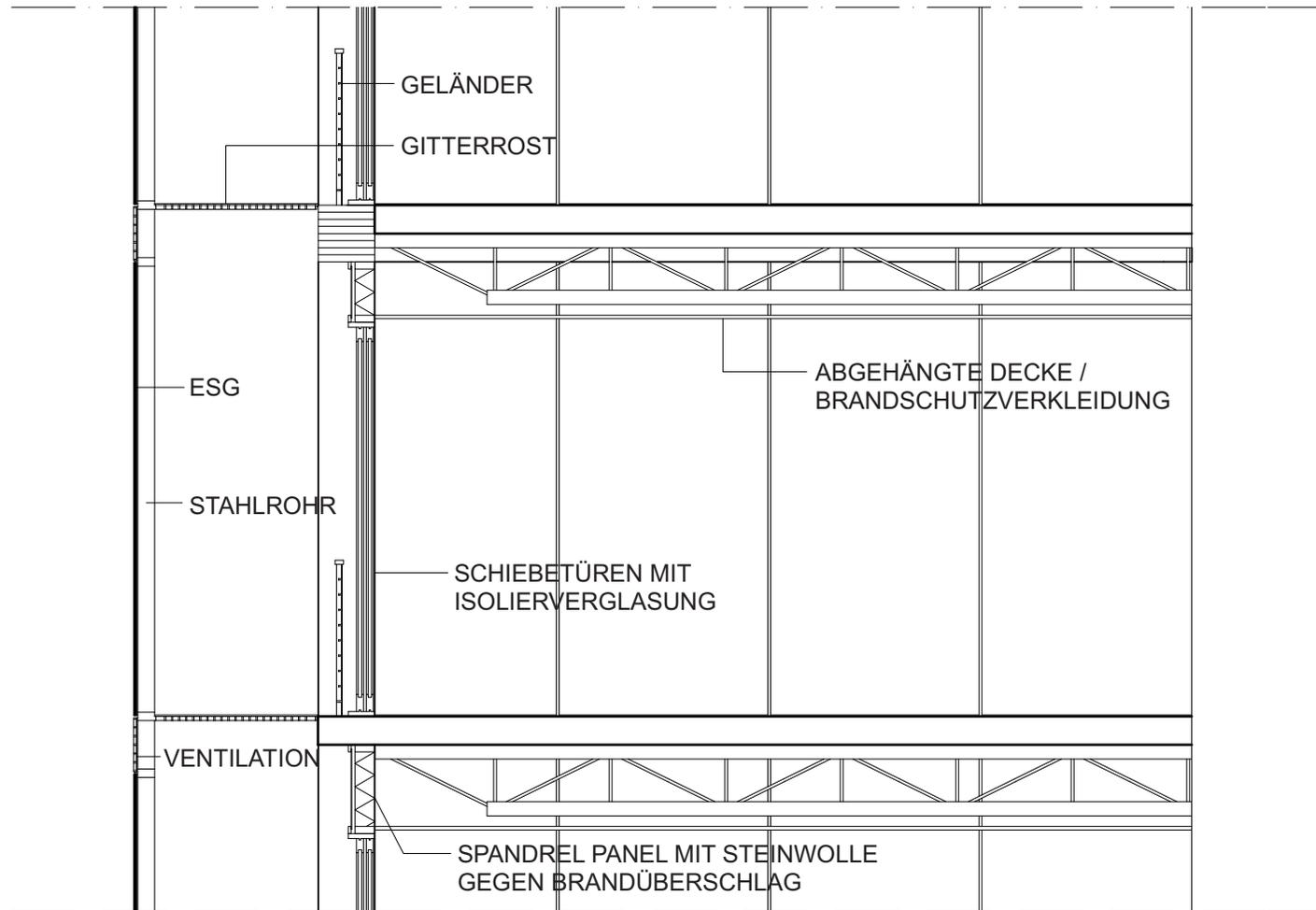


Abb. 253 Fassadenanschluss-Regelgeschoss
Verfasser (2018)

6.3 PFLANZENAUSWAHL

Für den hohen Luftraum auf der Südseite des 20 geschossigen Hochhauses - Sky Lobbies (Abb. 254) sowie für das Innenhof im 6 geschossigen Bürogebäude wären folgende tropischen Bäume geeignet, die sich in Miniatur auch als Zimmerpflanzen bewährt haben (leicht zu beschaffen, leichte Pflege): *Ficus lyrata*, *Ficus elastica*, *Ficus microcarpa* oder *Ficus macrophylla*. Alle diese Bäume können mindestens 15m bis maximal 55m Höhe erreichen, wenn sie genügend Platz, Erde, Wasser und Licht haben. Wenn zu groß, lassen sie sich ohne Probleme schneiden. Bei der Verpflanzung sollten diese Bäume beim 20 geschossigen Hochhaus aber bereits 5m groß sein, um den gewünschten Effekt zu erzielen.

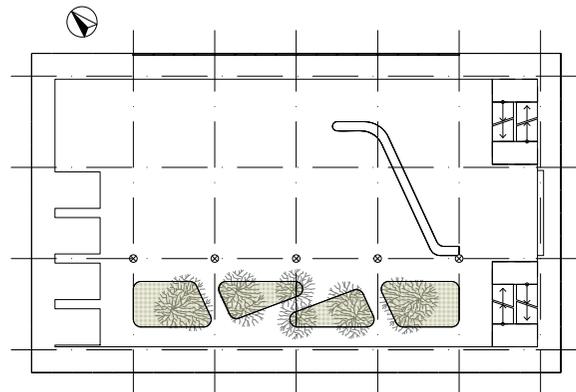


Abb. 254 Sky Lobby vom 20. Geschoss;
Veranstaltungen u. Konferenzen
Verfasser (2013)



Abb. 255 *Ficus lyrata*
Wikipedia (2013)



Abb. 256 *Ficus macrophylla*
Wikipedia (2013)



Abb. 257 *Ficus elastica*
Wikipedia (2013)

Für die Südseite (Luftraum hinter der Fassade) im 6 geschossigen Bürogebäude wären Halbwüstenpflanzen (Stauden und kleinwüchsige Sträucher, die gantztägig direkte Sonne vertragen und sehr widerstandsfähig sind) geeignet. Aus biologischer Sicht sind einige Arten aus der Gattung *Artemisia* zu empfehlen. *Artemisia*-Arten sind ein- bis zweijährige oder meist ausdauernde krautige Pflanzen, Halbsträucher und seltener Sträucher. Sie erreichen je nach Art Wuchshöhen von 3 bis 350 Zentimeter. Die Pflanzen sind meistens kahl und mehr oder weniger aromatisch. Die wechselständigen, gestielten oder ungestielten Laubblätter sind einfach bis mehrfach fiederteilig. *Artemisia* Arten, die in Nordafrika oder auf der Arab. Halbinsel zuhause sind kommen in den dortigen Halbwüsten vor; zum Beispiel *Artemisia abyssinica*, *Artemisia atlantica*, *Artemisia aucheri*, ...

