



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN**

Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT
Master's Thesis

Tragende Holz Glas Verbundsysteme: Machbarkeitsstudie

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung

o. Univ. Prof. Dipl. Dipl.-Ing. Wolfgang WINTER
Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza FADAI

E 259
Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von
Julian HERESCH
0730183

Wallgasse 39/6, 1060 Wien

Wien, am

KURZFASSUNG

Diese Arbeit beschäftigt sich mit Holz-Glas-Verbundsystemen. Der primäre Fokus der Arbeit lag auf der Untersuchung dieser Systeme unter architektonischen Gesichtspunkten mit dem Ziel, ein konkretes Fallbeispiel zu entwickeln. Dieses soll auf die Problemstellung der vorangegangenen Forschungsarbeiten sowie auf die gewonnenen Erkenntnisse eingehen.

Im einleitenden Teil der Arbeit wird über die Geschichte der Bautechnik und Konstruktion versucht, die zu Grunde liegende Idee des Holz-Glas-Verbundsystems sichtbar zu machen und deren Relevanz für zukünftige Gebäude und Fassadenentwicklungen hervorzuheben.

Bei dem Entwurf wurde eine Fassadenanwendung für das Holz-Glas-Verbundsystem entwickelt, die aufgrund ihrer aussteifenden Wirkung die Gestaltung des Grundrisses sowie die Lichtverhältnisse im Innenraum des Gebäudes mitbestimmt. Im Besonderen wurde versucht, die Elemente so in der Fassade anzuordnen, dass eine Scheibentragwirkung über deren gesamte Fläche aktiviert wird. Dies sollte aber nicht im Widerspruch dazu stehen, diese lastabtragenden (aussteifenden) Bauteile im Schadensfall (Bruch der Scheibe) austauschen zu können ohne dabei die Sicherheit der Gesamtkonstruktion zu gefährden. Einem modernen Fassadenkonzept angepasst wurde die Fassade mehrschichtig mit einem Photovoltaik Modul zur Klimaregulierung ausgeführt.

Diese Arbeit soll aufzeigen, dass für diesen „Verbundwerkstoff“ ein hohes Potential an Entwicklung möglich ist. Dadurch soll ein Anreiz geschaffen werden, die noch offenen konstruktiven und technischen Problemstellungen im Zusammenhang mit diesem Thema zu erforschen und zu lösen.

ABSTRACT

Basically this work is dealing with timber-glass-composite-systems. The first focus of the work was set to analyse the existing systems from an architectural point of view with the goal to design an own project. This design should take the on going scientific works related to this topic in consideration and implement the knowledge of the analyses.

The aim of the introduction of this work was to figure out the relevance of this timber-glass-composite-system for the future by linking it back to the history and therefore underline its relevance.

The design project itself is related to the timber-glass-composite-systems in the facade of a building. This load bearing facade element is strongly influencing the design of the floor plan as well as the light situation created in the building. In detail it was tried to arrange the element in the facade to have the whole face of the facade resisting lateral forces as a union. This ability should of course not disable the possibility to replace a facade element in case of damage caused by external forces. The damage and the replacement process of this panel should not have any effects on the stability of the whole system. The facade itself is made of two layers, where the outer layer is equipped with photovoltaic panels, which as well regulates the temperature in the building.

The aim of this work should be to show the potential of this “composite material” for future developments. Therefore an incentive should be given to work and solve open technical problems related to this topic.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Wissenschaftliche Fragestellung und Herangehensweise	7
1.2	Anmerkung	7
1.3	Definition von Raum aus Sicht der Architektur und dessen Wahrnehmung	8
1.3.1	Der Zusammenhang von Funktion, Raum, Licht, Klima und Konstruktion aus Sicht der Architektur	9
1.3.2	Geschichte der Baukonstruktion, Bautechnik und Baukunst	11
1.3.3	Der Zusammenhang der Geschichte der Baukonstruktion u. Bautechnik und Tageslicht.....	22
1.3.4	Zusammenfassend aus den vorangegangenen Kapiteln kann folgender Gedankengang im Sinne des Holz Glas Verbundsystems festgehalten werden.....	23
2	Grundlagen: Ausgangsstoffe HGV	26
2.1	Holz	26
2.1.1	Holzeigenschaften	26
2.1.2	Arten von Holz.....	27
2.1.3	Holzwerkstoffe	29
2.2	Glas	30
2.2.1	Floatglas und seine Herstellung.....	30
2.2.2	Begriffserklärung – Einscheibensicherheitsglas (ESG)	31
2.2.3	Begriffserklärung – Verbundsicherheitsglas (VSG)	32
2.2.4	Begriffserklärung Teilvorgespanntes Glas (TVG)	32
2.2.5	Bruchbilder von Glas	32
2.3	Klebstoffe	33
2.3.1	Einteilung der Klebstoffe.....	33
2.3.2	Klebstofftypen.....	35
3	Grundlagen: Statische Konzeptionierung	36
3.1	Das Abtragen von Lasten und Aussteifungen	36
3.2	Tragende Bauteile aus Glas im technischen unregelmäßigen Fall	42
3.3	Tageslichtnutzung und Sichtbeziehung nach außen	45
3.4	Diagrid Structures:	47
3.5	Photovoltaik	49
3.5.1	Arten von Photovoltaikzellen.....	49
3.5.2	Anordnen der Zellen und Semitransparenz der Module	50
3.5.3	Standortklärung	51
3.5.4	Auswirkung von Neigung und Orientierung	52
3.5.5	Temperatureffekte und Hinterlüftung von PV-Paneelen	52
3.5.6	Leistungsreduzierung aufgrund von Wärmebildung	53
4	HGV	54
4.1	Erläuterung der Grundidee des Holz Glas Verbund Elementes und Funktionsweise.	54
4.2	Bereits geleistet Forschungsarbeiten und Stand des Wissens über HGV	55
4.3	Gebaute HGV Beispiele und Stand der Entwicklung	56
4.3.1	Anwendung mit Uniglas Fassade : Die Schattenbox.....	56
4.3.2	Weitere Beispielgebäude mit HGV-Fassaden.....	59
4.3.3	Anwendung als Träger:	60
4.3.4	Gebäude mit integriertem HGV-Träger:.....	61
4.3.5	Hotel Palafite complex in Neuchâtel - Schweiz	61
4.3.6	„Wiener Kastenträger“ und dessen Weiterentwicklung des ITI (TU-Wien)	63

5	Entwurf - Analyse	66
5.1	Analyse der Grundrisstypen	66
5.1.1	Methodik der Analyse am Beispiel des Wohnbaus	67
5.1.2	Analyse Einfamilienhaus im vorstädtischen Kontext	68
5.1.3	Analyse Einfamilienhaus im ländlichen Kontext.....	69
5.1.4	Analyse Einfamilienhaus alleinstehend	70
5.1.5	Analyse mehrgeschossiger Wohnbau.....	71
5.1.6	Analyse Kindergarten – Laubengangerschließung.....	72
5.1.7	Analyse Schulpavillon	73
5.1.8	Analyse mehrgeschossiger Bürobau	74
5.1.9	Analyse mehrgeschossiger Bürobau - Vergleichsobjekt	75
6	Entwurf – Fallbeispiel	77
6.1	Entwurfskriterien	77
6.1.1	Bauplatz	77
6.1.2	Statisches Grundkonzept	77
6.1.3	Gestaltung des Grundriss	78
6.1.4	Fassadenkonzept.....	78
6.1.5	Haustechnik – Lüftung	79
6.1.6	Fasadengestaltung.....	79
6.2	Entwurf	80
7	Abbildungsverzeichnis	124
8	Literaturverzeichnis	127
9	Danksagung	129

1 Einleitung

1.1 Wissenschaftliche Fragestellung und Herangehensweise

Diese Arbeit versucht die Relevanz der Holz-Glas-Verbund (im weiteren Text als HGV bezeichnet) Entwicklung im baukonstruktiven und baugeschichtlichen Kontext einleitend zu erörtern, um die Aussage von vorangegangenen wissenschaftlichen Arbeiten zu diesem Thema zu untermauern.

Der Tenor der vorangegangenen Arbeiten und realisierten Projekte wird von Pierre Heid in der Kurzfassung seiner Diplomarbeit treffend wiedergegeben: "Die Holz-Glas-Verbundkonstruktion erfüllt den architektonischen Wunsch einer transparenten Hülle, wie auch die konstruktive Idee, eine aktive Krafteinleitung der Fassadenkonstruktion zu ermöglichen. Das heutige gesellschaftliche Bedürfnis nach Offenheit und Transparenz soll durch unsere modernen Konstruktionen gefördert werden". (Heid, 2014).

Der Trend moderner Architektur fordert das Bauen mit transparenten Baustoffen wie beispielsweise Glas. Holz-Glas-Verbundfassaden übernehmen nicht nur diese Funktion sondern auch die horizontale Lastableitung. Somit kann auf eine konventionelle Gebäudeaussteifung ganz oder in Teilen des Gebäudes verzichtet werden. (Weissensteiner, 2013)

Zur gedanklichen Untermauerung dieser Einordnung in den baukonstruktiven und baugeschichtlichen Kontext werden im einleitenden Teil der Arbeit elementare Eigenschaften und Bedürfnisse der Architektur erörtert. Diese dienen dem erweiternden Verständnis für diesen Verbundwerkstoff aus der Sicht der Architektur und dessen Relevanz. Die Forschung hat parallel zur Entwicklung des Fassadenelements einen Träger zur Anwendung im Innenraum in HGV-Bauweisen hervorgebracht. Dieses Element vermag sowohl hohe vertikale als auch horizontale Lasten aufnehmen zu können. (*Erklärung zur Fähigkeit, vertikale und horizontale Kräfte aufnehmen zu können, findet sich weiterführend in den Grundlagen*). Jedoch wurde dieser Träger im Gegensatz zur Fassadenanwendung noch spärlich in der Praxis eingesetzt. Ein kurzer Überblick der Forschungsarbeiten und eine Analyse aus architektonischer Sicht für Träger stellen den Stand des Wissens dar und sollen Aufschluss über Anwendungsproblematiken geben.

Abschließend wurde aus den Erkenntnissen der Analyse ein Fallbeispiel für ein HGV-Fassadenelement erarbeitet, welches Antworten auf offene Punkte der Analyse liefern soll und als Grundlage für weitere Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet dienen soll.

1.2 Anmerkung

Jeder Mensch hat täglich hunderte von Entscheidungen zu treffen, jedoch wird nur ein kleiner Teil davon bewusst entschieden. Den überwiegenden Teil der Arbeit übernimmt das Unterbewusstsein. Dieses entscheidet nach einem erlernten Muster, welches wir uns über Jahre angeeignet haben. »Alle unsere Handlungen sind die Überlagerung von Tausenden von kleinen Ursachen! – Erfahrungen in Kindheit und Beruf, unsere Kultur, die Menschen, mit denen wir uns umgeben, die Medien, die wir zurate ziehen, und so weiter.« (<http://www.zeit.de/2008/17/Freier-Wille/seite-3>, 17.05.2016) Zitat Haynes

Mit diesem kleinen Exkurs in die Gehirnforschung möchte ich vorweg anmerken, dass die hier dargebotene Arbeit primär aus der Gedankenwelt der Architektur erarbeitet wurde. Als Grundlage dienen Diplomarbeiten, Dissertation und Publikationen, die am Institut für Architekturwissenschaften, Abteilung Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, der TU Wien und Vertretern der Holzforschung Austria, über Holz-Glas-Verbundtragwerke verfasst wurden. Der Fokus wurde bei dieser Arbeit bewusst auf die Umsetzbarkeit und "Faszination" aus

architektonischen Gesichtspunkten gelegt, um die Praxistauglichkeit dieser innovativen Verbundkonstruktion zu erforschen und deren Vorteile und Probleme zu erörtern.

1.3 Definition von Raum aus Sicht der Architektur und dessen Wahrnehmung

Ursprünglich gewährte Raum vor allem Schutz vor klimatischen Einflüssen und äußeren Feinden. Raum ist nicht einfach da, er muss vielmehr erst hergestellt werden. Raum entsteht durch visuelle Wechselbeziehungen zwischen Objekten. Raum wird durch eine Begrenzung definiert: „Wäre keine Begrenzung vorhanden, könnte auch kein Raum wahrgenommen werden. Die Bauteile müssen dabei den Raum klar definieren, also deutlich begrenzen. Wäre keine Begrenzung definiert, könnte auch kein Raum wahrgenommen werden.“ (Schlenker, 2011)

Dass Raum nicht selbst mit den begrenzenden Elementen, also mit Wand, Fußboden und Decke identisch ist, erscheint einleuchtend, denn Raum wird als dasjenige bezeichnet, was sich zwischen diesen Elementen befindet. Man kann Raum aber nicht nur als etwas Eingeschlossenes bezeichnen. Raum kann auch von mehreren Objekten erzeugt werden, die in einem nahen Verhältnis zu einander stehen, aber nicht durchgängig miteinander verbunden sind. Dies trifft in weiterer Folge bei Plätzen zu oder beispielsweise auch bei dem Barcelona-Pavillon (1929) von Ludwig Mies Van der Rohe, bei dem die Raumteile ineinander übergehen.

Wenn ein Architekt somit seine Räume schafft, ordnet er Massen in festgelegten Relationen an. Was so umgrenzt wird, bezeichnet er als Raum. Der architektonische Raum als Wahrnehmungsraum ist immer ein Innenraum – ein Wohnraum in einem Gebäude, ein städtischer Raum, der von Gebäuden begrenzt wird und beides wiederum umschlossen von natürlichem Raum. „Wie schnell wir uns auch bewegen, wir bleiben immer in einem durch Wahrnehmung begrenzten Innenraum.“ (Joedicke, 1968)

Der Mensch nimmt die Umwelt mithilfe seiner fünf Sinne wahr. Das Auge hat daran den weitaus größten Anteil. Die Wahrnehmung geschieht im einzelnen durch sehen (82%), hören (12%), riechen (3%), tasten (2%) und schmecken (1%). „Raum sehen“ ist kein passives Empfangen äußerer Reize, sondern ein „wirklich schöpferisches Erfassen der Wirklichkeit“ (Joedicke, 1985) Es setzt ein aufmerksames und distanzierendes Beobachten der äußeren Gegebenheiten voraus.

Die architektonische Wirkung von Gebäuden und Räumen beruht demnach auf konkreten optischen Eindrücken und nicht auf theoretischem Wissen. Der Betrachter nimmt wahr, was er mit den Augen erfassen kann: groß-klein, hell-dunkel, glänzend-matt, also Kontrast und Wechsel in Größenverhältnissen, Form, Farbe, Material, Textur und Lichtverhältnissen. Darauf beruht die Wirkung von Lebendigkeit, Spannung, Geborgenheit oder auch Bedrohung. (Arnheim, 1978)

Die natürliche Belichtung von Räumen ist eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale. Sie kann und soll nur in besonderen Fällen durch eine künstliche Beleuchtung ergänzt werden. Neben der reinen Belichtungsstärke spielen die Verteilung des Lichts und die Form und Lage der Lichtquellen wichtige Rollen bei der architektonischen Wirkung eines Raumes.

Offenheit und Intimität, Transparenz und Introvertiertheit, das Egalisieren und das Belichten eines Ortes können durch Lichtstärke und Lichtführung realisiert werden.

Neben der Belichtung erfüllen Fenster die psychologisch wichtige Funktion der Sichtbeziehung nach außen. (Winkelvoss, 1985)

Im Gegensatz zu den anderen bildenden Künsten muss Architektur stets eine bestimmte Funktion erfüllen. Nur für wenige Kunstwerke braucht man aber eine Dachrinne, Abflussrohre, Elektrokabel, Gasleitungen, Stromanschlüsse, Heizkörper, Lampen, Lüftungen, Fenster und Klimaanlage. Aus dieser Sicht ist ein Gebäude funktional wie eine Maschine.

1.3.1 Der Zusammenhang von Funktion, Raum, Licht, Klima und Konstruktion aus Sicht der Architektur

Im Umkehrschluss zu Hr. Prof. Manfred Berthold's Aussage: "Architektur kostet Raum", kann davon ausgegangen werden, dass zuerst ein freies Stück Land vorhanden sein muss, um dieses nutzen oder in Anspruch nehmen zu können. Dieses Grundstück dient für jede weitere Nutzung als Ausgangspunkt für Raum, der darauf gebildet wird. (Berthold, 2010)

In der heutigen Gesellschaft wird Land immer knapper und es werden viele Ressourcen benötigt, um ein Gebäude herzustellen. Eine Planung und ein wohlüberlegtes Herangehen sollte die Grundlage für jedes Bauvorhaben sein. Egal ob in einem urbanen oder ländlichen Kontext, vor der Idee etwas zu bauen, wird von einem Individuum oder einer Gesellschaft ein Bedarf für einen Raum formuliert, um eine gewisse Funktion zu beherbergen.

Sobald die Funktion nicht auf die natürlichen Eigenschaften des Grundstückes oder auf die klimatischen Gegebenheiten eingeht, wird eine Veränderung des von der Natur geschaffenen Raumes erforderlich. Die Funktion bestimmt somit die Eigenschaften des Raumes oder der Fläche, die sie einnimmt oder einnehmen wird.

Des Weiteren stellt die Funktion folgenden Grundanforderungen an einen Raum:

- Größe (Länge, Breite, Höhe)
- Licht (Welchen Bedarf an natürlichem oder künstlichem Licht ist erforderlich)
- Klima (Welches Mikroklima soll geschaffen werden)

Rudimentär betrachtet ist Architektur die gebaute Antwort oder das Ergebnis nach der Suche dieser Funktionsbeherbergung. Um diese abstrakte Formulierungen begreiflich zu machen, sollen die oben genannten Parameter mit zwei einfachen Fallbeispielen erläutert werden:



Abb. 1 Fußballfeld in Afrika ; Quelle <http://www.lachschoen.de/item/4773-FussballfeldinAfrika/>

Nehmen wir an Menschen wollen Fußballspielen. Eigentlich könnte man davon ausgehen, dass es nicht all zu viel dafür braucht. Ein einigermaßen großes und flaches Stück Land, zwei Tore, Linien am Boden, die das Feld markieren, einen Ball und im Idealfall 22 Spieler.

Wie in der Abbildung eines Fußballfeldes in Afrika ersichtlich, hat der Schutz vor Wind und Regen eine untergeordnete Rolle und landschaftlich wurde nicht viel verändert, wenn man die Position des Baumes in mitten des Spielfeldes in Betracht zieht.

Somit stellt dieses Beispiel keinen ersichtlich hohen Anspruch an bauliche Maßnahmen dar, um die Funktion zu beherbergen.



Abb. 2 Amsterdam Arena – Fußballstadion; Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Amsterdam_Arena

Betrachtet man hingegen die Abbildung der Amsterdam Arena in Holland, kann man den großen baulichen Aufwand erkennen, der betrieben wird um ein Fußballspiel öffentlich auszutragen. Die Anforderungen an Raum und dessen Funktion erweitern sich dementsprechend wie folgt beschrieben.

Es wird auf einem Rasen gespielt, der dem internationalen Reglement entspricht und das funktionale Programm wird mit einer Überdachung des Spielfeldes sowie einer Zuschauertribüne mit diversen Nebenräumen erweitert.