Für die Balkone an der Südseite (über die Sky Lobbys) im 20 geschossigen Hochhauses wären Polsterpflanzen aus dem Hochgebirge geeignet. Das sind sowohl Stauden als auch Sträucher die eine halbkugelige Wuchsform haben. Auch diese Pflanzen zeichnen sich dadurch aus, dass sie gantztägig pralle Sonne vertragen. Hochgebirgsarten vertragen keine nährstoffreiche Erde und solltest daher nicht überdüngt werden.

Von *Enzian* und *Edelweiß* bis hin zu *Wolfsmilch* und *Säulenkaktus* kommt in den verschiedenen Regionen der Erde im Hochgebirge vor. Hier lässt sich ohne weiteres ein Eck Lateinamerika mit einem anderen Eck Alpen kombinieren. Zur optischen Auflösung sind folgende höher wüchsige Pflanzen anzudenken: Ziergräser wie aus der Gattung *Pennisetum* (z.B. Pfeifenputzergras) oder *Miscanthus* (z.B. Chinaschilf). Zur Halbwüste passt dann wieder *Pennisetum villosum*.



Abb. 258 *Artemisia atlantica*
Teline (2013)



Abb. 259 Chinaschilf
Garten-Treffpunkt (2013)



Abb. 260 *Pennisetum villosum*
Wikimedia (2013)

7 ZUSAMMENFASSUNG

Wozu sind diese Typologien gut?
Kann man hohe Bauten nachhaltig bauen?

„Vertikal verdichtete Bauformen kann man, gleichermaßen wie andere Bauten, kurzlebig oder nachhaltig bauen“

In einer Welt, in der die Hälfte der Menschheit in Städten lebt, werden sich Modelle hoher Dichte und gemischter Nutzungen durchsetzen. Intelligent gemachte, höchst verdichtete Bauformen sind notwendig. Hohe Bauten sind ein Faktum; die Frage ist nur, ob man sich an der Neu-, Um- und Besserformulierung beteiligen will oder nicht.

Bei der Entwicklung von Hochhaustypen ist es notwendig, Ressourcen, Fläche und die Energie zu schonen. Herausfordernd ist das Aufbrechen des Typus: doppelte Fassaden zur Maximierung natürlicher Ventilation, Tageslichtausbeute und Transparenz mit der Möglichkeit, zum Beispiel Holzfassaden zur Minimierung des Primärenergieverbrauchs einzusetzen, offene, flexible Raumstrukturen, hohe Reversibilitätsgrade, Minimierung und Effizienz der Versorgungsflächen, innovative schnelle material- und gewichtssparende Konstruktionen (Massivholzprodukte

wie Brettsperholzdecken oder Brettschichtholzstützen sowie Konstruktionen in Holzhybridbauweise – z. B. Holz-Stahl-verbundträger oder Holz-Beton-Verbunddecken, wo die Materialien entsprechend ihren natürlichen Vorteilen eingesetzt werden) sowie räumliche und organisatorische Offenheit. Lobbys, Wintergärten, Luftgeschosse mit natürlicher Ventilation sind Attribute, die den Genuss im Gebäude zu leben oder zu Arbeiten zusätzlich steigern.

Der Nachhaltigkeitsgedanke

Im Kapitel „Leistung der Natur“ werden unter Punkt 2.4 „Zwischenfazit“ die Aspekte der Nachhaltigkeit erwähnt. Nun wird darauf näher eingegangen. Der Begriff der nachhaltigen Entwicklung wurde 1987 durch die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung definiert. Dabei handelt es sich: «... um eine Entwicklung, die gewährleistet, dass die Bedürfnisse der heutigen Generation befriedigt werden, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer eigenen Bedürfnisse zu beeinträchtigen ...». Der Begriff der „Nachhaltigkeit“ geht historisch auf die Forstwirtschaft zurück. Es heißt dort u.a.: „Wer einen Wald hegt, muss darauf achten, nicht mehr Holz zu schlagen als nachwächst. Nachhaltigkeit bedeutet also, vom Ertrag zu leben, ohne die

Substanz anzutasten“. Der Begriff „Nachhaltiges / Grünes Bauen“ (engl. Sustainable / Green Building) beinhaltet ökologisches sowie energieeffizientes Bauen und bezeichnet primär einen Planungs- und Bauausführungsprozess und eine Nutzungsweise, die auf Bewahrung des Ökosystems und der Umwelt, auf den Nutzen für Mensch und Gesellschaft, und auf Optimierung und Steigerung der ökonomischen Potenziale eines Gebäudes ausgerichtet sind. Es handelt sich um eine hohe Ressourceneffizienz von Gebäuden bezogen auf Energie, Wasser und Materialien auf sämtliche Phasen des Gebäude-Lebenszyklus, einschließlich der Herstellung der Materialien, des Transports zur Baustelle, des eigentlichen Bauen, der betrieblichen Nutzung des Gebäudes, des Abbruchs oder Rückbaus und Entsorgung bzw. Verwertung der verwendeten Baustoffe. Die Gesundheit der Bewohner soll auch dank verbesserter Innenluft-Qualität durch eine optimierte Gebäudehülle, Sonnenlicht-Ausnutzung sowie den Einsatz schadstoff- und emissionsarmer Materialien verbessert werden. Darüber hinaus, sollen Faktoren wie optimale Standortwahl und möglichst geringe bebaute oder versiegelte Fläche Berücksichtigung finden. Schließlich sollen sich Gebäude flexibel an sich ändernde Nutzungsanforderungen anpassen können.

Ökologie gilt als eine der drei Hauptsäulen der Nachhaltigkeit. Sie beinhaltet die Aspekte Ressourcenschonung durch einen optimierten Einsatz von Baumaterialien und Bauprodukten, Schutz der globalen und lokalen Umwelt und der Reduzierung des Gesamtenergiebedarfs des Gebäudes (z. B. Heizen, Strom, Wasser und Abwasser). Als globale, quantifizierbare Indikatoren für die ökologische Gebäudebewertung gelten: Flächeninanspruchnahme, Primärenergieaufwand (nicht erneuerbar / erneuerbar wie Solarenergie, Geothermie und Biomasse sowie selten Wind- und Wasserkraft), Treibhauspotenzial, Ozonzerstörungspotenzial, Versauerungspotenzial, Überdüngungspotenzial und Ozonbildungspotenzial. Die Flächeninanspruchnahme kann durch Gewährleistung einer möglichst langen Lebensdauer eines Gebäudes (Nachnutzung eingeschlossen), flächenschonende Steuerung der Siedlungsentwicklung und durch Flächenrecycling vom Brachland, wie etwa ungenutzte Industrie- und Gewerbegebiete oder Militärstandorte reduziert werden. Eine Reduzierung ist notwendig, da mit der zunehmenden Bebauung von Flächen der Verlust des natürlichen Lebensraums für die ansässige Flora und Fauna und damit das Artensterben einhergeht. Sie verursacht außerdem ein verstärktes Verkehrsaufkommen, das wiederum

Lärm, Emissionen und einen hohen Energieverbrauch zur Folge hat. Ebenso greift die mit dem Ausbau einhergehende Versiegelung von Flächen erheblich in den natürlichen Wasserhaushalt ein, indem sie die Grundwasserneubildung stört und die Gefahr von Hochwasser steigert. Die Energieeffizienz und der Heizbedarf eines Gebäudes werden von der Gebäudeform, Lage (Standort und Ausrichtung), Gebäudehülle (Wärmedämmung, thermische Trägheit, Gebäudeöffnungen, Glastypen und Beschattungssysteme), thermische Speichermasse im Innenbereich sowie einem energiebewussten Verhalten der Nutzer beeinflusst. Ein positiver Beitrag zur kompakten Städte können hohe Gebäude leisten, da sie die städtische Dichte fördern. Außerdem sind sie durch die Nutzung von zentralen Fernwärme- und Kühlsysteme energieeffizienter. Allerdings kommen hohe Gebäude auf Kosten eines höheren verkürzten CO₂-Fußabdrucks auf einer Flächeneinheit (pro Quadratmeter) Basis. Dies ist vor allem auf die erforderliche Tragstruktur – bedingt durch die vertikal- und horizontallasten – zurückzuführen. Das zusätzliche Material wird oft als die „Prämie der Höhe“ bezeichnet. Die Prämie für die Höhe kann nicht vermieden werden, sondern nur durch die konstruktive Gestaltung minimiert werden.

Bereits in der Planungsphase sollte auf den Einsatz von Gebäudekonstruktionen, Bauteilen und Bauprodukten geachtet werden, zu deren Herstellung ein geringer Energieaufwand nötig ist und die aus möglichst nachwachsenden Rohstoffen hergestellt sind. Holz- und Lehmbaumstoffe gehören zu ökologisch nachhaltigen Baustoffen, die einen niedrigen Primärenergieinhalt (Produktion, Transport und Bearbeitung) aufweisen. Holz bindet bereits im Wachstum viel CO₂, ist Wasserdampf-diffusionsoffen, chemiefrei, allergenfrei und schafft auch unverkleidet angenehme Oberflächen. Im Falle des Rückbaus des Gebäudes können nachhaltige Bauprodukte und –konstruktionen weitgehend wiederverwendet oder wiederverwertet und somit gefahrlos in die natürlichen Stoffkreisläufe rückgeführt werden. Darüber hinaus sind sie emissionsarm, besitzen geringe negative Auswirkungen auf die globale als auch auf die lokale Umwelt und sind nicht gesundheitsschädlich.

Selbst bei der Anwendung von Beton sollten die Nachhaltigkeitsaspekte eine stärkere Gewichtung erhalten. Dazu zählt, dass ressourcenschonende und energieeffiziente Techniken bei der Herstellung in den Betonwerken zum Einsatz kommen, Sekundärrohstoffe aus dem Recycling genutzt werden, Betonfertigteile und selbstverdichtender Beton

eingesetzt werden, um Lärm auf der Baustelle zu reduzieren und für schnelle Baufortschritte zu sorgen.

Die Vorteile der Stahlbauweise können in Bezug auf Nachhaltigkeit in jeder Phase des Lebenszyklus eines Gebäudes dargelegt werden. Stahl ist zu 100% wiederverwertbar und hat eine sehr hohe Recyclingrate. Diese Rate variiert jedoch je nach Produkt und erreicht im Bausektor 98% bei Trägern und 65-70% bei Betonstabstahl. Recycelter Stahl stellt 40% der weltweiten Eisenressourcen in der Stahlindustrie dar. Außerdem verringern sich Abfallaufkommen, Wasserverbrauch und Luftverunreinigungen im Fertigungsprozess in beständigem Maße. Die Materialbeständigkeit von Stahl, etwa gegen Korrosion, kann durch Edelstahl, verzinkten Stahl sowie organische Beschichtungen erheblich verbessert werden, wodurch er auch für langlebige Anwendungen geeignet wird. Der Einsatz vorgefertigter Elemente bietet eine Reihe von Vorteilen wie geprüfte Qualität, leichteres Baustellenmanagement, schneller Aufbau, verringerte Vorlaufzeiten, verbesserte Sicherheit, bequemer Rückbau. Zudem verringert die Umweltauswirkungen auf der Baustelle: Wasserverbrauch, Abfallaufkommen, Staubbelastung, Verkehr und Lärmbelastung nehmen ab.