Eckdaten Amsterdam Arena:

Quelle Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Amsterdam_Arena

- Funktion:

Beherrschung eines Fußballfeldes mit einer Spielfläche von 105x68 Meter. Die Arena bietet 50.820 Sitzplätze und 52 Logen für Zuschauer. Das Stadion soll vollkommen geschlossen werden können, um vor Wind und Regen geschützt zu sein.

- Größe:

Die gesamte Arena nimmt eine Grundfläche von 235x180 Meter und eine Höhe von 77 Meter ein.

- Licht:

um einwandfreie Sichtverhältnisse bei Tag und Nacht zu garantieren wird Tageslicht sowie eine Flutlichtanlage benötigt. Des Weiteren werden spezielle UV Lampen eingesetzt, um das Wachsen des

Naturrasens anzuregen, da auf Grund der großen Verschattung des Spielfeldes (Tribünen und Überdachung) nicht genug Sonnenlicht in das Innere des Stadions eindringen kann.

- Klima:

Das Gebäude ist an allen Seiten geschlossen. Das Dach besteht aus einer Stahl-Glas-Konstruktion und hat eine Gesamtfläche von 33.625m². Zwei bewegliche Elemente (jeweils 40x118 Meter) mit einer Fläche von 26.038m² lassen sich innerhalb von 20 Minuten öffnen und schließen. Das Stadion ist mit einer Stadionheizung ausgestattet, um die Tribünen mittels Infrarotheizstrahlern zu wärmen.

Aus den oben genannten Beispielen lässt sich erkennen, dass mit erweiterten funktionalen Anforderungen ein Bedarf entsteht, den in Anspruch genommenen Raum zu definieren. Diese funktionalen Anforderungen haben ihren Ursprung bei den jeweiligen Nutzern oder bei der Gesellschaft, die diese definieren.

Faktoren, wie die genormte Größe eines internationalen Fußball Spielfeldes, der Wunsch nach Tageslicht oder die Möglichkeit, das Dach zu öffnen, wirken sich auf die Konstruktion des Daches aus. Um die Spannweite von 118 Metern stützenfrei bewältigen zu können und gleichzeitig Tageslicht in den Innenraum eindringen zu lassen, muss ein hoher technischer Aufwand betrieben werden. Dieser wirkt sich wiederum auf das architektonische Gesamterscheinungsbild aus. Hier wird deutlich, wie stark die Funktionalität und die damit verbundene lastabtragende Konstruktion in den Vordergrund treten.

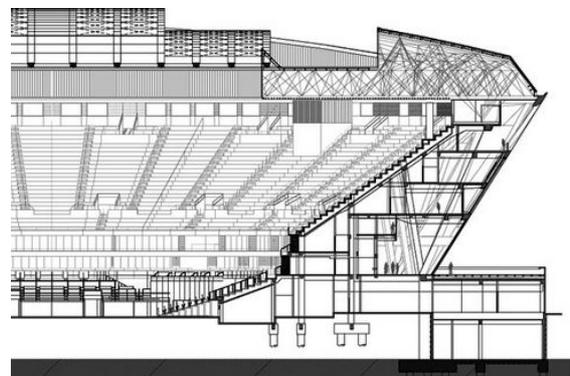
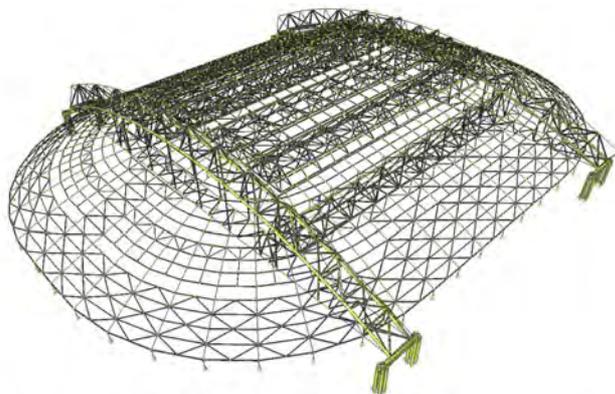


Abb. 3 Amsterdam Arena - Dynamic recalculation of roof structure; Quelle: Arcadis Bouw en Vastgoed; http://enews.scia.net/de/eNewsApril05_D.html

1.3.2 Geschichte der Baukonstruktion, Bautechnik und Baukunst

Vor gut 7000 Jahren entstanden die ersten städtischen Siedlungen zwischen der Ostküste des Mittelmeers und dem persischen Golf. Es war kein Zufall, dass genau hier im fruchtbaren Zweistromland Mesopotamiens, welches als Wiege der Kultur bezeichnet wird, die Menschen das erste Mal in ihrer Geschichte sesshaft wurden. Dies geschah aus dem einfachen Grund, dass zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit geplante Nahrungsmittelüberschüsse produziert werden konnten und mit dem Einlagern und Speichern kamen die Menschen über den Winter.

Des Weiteren wurde Nahrung nicht mehr nur für den Eigenbedarf produziert, sondern für die ganze Gesellschaft. Dadurch konnten sich Städte bilden und als Errungenschaft der Zivilisation arbeitete man gemeinsam. Spezialisten wie Handwerker, Architekten bis hin zu Priestern konnten sich aus diesen Gründen entwickeln und prägten die Kulturen.

Nun hatten die Menschen aber auch Zeit, um Riten und Feste zu feiern. Sie schufen Götter und setzten Könige, die das Zusammenleben regelten und sie verteidigen sollten, an ihre Spitze. Dies hatte wiederum zur Folge, dass als Symbol der Macht und Ehrfurcht Tempel, Paläste, Speicher und Wachtürme gebaut werden mussten.

Zivilisation, Städtebau und Architektur gingen immer Hand in Hand. Architektur als gebaute Geschichte veranschaulicht die Macht der Institutionen, genauer gesagt des Staates, der Krone oder der Religion, mit ihren die Zeiten überdauernden Monumenten. Ludwig Mies van der Rohe (1886 -1969), Architekt der Moderne, sagte: »Baukunst ist immer raumgefasster Zeitwille«. Mit anderen Worten ist Architektur die physische Untermauerung wissenschaftlicher oder bautechnischer Erkenntnisse des technischen und kulturellen Fortschritts einer Gesellschaft.

Die damals und in dieser Gegend der Erde übliche Technik aus Stampflehm Wände zu bauen, war für diesen Zweck nicht mehr geeignet. Mit der Erfindung des sonnengetrockneten Lehmziegels konnten aus Millionen sorgfältig zusammengefügt Ziegeln solche Bauwerke entstehen. Somit kann man vielleicht den Ausspruch von Ludwig Mies van der Rohe (1886-1969): »Architektur beginnt, wenn zwei Backsteine sorgfältig zusammengesetzt werden« in seiner vollen Tragweite verstehen.

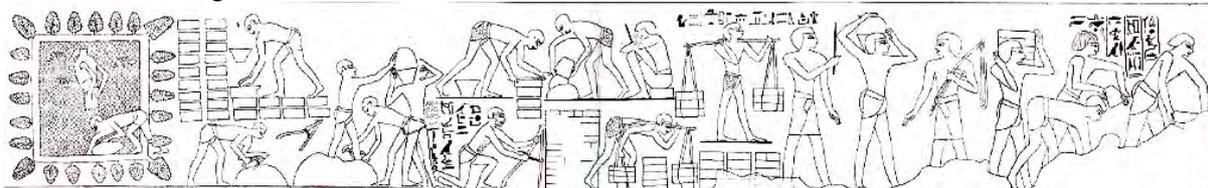


Abb. 4 Herstellung von Lehmziegeln im alten Ägypten; Quelle: Universitätsbibliothek Heidelberg - [Http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/newberry1900/0065](http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/newberry1900/0065)

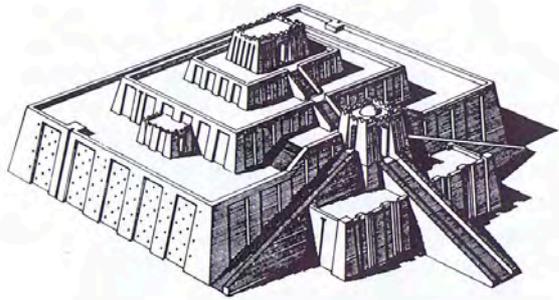


Abb. 5 Rekonstruktion des Zikkurat in Ur, auch Götterberg genannt; Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.

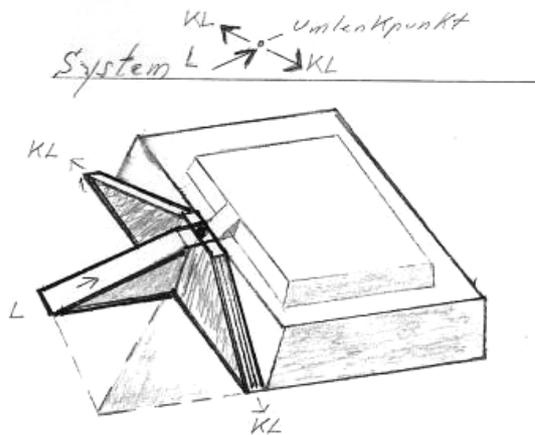


Abb. 6 Darstellung des Lastenaufzugprinzips; Quelle: Mythologie in Zahlen an Pyramiden , Linck M.

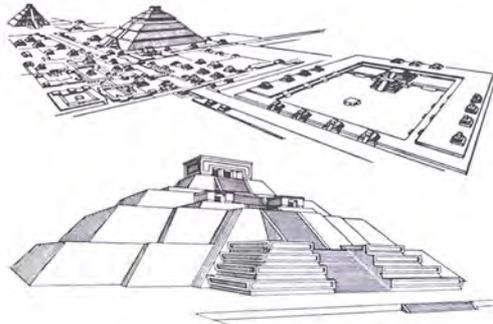


Abb. 7 Mondpyramide Teotihuacan, Himmelsbeobachtung; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf, H.

Eine weitere Voraussetzung für Konstruktion und Baugestaltung ist das Vorhandensein von Baumaterialien am Ort. In Südmesopotamien ist vor allem Lehm und Stroh zu finden, kaum Holz und Bausteine. Darum wurde zur Herstellung von **Lehmziegeln** ein "Lehmbrei" von Hand in einen Holzrahmen gepresst und anschließend 14 Tage zum trocknen in die Sonne gelegt. (Newberry, 1900) Durch das sorgfältige Übereinanderlegen dieser Ziegel kann somit ein weit in die Höhe ragender Terrassenbau, wie ein Zikkurat, entstehen. Auf Grund der Konstruktionsmethode und der geringen Spannweite spielte der gedeckte Raum im Tempelbau eine untergeordnete Rolle.

Anderorts wie beispielweise in Ägypten war Stein massenhaft verfügbar, deshalb konnte um ca. 2650 v. Chr. in Sakkara die erste Steinpyramide aus großen Steinblöcken von einem hohen

Von zwei zusammengefügt Ziegeln zu einem Tempel wie der Zikkurat in Ur 2100 v. Chr. (heutiger Irak) zu gelangen, ist ein weiter Weg. Aber um genau diesen ging es im übertragenen Sinne auch bei diesem Bauwerk. Zum einen sollte es ein zum Himmel aufstrebender Bau sein, der den Göttern den Weg hinab zur Erde ermöglicht. Wenn man diese Idee des Terrassenbaus entmystifizieren will, könnte man es auch als das Streben des Menschen nach etwas Höherem oder dem alt bekannten "Platz an der Sonne", wie man dies bei Pflanzen mit dem Streben nach Licht beobachten kann, vergleichen. Zum anderen aber geht der Zikkurat als Tempelbau auf stufenartige Fluchtberge zurück, die von 5000 - 3700 v. Chr. geschaffen wurden, um vor Hochwasser zu schützen. Bei solch einem großen Bauvorhaben muss im Vorhinein klar sein, wie die Massen an Material hochgebracht werden können. Bei allen großen Bauten dieser Zeit befindet sich im Vorbau oder aus der Ableitung der Form als ganzes (Pyramide) ein **aufgestelltes Trapez** mit mehr oder weniger gleichen Schenkeln. Da es zu dieser Zeit weder Kräne noch Winden oder ähnliches gab, vermutet man, dass diese Form auf den ursprünglichen Nutzen zurückzuführen ist. Die sich gegenüberliegenden Treppen oder Rampen wurden für den Aufzug des Baumaterials mit Kontralast genutzt. Bei entsprechender Umlenkung am Plateau wäre es sogar möglich gewesen, an den Seiten mit dem Körpergewicht und der Muskelkraft nach unten zu ziehen und über die mittlere Schräge noch mehr Baumaterial hinauf zu befördern. (Linck, 2015)

Priester gebaut werden. Bei der ägyptischen Bautechnik sind **Kraggewölbe** zu finden. Diese überdecken nur kleine Spannweiten und sind in der Regel auf das Bauen unter der Erde beschränkt geblieben. Bei dieser Art Gewölbe krägt jede Steinplatte nur wenige Zentimeter über die darunterliegende. Die Pyramide des Cheops weist dasselbe Schema für das **Entlastungsgewölbe** der Grabkammern auf. Eine weitere einfache Methode um kleinere Spannweiten zu überbrücken, war das gegeneinander Stemmen von zwei Steinblöcken.

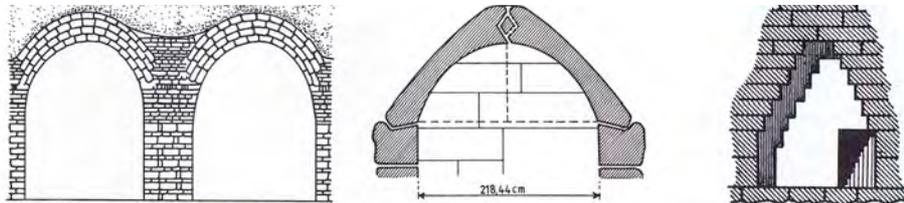


Abb. 8 Von li. n. re.: Schitt durch das Remesseumsgewölbe (Tonnengewölbe aus Lehmziegel); Falsches Gewölbe, Dahshur, leicht abgerundete Granitblöcke (De Morgan); Kraggewölbe 12. Dynastie, Dahshur; Geschichte der Baukonstruktion u. Bautechnik, Mislin M.

Die Griechen haben die Steinquader bereits feiner bearbeitet und leiteten ihre Bautechnik ursprünglich vom Holzbau ab. Das heißt sie stellten Pfosten auf, beim griechischem Tempel Säulen, und legten Balken bzw. Gebälk quer darüber. «Stünden die Balken nicht so dicht nebeneinander, würde der **Architrav**, der steinerne Querbalken, durch sein Eigengewicht der Zugbelastung nicht mehr standhalten und brechen». Dies hatte den Grund, dass die Griechen mit ihrem Steinbau noch kein Konzept für das Überbauen von großen Flächen besaßen. (Schlenker, 2011)

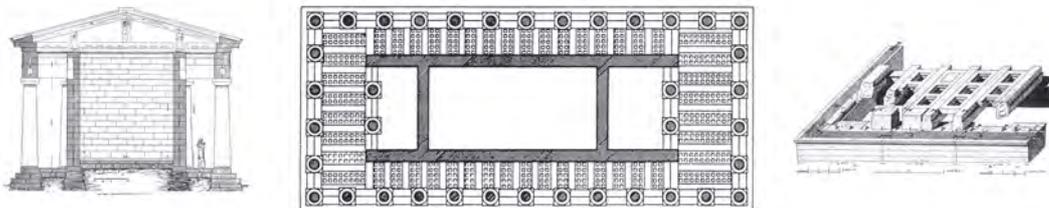


Abb. 9 Von li. n. re.: Querschnitt, Apollon Tempel, Delos mit einer Rekonstruktion der Dachkonstruktion; Deckenplan - Kassettenplatten und Balken, Parthenon Tempel, Athen; Detail der Deckenkonstruktion, Erechtheion Tempel, Athen; Quelle: Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik Band 1, Mislin M.

Wenn man die Größe und das Gewicht der Steine aus denen die Tempel gebaut sind in Betracht zieht, wird klar, dass der Bau nur durch Hebevorrichtungen und Transporthilfen geschehen konnte. Wie von Vitruv beschrieben, wurden die großen Steinblöcke mit einer Konstruktion von Chersiphron bewegt. Durch die Befestigung eines Räderwerks an langen Balken oder am Säulenschaft wurden die Steine vom Steinbruch zum Bauplatz gezogen. Vor Ort konnten die Lasten durch die Erfindung von Heron v. Alexandrien mit Seilen, einem Holzpfahl oder Hebegestell und Flaschenzügen gehoben und platziert werden.

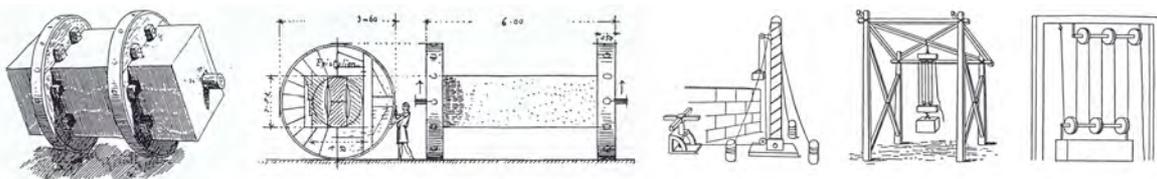


Abb. 10 Transport und Hebeeinrichtungen des alten Rom; Quelle: Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik, Mislin M.

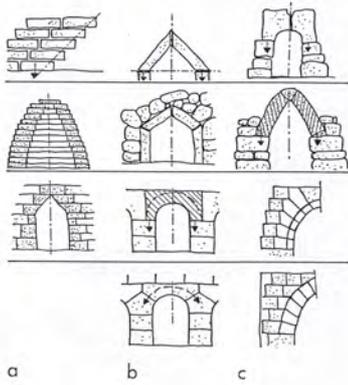


Abb. 11 a) Griechische Kraggewölbe; b) Schrägstellung zweier Steinplatten; c) Abgerundeter Balken mit Pfeilern, radial behauene Steine. Quelle: Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik, Mislin M.

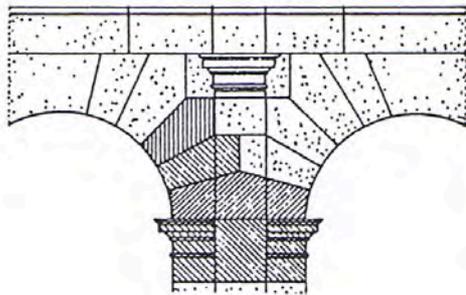


Abb. 12 Römischer fünfseitiger Keilstein verbaut im Kolosseum in Rom; die Geschichte der Baukonstruktion und Baukunst; Quelle: Mislin M.

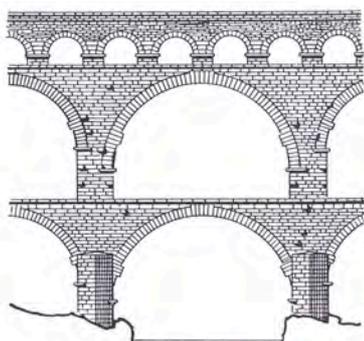


Abb. 13 Überbrückung der von einer Senke mit einem Aquädukt, Nimes Pont du Gard; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.

Vom Gesamteindruck wirken die Bauten jedoch weiterhin vornehm statisch und unflexibel. Die griechischen Tempel könnte man somit als Meisterwerke der Pfosten Balken Bauweise bezeichnen.