Bei der wirtschaftlichen Dimension des nachhaltigen Bauens werden alle ökonomischen Aspekte anhand einer so genannten Lebenszykluskostenanalyse (Life Cycle Cost Analysis, LCCA) betrachtet und bewertet. Zu diesen Aspekten gehören Errichtungskosten wie Grundstück mit Erschließungskosten, Planungskosten, Gebäude mit Baustellenbetriebskosten, Bauüberwachungs- und Dokumentationskosten, Maklerkosten, Notarkosten, Versicherungskosten während der Bauzeit etc., aber auch Nutzungskosten wie Medienverbrauch von Heizwärme, Warmwasser, Beleuchtung (Strom), Wasser, Abwasser und gebäude- bzw. bauteilspezifische Aufwendungen für Reinigung, Wartung und Instandhaltung, Modernisierung sowie Rückbaukosten. Ein wichtiges Kriterium für die ökonomische Qualität eines Gebäudes ist eine möglichst konstante Wertstabilität. Die ist gewährleistet, wenn sich das Gebäude schnell und kosteneffektiv an veränderte Nutzungsanforderungen anpassen lassen kann. Dazu gehören Flächeneffizienz, Planungsflexibilität, Erweiterungsflexibilität, interne Flexibilität und Nutzungsflexibilität.

Sozio-kulturelle und funktionale Faktoren bilden die dritte Säule der Nachhaltigkeit und stellen die Grundlage für die Akzeptanz

und Wertschätzung eines Gebäudes durch seine Nutzer und durch die Gesellschaft dar. Neben den Fragen der Ästhetik, Gestaltung, Behaglichkeit (thermischer, akustischer und visueller Komfort), Integration in städtebauliche Konzepte, Lebensqualität, Sicherheit und Mobilität (gute Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln und mit dem Fahrrad) sind insbesondere die Aspekte des Gesundheitsschutzes, der Funktionalität und der Zukunftssicherheit von gebauten Strukturen durch Flexibilität, Flächeneffizienz, Umnutzungsfähigkeit bzw. Adaptierbarkeit und Barrierefreiheit (barrierefreie Eingangsbereiche und schwellenlose Raumübergänge, behindertengerechte Arbeits- und Parkplätze, ausreichende Bewegungsflächen, wie etwa ausreichend breite Flure sowie ausreichende Verfügbarkeit von Behindertentoiletten) von großer Bedeutung. Der akustische Komfort hat einen positiven Einfluss auf das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Nutzers, da akustische Emissionen und Stress verursachen können. Konzepte zum Schallschutz sind von der jeweiligen Raumnutzungsart abhängig. Gerade bei offenen Bürostrukturen, wie Mehrpersonenbüros, können die Sprachverständlichkeit, die Kommunikation und die Konzentrationsfähigkeit erheblich eingeschränkt sein.

Die Entwürfe

Um Lärmbelästigung in verdichteten Büroflächen mit offenen Raumstrukturen entgegenzuwirken und bestmögliche akustische Behaglichkeit zu schaffen, werden spezielle Wand- und Deckenabsorber, Akustik-Deckensiegel, Glas-Akustik-Schallschirme, Wave-Absorber sowie Dämmung eingesetzt. Auch die visuellen Eigenschaften spielen bei der Beurteilung der Behaglichkeit eine wichtige Rolle. Wesentlich für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Nutzer ist das Vorhandensein von ausreichend Tageslicht und einer guten Sichtverbindung nach außen. Maßnahmen wie technische Alarmierungseinrichtungen (Brand- und Einbruchsmeldeanlagen), eine ausreichende Ausleuchtung der Außenanlagen, eine übersichtliche Wegeführung aber auch das Vorhandensein eines Sicherheitsdienstes erzeugen ein subjektives Sicherheitsempfinden, steigern das Gefühl der Behaglichkeit beim Nutzer und dienen der Vermeidung von Gefahren, Übergriffen, Katastrophen und Unfällen. Ein optimales Sicherheitskonzept beinhaltet ebenso die Planung von Fluchtwegen und Evakuierungsmöglichkeiten sowie Maßnahmen zur Reduzierung von Brandgasse und Rauch.

Die vorliegende Arbeit entwickelt aus einer ausführlichen Themenanalyse heraus zwei nach Geschößanzahl definierte unterschiedliche Prototypen, mit deren innovativen Eigenschaften das stark eingeschränkte Formen- und Funktionsspektrum mehrgeschossig gestapelter Gebäude erweitert und ihre Verwendung gesteigert werden kann. Nachdem sich die Arbeit von allgemeiner Fragestellung über das Gebäudekonzept den detaillierten Lösungsvorschlägen genähert hat, erfolgt als Abschluss dieser Arbeit eine charakteristische Zusammenfassung.

Die Hauptseiten des kubischen **6 geschossigen Gebäudes** in Holzbauweise werden durch die vollständig transparenten Vorhangfassaden (Pfosten-Riegel-Konstruktion) bestimmt. Damit wird ein Schutz gegen Blendlicht und Überhitzung des Raumklimas im Sommer erforderlich. Ein großes Innenvolumen mit kleinem Außenflächenanteil soll die Transmissionswärmeverluste minimieren. Durch den offenen Grundriss und die große Geschößhöhe entstehen so große Luftvolumina, sodass die Luftwechselrate und damit die Lüftungswärmeverluste bei ungünstiger Witterung gering gehalten werden. Das Gebäude soll zu allen Zeiten

natürlich be- und entlüftet werden. Die Fassade besteht aus einer einschaligen, Sonnenschutz- und Isolierverglasung. An der Ost- und Westfassade kommt ein starres Sonnenschutzsystem mit horizontalen Sonnenbrechern zur Anwendung. Die natürliche Beleuchtung des Innenraums, auch in seiner Tiefe, erfolgt zusätzlich über das Atrium.

Der **20 geschossige Prototyp** ist durch einfache Formensprache, sichtbare Tragstruktur, Skylobbies, Fassadenkorridor mit Balkonen im Süden und eine Kaltfassade gekennzeichnet. Die Fassade besteht aus einer zweischaligen Haut (ESG außen und Isolierverglasung innen). Die äußere Schale ist fest verglast. Die regelbaren Lüftungsklappen befinden sich im Attika- und Fußbereich. In der inneren Haut sind Schiebetüren untergebracht, so dass jeder Nutzer sein individuelles Klima schaffen kann. Die Geschößdecken bestehen aus Holz-Stahl-Fachwerksbalken, N&F Brandschutzschalung und einem entsprechenden Fußbodenaufbau. Auf die Anwendung eines zentralen Erschließungskerns wurde bewusst verzichtet.

Hochhausbegrünung

Im Kapitel Leistung der Natur befindet sich eine ausführliche Auseinandersetzung mit dem Thema Pflanzen (Zierpflanzen und Bauwerksbegrünung, Innenraumbegrünung, Wohlbefinden durch Pflanzen, Lichtansprüche von Pflanzen sowie Ansprüche an das Substrat), während die konzeptspezifische Auswahl im Anschluss an die Entwürfe getroffen wird. In diesem Zusammenhang muss dennoch erwähnt werden, dass das schmücken von Wolkenkratzerkonzepten mit Bäumen auf dem Dach, auf Terrassen, in Ecken & Winkeln und auf absurd großen Balkonen, um sie trendartig und nachhaltig erscheinen zu lassen, einfach nicht realistisch ist und es in Wirklichkeit nicht umgesetzt werden kann. Denn die Lebensbedingungen für Bäume im Freien auf Höhen von über 150 Meter sind unerträglich. Das Klima ist extrem; heiß, kalt, windig sowie Regen und Schneeregen mit hoher Geschwindigkeit. Dazu kommt, dass der Wind auch die dünne Luftschicht zwischen einem Blatt und der Atmosphäre (Grenzschicht) unterbricht. Für Pflanzen dient die Grenzschicht dazu, den Verlust von Gas und Wasser durch die winzigen Poren an der Unterseite eines Blattes zu kontrollieren. Pflanzen, die in heißen oder windigen Orten leben, haben oft

Anpassungen, um mit den harten Bedingungen umzugehen, einschließlich winzig kleiner Haare auf ihren Blättern, die die Fläche jedes Blattes und damit seine Grenzschicht erweitern. Dennoch sind solche Pflanzen nicht gewöhnlich groß und anmutig. Mit anderen Worten, nicht die hohen Bäume, die wir in den architektonischen Zeichnungen sehen. Dazu kommen auch Aspekte wie Bewässerung und Pflege, die sehr häufig sogar täglich erfolgen müssen. Selbst die Pflege von grünen Dächern ist nicht einfach, wobei diese Pflanzen für ihre Härte und geringe Wartung gewählt sind. Bäume sind in der Regel an solchen Bedingungen nicht so gut angepasst, so dass die vielen Skizzen einer grünen vertikalen Oase in vielerlei Hinsicht ein Traum sind.

Gebäudebegrünung und Verdunstung

Der Verlust an Vegetation durch Urbanisierung (zunehmender Flächenverbrauch), wie bereits erwähnt, wirkt sich auf den Energie- und Wasserhaushalt und damit auf das lokale und auch globale Klima aus. Durch die Verdunstung von Wasser werden bei 30°C etwa 680 kWh pro Kubikmeter Wasser an Energie aus der Globalstrahlung

umgesetzt, die sonst in langwellige Ausstrahlung und sensible Wärme (fühlbare Änderung der Temperatur) umgewandelt wird. Die entstehende sensible Wärme und thermische Ausstrahlung löst das Phänomen der urbanen Hitzeinsel aus, hat Einfluss auf die globale Erwärmung, schafft ein unbehagliches Raumklima und trägt zur Erhöhung des Energiebedarfs für die Gebäudeklimatisierung bei. Die Rückführung des Regenwassers in den natürlichen Wasserkreislauf ist auch sehr wesentlich, da nur der Anteil des Regenwassers, der wieder der Verdunstung zugeführt wird, Niederschläge erzeugt. Entwicklung von Vegetationsstrukturen, Gebäudebegrünung (extensive und intensive Dachbegrünung, Fassadenbegrünung), Hofbegrünung, künstliche Gewässer sowie Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung über Verdunstungskälte und für Bewässerung können einen Beitrag zur Kompensation der fehlenden Verdunstung durch Versiegelung und Bebauung leisten. Zu einem ökologischen Gesamtkonzept zählen auch die Maßnahmen der Betriebswassernutzung (Toilettenspülung, Hochdrucknebellöschanlage etc.) und die verschiedenen Möglichkeiten der Versickerung.

Ein völliger Verzicht auf Technik ist in modernen Bauwerken kaum möglich, kann jedoch durch intelligente Planung drastisch reduziert und als letzte Optimierung eingesetzt werden. Eine der Herausforderungen in der heutigen Zeit ist die mit den großflächigen Verglasungen verbundene Aufheizung der Räume. Durch durchdachte Klimakonzepte kann sogar in den heißen Sommermonaten auf mechanische Be- und Entlüftung verzichtet werden. Solche Belüftungskonzepte sehen die Nutzung der natürlichen Thermik wie auch den Einsatz schattenspendender und verdunstungskühlender Pflanzen vor. Beim Klimakonzept der natürlichen Thermik entsteht die größte kühlende Wirkung durch die Luftzirkulation. Die Luft strömt durch Lamellen an der Unterseite des Gebäudes ein und steigt durch die Erwärmung wie im Kamin nach oben. Während sie an den Scheiben entlang streicht, zieht sie neu entstehende Wärme ab und wirkt dabei wie ein abschirmender Vorhang. Schließlich entweicht die aufgeheizte Luft über Entlüftungsöffnungen an der Oberseite des Gebäudes.