Wie in Mesopotamien und Ägypten spielte das Gewölbe bei den Griechen primär im Grabbau eine Rolle. Die erste Annäherung an einen Bogen stellt ein Balken dar, der im unteren Teil in die Form eines Bogens gebracht wurde. Andere Bögen bestehen aus zwei Auflagern und einem Schlussstein, die aber im Sinne der Tragwerkslehre keine echten Bögen darstellen. (siehe Abb. 8)

Erst die Römer brachten das plastische Potential des Steins zur Geltung. Im Gegensatz zu ihren Vorgängern machten sie sich den **Bogen** quasi zu ihrem Markenzeichen. Ohne Bogen gäbe es kein Kolosseum, keine Brücken und keine Aquädukte. Der Bogen entstand aus praktischer Sicht und war damals eines der wichtigsten tragenden Elemente um Öffnungen zu überbrücken. Überall dort, wo aufgrund der hohen Spannweite ein Überspannen mit einem Balken nicht mehr möglich war, kam der Bogen zum Einsatz. Die Entwicklung von Bögen und Gewölben ging Hand in Hand und ermöglichte somit auch das Überspannen von großen Innenräumen. Der Ursprung der Wölbungstechnik liegt beim Bau von schmalen, unterirdischen Kanälen und wurde davon ausgehend weiter entwickelt. Die ersten Bögen wurden über Kragsteine mit einem Schlussstein ausgebildet und dienten als frühe Entwicklungsstufe der Gewölbe.

Als Ersatz des Architravs wurde ein mörtelloser, scheinrechter, halbkreisförmiger Bogen zur Entlastung gebaut. Beim Kolosseum wurde zum ersten Mal der für die Zeit so charakteristische fünfseitige Keilstein als sichtbares, statisches Element eingesetzt und ist bis heute ein stilprägendes Erkennungsmerkmal.

Der größte Beitrag der Römer zur Konstruktionsgeschichte bilden die **Gewölbe** und **Kuppelformen**. Dies war nur durch die Erfindung des "opus caementitum" und die damit verbundene Neuentwicklung des Mauerwerkbaus möglich. Durch das Anmischen von Kalk, Ton

oder Puzzolan (Vulkanerde) und Wasser konnte man Mörtel herstellen. Anschließend wurde dieser Mörtel mit Bruchstein, Sand oder Geröll vermengt. Die Masse härtete zu einem stabilen, formbaren Vorgänger des heutigen Betons aus, der leicht zu verarbeiten und nicht brennbar war. In verschiedensten Zusammensetzungen und in Kombination mit Naturstein und Ziegelschichten konnte dieser neue Werkstoff im Mauerwerksbau zur Fundamentierung sowie auch zum Bau der Kuppeln selbst verwendet werden.

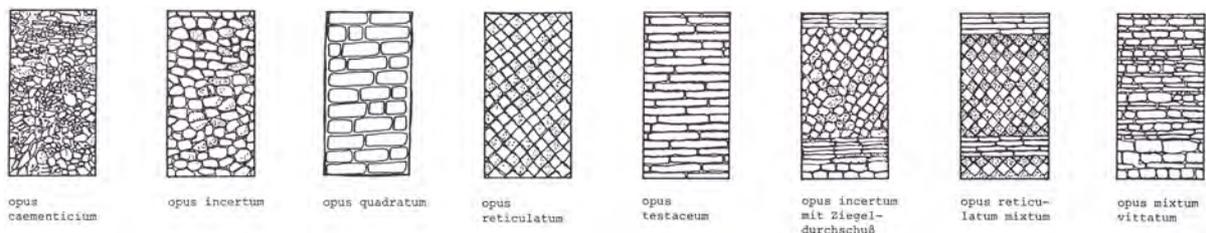


Abb. 14 Römisches Mauerwerk; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.

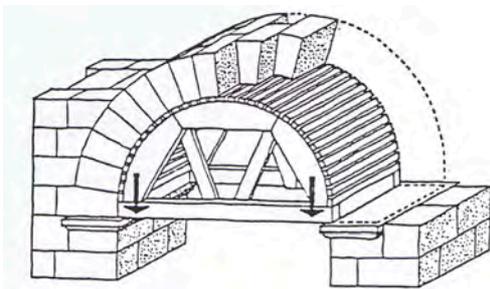


Abb. 15 Römisches Tonnengewölbe mit Binder - Läuferverband, auf Vollverschalung; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.

Das **Tonnengewölbe** setzt sich aus aneinandergereihten Bögen zusammen, die auf einem durchgehenden Auflager ruhen und somit ein einfaches zylindrisches Gewölbe darstellen. Um das Quader-Mauerwerk zu stabilisieren, wurden die Quader in einem Läufer- oder Blockverband mit liegenden Schichten auf einem Traggerüst mit Vollverschalung versetzt.

Bei der rechtwinkligen Durchdringung zweier Tonnen entsteht ein **Kreuzgewölbe**. Dies kann somit als ein zusammengesetztes zylindrisches Gewölbe mit geteilten linienförmigen Auflagern gesehen werden. Entlang des Grates müssen die Steine winkelförmig versetzt werden. Der Scheitel wird durch einen kreuzförmigen Schlussstein gebildet.

Das **Kuppelgewölbe** hingegen ist ein sphärisches Gewölbe mit durchgehenden Auflagern. Man kann sich die Konstruktion der **Kuppel** vereinfacht als Rotation eines Bogen um seinen Scheitelmittelpunkt vorstellen. Eines der am besten erhaltenen Gebäude der antiken Welt ist das Pantheon in Rom. Der Bau dieses Gebäude wurde um 114 n. Chr. unter Kaiser Trajan begonnen und unter Kaiser Hadrian um 118 n. Chr. fertiggestellt. Ursprünglich wurde dieses Heiligtum errichtet, um alle Götter des Olymp zu ehren, seit dem 7. Jhr. dient das Gebäude als katholische Kirche. Es war während mehr als 1700 Jahren die größte Kuppel der Welt. Der gewaltige Kuppelbau mit einem Durchmesser von 43,45 m besitzt in der Mitte eine runde Öffnung mit einem Durchmesser von 9 m, die als Lichtquelle dient. Die Basis der Halbkugel ist ein Zylinder, der denselben Innendurchmesser wie die Halbkugel der Kuppel besitzt. Hinter der Kassettendecke verbergen sich mehrere Betonringe, die sich nach oben verjüngen und so die Kuppel bilden. Je höher die Kuppel, desto poröser wurden die Zuschlagstoffe für den Beton um diesen leichter zu machen. Bereits 1928 wurde von Cozzo in seinem Buch "Ingegneria Romana" festgehalten, dass zuerst der zweischichtige Mauerzylinder mit einer Stärke von 6,2 m mit seinem gemauertem Bogensystem errichtet und erst dann die Kuppel gewölbt wurde. Da das Mauerwerk keine Ringzugkräfte aufnehmen kann, lässt sich die Eigenlast der Kuppel nur in Meridianrichtung über die sich einstellenden Stützlinsen abtragen. Daher ist davon auszugehen, dass im ganzen Kuppelbau ein reiner Druckspannungszustand herrscht.

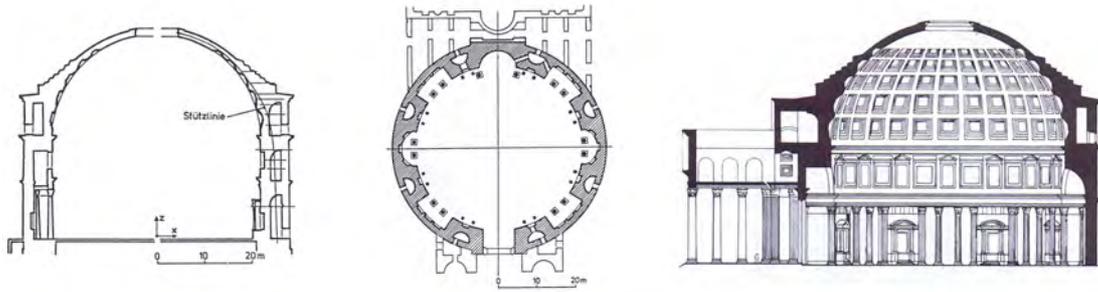


Abb. 16 Pantheon Rom, Schnitt quer mit Stützlinie und Grundriss, Schnitt längs; Quelle: Geschichte der Bautechnik und Baukonstruktion, Mislin M.

Wenn ein quadratischer Grundriss die Basis einer Kuppel ist, werden geometrisch-konstruktive Vorkehrungen notwendig, um einen tragfähigen Übergang vom Polygon zur Halbkugel zu schaffen. Die römischen Baumeister Syrischer Schule verwendeten eine **Trompe** um diesen Übergang herzustellen. Aus statischer Sicht ist dies ein Hilfsgewölbe mit horizontaler Achse über der Ecke, das durch die Überkrägung von waagrechten Ziegelschichten hergestellt wurde. Eine weitere Möglichkeit um diesen Übergang zwischen Wand, Pfeiler und Kuppel zu schaffen ist ein **Pendentif**. Dieses räumliche Dreieck ist ein Ausschnitt aus einem Rotationskörper.

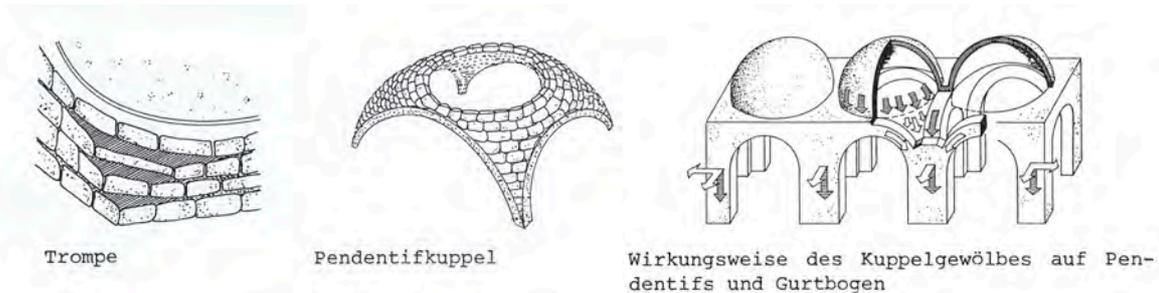


Abb. 17 Darstellung einer Trompe und einer Pendentifkuppel und deren Wirkungslinien; Quelle: Geschichte der Bautechnik und Baukonstruktion Mislin M.

Nach den konstruktiven Leistungen der Antike erreichte die Bautechnik im Mittelalter beim Bau der gotischen Kathedralen einen neuen Höhepunkt. Dies ist auch im Zusammenhang mit der innovativen Technik der **Bleiglasfenster** Erzeugung zu sehen. Kleine mundgeblasene Glasstücke, wurden durch H-förmige Ruten gefasst und an den Berührungspunkten der Ruten verlötet. Dieses Mosaik konnten so zu großen Fensterflächen verarbeitet werden.

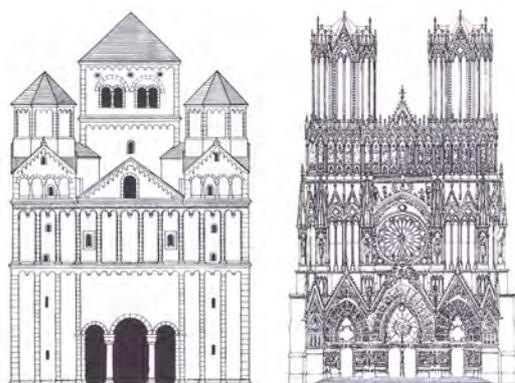


Abb. 18 Li. Klosterkirche Maursmünster, re. Kathedrale Reims; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.

Die gotische Technik unterscheidet sich in einem ganz wesentlichen Punkt vom romanischen Baustil. In der Romanik muss die Wand den gesamten Seitenschub der Gewölbe tragen. Bei wachsendem Raumvolumen musste dementsprechend die Mauer mächtiger werden. Bei der Kathedrale der Gotik hingegen wird die gesamte Last raffiniert durch ein **Kreuzrippengewölbe**, Pfeiler und ein ausgeklügeltes System an die Rippen im Kircheninneren und an die Strebepfeiler an den Außenseiten abgetragen. (Schlenker, 2011)

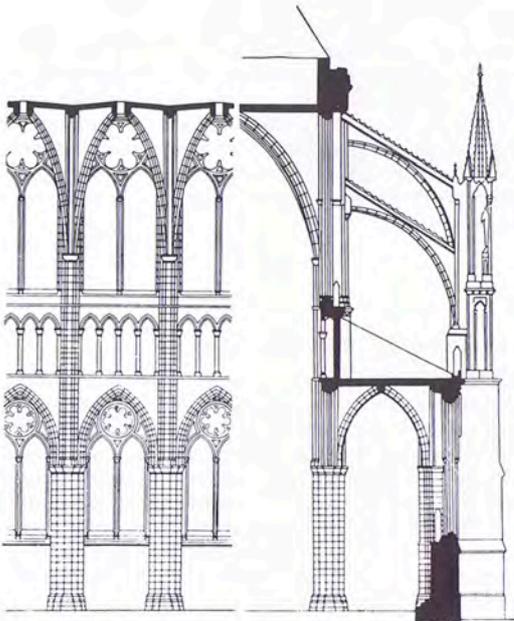
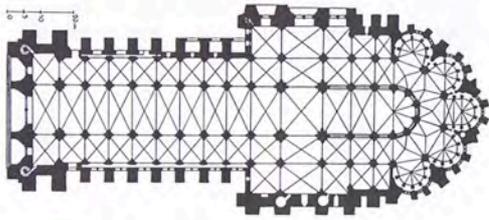


Abb. 19 Grundriss und Schnitt der Dreischiffigen Basilika mit Chor in Reims; Baukunst in 5 Jahrtausenden; Koepf H.

Das Kreuzrippengewölbe entsteht bei der Kreuzung zweier Tonnen im rechten Winkel und enthält bereits alle Elemente der Gewölbetechnik. »Über die Kreuzrippen verlagert sich der Druck des Gewölbes auf vier Punkte, nämlich auf die Ansatzstellen der vier Rippen.« (Mislin, 1988)

Die Funktion des Pfeilers besteht darin, die Last der Bögen und Gewölbe auf das Fundament zu übertragen. Die Herstellung eines Kreuzgewölbes über rechteckigem Grundriss zeigte bereits bei den römischen Mauern das Problem auf, dass die Formung der Gratstein kompliziert ist: »Die Verzahnung lässt keinen konkreten Verband zu, und bei ungleicher Krümmung ist es nicht möglich, auch gleiche Schichthöhen einzuhalten.« Der Stoß musste mittels der Kreuzrippe abgedeckt werden. (Mislin, 1988)

Empirisch erkannte man als Annäherung des Kräfteverlaufs, dass die Form des Spitzbogens besser geeignet war, um die Kräfte abzuleiten. In Folge dessen konnte das Mauerwerk reduziert werden. Dadurch konnten die Fensterflächen immer größer werden und an Stelle der Fresken und Mosaik traten die glühenden Farben der Fensterflächen in den Vordergrund. Dies prägte das Erscheinungsbild der gotischen Kathedrale.

Die Entsprechung von **Kettenlinie** und Stütze ist erst im ausgehenden 17. Jhr. von Robert Hooke erkannt worden. Die ersten Modellversuche mit hängenden Ketten zeigte der Mathematiker Giovanni Poleni in seinem Gutachten von 1748 über die Peterskuppel in Rom. Bei diesen Versuchen wurde jedoch das ringförmige Stützen einer Kuppel außer Acht gelassen. Heinrich Hübsch (1833) und Antonio Gaudi (1852-1926) führten zur Überprüfung bereits bestehenden Wölbung sowie als Entwurfshilfe für Neubauten, praktische Versuche mit Hängemodellen durch.

Im Gegensatz zu Stein wurde das Baumaterial Holz vor allem für Wohnhäuser verwendet. »Das **Fachwerk** ist die am meisten verbreitete historische Bautechnik die sich ab dem 13. Jhr. in Europa durchsetzte. Ein Fachwerk setzt sich zusammen aus einem tragenden Holzgerüst und kaum tragenden Füllungen, den Gefachen. Diese können aus mit Stroh vermengtem Lehm, das auf ein hölzernes Flechtwerk aufgetragen ist, aus Naturstein, ungebrannten Lehmziegeln oder Backsteinen aufgebaut sein. Die Hölzer wurden nie miteinander verklebt oder verschraubt, sondern durch kamm- oder blattartige Sägeschnitte oder Holzzapfen miteinander verbunden. Ein Fachwerkverband besteht meist aus einem waagrechten Grundholz, auf der die senkrechten Ständer stehen, die am oberen Ende durch ein weiteres waagrecht Holz verbunden sind. Schräge Hölzer stabilisieren das Ganze. Bis zur Mitte des 19. Jhr. blieb der Fachwerkbau die bevorzugte Bauweise. Danach verdrängte der Ziegel den Fachwerkbau.« (Schlenker, 2011)

Solche Fachwerkträgerelemente wurden auch bei Joseph Paxton's Metallbaukasten Mitte des 19. Jhr. wieder gefunden. Dieser bestand aus zwei Grundelementen, der gusseisernen Säule mit Anschlussvorrichtung am Säulenkopf sowie dem Unterzug aus Fachwerkträgern. Die Module des Baukastens hatten eine Größe von 7,32 m leiteten sich von der Größe der Glasscheiben ab. Eines der bekanntesten jemals realisierten Gebäuden der **Gewächshaus** Architektur ist der **Kristallpalast** von Paxton in London/Hyde Park aus gusseisernen Rahmen und Glas. Dieser beherbergte 1851 die Weltausstellung und rückte so in das breite Bewusstsein der Gesellschaft.

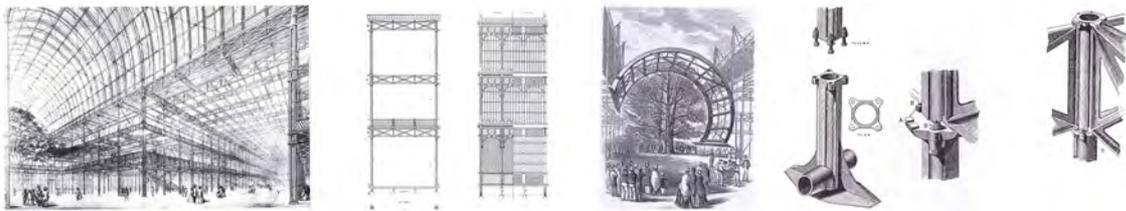


Abb. 20 Kristall Pallast, Perspektive, Schnitt, Ansicht, Vorgefertigtes Tonnengewölbe, Detail; Quelle: Von der Urhütte zum Wolkenkratzer, Klotz H.