Ein weiterer möglicher Weg ist auch die Kombination von begrünten Fassaden und Innenräumen mit der Nutzung von Verdunstungskälte in Klimaanlage (adiabate Abluftkühlung). Bei der adiabaten Abluftkühlung wird das Freie werden der sogenannten Verdunstungskälte gezielt genutzt. Die Kälte wird direkt im Wärmeübertrager der Lüftungsanlage durch Befeuchtung der Abluft erzeugt. Hierfür wird das Wasser im Abluftstrom versprüht, wodurch sich dieser abkühlt. In einem Wärmetauscher wird dann die warme Zuluft mit der kalten Abluft vorgekühlt, ohne dass ein Austausch zwischen den beiden Luftströmen stattfindet. Nicht gesättigte Luft wird mit jedem Gramm Wasser, mit dem die Luft befeuchtet wird, um ca. 2,5°C abgekühlt. Die Abluft gelangt direkt ins Freie, ohne den Wassergehalt der Raumluft zu erhöhen. Man erhält 2,72 kWh Kälte durch Verdunsten von 4l Wasser, was 1 mm Wasserfilm auf 4m² Fläche entspricht. Die adiabate Abluftkühlung verbraucht im Gegensatz zur herkömmlichen Kompressionskältemaschinen keinen Strom und kann auch mit Regenwasser statt Trinkwasser durchgeführt werden, was auch die Kanalisation sowie Trinkwasserversorgung entlastet und Betriebskosten wie etwa für Entsalzungsprozesse spart. Bei Außentemperaturen von bis zu 30 °C kann die Zuluft auf 21 bis 22°C

gekühlt werden, sodass der empfohlene Temperaturunterschied zwischen Außentemperatur und Raumtemperatur von 6°C in der Regel realisierbar ist. Auch die Pflanzenbewässerung kann mit gesammeltem Regenwasser erfolgen, wodurch das Wasser in beiden Fällen über den Verdunstungsprozess wieder in den natürlichen Wasserkreislauf gelangt. Während außenstehende Bäume wie etwa eine grüne Wand bzw. einer Vorhang – „Green Curtain“ – im Sommer die Glasfassaden beschatten und für Abkühlung sorgen, kann eine Bepflanzung im Innenraum, etwa besonders kleinblättrige Spezies wie Ficus-Bäume, dem Raum durch Verdunstung Wärme entziehen und einen Beitrag zur Kühlung leisten. Um das Problem mit einer zu niedrigen relativen Luftfeuchte im Raum, vor allem in der kalten Jahreszeit, entgegenzuwirken und sie auf ein behagliches Maß anzuheben, können zusätzlich zu den Topfpflanzen funktionale anpassungsfähige vertikale Begrünungssysteme – Substrat-Trägersystem wie „Grüne Wand“ – eingesetzt werden. Somit wird die Gebäudeenergieeffizienz durch die Reduktion der Kühl- und Heizkosten positiv beeinflusst. Durch die Kombination der effizienten Verdunstungskühlung mit Maßnahmen der passiven Gebäudekühlung (Begrünung, Verschattung, Konzept der Nachtauskühlung) kann auf den

Einsatz einer konventionellen Gebäudekühlung durch eine Kompressions-Kältemaschine verzichtet werden. Wasser, Luftzirkulation mit natürlicher Thermik und Bepflanzung bilden zusammen eine natürliche Klimaanlage.

Eine sinnvolle Möglichkeit ist die Kombination von Photovoltaik und Begrünung auf dem Dach, da die Verdunstung von Regenwasser durch die Pflanzen die Solarpaneele kühlt, sodass sich deren Stromausbeute erhöht. Eine weitere Variante zur Kühlung der fassadenintegrierten Photovoltaikpaneele durch Regenwasser ist die offene Wasserfläche, Spiegelteich gespeist aus einem Regenspeicher. Diese Anordnung erhöht die Strahlungsintensität, kühlt durch Verdunstung und trägt zur architektonischen Gestaltung bei. Mehrere gebaute Beispiele belegen wie auch im Inneren des Gebäudes, durch das Anlegen von Wasserflächen, Wasserfällen sowie fließendem Wasser kombiniert mit Grünzonen, die Befeuchtung / Kühlung erfolgt und die Luft mit natürlicher Thermik ausgetauscht wird.

LITERATURVERZEICHNIS

Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (2000): holzbau handbuch Reihe 1 Teil 1 Folge 4, Holzbausysteme, Fachverlag Holz, Düsseldorf, www.argeh Holz.de
[abgerufen am 1.9.2011]

Architekturbüro für energieeffizientes, solares Bauen und Innenraumbegrünung, Tübingen (2010): Planungsgruppe agsn Architekten
<http://www.planungsgruppe.agsn.de>
[abgerufen am 1.10.2010]

Aringer, Michael/Fischer, Barbara (2010): GartenGnom, <http://www.gartengnom.net/buero-pflanzen-fuer-ein-gesuenderes-arbeitsklima/>
[abgerufen am 1.10.2010]

BAUEN MIT STAHL e. V. (2007): Dokumentation 612, Stahlgeschossbau Grundlagen, 2. Auflage, Düsseldorf

BAUEN MIT STAHL e. V. (2005): Dokumentation 614, Stahlgeschossbau Deckensysteme, Düsseldorf

Compagno, Andrea (1999): Intelligente Glasfassaden, 4., revidierte und erweiterte Auflage, Birkhäuser Publishers, Basel et al.

Cooper, Paul (2003): Grüne Räume: Gartenarchitektur für den Innenraum: Atrien-Gartenhöfe-Wintergärten-Wandbegrünung, Callwey Verlag, München

Detail Daily (2011):
<http://www.detail.de/daily/>
[abgerufen am 24.11.2011]

Eisele, Johann (2002): Konstruktion und Gestalt, in: Eisele, Johann/Kloft, Ellen (Hrsg.): HochhausAtlas, Verlag Georg D.W. Callwey, München, Seite 116-125

Fonds Gesundes Österreich (2010):
<http://www.gesundesleben.at>
[abgerufen am 1.10.2010]

GREEN 24 (2010):
<http://green-24.de/>
[abgerufen am 1.10.2010]

Grohmann, Manfred/Kloft, Harald (2002): Tragwerke, in: Eisele, Johann/Kloft, Ellen (Hrsg.): HochhausAtlas, Verlag Georg D.W. Callwey, München, Seite 96-115

Heidenberger, Burkhard (2010): Zeitblüten
<http://www.zeitblueten.com>
[abgerufen am 1.10.2010]

Holzbau Gröber GmbH (2011): www.HBV-TT.de, www.groeber.de
[abgerufen am 24.8.2011]

Holzforschung Austria (2012): Bauteilkatalog, www.dataholz.com
[abgerufen am 02.04.2012]

INFORMATIONSDIENST HOLZ

(1999): Holz-Glas-Fassaden, holzbau handbuch Reihe 1 Teil 10 Folge 3, Absatzförderungs fonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft HOLZABSATZFONDS (Hrsg.), Bonn
<http://www.informationsdienst-holz.de/>
[abgerufen am 16.8.2011]

Lebensministerium, Österreich (2010):
<http://www.umweltzeichen.at>
[abgerufen am 1.10.2010]

LIGNOTREND Produktion GmbH (2011): www.lignotrend.com
[abgerufen am 24.8.2011]

Martin, Karin (2009): Zimmerpflanzen sorgen für Wohlbefinden
<http://fitness-wellness.suite101.de/>
[abgerufen am 1.10.2010]

Menke, Peter (2010): NED WORK Agentur und Verlag GmbH, Düsseldorf
<http://www.plants-for-people.de/>
[abgerufen am 1.10.2010]

Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB (2011): Brandschutz, Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2

Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB (2011): Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m, Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2.3

Pagliano, Lorenzo / Dama, Alessandro / Radgen, Peter (2012): Technisches Modul zum Thema Gebäudehülle, Politecnico di Milano, Building Engineering Faculty, <http://www.ibo.at/>
[abgerufen am 1.3.2012]

PALISADIO (2012):
www.palisadio.de
[abgerufen am 1.11.2012]

Pos Architekten (2011):
www.pos-architekten.at
[abgerufen am 30.11.2011]

ProHolz Steiermark (2010):
<http://www.proholz-stmk.at>
[abgerufen am 8.10.2010]

Rug, Wolfgang (2008): „Zusammengesetzte Bauteile (Verbundelemente)“, in: HOLZ-ABSATZFONDS; Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft (Hrsg.): Holzbau Handbuch – Reihe 4 – Teil 1 – Folge 1: Holz als konstruktiver Baustoff, Bonn, Seite 115-132
<http://www.informationsdienst-holz.de/>
[abgerufen am 16.8.2011]

SAINT-GOBAIN GLASS (2013):
www.saint-gobain-glass.de/
[abgerufen am 22.3.2013]

Schüco International KG (2012): Architect Information 13 – Sonnenschutzsysteme, www.schueco.com
[abgerufen am 2.8.2012]

SOM Skidmore, Owings, and Merrill, LLP, Chicago (2013): Timber Tower Research Project; Final Report

SOM Skidmore, Owings, and Merrill, LLP, Chicago (2014): Timber Tower Research Project; System Report

TiComTec GmbH (2011): „Technisches Dossier HBV®-Systeme 2011-07: HBV® - Konstruktionen“
<http://www.hbv-systeme.de>
[abgerufen am 14.8.2011]

Ucan, Sürme (2008): Transparenz, Struktur, Neue Architektur; Diplomarbeit TU-Wien

Verband Österreichischer Umweltberatungsstellen (2010):
<http://www.umweltberatung.at/>
[abgerufen am 1.10.2010]

Volm, Christine (2002): Innenraumbegrünung in Theorie und Praxis, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

VNR Verlag für die Deutsche Wirtschaft AG (2010): <http://www.vnr.de/>
[abgerufen am 1.10.2010]

Wikipedia (2010): www.wikipedia.org
[abgerufen am 16.6.2010]

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Academic dictionaries and encyclopedias (2010): <http://de.academic.ru/>
[abgerufen am 9.10.2010]

agsn, architekten GmbH (2006):
www.agsn.de

Architectook (2008):
www.architectook.net
[abgerufen am 18.1.2008]

ARCHITONIC (2014):
www-architonic.com
[abgerufen am 9.8.2014]

Architekturnetzwerk (2008):
www.nextroom.at
[abgerufen am 17.1.2008]

Arte-TV (2014): www.arte.tv
[abgerufen am 26.5.2014]

Auslandsimmobilienportal (2010):
www.auslandsimmobilienportal.de
[abgerufen am 9.10.2010]

Atelier 4+, Arch. Michael Canac (2014):
Dossier Presse, März 2014, www.fcba.fr

Bayerischer Rundfunk (2013): www.br.de
[abgerufen am 10.7.2013]

Blumer, Hermann (2002): Zweischalige Hybridkonstruktionen - eine neue Chance für das Holz, SJB.Kempler.Fritze AG, Herisau, CH

Botanischer Garten auf La Palma (2010):
www.lapalma-botanik.info
[abgerufen am 23.6.2010]

Carlo Alberto Mari (2013): Stefano Boeri Studio, www.stefano-boeri-architetti.net
[abgerufen am 14.7.2013]

Campi, Mario (2000): Skyscrapers: An Architectural Type of Modern Urbanism, Birkhäuser Verlag, Basel et al.

Deutscher Stahlbau-Verband DSTV (2005): Dokumentation 614: Stahlgeschoßbau; Deckensysteme

DGHT (2010):
www.dghtserver.de
[abgerufen am 9.10.2010]

DOMA Solartechnik (2014):
www.domasolar.com
[abgerufen am 8.8.2014]

espazium AG (2015): www.espazium.ch
[abgerufen am 14.11.2017]

Floramediterranea (2010):
www.floramediterranea.de
[abgerufen am 23.6.2010]

Foster + Partners (2011):
www.fosterandpartners.com
[abgerufen am 27.6.2011]

Fotocommunity (2010):
www.fotocommunity.com/
[abgerufen am 23.6.2010]

Garten-Treffpunkt (2013):
www.garten-treffpunkt.de
[abgerufen am 25.3.2013]

GAT - Verein zur Förderung steirischer Architektur im Internet (2014):
www.gat.st, [abgerufen am 6.8.2014]

Henkel AG & Co. KGaA (2013):
www.henkel.de
[abgerufen am 10.7.2013]

Hermann Kaufmann ZT GmbH (2014):
www.hermann-kaufmann.at
[abgerufen am 14.08.2014]

Hoesch (2013): www.hoesch.at
[abgerufen am 30.7.2013]