Seit der Renaissance war monumentale Architektur durch ein klares Erscheinungsbild erkennbar. Ein massiver Sockel bildet die Basis, auf der sich eine in der Höhe immer schlanker werdende Wand befindet. Der Abschluss wird mit einem Kranzgesims gebildet, hinter der sich eine Überdachung mehr oder weniger dominant abzeichnete. Der Kristallpalast hatte hingegen trotz seiner unübersehbaren Größe von 563 m Länge, 124 m Breite und 40 m Höhe, ein schlankes Gerüst, dessen Stützen und Träger unten wie oben gleich erschienen. Der Ausdruck der Schwere, des Tragens der Lasten, war verschwunden. Diese materiellen und statischen Eigenschaften haben die Konstruktion wie auch die Ästhetik der Moderne bestimmt. Besonders bemerkenswert die Vorfertigung und die Demontierbarkeit der Bauelemente. Im Akkord wurden die Eisernen Teile am Fließband erzeugt, vorgefertigt und mit der Eisenbahn vor Ort gebracht. Dies ermöglichte eine Bauzeit von nur 6 Monaten, man bedenke, dass zuvor Großbauten wie Mittelalterliche Kathedralen ohne „Zeitdruck“ erbaut worden sind. Zum Beispiel der Straßburger Münster mit einer Bauzeit von ca.1200 – bis 1439. Somit musste der bestimmende Faktor Zeit in der Architektur neu Überdacht werden. (Klotz, 1991)

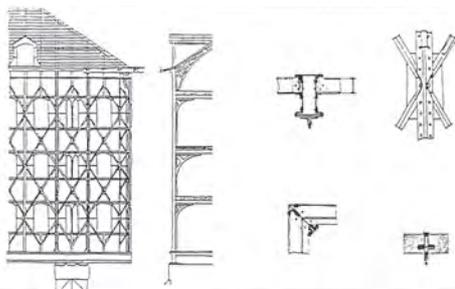


Abb. 21 Schokoladenfabrik Menier in Noisel-sur-Marne, Ansicht, Schnitt und Detail; Quelle: Geschichte der Baukunst, Kugler F.

Wie in allen Bereichen der Technik zur Mitte des 19. Jh. war Eisen auch am Vormarsch im Hochbau. Als Ausgangspunkt des modernen **Stahlskelettbaus**, gilt die Schokoladenfabrik "Menier" in Noisel-sur-Marne bei Paris (1871/72). Das Gebäude ruht auf vier Brückenpfeilern und die Aussteifung der Außenmauer erfolgt mit einem Rauten-Netz von Diagonalen, die eine Art Windverband bilden. Die Queraussteifung ist gegeben, da die Unterzüge biegesteif mit dem Hauptpfosten verbunden waren.(Kugler)

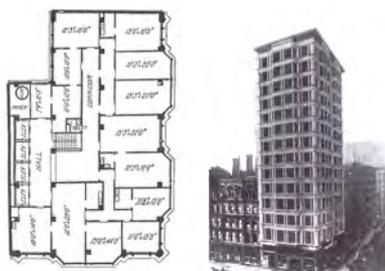


Abb. 22 Reliance Building, Chicago 1885, Grundriss und Ansicht; Quelle: Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik, Mislin M

Die Trägerbauweise mit Gusseisen-Säulen war noch kein Skelettbau im engeren Sinn, denn die Umfassungsmauern hatten einen Teil der Deckenlasten aufzunehmen und mussten die Windkräfte ableiten. Der nächste Schritt auf dem Weg zum Stahlskelett war die Auflösung der Außenwand in ein tragendes Metallgerippe, welches aber während des Historismus aus ästhetischen Gründen seiner Zeit voraus

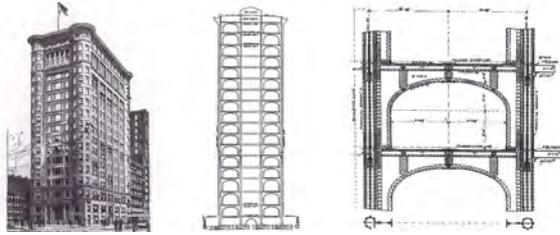


Abb. 23 Old Colony Building, Chicago 1890, Ansicht, Schnitt und Detail Tragkonstruktion; Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik, Quelle: Mislin M.

war und deswegen vom herkömmlichen Erscheinungsbild nicht abwich.

William Le Baron Jenney näherte sich der Vorhangfassade mit seinem "Reliance Building" in Chicago im Jahre 1895. Er entwarf eine Kombination aus Holzbalken und schmiedeeisernen Unterzügen, welche wieder auf gusseisernen Stützen im Inneren und auf gemauerten Pfeilern in den Umfassungsmauern lagerten.

Dadurch war die Möglichkeit gegeben, die Fenster für damalige Verhältnisse breiter und größer zu machen. Erst bei dem "Home Insurance Building" gelang es, das tragende Stahlskelett hinter die Aussenwand zu setzen, dadurch konnte das Prinzip der Vorhangfassade ("Curtain Wall") verwirklicht werden. »Zu den gelungenen Versuchen zählt das "Old Colony Building" von Holabird und Roche, das zwar die abgerundeten Ecken mit Fenstern und einer klaren Gliederung der Sockel, der Dachgeschoßzone und des Baukörpers anstrebt, sich jedoch von der Ornamentierung des bekrönenden Dachgesimses nicht freimachen konnte. Bei diesem Stahlskelett-Hochhaus zeigt der Schnitt bereits eine tragende Stahlkonstruktion, die allerdings mit dünnen Steinplatten verkleidet ist.« (Mislin, 1988, p. 310)

Der Trend der Architektur des 19. Jhr. setzte sich im 20.Jhr immer weiter fort mit dem Wunsch den Baustoff Stahl in den Hintergrund dringen zu lassen. Mit dem Fourcault-Verfahren und dem Libby-Owens-Verfahren wurden Methoden entwickelt, mit denen Flachglas in großer Menge wirtschaftlicher hergestellt werden konnte. Bei diesem beinahe zeitgleich in Belgien und den Vereinigten Staaten erfundenen Verfahren, wird das Glas in einem kontinuierlichen Prozess mit Rollen direkt aus der Schmelze abgezogen und gekühlt. Dadurch war es möglich, Flachglas in unendlich langen Bahnen zu erzeugen. Die Qualität war für damalige Verhältnisse ausreichend. Erst mit dem Floatglasverfahren (1952) der Firma Plinkington wurde das Verfahren revolutioniert. Die Schmelze wurde nicht über Rollen gezogen, sondern schwimmt zuerst auf einem flüssigem Zinn Bad, dabei entstehen zwei ideale, parallele Oberflächen.

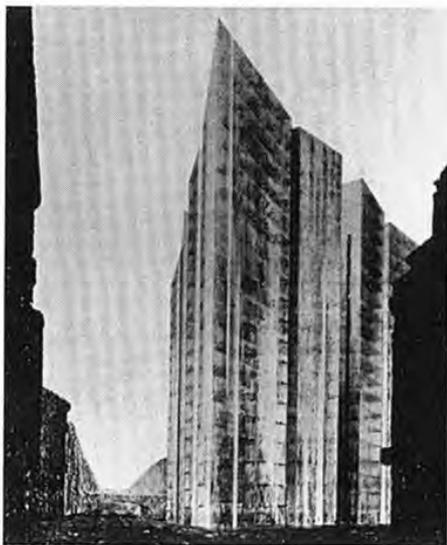


Abb. 24 Entwurf eines Glashochhaus in Berlin, 1921, Ludwig Mies van der Rohe

Ohne den Schritt die tragende Struktur eines Gebäudes von der Fassade zu lösen, »wäre der moderne Hochhausbau mit seinen Stahlglass Konstruktionen nicht vorstellbar. Im Gegensatz zum massiven Bauen, bei dem die Wände die Stockwerke tragen, übernimmt bei der Stahlskelettbauweise ein aus Stahlprofilen bestehendes, starres Gerippe im Inneren alle tragenden Funktionen. Eine Fassade meist aus Metall und Glas, ist dem konstruktivem Skelett als Gebäudehaut vorgehängt, diese Curtain Wall trennt innen von außen und bestimmt die Architektonische Erscheinungsform. Bereits in den 1920er Jahren gab es Überlegungen zu vollverglasten Hochhausbauten, doch erst in den 1950er Jahren wurde die Ästhetik der Transparenz für den

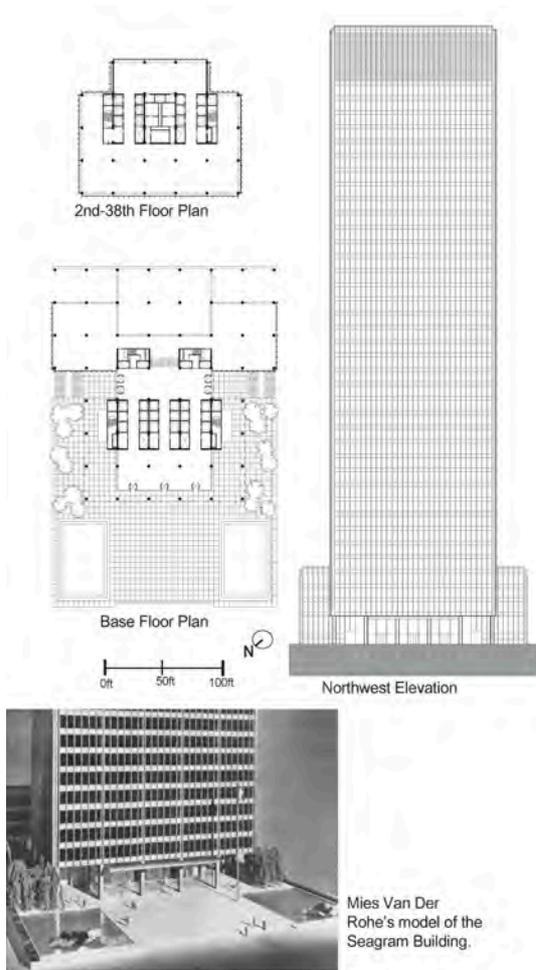


Abb. 25 Seagram Building mit einer "Curtain Wall" New York – 1958; Quelle: <https://arch220.files.wordpress.com/2012/02/seagram-building.jpg> (13.09.15)

Hochhausbau entdeckt. Mit dem "Seagram-Building" von Ludwig Mies van der Rohes entstand 1958 in New York, das später in seiner Eleganz nie mehr erreichte Vorbild für den modernen Hochhausbau.« (Schlenker, 2011). Die Stahlrahmenbauweise reduzierte die Tiefe und die Stärke des tragenden Mauerwerks an der Fassade drastisch und ermöglichte somit immer größerer Öffnungen in die Gebäudehülle. Die enorme Höhe der Hochhäuser, die zu Anfang des 20. Jhr erreicht wurde, wurde somit nicht durch eine technologische Weiterentwicklung erzielt, sondern ist auf das Fehlen entsprechender Berechnungs- und Modellierungsmethoden zurückzuführen. Somit konnte die Höhe nur durch den exzessiven Einsatz von Stahl und Gusseisen erreicht werden. Die treibende Kraft hinter den Hochhausbau war der entsprechende Wirtschaftsfaktor. Aufgrund von Spekulation auf Grund und Boden, wurde es immer attraktiver auf einer Grundfläche eine größere Anzahl von Stockwerken zu errichten, um den Gewinn zu maximieren. Dies stand natürlich im Widerspruch zum überproportional steigenden Materialverbrauch. Somit wurden in Nord Amerika die ökonomischen und technischen Vorzüge des Stahlbetons schnell in die Praxis des Hochbaus umgesetzt.

Die neue Betonbauweise erwies sich noch zu Beginn des 20. Jh. vor allem im Brückenbau bei mittleren Spannweiten wirtschaftlicher als Eisen. Stahlbeton ist ein Verbundwerkstoff, bei dem die Zugfestigkeit von Stahl und die Druckfestigkeit von Beton im Verbund ausgenutzt wird. Das Tragprinzip bei Stahlbeton funktioniert dementsprechend folgendermaßen: Die auf Zug beanspruchten Stellen in einem Bauteil werden mit Stahl verstärkt (z.B. bei Balken im unteren Feldbereich) um in den übrigen Bereichen die Druckfestigkeit des Betons auszunutzen. Auch mit Stahlbeton wurde und wird die Skelettbauweise angewandt und im heutigen Hochhausbau können damit Gebäude wie das "Burj Khalifa" in Dubai mit einer Höhe von 828 Meter gebaut werden.

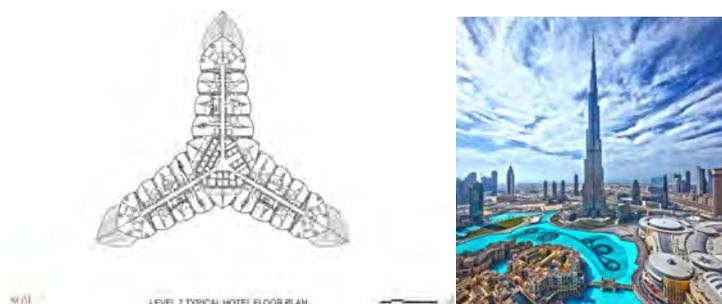


Abb. 26 Li.: Typischer Hotel Grundriss des Burj Khalifa in Dubai, Re.: Foto des Burj Khalifa in Dubai mit Umgebung; Abbildungen: SOM - <http://www.architecturalrecord.com/articles/11017-burj-khalifa?v=preview>; <http://i2.mirror.co.uk/incoming/article1439547.ece/ALTERNATES/s615b/Burj%20Khalifa%20at%20Day> (14.11.15)

Die Primäre Tragstruktur von hohen Gebäuden kann mit einem vertikalen frei auskragendem Träger, der an seinem Fußpunkt eingespannt ist, verglichen werden. Das Tragwerk muss die vertikalen und horizontalen Lasten sicher in den Grund abtragen. Vertikale Kräfte setzen sich in einem Gebäude aus Eigengewicht und Verkehrslasten zusammen. Horizontalkräfte werden jedoch größtenteils von Windlasten, Erdbeben und Imperfektionen hervorgerufen (weiterführende Erläuterungen zu horizontalen Lasten im nächsten Kapitel). Die Horizontallasten können ein Gebäude zum Einsturz bringen, deswegen muss dieses ausreichend ausgesteift sein und darf dabei nicht die Fähigkeit verlieren, die vertikalen Lasten abzutragen. Fazlur Khan erkannte bereits in den 1960iger Jahren, dass ein Gebäude mit zunehmender Höhe auf Grund von **Horizontallasten** einen höheren Bedarf an Material in Anspruch nimmt als Vertikallasten. Des Weiteren konstatierte er, dass ab einer Höhe von zehn Geschoßen die Horizontallasten die Tragstruktur bestimmten und in weiterer Folge das Erscheinungsbild maßgeblich verändern (Ali, 2001).

Die **Holz Glas Verbundbauweise** bietet die Möglichkeit sowohl horizontale als auch vertikale Lasten abzutragen. Aufgrund der geringen Ansichtsbreite der dazu nötigen Holzständer in der Fassade wirkt dieser neue Verbundwerkstoff leicht, obwohl diese Konstruktion die oben angesprochenen Lasten abzutragen vermag. Das Erscheinungsbild ähnelt einer "Curtain Wall"-Fassade wie sie aus dem Hochausbau bekannt ist. Somit kann diese Verbundbauweise als ein weiterer Schritt in der Baukonstruktion angesehen werden. Die bis dato raumabschließende Glasfassade übernimmt eine Doppelfunktion. Einerseits werden Vertikal- als auch Horizontalkräfte abgetragen und andererseits bildet diese einen gläsernen Raumabschluss.



Abb. 27 HGV Fassade am Beispiel des Firmengebäude der "Revo" - Gegg Fenster GmbH in Haslach im Kizingtal, Deutschland; Quelle:
http://revofenster.de/fileadmin/uploads/Referenzen/BV_Fenster_Gegg_Haslach-Schnellingen_1.jpg;
re.:[http://www.frerichs-glas.de/pressespiegel/index.php\(09.10.15\)](http://www.frerichs-glas.de/pressespiegel/index.php(09.10.15))

1.3.3 Der Zusammenhang der Geschichte der Baukonstruktion u. Bautechnik und Tageslicht.

Alle großen Architekten sind und waren Meister des Lichts. Bei einem griechischen Tempel beispielsweise lässt der Sonneneinfall im Tagesverlauf unterschiedliche Lichtstimmungen entlang der Säulen des äußeren Kranzes mit dem damit verbundenen weit auskragenden Dach entstehen. Dadurch wird der Raum lebendig.

Auch Mond und Gestirne spielten bei der Planung der Antike eine wichtige Rolle. Dazu muss man sich vorstellen, wie das Licht von Mond und Sternen einst auf den glatt polierten, reflektierenden Flächen der Cheops Pyramide tanzte so wie es der Rhythmus des Bauwerks vorgibt. Wie die ägyptischen Pyramiden sind auch die gotischen Kathedralen sorgfältig auf bestimmte Sternbilder ausgerichtet. (French, 1999)

Mit der römischen Entwicklung des Bogens und der weiteren Entwicklung des Tonnengewölbes und der Kuppel war es nun möglich, große Spannweiten zu überbrücken und durch die tragende und aussteifende Struktur Tageslicht ins Innerer der Gebäude eindringen zu lassen.

Beim Pantheon in Rom ist die kreisrunde Öffnung im Kuppelscheitel mit 9m Durchmesser die einzige Lichtquelle des Raumes. Die Raumbelichtung erfolgt so in allen Teilen völlig gleichartig. Das Licht bricht förmlich von oben in den Raum hinein und inszeniert den Raum mit einer noch dagewesenen Leichtigkeit.

Bei einer gotischen Kathedrale mussten die Wände keine Lasten mehr tragen, denn es wurden nur noch Stützen und Strebebögen zum Abtragen der Lasten herangezogen. Des Weiteren erreichte die Kunst der Buntglaserzeugung seinen Höhepunkt im 13. und 14. Jhr. Aus diesen Gründen begann man beim Planen der gotischen Kathedralen intensiv über das ästhetische Verhältnis von Raum und Licht nachzudenken. Es galt, Räume zu schaffen, die durch spektakuläre Inszenierungen mit Sonnenlicht die Anwesenheit Gottes spürbar machen sollten. Die Innenräume gotischer Dome waren von Licht und Farben durchflutet. Man berief sich dabei auf die Schriften des heiligen Dionysius Areopagita, der im 5. Jahrhundert sinngemäß schrieb, dass die göttliche Macht das Licht selbst ist, das die Welt erhellt und Ursprung und Urbild von allem Schönen und Wahren auf Erden ist. Die Kirche hatte die Macht des Lichts und dessen Inszenierung begriffen. (Kühn, 2012)

Bis heute haben die Fenster nichts von ihrer Leuchtkraft verloren, spektakulär sind die Lichtspiele, die sich am Boden bilden und mit dem Lauf der Sonne durch die Kathedralen wandern. Das einzigartige Lichtspiel hatte damals den übertragenen Zweck, die Besucher von einer höheren Macht zu überzeugen und somit in seinen Bann zu ziehen – eine neue Form der Überwältigungsarchitektur war in Frankreich geboren worden. (Kühn, 2012)

Die Besucher der Weltausstellung 1851 in London, welche im eigens dafür gebauten Kristallpalast von Joseph Paxton statt fand, waren von der Architektur des Raumes mehr begeistert als von der Ausstellung selbst:

„Dieser Riesenraum hatte etwas Befreiendes Man fühlte sich in ihm geborgen und doch ungehemmt. Man verlor das Bewusstsein der Schwere, der eigentlichen körperlichen Gebundenheit.“ (Meyer, 1907, p. 69) „Durch seine Größe verdeutlichte er, dass mit dünnggezogenen Gusseisen-Stäben und zerbrechlichen Glas eine Architektur möglich war, die den Begriff des Bauens völlig verändern konnte, als könne man die Außenwelt zur Innenwelt machen. Die neuen Materialien hatten eine neue Statik zur Folge und diese wiederum führte zu einer neuen Seherfahrung.“ (Klotz, 1991, p. 214)

Neben Beton war Glas das aufregendste Baumaterial zu Beginn de 20. Jh, vollständig verglaste Wände waren die logische Folge davon. Die Entwicklung des Stahlbeton Skelettbbaus machte freitragende Böden und damit auch Fassaden mit dahinter gestelltem Tragwerk möglich. Die Fassaden wurden dadurch lichter und leichter. Die Raumerfahrung, die durch solche großen

verglasten Abschnitte erzielt wurde, war völlig neu, beeinflusste den Lichteinfall und Schattenbildung und bot endlose Ausblicke, innen wie außen. (Kühn, 2012)

Sitzt man still in der Wahlfahrtskapelle Notre-Dame-du-Haute (erbaut 1950-55) von Le Corbusieres in Ronchamp (Frankreich), sieht man, wie das Licht geschickt durch genau kalkulierte Schlitze, Nischen und Fenster einfällt. Durch den ständigen Wandel belebt es den Raum, bringt das Gebäude zur Geltung und übt auf den Betrachter eine ungemein wohltuende Wirkung aus.