Holzforschung Austria (2012): Bauteil-katalog, www.dataholz.com
[abgerufen am 02.04.2012]

J H Nævdal Bygg (2011):
www.naevdalbygg.no
[abgerufen am 23.11.2011]

Klaura Kaden + Partner, Rubner (2013):
in ProHolz, <http://www.proholz.at>
[abgerufen am 9.7.2013]

LIGNOTREND Produktion GmbH
(2011): www.lignotrend.com
[abgerufen am 24.8.2011]

Museum of Architecture (2012):
www.archmuseum.org
[abgerufen am 3.11.2012]

ÖBB-Infrastruktur Aktiengesellschaft
(2013): <http://hauptbahnhof-wien.at/de/>
[abgerufen am 12.7.2013]

Österreichischer Agrarverlag (2013):
www.agrarverlag.at
[abgerufen am 10.7.2013]

PALISADIO (2012):
www.palisadio.de
[abgerufen am 1.11.2012]

Peltier, Jean-Paul (2013): Plant Biodiversity
of South-Western Morocco
www.teline.fr
[abgerufen am 25.3.2013]

Pos Architekten (2011):
www.pos-architekten.at
[abgerufen am 30.11.2011]

ProHolz Austria (2008):
www.proholz.at
[abgerufen am 17.1.2008]

Rheinische Post Verlagsgesellschaft
(2013): www.rp-online.de
[abgerufen am 14.8.2013]

Schittich/Staib/Balkow/Schuler/Sobek
(2006): Glasbau Atlas, 2., überarbeitete und
erweiterte Auflage, Birkhäuser Verlag, Basel
et al.

Schlüter, Ralf (2010): Gärtnerei Schlüter
www.gaertnereischlueter.de
[abgerufen am 9.10.2010]

Schüco International KG (2013): Katalog-
Sonnenschutzsysteme, www.schueco.com

**SOM Skidmore, Owings, and Merrill,
LLP**, Chicago (2013): Timber Tower Re-
search Project; Final Report

**SOM Skidmore, Owings, and Merrill,
LLP**, Chicago (2014): Timber Tower Re-
search Project; System Report

**Tageszeitung für erneuerbare Energie
und Nachhaltigkeit (2008)**:
www.oekonews.at
[abgerufen am 17.1.2008]

Technische Universität Dresden (2013):
www.tu-dresden.de
[abgerufen am 28.8.2013]

Technische Universität München (2010):
Architekturfakultät, Architekturmuseum
www.architekturmuseum.de
[abgerufen am 18.6.2010]

TiComTec GmbH (2011): „Technisches
Dossier HBV®-Systeme 2011-07:
HBV® - Konstruktionen“
<http://www.hbv-systeme.de>
[abgerufen am 14.8.2011]

Uhl, Robert, “Bürotypologien und Raum-
formen” (2015): <http://issuu.com/r.uhl/>
[abgerufen am 6.2.2016]

UNIGLAS GmbH und Co. KG, Produkt-
folder (11/2013): www.uniglas.net
[abgerufen am 17.3.2014]

Walch GmbH, Produktkatalog (2010):
www.walchfenster.at
[abgerufen am 17.3.2014]

Welt Online (2008): www.welt.de
[abgerufen am 17.1.2008]

Wettbewerbe Aktuell, Fachzeitschrift für
Architektenwettbewerbe (8/2003): Verlags-
gesellschaft mbH, Freiburg

Wikimedia (2008): www.wikimedia.org
[abgerufen am 17.1.2008, 25.3.2013]

Wikipedia (2010): www.wikipedia.org
[abgerufen am 15.6.2010, 25.3.2013]

*Abbildungen mit der Kennzeichnung Ver-
fasser sind von mir selber erstellte Zeich-
nungen oder Fotos. Ihre Inhalte werden in
den Überschriften unmittelbar unter der Ab-
bildung angegeben.*

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

- Vorname: Sami
- Nachname: KHOURY
- Geburtsdatum: 17. Juli 1971
- Geburtsort: Amman
- Staatsangehörigkeit: Österreich
- Familienstand: ledig
- Religion: Griechisch-Orthodox
- Adresse: Zur Spinnerin 1/5/515, A-1100 Wien
- E-Mail: samikhoury45@hotmail.com

Ausbildung

- 2009 Abschluss des Moduls 3 „Wood-based Multi-storey Buildings“ Als Teil des postgraduate MSc Programms: Urban Wood, Weiterbildungszentrum der Technischen Universität Wien
- 2008 Beginn der Dissertation (Tragwerk: Holz- und Stahlbau)
Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau.
O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang WINTER
Fakultät für Architektur und Raumplanung
Technische Universität Wien
- 2007 Abschluss des Masterstudiums der Architektur
Masterarbeit am Institut für Tragwerksplanung und
Ingenieurholzbau
O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang WINTER
Fakultät für Architektur und Raumplanung
Technische Universität Wien
- 2006 Abschluss des Bakkalaureatsstudiums der Architektur
Bakkalaureus der technischen Wissenschaften (Bakk.techn.)
Fakultät für Architektur und Raumplanung
Technische Universität Wien
- 1989 Abschluss des Gymnasiums, Terra Sancta College – Fran-
ciscan Fathers, Amman-Jordanien, Matura am 21 Juli 1989

Berufserfahrung

- Seit 2014 Senior Architect & Skin Unit Coordinator,
Architecture Department, Dar Al-Handasah
Consultants (Shair and Partners), Amman, Jordan
- 2013 Instructor, Architecture Engineering
Wadi-Seer-College / UNRWA – Amman, Jordan
- 2011 – 2012 Lecturer, Department of Architecture
Faculty of Engineering, Philadelphia University –
Jordan
- 2009 – 2010 Mitarbeiter im Architekturbüro
Sne Veselinovic ZT GmbH, Wien
- 2009 Mitarbeiter im Architekturbüro
RATAPLAN Architektur ZT GmbH, Wien
- 2008 Mitarbeiter im Architekturbüro
Hofmann Müller Associates ZT GmbH, Wien
- 2006 – 2008 Mitarbeiter im Architekturbüro
Ertl, Kirchhofer & Partner, Wien