„Die Konstruktion von neuen Gebäudetypen war stets ein Abenteuer mit völlig ungewissem Ausgang. So hatte der Architekt, der 1247 im Auftrag des Bischofs Guillaume de Grez den Chor der Kathedrale von Beauvais noch ein paar Meter höher machen sollte, einfach Pech, währende fünfhundert Jahre später der Architekt der Dresdner Frauenkirche, George Bähr, einfach Glück hatte: Kein der beiden Baumeister konnte im Vorhinein sicher sein, dass sein Konstrukt noch innerhalb der Machbarkeitsgrenze liegen und halten würde – das von Beauvais tat es nicht! ... Möglicherweise sind kühne Konstruktionen für einen Architekten ja so etwas wie ein Kick, eine Droge“(Schlenker, 2011, p. 115)

1.3.4 Zusammenfassend aus den vorangegangenen Kapiteln kann folgender Gedankengang im Sinne des Holz Glas Verbundsystems festgehalten werden

Jedem Bau geht eine Funktion und einen Anspruch an Raum voraus. Mit den Faktoren des Standortes hat sich über die Jahrtausende im Zusammenhang mit der Bautechnik und Baukonstruktion das Bauen sukzessive verändert und größere Höhen in Zusammenhang mit größeren Spannweiten möglich gemacht. Der Raum an sich wird von den Grundkonstanten Funktion, Größe, Licht und Klima definiert und stellt den Rahmen der Akzeptanz von Bauwerken dar. Wie die Geschichte belegt, hat der Mensch immer den Versuch unternommen, die Natur zu bezwingen und die Grenzen des technisch Machbaren auszureizen. Im Bau hat sich dies darin manifestiert, dass der Mensch immer bemüht war höher, größer und leichter zu bauen. Dies konnte aber nur mit Hilfe eines physikalischen Verständnis gelingen, da in einem Bauwerk große Kräfte entstehen, die von dessen Konstruktion abgetragen werden müssen. Die physikalische Grundlage stellte das Trägheits- und Wechselwirkungsgesetz dar (erstes und drittes Newtonsches Axiom).

Das Trägheitsgesetz sagt aus, dass jeder Körper im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung verharrt, solange er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird diesen Zustand zu ändern.

Lateinischer Originaltext:

„Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.“(Newton, 2009)

Das Wechselwirkungsgesetz besagt, dass die Wirkung zweier Körper aufeinander stets gleich und von entgegengesetzter Richtung ist. Jeder Druck erzeugt einen gleich großen Gegendruck.

Lateinischer Originaltext:

„Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.“(Newton, 2009)

Diese Gesetze stellen die Grundlage für das Verständnis und für die Ermittlung von Spannungen und Kräften in Bauwerken dar. Man unterscheidet drei verschiedenen Spannungen:

- Druckspannungen
- Zugspannungen
- Scherspannungen

Druckspannungen können Körper zusammendrücken und diese dadurch möglicherweise verkürzen. Diese Art der Spannung wird durch das Eigengewicht aber auch durch eventuelle Zusatzbelastungen ausgelöst und kommt bei allen Bauwerken vor. Die Druckbelastung entsteht durch die Wirkung einer senkrechten Kraft auf eine aufrecht stehende Stütze. Nur wenn der Querschnitt derjenigen groß genug ist und ein geeignetes Material verwendet wurde, kann sie der Belastung Stand halten. Nach damaligen Erkenntnissen hatten Marmor, Granit und Beton die höchste Druckfestigkeit.

Zugspannungen entstehen durch sogenannte Zugbeanspruchungen. Sie dehnen die Baukörper und können so deren Verformung bewirken. Sie haben seit der Verwendung von Stahlbalken eine besondere Bedeutung

Bei der Scherspannung wirken zwei gleich große entgegengesetzt gerichtete Kräfte auf einen Baukörper ein. Dadurch wird die innere Ebene gegeneinander verschoben und eine Scherspannung entsteht.

Heutige Bauwerke sind häufig Variationen und Überlagerungen dieser drei Spannungsarten ausgesetzt. Statiker müssen nicht nur wissen, welche Spannungen wann auf einzelne Elemente eines Bauwerks wirken, sondern auch berechnen, mit welchen Baustoffen und Konstruktionsformen Kräfte und Spannungen in ausgeglichenem Zustand gehalten werden können.

Über Jahrtausende konnten Konstruktionsformen nur Druckspannungen abtragen. Die Standfestigkeit des Gebauten wurde durch die Dichte (Festigkeit) und die Masse des Materials gesichert. Die eng gefügte Schichtung druckfester Steine oder Ziegel trägt durch ihr Eigengewicht zur Festigkeit des Baus bei und übernimmt sowohl tragende als auch raumabschließende Funktionen. Der hohe Druck der Materialmassen zwingt zu kleinen Öffnungen und Innenräumen. Das Problem bestand darin, dass man zum Abfangen eines großen schweren, waagrechten Trägers viele senkrechte Stützen benötigte, da keine Zugspannungen von den Materialien und der Konstruktion abgetragen werden konnten. Somit war es auch nicht möglich große Innenräume stützenfrei zu überspannen. Erst mit der Erfindung der Bogen- und Gewölbeform und des Gussmauerwerks im antiken Rom wurde dies möglich.

Da zu diesem Zeitpunkt nach wie vor keine Zugspannung abgetragen werden konnte, mussten die im Bogen entstehenden Schubkräfte abgefangen werden. Wie anfänglich in den Bauten der Romanik ablesbar geschah dies zu dieser Zeit durch Stützbögen und -wände, die mit ihrem hohen Eigengewicht die horizontalen Lasten ins Erdreich abtrugen.



Abb. 28 Schema Lastabtragung Massenaufbau



Abb. 29 Schema Lastabtragung Tempel



Abb. 30 Schema Lastabtragung Rundbogen



Abb. 31 Schema Lastabtragung Tonnengewölbe

Die Gotik passte die Bogenform intuitiv an den Kräfteverlauf an und somit konnten die schweren Außenmauern durch leichtes Strebwerk ersetzt werden. Darunter versteht man die Gesamtheit der Pfeiler und Mauervorlagen, die den Seitenschub der Kreuzgewölbe auffangen. Dadurch wurden Öffnungen in der Fassade möglich. Diese wurden ab dem Zeitpunkt interessant, als man große Glasmosaiken als Raumabschluss herstellen konnte. Durch diese konnte Tageslicht eindringen und der Innenraum war vor Wind und Wetter dennoch geschützt.

Mit der Weiterentwicklung der Glasherzeugung und dem Vormarsch von Eisen als Baumaterial, konnten die tragenden Strukturen eines Gebäudes immer schlanker und filigraner werden. Ein Höhepunkt dieses Schaffens war der Kristallpalast im Jahre 1851 und der Eiffelturm im Jahre 1887. Durch das Abtragen von Zugspannungen über Eisen, war auch dem Hochhausbau Tür und Tor geöffnet. Mit der Möglichkeit Flachglas herzustellen und der damals neu erfundenen „Curtain wall Fassade“ wurde die Außenhaut als lastabtragendes und raumabschließendes Bauwerk aufgelöst oder abgelöst. Die Tragstruktur wandert hinter die Fassade und die Fassade musste lediglich Eigengewicht und Windlasten abtragen.

Bei diesem letzten großen bautechnischen Schritt wird aber das Potential des Werkstoffes Glas noch nicht zur Gänze ausgenutzt. Der Werkstoff vermag hohe Druckkräfte abtragen zu können. Dieser Exkurs in grundlegende Definition von Architektur und Raum so wie Geschichte der Bautechnik sollte verdeutlichen, dass ein weiterer Schritt mit dem Holz Glas Verbundsystem möglich ist. Indem Glas nicht nur als raumabschließender Bauteil eingesetzt werden kann, sondern im Verbund mit Holz ein lastabtragender, transluzenter sowie transparenter Bauteil wird.

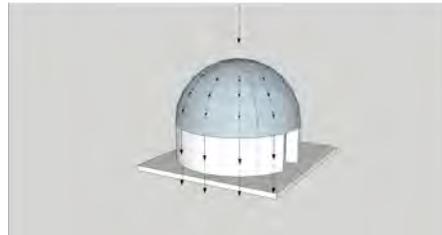


Abb. 32 Schema Lastabtragung Kuppel



Abb. 33 Schema Lastabtragung Kreuzgewölbe



Abb. 34 Schema Lastabtragung Kreuzrippengewölbe

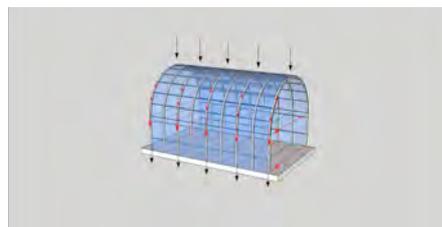


Abb. 35 Schema Lastabtragung Glashauss

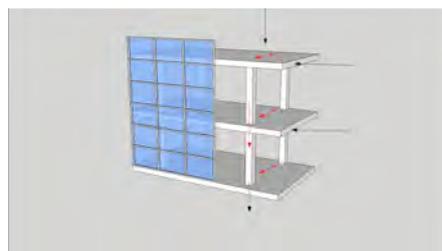


Abb. 36 Schema Lastabtragung "Curtain Wall"

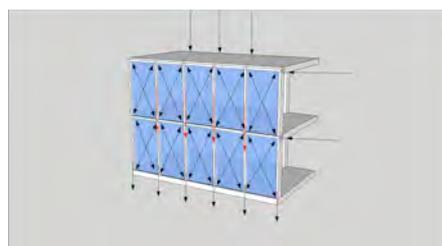


Abb. 37 Schema Lastabtragung HGV-Fassade

2 Grundlagen: Ausgangsstoffe HGV

2.1 Holz

Holz als ein natürlich nachwachsender Rohstoff ist in den letzten Jahren wieder mehr in den Fokus der Baubranche gerückt. Neben den vielen Vorteilen, die Holz als Baustoff hat, ist der ökologische Aspekt besonders hervorzuheben. Die Produkterzeugung und die Nutzungseffizienz ist im Vergleich zur verwendeten Energie, die bei der Herstellung des Rohstoffes benötigt wird, äußerst hoch. (Louter, Bos, Belis, & Lebet, 2014, p. 241)

Wenn man den Lebenszyklus von Holz betrachtet, ist dieser Rohstoff im Vergleich zu anderen CO₂-neutral und zu 100% recycelbar. Somit ist Holz gegenüber anderen Baustoffen wie Beton oder Stahl in diesem Punkt klar im Vorteil. Wenn bewusst auf heimische Hölzer aus biologischem Anbau zurückgegriffen wird, kann der CO₂ Ausstoß für den Transport noch weiter verringert werden.

Gerade in den letzten Jahren freuen sich Holzwerkstoffe über große Beliebtheit und ermöglichen fast jede bauliche Aufgabe mit Holz zu lösen.

Selbst im Hochhausbau wurde Holz in den letzten Jahren als tragende Struktur verwendet. Exemplarisch will hier der „Murray Grove Tower“ in London genannt sein. Dieser Wohnturm ist ein Massivholzgebäude mit einer Gesamthöhe von 29,75m.



Abb. 38 Mehrgeschoßiger Holzbau ; Murray Groove Tower; London (GB); Quelle http://www.texte-nach-mass.de/pdf/murray_grove_tower_london.pdf (05.07.2016)

2.1.1 Holzeigenschaften

Durch die lange Tradition mit Holz zu bauen, sind die Materialeigenschaften wohl bekannt und erforscht.

Holz hat einen anisotropen Aufbau, das heißt, die Materialeigenschaften in den verschiedenen Strukturrichtungen sind unterschiedlich. Aufgrund des kreisförmigen Aufbaus eines Baumes spricht man von drei verschiedenen Richtungen:

- In Richtung der Stammachse / Längsrichtung
- Orthogonal zu den Jahrringen / radiale Richtung
- Tangential zu den Jahrringen / tangentielle Richtung

Abhängig von der geographischen Lage, in der das Holz gewachsen ist, variiert Wuchs und Beschaffenheit des Naturprodukts. Dies ist auf die Gegebenheiten des Standortes

zurückzuführen. In nördlicheren Bereichen der Hemisphäre kann der Baum aufgrund des kühleren Klimas und des geringeren Lichteintrages nur langsamer wachsen. Dadurch bildet er einen dichteren Wuchs, obwohl der Baum derselben Gattung entspricht, die auch in südlicheren Regionen zu finden ist. Neben der Anisotropie, wird das Holz durch seine Porosität und Hygroskopizität charakterisiert.

Des Weiteren verändern sich die Eigenschaften von Holz in Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgehalts. Bei Aufnahme oder Abgabe von Feuchtigkeit verändert sich die Größe des Holzes zumeist quer zur Faserrichtung. Bei dem Prozess des Quellens und Schwindens, auch „arbeiten des Holzes genannt,“ besteht die Gefahr, dass es zur Bildung von Rissen im Holz kommt. Um diese unerwünschte Rissbildung zu vermeiden wird das Holz vor dem Einbau auf die Feuchte gebracht, die dem späteren Klima entsprechen wird.

2.1.2 Arten von Holz

Holz wird herkömmlich in Nadelholz, Laubholz und Tropenholz unterschieden. Bei Nadelholz und Laubholz wird nach dem anatomischen Zellaufbau und nach dem Aussehen unterschieden.

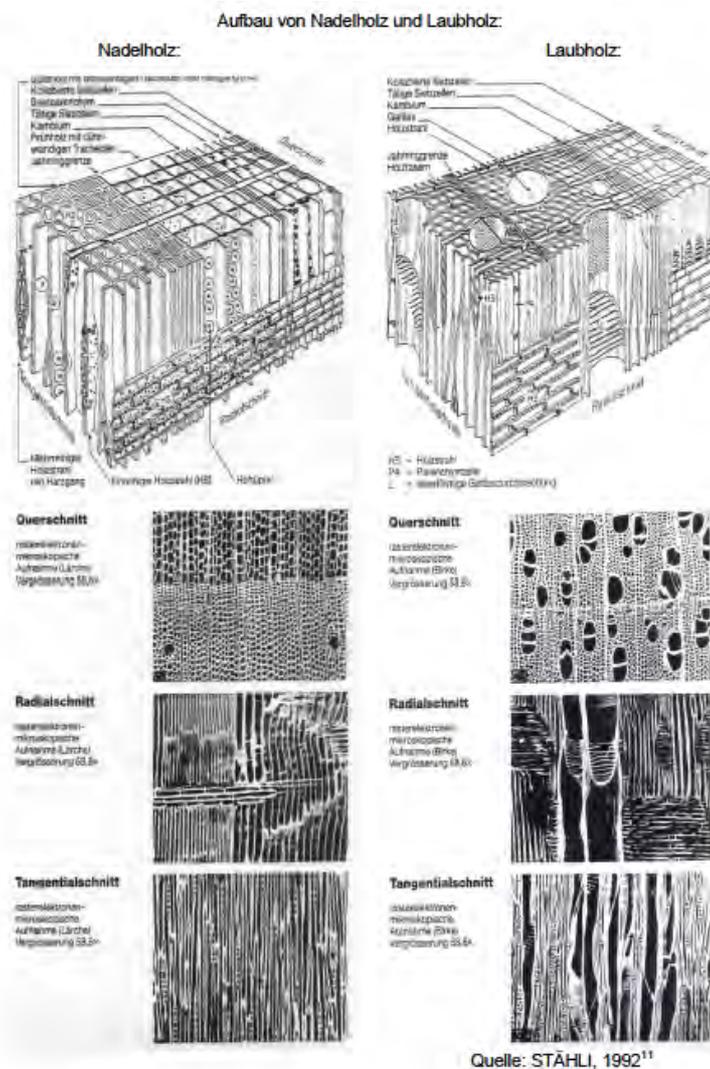


Abb. 39 Aufbau Zellstruktur Nadelholz Laubholz; Quelle: STÄHLI

Beim Tropenholz hingegen werden lediglich die Herkunft des Holzes und die damit verbundenen speziellen Eigenschaften charakterisiert.

2.1.2.1 Nadelholz

Die Fichte ist in Österreich das meist verwendete Konstruktionsholz. Dies ist auf die hohe Verbreitung und auf den schnellen und geraden Wuchs zurückzuführen. Bei Anwendungen mit höheren Ansprüchen wird oft auf die beständigere Lärche zurückgegriffen. Zwei weitere wichtige Vertreter, die hauptsächlich in der Industrie Verwendung finden, sind die Kiefer und die Tanne.

Entwicklungsgeschichtlich sind Nadelhölzer viel älter als Laubhölzer und haben einen einfacheren anatomischen Zellaufbau mit einer regelmäßigeren Struktur. Es wird unter folgenden zwei Zellarten unterschieden:

Die Tracheiden bilden den Hauptbestandteil des Nadelholzes und übernehmen den Wassertransport sowie die Festigung. Diese Zellen haben einen lang gestreckten Aufbau und enden in einer spitz zulaufenden Form.

Parenchym Zellen hingegen sind rechteckig und für die Leitung von Wuchs und Nährstoffen verantwortlich sowie auch für die Einlagerung von Fetten und Stärke.

Nadelholz mit seiner einfachen und regelmäßigen Struktur aus Holzfasern, Harzkanälen und Holzstrahlen bildet im Querschnitt betrachtet deutlich erkennbare Jahrringe aus.

2.1.2.2 Laubhölzer

Da Laubhölzer in Österreich vergleichsweise nur gering verbreitet sind, findet diese Holzart seine Verwendung in der Möbel- und Plattenindustrie sowie in nicht tragenden Baukonstruktionen. Nur Buchenholz wird wegen seines geraden Wuchses zur Produktion von Brechtschichtholz verwendet und findet somit seinen Einsatz als Baukonstruktionsholz. Unter anderem sind die Eiche, Esche, Robinie, Pappel und der Ahorn als in der Industrie verwendete Laubhölzer zu erwähnen.

Allgemein ist zu sagen, dass die Struktur von Laubhölzern unregelmäßig und das Gewebe bedeutend differenzierter ist als jenes von Nadelhölzern. Des Weiteren weisen Laubhölzer im Vergleich zu Nadelhölzern Fasern auf, die zur zusätzlichen Festigung dienen. Dieses Gewebe wird in drei Gruppen nach deren Funktion unterteilt:

- Leitgewebe (Tracheen)
- Festigungsgewebe (Libroformfasern oder Fasertracheiden)
- Speichergewebe (Holzstrahlenparenchymzellen oder Längsparenchymzellen)

Je nach dem wie die Anordnung und der Durchmesser der Gefäße ist, kann zwischen ringporigen, halbringporigen und zerstreut porigen Hölzern unterschieden werden. Wie auch bei Nadelhölzern weisen ringporige Laubhölzer Jahrringe auf. Bei zerstreut porigen Hölzern hingegen sind die Poren gleichmäßig verteilt und es werden keine klaren Jahrringe gebildet.

2.1.2.3 Tropenholz

Der Begriff bezieht sich auf die aus europäischer Sicht bezogene Herkunft des Holzes. Vorwiegend handelt es sich um Kernholz von Laubhölzern aus tropischen und subtropischen Regionen. Diese Hölzer zeichnen sich durch ihre erhöhte Beständigkeit gegen Verwitterung und Pilz- oder Insektenbefall aus. Des Weiteren ist anzumerken, dass diese Hölzer oft eine vorteilhafte mechanische Eigenschaft aufweisen, welche zurückzuführen ist auf einen vorkommenden Wechseldrehwuchs. Das konstante Klima trägt dazu bei, dass der Wuchs viel regelmäßiger ist als in gemäßigteren Breiten. Bei der Verwendung von Tropenhölzern muss kritisch hinterfragt werden, ob der weite Transportweg und die oft nicht nachhaltige

Bewirtschaftung der Wälder gerechtfertigt sind. Das dabei ausgestoßene CO₂ und der Verlust an wertvollen Regenwaldflächen ist oft Grund für Diskussionen rund um den Klimaschutz.

2.1.3 Holzwerkstoffe

Der zerkleinerte oder gesägte Rohstoff Holz ist die Basis für Holzwerkstoffe. Diese werden aus Teilen des Vollholzes und Klebstoff oder mineralischen Bindemitteln hergestellt. Je nachdem wie groß die einzelnen Stücke sind, wird dieser Rohstoff in verschiedene Typen eingeteilt. Zu den größten Strukturelementen gehören Bretter, Schnitthölzer sowie Furniere unterschiedlicher Dicke. Grobspäne bis Feinspäne werden als die kleineren Elementtypen angesehen.

Je nachdem welche Größe und Form die Holzpartikel für den Holzwerkstoff haben, verändern sich dessen Eigenschaften. Je kleiner die Holzstücke, desto höher wird die Homogenität des Werkstoffes, zugleich sinkt jedoch die Festigkeit der Produkte. Dies wirkt sich auch auf die benötigte Holzqualität des verwendeten Holzes aus. Je kleiner die Partikel, desto schlechter kann die Holzqualität sein, ohne dabei einen Abstrich bei der Oberflächengüte und den Dämmeigenschaften machen zu müssen. Dabei werden zum Teil auch Holzreste verarbeitet, die sonst nicht mehr verwendet werden könnten. Holzfehler wie z.B. Äste, Risse und Drehwuchs, die bei dem Naturprodukt Holz unvermeidbar sind und die Festigkeit des Holzes deutlich herabsetzen würden, haben bei den Holzwerkstoffen keinerlei negative Auswirkungen.

Gegenüber Vollholz sind Holzwerkstoffe nicht an die natürliche Größe des Baumes gebunden. Bei balken- oder plattenförmigen Werkstoffen kann theoretisch jede Länge oder Größe erzeugt werden. Normalerweise werden diese aber in Standardabmessungen gefertigt. Je nach Einsatz können die einzelnen Holzbestandteile gezielt angeordnet werden, um dadurch die Belastbarkeit in verschiedene Richtungen zu beeinflussen. Der Nachteil des Quellens und des Schwindens von Massivholz ist bei Holzwerkstoffen deutlich geringer.

Wohl anzumerken ist, dass bei Holzwerkstoffen im Gegensatz zu Vollholz ein weit aus höherer Energiebedarf für die Produktion anfällt und die Binde- und Klebstoffe nicht ökologisch abbaubar sind!!!

Holzwerkstoffe werden generell in Kunstharz gebundene oder mineralisch gebundene Werkstoffe unterteilt. Bei den Kunstharz gebundenen Werkstoffen werden Formaldehydharze mit diversen Zusätzen zur Erzeugung verwendet. Bei mineralisch gebundenen Holzwerkstoffen werden hingegen Gips und Zement als Bindemittel verwendet. Bei diesem Verfahren können Holzfasern und Späne in die Gips- bzw. Zementmasse eingelegt werden und dienen als Armierung.

Um einen Vollholzwerkstoff zu erzeugen, werden Massivholzelemente (Bretter oder Stäbchen) in mehreren Lagen miteinander verklebt. Hingegen bei Furnierwerkstoffen werden dünne Schäl furniere verwendet. Somit unterscheiden sich die beiden Werkstoffe im Wesentlichen durch die Dicke der eingesetzten Holzelemente, wobei durch die geringe Dicke der eingesetzten Elemente im Falle des Furnierholzes, ein größere Variationsbreite möglich ist.

Wenn die Fasern der einzelnen Schichten parallel zu einander sind, spricht man von einem Schichtholz. Bei einem Sperrholz wird hingegen jede Lage um 90 Grad gedreht und die faserparallele Ansicht der vorderen und hinteren Seite ergibt sich durch die ungerade Anzahl an Schichten.

Die Festigkeitseigenschaften des Vollholzwerkstoffes variieren je nach der Güte, der Art der Verbindung, des Schichtaufbaus sowie der Schichtausrichtung und der Schnittrichtung des Holzes. Um beispielsweise eine höhere Formbeständigkeit und Tragfähigkeit zu erzielen, müssen Platten mit hoher Festigkeit in den Außenlagen eigearbeitet werden.

Zu den wichtigsten Vertretern der **Vollholzwerkstoffe** gehören: Brettschichtholz, Brettsperrholz, Stabsperrholz und Vollholzelemente aus Kreuzweise geschichteten Brettern.

Zu den Holzwerkstoffen auf **Furnierholzbasis** gehören: Furniersperrholz welches eine hohe Formbeständigkeit durch die querverleimten Furniere besitzt, Furnierschichtholz, Furnierstreifholz, Biegesperrholz.

Bei den **Span - und Faserwerkstoffen** werden kleine Holzspäne und Holzfasern verwendet um einen Werkstoff zu erzeugen. Deren Gewinnung erfolgt aus Vollholz oder Holzresten die mit speziellen Zerspanermesser oder Hackern zerkleinert werden. Bei den Holzspanwerkstoffen wird bei der heißen Verpressung der Späne ein Kunstharzleim mit diversen Additiven beigemischt. Bei den Holzfaserwerkstoffen beruht der Zusammenhalt zu einem groß Teil auf der Verfilzung der einzelnen Fasern und der holzeigenen Bindekräfte, es können aber auch Klebstoffe als Bindemittel eingesetzt werden.

2.2 Glas

Im Bauwesen gehört Glas zur Gruppe der anorganischen und mineralischen Baustoffen. Dank seiner Transparenz genießt Glas in der heutigen Architektur einen hohen Stellenwert. Um Glas zu erzeugen, werden Quarzsand, Kalk und Soda eingeschmolzen. Die amorphe Struktur des Glases verhindert, dass sich im Abkühlvorgang die Kristalle bilden. Da Glas keinen festen Schmelzpunkt hat, verändert sich die Zähigkeit bei zunehmender Temperatur. Eine weitere Besonderheit von Glas ist, dass es nur dann bricht, wenn seine Zugfähigkeit unter Belastung überschritten wird.

2.2.1 Floatglas und seine Herstellung

seit dem Jahre 1000 n. Chr. wird Flachglas im europäischen Raum etwa als Fensterglas eingesetzt. Heute ist es unter dem Begriff Floatglas bekannt und erhielt seinen Namen durch das im Jahr 1959 von der Firma Pilkington entwickelten Floatverfahren. „To float“ heißt aus dem Englischen übersetzt „gleiten, aufschwimmen, fließen“.

Dieser englische Begriff beschreibt den Prozess der Herstellung des Glases in seinen Grundzügen. Floatglas ist ein Gemisch aus Kalk-Natron-Silicatglas und wird nach der EN 572-2 durchsichtig oder gefärbt mit planparalleler, feuerpolierter Oberfläche hergestellt. Es besteht zu ca. 60% aus Quarzsand, zu 20% aus Soda und Sulfat und zu 20% aus Kalk und Dolomit. Diese Grundmaterialien werden vermischt und bei 1600 Grad Celsius geschmolzen. Anschließend geht das flüssige Gemisch beim sogenannten Läutern aus. Die Glasmasse, Glasschmelze genannt, wird anschließend in einer Abstehwanne auf 1100 Grad Celsius abgekühlt. Seine Form erhält es durch das kontrollierte Fließen über den Lippstein in ein Fließzinnbad. Da Zinn doppelt so schwer ist wie die Glasmasse, schwimmt die zähflüssige Schmelze oben auf und verbleibt so lange auf dem Zinn bis sie auf eine Temperatur von 600 Grad Celsius abgekühlt und verfestigt ist. Danach kann die Glasplatte abgehoben werden und in einem Rollkühlofen erfolgt ein genau definiertes und kontrolliertes Abkühlen auf eine Endtemperatur von 60 Grad Celsius. Dieser Kühlprozess garantiert die Spannungsfreiheit und somit die spätere Bearbeitbarkeit des Materials.

Glas wird als eine unterkühlte Flüssigkeit bezeichnet, weil seine Moleküle beim Abkühlen der Schmelze sich nicht wieder zu Kristallen ordnen und es trotz seines festen Zustandes einer Flüssigkeit entspricht.

Im letzten Schritt der Erzeugung wird das nun fertige Glas Qualitätskontrollen unterzogen und die Seitenborde werden entfernt. Das unendlich lange Glasband wird in der Regel auf 6m lange Stücke geschnitten.

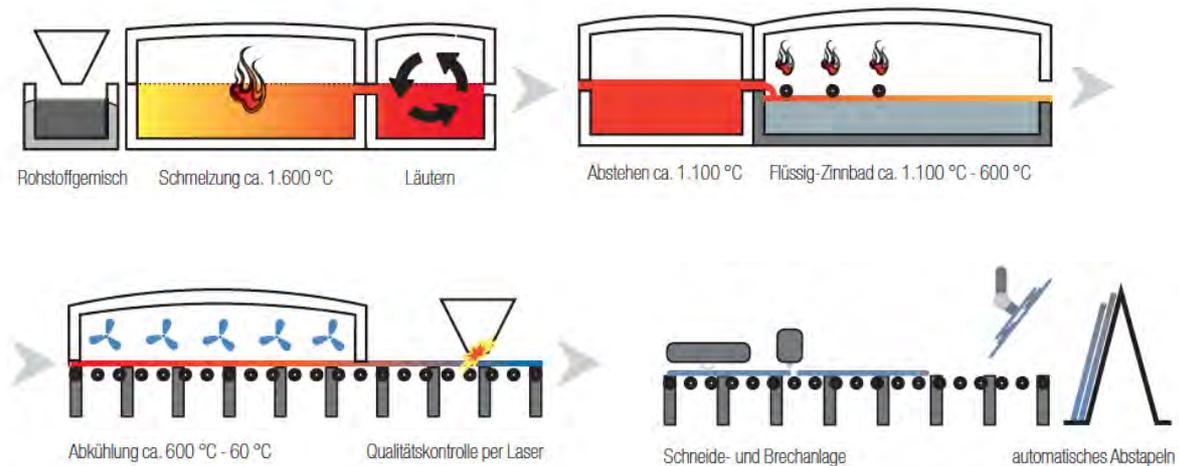


Abb. 40 Erzeugung von Floatglas ; Quelle Uniglas Kolleg - Technisches Kompendium

Floatglas verfügt über ein Drittel des Elastizitätsmoduls und ein Drittel der Dichte von Stahl, bei einer weitaus größeren Druckfestigkeit. Bedeutend geringer jedoch fällt die praktische Biegezugfestigkeit von Glas aus. Diese ist genau genommen keine Materialkonstante, sondern eine von der Schädigung der Glasoberfläche abhängige Größe. Die Anzahl und Größe der Kerben und mikroskopischen Risse sowie die Güte der Kantenbearbeitung, ob geschnitten, geschliffen oder poliert, beeinflussen die Biegezugfestigkeit deutlich. Die theoretische Zugfestigkeit von Glas beträgt etwa 5000 bis 8000 N/mm², also ein Vielfaches von der aus Versuchen ermittelten Biegezugfestigkeit einer Probe mit üblichen Oberflächendefekten (Ofner,2006). Wenn man Fichtenholz mit Glas auf deren Zugfestigkeit vergleicht, beträgt diese bei Floatglas ca. 45N/mm² und bei Holz ca. 14 N/mm². Hingegen die Druckfestigkeit beträgt 700-900 N/mm² bei Glas und 21 N/mm² bei Holz. Somit weist Glas eine hohe Druckfestigkeit bei gleichzeitiger Sprödigkeit und geringer Zugfestigkeit auf.

Floatglas ist das heute am meist verwendete Bau-Glas. Es wird jedoch nur in geringen Mengen in seiner ursprünglichen Form verwendet, denn hinsichtlich **Resttragfähigkeit, Brand-, Schallschutz und Wärmedämmung** werden zahlreiche Anforderungen an moderne Verglasungen gestellt. Diese kann das herkömmliche Floatglas aber nicht vollständig erfüllen. Durch die Möglichkeit Gläser zu veredeln, kann Glas den vielzähligen Anforderungen des transparenten Bauens jedoch angepasst werden.

2.2.2 Begriffserklärung – Einscheibensicherheitsglas (ESG)

Um Einscheibensicherheitsglas zu erzeugen, wird herkömmliches Floatglas kontrolliert und gleichmäßig erhitzt und anschließend mittels kalter Luft wieder abgekühlt. Bei diesem Prozess entsteht zwischen dem abgekühlten äußerem Bereich der Scheibe und dem noch warmen inneren Kern eine Spannung. Der äußere kühlere Bereich zieht sich zusammen und erzeugt somit eine Druckspannung, die zur Mitte des Glasquerschnitt gerichtet kontinuierlich abnimmt und in Zugspannung übergeht.

Einscheibensicherheitsglas ist auf Grund seiner Vorspannung stärker belastbar als herkömmliches Flachglas, hat aber den Nachteil, das es sich nicht mehr schneiden oder bohren lässt. Somit muss das Glas vor dem Erhitzen fertig bearbeitet werden. ESG wird hauptsächlich für Glastüren und Wandverglasungen ohne Absturzsichernde Funktion verwendet. Im Falle eines Bruches zerfällt das Glas in kleine stumpfe Stücke.

2.2.3 Begriffserklärung – Verbundsicherheitsglas (VSG)

Verbundsicherheitsglas wird aus mindestens zwei Einzelscheiben hergestellt. Diese werden mit einer reißfesten und zähelastischen Folie unter Hitze und Druck in einem Autoklaven Verfahren zu einem Glaselement verbunden. Die Scheibe ist somit splitterbindend und bei entsprechender Dicke absturzsichernd. Es wird hauptsächlich als Überkopfverglasung und als absturzsichernde Fixverglasung (Balkonfüllungen).

Nach einem Bruch bleibt die Öffnung, in der die Scheibe eingesetzt ist, verschlossen. Glassplitter haften an der Folie zwischen den Scheiben.

2.2.4 Begriffserklärung Teilvorgespanntes Glas (TVG)

Teilvorgespanntes Glas wird wie ESG hergestellt, die Abkühlung erfolgt jedoch langsamer. Das Glas bricht nicht so „feinmaschig“ wie ESG und besitzt daher im Bruchfall eine höhere Resttragfähigkeit. Aus diesem Grund kann es als Absturzsicherung oder Dachverglasung bei punktförmigen Halterungen verwendet werden.

2.2.5 Bruchbilder von Glas

Glas als sprödes Material hat die Eigenschaft brechen zu können. Wenn eine äußere Kraft auf eine Glasscheibe einwirkt, kann es zu einem Bruch der Glasscheibe kommen. Dabei wird die Vorspannung im Glas und die damit verbundene eingelagerte elastische Energie freigesetzt. Bei vorgespannten Gläsern wie Sicherheitsgläsern, führt der höhere Eigenspannungszustand zu einer größeren Anzahl von Bruchlinien und kleineren Krümelgrößen beim Bruch der Scheibe. Je kleiner die Bruchstücke sind, desto kleiner ist auch die Verletzungsgefahr.



Abb. 41 Bruchbilder von Floatglas, TVG und ESG; Quelle: (Ofner, 2007)

2.3 Klebstoffe

Kleben ist eine der ältesten Methoden um eine Verbindung herzustellen. Durch einen Klebstoff können gleiche oder ungleiche Füge­teile miteinander verbunden werden ohne die Werkstoffeigenschaften der Füge­teile zu verändern. Solche Verbindungen können nur durch Zerstörung des Verbindungsmittels wieder gelöst werden.

2.3.1 Einteilung der Klebstoffe

Klebstoffe können nach der chemischen Basis aber auch nach dem Abbindemechanismus unterteilt werden.

Einteilung nach der chemischen Basis: Hierbei wird zwischen den auf organischen und den auf anorganischen Verbindungen basierenden Klebstoffen unterschieden, wobei die organischen Klebstoffe die weitaus grössere Gruppe darstellen. Sie unterteilen sich weiter in Klebstoffe natürlicher und künstlicher Basis. Diese Klebstoffe unterscheiden sich vor allem in Bezug auf die unterschiedlichen Klebfestigkeiten und Alterungsbeständigkeit sowie auf die Verarbeitungs- und Anwendungstemperaturen (Habenicht, 2009)

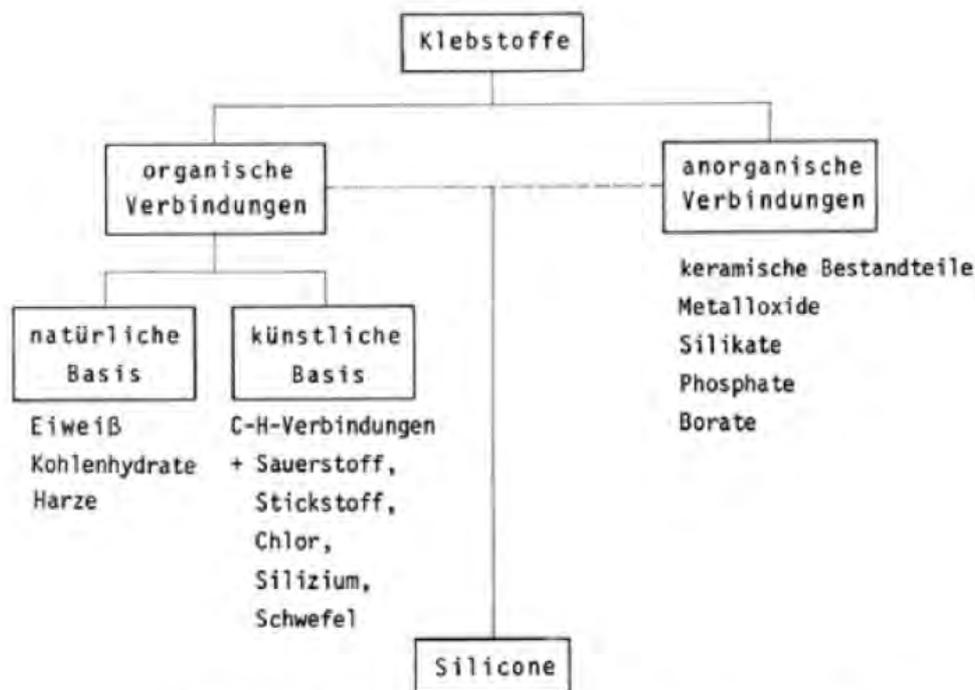


Abb. 42 Einteilung der Klebstoffe nach der chemischen Basis ; Quelle . Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen. 6. Auflage; Habenicht, G.

Einteilung nach Abbindemechanismus: Klebstoffe können gemäss ihrer Abbindemechanismen in chemisch reagierende und physikalisch abbindende unterteilt werden. Des Weiteren gibt es eine Kombination aus chemisch reagierenden und physikalisch abbindenden Klebstoffen, diese werden als reaktive Schmelzklebstoffe bezeichnet.

Die beim Abbindemechanismus chemisch reagierenden Klebstoffe setzen sich zu Beginn des Klebevorgangs aus breiten Monomerrespektive Prepolymermolekülen zusammen. Unter Zufuhr von Wärmeenergie und/oder Druck bilden sich daraus polymere Klebschichten. Diese Reaktion

kann auch durch Vermengen zweier Reaktionspartner (Zweikomponenten-Reaktionsklebstoff) hervorgerufen werden.

Bei physikalisch abbindenden Klebstoffen hingegen findet in der Klebefuge keine Reaktion mehr statt. Bereits vor Aufbringen des Klebstoffes befinden sich deren polymeren Grundbausteine in einer vernetzungsfähigen Form. Bei allen physikalisch abbindenden Klebstoffen handelt es sich um ein Einkomponentensystem, bei denen je nach Anwendung noch Füllstoffe, Stabilisatoren oder Weichmacher hinzugefügt werden um den vernetzungsfähigen Zustand hervorzurufen.

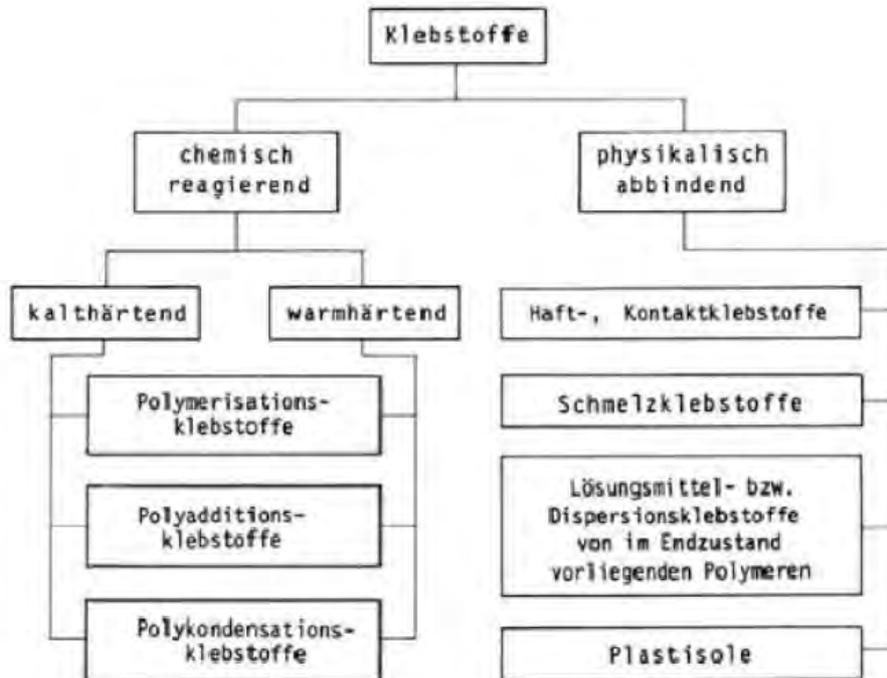


Abb. 43 Einteilung der Klebstoffe nach Abbindemechanismus ; Quelle: Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen; Habenicht G.

2.3.2 Klebstofftypen

Aufgrund der Vielzahl von Klebstofftypen wird hier nur auf die für dieses Arbeit relevanten Typen eingegangen.

Silikon Klebstoffe: „Silikone sind höhermolekulare Verbindungen, denen ein alternierend aus Silicium und Sauerstoffatomen aufgebautes dreidimensionales Gerüst zu Grunde liegt. Für Klebstoffsysteme werden Prepolymere (im Vorstadium zu einem richtigen Polymer) eingesetzt, deren Kettenenden durch funktionelle Gruppen so gestaltet sind, dass sie unter Einwirkung von Luftfeuchtigkeit (Einkomponenten-Systeme) oder durch chemische Reaktion zweier Komponenten (Zweikomponenten-Systeme) zu einem hochmolekularen Polymer vernetzen.“ (Edl, 2008)

Die wesentlichen Eigenschaften von Silikon Klebstoffen sind die hohe Temperaturbeständigkeit, die sehr hohe Flexibilität bei tiefen Temperaturen, die hervorragende Wetterbeständigkeit sowie die gute Beständigkeit gegenüber schwachen Säuren und Basen.

Klebstoffe auf Acrylatbasis: „Diese Klebstoffe sind Polymerisationsklebstoffe. Dabei weisen Einkomponenten-Systeme derart stabilisierende Monomere auf, dass eine Polymerisation er beim Auftragen auf die Füge-teile erfolgt. Sie beginnt, wenn Spuren von Feuchtigkeit (Cyanacrylatklebstoffe) oder Metallionen bei gleichzeitigem Ausschluss von Sauerstoff (anaerobe Klebstoffe) wirksam werden. Auch Strahlungen werden eingesetzt um die Polymerisation auszulösen (z.B. UV-Strahlung). In Zweikomponenten-Systemen wird die Polymerisation ebenfalls durch Radikale ausgelöst, die Aktivierung der Radikale erfolgt dabei, anstatt durch Strahlung, durch einen zugesetzten Härter. Als wichtigster Vertreter dieser Systeme gelten die Methacrylatklebstoffe.“ (Edl, 2008)

Epoxidharze: Hierbei handelt es sich um härtbare Harze, sogenannte Reaktionsharze. Sie werden mit einem Härter und gegebenenfalls mit Zusatzstoffen zu einem duroplastischen Kunststoff umgesetzt. Dieser Klebstoff wird durch eine Reaktion von Bisphenol und Epichlorhydrin hergestellt. Bei der Verarbeitung werden zwei Komponente, das Epoxidharz und der Härter, in einem bestimmten Verhältnis vermischt. Die Eigenschaften dieses Klebstoffes sind das geringe Schrumpfmass sowie die Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit. (<https://de.wikipedia.org/wiki/Epoxidharz>, 15.05.2016)

3 Grundlagen: Statische Konzeptionierung

3.1 Das Abtragen von Lasten und Aussteifungen

Bei statisch einwirkenden Kräften auf ein Gebäude, denkt man überwiegend an **vertikale Lasten**. Diese Kräfte sind zu meist ständige Lasten, die auf das System einwirken. Beispiele für Vertikallasten sind alle **Eigengewichte** von Stützen, Trägern, Fachwerken, Platten oder Wänden inklusive den entsprechenden **Nutzlasten** sowie eventuell anfallende **Schneelasten**. Es werden alle Lasten von Dach bis Fundamentplatte summiert und jeder Bauteil muss die ihm zugeordnete Last abtragen. Grundsätzlich ist die Aussteifung von Gebäuden genau so wichtig wie die Bemessung der einzelnen Bauteile, da bei einem Versagen der Aussteifung die Gesamtsicherheit des Gebäudes betroffen ist.

Bei **horizontalen Lasten** handelt es sich zu meist um Kräfte, die eine kurzzeitige Einwirkung auf die Konstruktion haben. Von außen sind diese Einwirkungen vor allem **Windlasten** oder **Erddruck**. Sie können aber auch in Form von **waagrechten Verkehrslasten** auftreten, dies sind zum Beispiel Anpralllasten sowie Brems und Beschleunigungskräfte oder von Maschinen erzeugte Eigenschwingungen und Erschütterungen, die auf das System einwirken. Je nach Standort des Gebäudes müssen auch **Erdbebenlasten** als außergewöhnliche Last angenommen werden. Neben den planmäßigen treten auch unplanmäßige Lasten in Form von **Imperfektionen** auf. Dies sind quasi während der Herstellung bzw. Montage auftretende und unvermeidbare Ungenauigkeiten, die zu Schiefstellungen von Stützen oder Krümmungen führen. Solche Bauteile erzeugen horizontale Lasten, hervorgerufen von Vertikallasten.

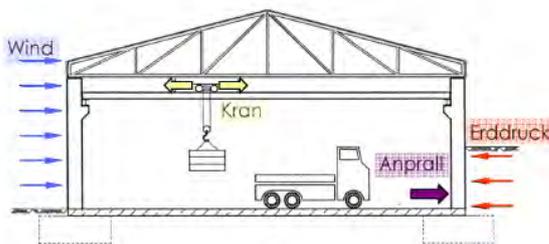


Abb. 44 Beispiele Horizontallasten; Quelle: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Leicher - Werner Verlag.

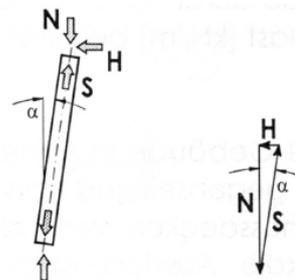


Abb. 45 Darstellung Imperfektionen; Quelle: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Leicher - Werner Verlag.

Die Tragstruktur eines Gebäudes muss somit alle vertikal und horizontal einwirkenden Lasten und Kräfte über die Tragstruktur in den Baugrund abtragen können. Um dabei die Standsicherheit gewährleisten zu können, müssen alle tragenden Elemente und deren Verbindungen, ausreichend dimensioniert werden. Die „Stabilität eines Gebäudes“ und die damit verbundene Eigenschaft auch horizontale Lasten und Kräfte aufnehmen und abtragen zu können, wird nur sichergestellt, wenn ein entsprechendes **Aussteifungskonzept** vorhanden ist. Dieses kann gewährleistet werden, wenn die stabilisierenden und aussteifenden Bauteile im Gebäude richtig angeordnet sind.

Die Wandscheibe ist das Element, welches am häufigsten genutzt wird, um eine Aussteifung in einer Ebene auszubilden. Im Massivbau können die betonierte oder gemauerte Wandscheiben, die keine zu großen Öffnungen haben, dafür verwendet werden. Auf Grund ihrer rechteckigen Form und dem damit verbundenen Verhältnis von Länge zu Höhe zu Tiefe, kann diese Scheibe in Richtung der Längs-Achse Horizontalkräfte aufnehmen. Die Kräfte werden über die resultierende Diagonale abgetragen.

Bei Stahl und Holzbauten müssen die horizontalen Lasten grundsätzlich erfasst werden, da die vertikale Haupttragwirkung hauptsächlich über Stützen erfüllt wird. Nur im Verbund zu einem biegesteifen Rahmen oder durch entsprechende aussteifende Diagonalen, die Zug oder Druck Kräfte aufnehmen, vermögen Stahl und Holz-Konstruktionen auch horizontale Kräfte abzutragen. Des Weiteren gibt es bei Holzbauten die Möglichkeit, einen Holzrahmen mit Holzplatten zu beplanken und somit eine Scheibe auszubilden. Einfache, am Fußpunkt eingespannte Stützen, finden nur in eingeschossigen Gebäuden ihren Einsatz. Die hier entstehenden Horizontallasten werden über Biegung abgetragen und dies führt zu großen Verformungen. (Leicher, 2006)

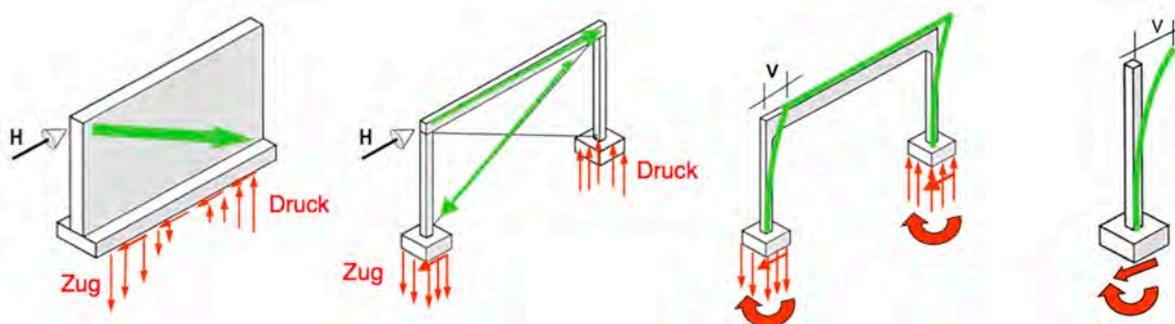


Abb. 46 Scheibe, Fachwerk, Rahmen, Stütze; Quelle: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Leicher - Werner Verlag.

Ein Bauwerk ist dann ausgesteift, wenn es über eine Kombination von aussteifenden Elementen verfügt. Scheiben, Fachwerke und Rahmen können nur in der Ebene der aussteifenden Achse wirken. Sobald sie senkrecht zu ihrer Ebene beansprucht werden, verlieren sie ihre aussteifende Wirkung

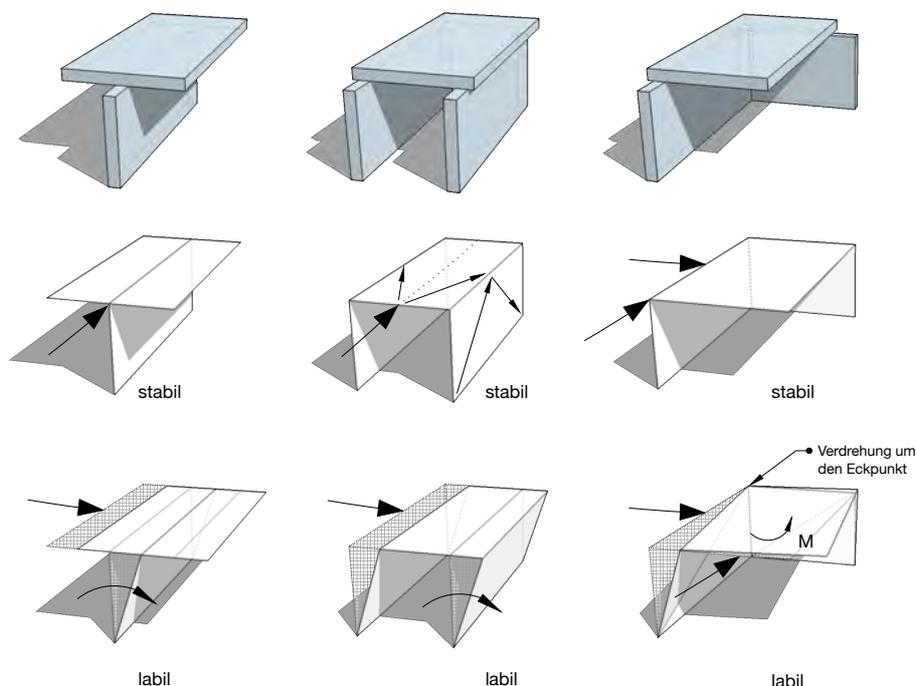


Abb. 47 Aussteifenden Wandscheiben - Grundprinzipien; Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Leicher - Werner Verlag.

Ein System kann als räumlich ausgesteift betrachtet werden, wenn zumindest drei Wandscheiben und eine Deckenscheibe vorhanden sind. Die Scheiben dürfen nicht

achsenparallel sein und deren Wirkungslinien dürfen sich nicht in einem Punkt schneiden. Das System kann aber nur funktionieren, wenn die Wandscheiben mit der stabilisierenden Deckenscheibe schubfest verbunden sind. Die im System auftretenden Horizontallasten werden über die Deckenscheiben gleichmäßig verteilt und über die aussteifenden Bauteile abgetragen. Eine weitere Möglichkeit um ein System auszusteifen ist gegeben, wenn man vier Wandscheiben zu einem „Kern“ verbindet.

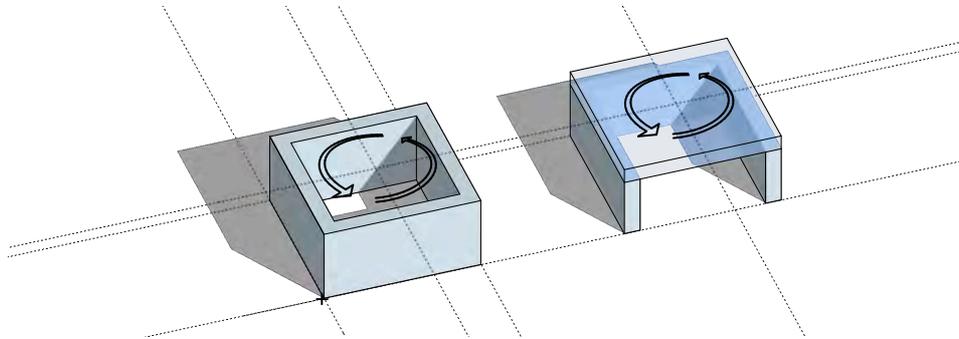


Abb. 48 (li.) 4 Wandscheiben zu einem Aussteifender - Kern verbunden, (re.) 3 Wandscheiben und 1 Decke im statischen Verbund; Tragwerkslehrer in Beispielen und Zeichnungen , Leicher - Werner Verlag.

Die Anordnung der aussteifenden Bauteile ermöglicht es, ein stabiles System zu erhalten, welches in der Lage ist, alle horizontalen Lasten abzutragen. In den folgenden Beispielen, werden die oben angeführten Aussagen in schematisch Grundrissen dargestellt:

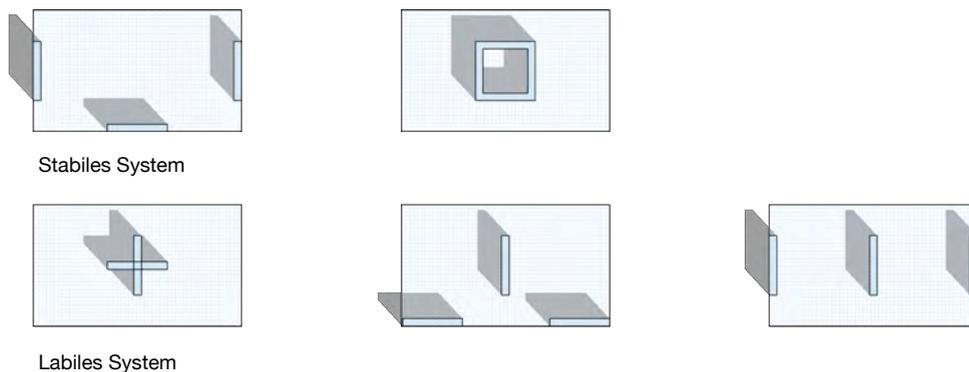
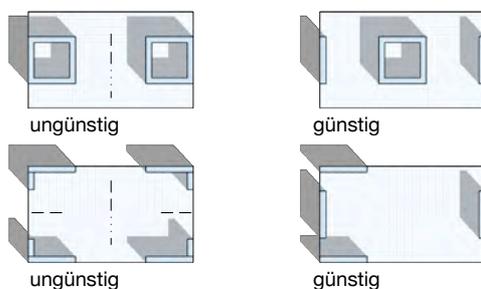


Abb. 49 (oben) Anordnung von aussteifenden Wandscheiben die ein stabiles System bilden. (unten) Wandscheiben schneiden sich in einem Punkt – labiles System; Beuth Hochschule für Technik Berlin - Prof. Dr.-Ing. M. Rösler.



Das Auftreten von **Zwängen** innerhalb der Konstruktion, ist ein weiterer Punkt, der in Zusammenhang mit der Aussteifung eines Gebäudes zu beachten ist. Bei günstiger Anordnung wird sichergestellt, dass ein Gebäude möglichst frei von diesen Zwängen ist und somit eine Rissbildung vermieden werden kann.

Abb. 50 Günstige und ungünstige Anordnungen von Kernen und Scheiben; Beuth Hochschule für Technik Berlin, Prof. Dr.-Ing. M. Rösler

In den folgenden Beispielen werden Aussteifungskonzepte erläutert und bewertet:

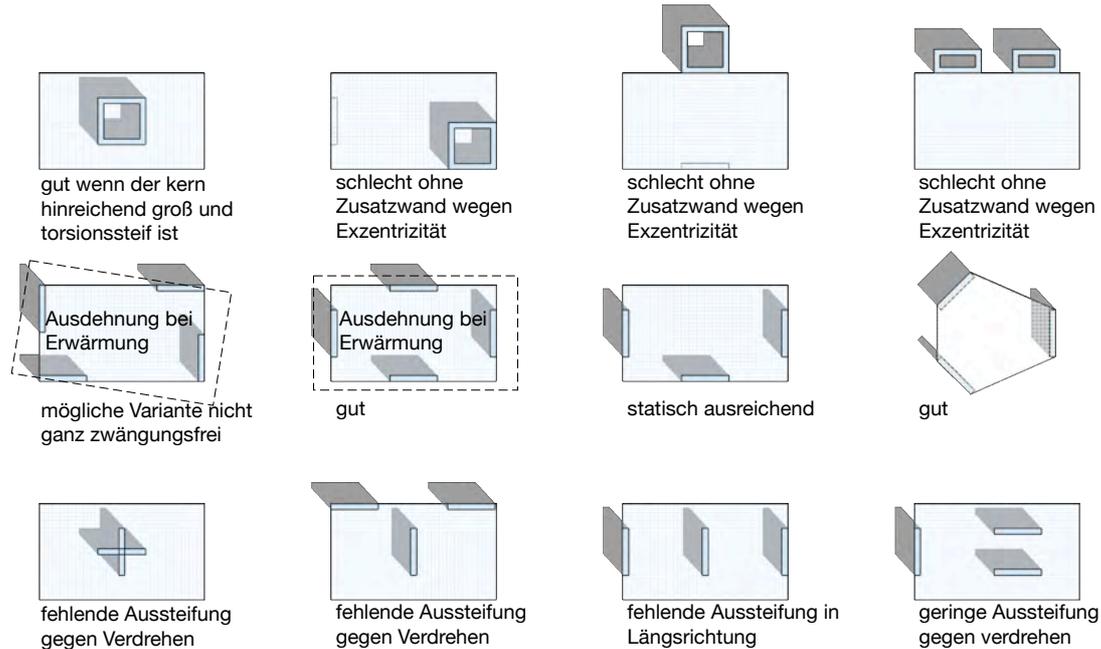


Abb. 51 Verschiedene Anordnungen von Aussteifungen und die damit verbundene Wirksamkeit für das Gesamtsystem; Beuth Hochschule für Technik Berlin, Prof. Dr.-Ing. M. Rösler

Als Konstruktionsgrundsatz kann festgehalten werden, dass ein Bauwerk so symmetrisch wie möglich gebaut werden soll. Der Kern ist in der Mitte anzuordnen und die Wände außen. Des Weiteren sollen Zwangskräfte innerhalb der Konstruktion vermieden und hohe Vertikallasten über die aussteifenden Bauteile abgetragen werden.

Ein Aussteifungskonzept kann im konventionellen Geschosßbau auf verschiedene Arten ausgeführt werden. Je nach dem, welche Anforderungen an den Raum oder an das Gebäude und dessen Funktion gestellt werden, eignet sich eine der verschiedenen Bauformen:

Schotten oder Wandbau (Wandscheiben)

Über die Scheibenwirkung werden die horizontalen Lasten abgetragen.

Eingespannte Stützen

Horizontale Lasten werden über die Rahmenwirkung abgetragen. Hohe Momente und Verformungen entstehen. Deshalb ist eine Bauhöhe von maximal zwei Geschossen möglich.

Skelett oder Rahmenbau in Kombination mit Wandscheiben oder Kernen

- Skelettbauten mit Wandscheiben
- Skelettbauten mit Kern
- Skelettbauten in einer Mischbauweise aus Kernen und Scheiben

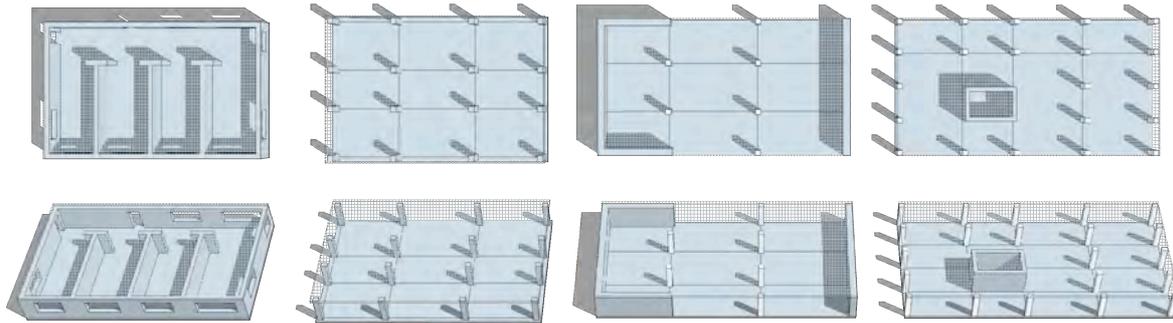


Abb. 52 von links nach rechts: Schotten - oder Wandbau; Skelett oder Rahmenbau; Skelettbau mit Wandscheiben; Skelettbau mit Kern

Es gibt folgende im Bau üblichen Bauweisen und Materialien, um ein statisch aussteifendes Bauteil konventionell ausbilden zu können:

Wandscheiben:

Mauerwerk, Stahlbeton, Trapezprofil (Stahl oder Alu), Holz-Pfosten-Riegel doppelseitig beplankt mit OSB-Platten

Kerne:

Stahlbeton, Stahlfachwerk

Sehr oft werden diese als Verkehrswege (Treppenhäuser Aufzugsschächte, Versorgungsschächte) genutzt. Deren Vorteil gegenüber Wandscheiben ist die Biegesteifigkeit und Torsionssteifigkeit.

Rahmen:

Stahlbeton, Stahl, Holz (Pfosten Riegel)

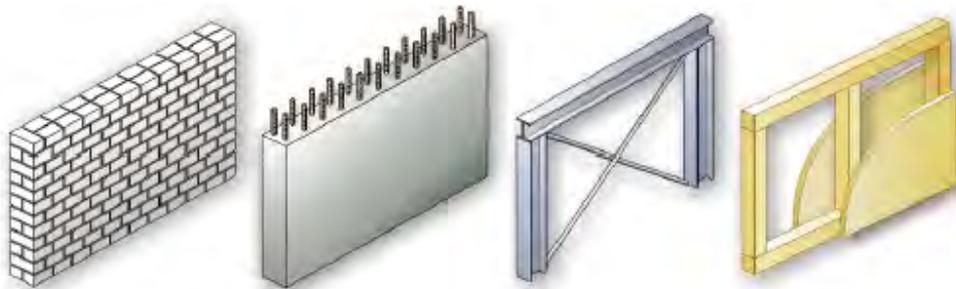


Abb. 53 Im Bau übliche Materialien und Bauweisen für ein statisch aussteifendes Bauteil. Von li. nach re.: Mauerwerk, Stahlbeton, Stahlrahmen mit diagonalen Aussteifungen, Holzrahmen mit OSB beplankt; Quelle: Tragwerkslehrer in Beispielen und Zeichnungen , Leicher - Werner Verlag.

Im Holzbau gibt es wiederum mehrere Möglichkeiten der Aussteifung von Wandkonstruktionen:

- Einseitige oder beidseitige Beplankung der Holzsteher mittels tragfähigen Holzwerkstoffplatten (z.B. OSB)
- Ausbildung biegesteifer Rahmenkonstruktionen in der Wandebene (z.B. durch Stahlrahmen)
- Ausbildung eines Windverbandes mittels Stahlzugbändern
- Ausbildung von Zug und Druckdiagonalen mittels Konstruktionsholz

In den letzten Jahren wurde durch die Fensterindustrie eine weitere Möglichkeit zur Aufnahme von horizontalen Lasten in einem Bauwerk voran getrieben. Primär wurde eine Fassadenanwendung entwickelt und zur Serienreife gebracht. Bei diesem System handelt es sich um eine Verbundbauweise aus Holz und Glas, bei der eine Scheibenwirkung entsteht.

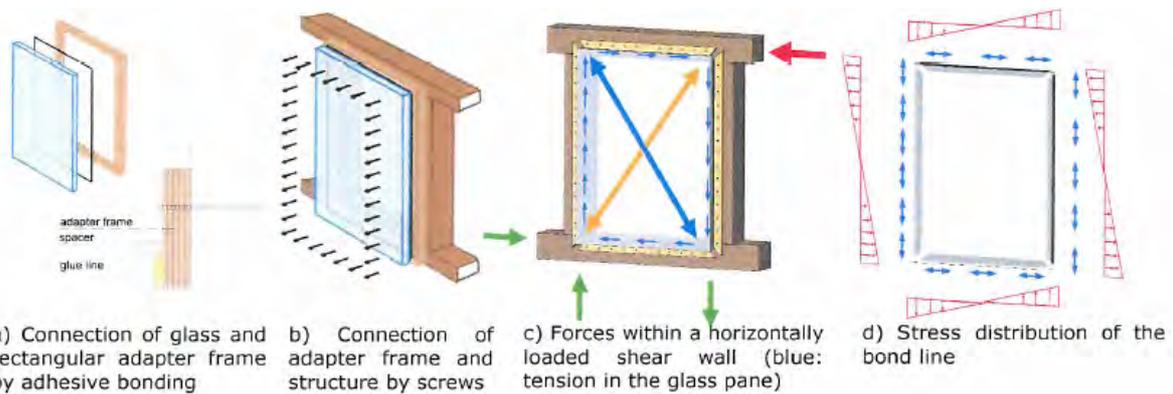


Abb. 54 HGV System - Scheibe Aufgeklebt auf einer Koppleiste. Horizontale Lasten werden über die Schubverklebung abgetragen; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, Winter W.

Die statische Aktivierung der Verglasung im Verbund mit Holz bringt neue Möglichkeiten der Gebäudeaussteifung in der Hülle des Gebäudes mit sich. Ein klassischer Skelettbau beispielsweise erfordert zusätzlich zu den transparenten Hüllflächen immer Maßnahmen zur Aussteifung. Der statische Verbund zwischen Holz und Glas kann im Werk unter optimalen Bedingungen hergestellt werden und bietet somit ein großes Potential an Vorfertigung. Inwiefern das Verbundmaterial die Anforderungen erfüllen kann, hängt im Wesentlichen von der Gebäudekubatur, der Materialität und des statischen Gesamtkonzepts ab. Überdies beeinflusst die Art und Weise des Verbundes das Potenzial. Stand der Technik ist eine Kombination aus Schubverklebung und Klotzung, die vom ITI – TU-Wien entwickelt und patentiert wurde.

4 | Application of Load Bearing Glass Timber Composites | Wolfgang Winter

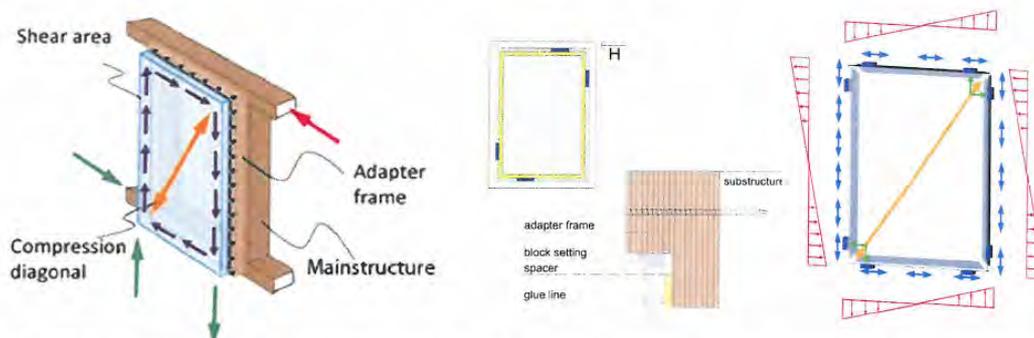


Figure 2: Combination of adhesive bond line and stiff blocks, Prefabrication, load-bearing behavior stressed on shear. Detail with continuous adhesive bond line and with block settings by epoxy only in the corners. Developed and patented by Department of Structural Design and Timber Engineering (IT), Vienna University of Technology (VUT)

Abb. 55 Abbildung der Lastabtragung eines HGV Systems mit geklebter und geklotzter Scheib, Entwicklung des ITI -Tu Wien; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, Winter W.

Somit ist die gestalterische Möglichkeit gegeben, die Aussteifung in der Fassade zu positionieren, aber die Sicht ins Freie und die Belichtung der Räume dadurch nicht zu beeinträchtigen.

Momentan ist die allgemeine Auffassung, dass diese HGV Konstruktion in Kombination mit anderen konventionellen Aussteifungen zum Einsatz kommen soll, um horizontale Lasten abtragen zu können. Oft muss man sich im Skelettbau eines massiven Treppenhauskerns bedienen, welcher aus Brandschutzgründen, in den meisten Fällen vorgeschrieben ist und somit ein Teil des Aussteifungskonzept darstellt. (Uniglas GmbH & Co. KG, 2014)

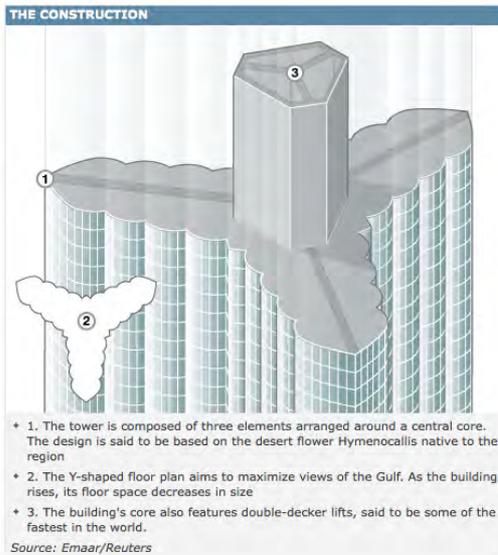


Abb. 56 li.: Grundrisse des Burj Khalifa in Dubai, re.: Konstruktionskonzept des Burj Khalifa in Dubai mit Kommentaren. Quelle : https://de.wikipedia.org/wiki/Burj_Khalifa (15.09.15)

Wie aus dieser kurzen Einführung ersichtlich, ist das Abtragen von vertikalen und horizontalen Lasten für das Erscheinungsbild und das Grundkonzept eines Gebäudes entscheidend. Die Anordnungen der aussteifenden Bauteile in einem Gebäude um horizontale Lasten abzutragen, nimmt mit der Höhe des Gebäudes einen immer zentraler werdenden Stellenwert ein und dominiert somit dessen Grundriss. Mit dem Wissen, wie Aussteifungen wirksam anzuordnen sind, wird beim erneuten Betrachten des "Burj Khalifa" in Dubai erkennbar, dass der primäre Entwurfsgedanke mit unter auch dem Abtragen von horizontalen Lasten dient. Es sei dahingestellt, ob, wie behauptet, nur der gestalterische Wille den Grundriss wie eine Wüstenblume aussehen lässt.

3.2 Tragende Bauteile aus Glas im technischen unregelmäßigen Fall

Da HGV Elemente nicht Stand der Technik sind und somit über keine allgemeine Bauteilprüfung verfügen und sich dadurch in einem zum Großteil im technisch unregelmäßigen Fall bewegen, müssen zu Entwurf und Bemessung folgende Überlegungen angedacht werden:

In (Weissensteiner, 2013) werden Glasbauteile nach ihrer statischen Funktion und Bedeutung in sekundäre oder primäre Bauteile eingestuft.

Nach dieser Definition sind **sekundäre Glasbauteile** vorwiegend nur durch äußere Querbewehrung beansprucht und müssen keine Lasten aus der übergeordneten Struktur übernehmen bzw. sind nicht in den Lastabtrag anderer Bauteile eingebunden.

Primäre Glasbauteile hingegen zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch in alle Richtungen wirkende Belastungen beansprucht sein können. Somit müssen sie nicht nur Querlasten (vertikale Lasten) sondern auch scheibenparallele Lasten (horizontale Lasten) und Lasten aus übergeordneten Strukturen oder aus anderen Bauteilen übernehmen bzw. verteilen. Zum Beispiel werden in (Langosch, 2012) Primärtragwerke aus Glas in aussteifende, selbsttragende und lastabtragende Bauteile unterschieden. Bis jetzt ist die Bemessung primär tragender Bauteile aus Glas nicht geregelt, sie erfolgt meistens durch eine Zustimmung im Einzelfall.

Somit befinden sich tragende Bauteile aus Glas im technischen unregelmäßigen Bereich, damit müssen zu Entwurf und Bemessung folgende Überlegungen in Betracht gezogen werden.

So bald Stützen, Schubaussteifungen oder Träger aus Glas mit tragender Funktion geplant werden verlässt man den derzeit geregelten Bereich. In Deutschland beispielsweise kann eine ZiE (Zustimmung im Einzelfall) eingeholt werden. Bei dieser müssen folgende bautechnische Nachweise geführt werden: Nachweis der Standsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit, des Brand-, Schall- und Wärmeschutzes. „Das Sicherheitskonzept hinsichtlich Belastungs- und Ausfallsszenarien ist dabei individuell zu erarbeiten. Es müssen hier die Nutzung des Bauwerks, die Schadenswahrscheinlichkeit, die Schadensfolgen und das damit verbundene

Schadensrisiko Berücksichtigung finden. Auch sollte einer erhöhten Qualitätssicherung Beachtung geschenkt werden.“ (Knaack, 1998)

Folgende Maßnahmen können die Schadenwahrscheinlichkeit reduzieren und dienen dem Schutz der Gebäudenutzer:

Tragwerksredundanzen: Wenn ein Glasbauteil versagt können andere Glasbauteile den Ausfall kompensieren.

Querschnittsredundanzen: Wahl von VSG mit einem geeigneten Querschnitt, damit bei dem Ausfall einer Glasschicht die restlichen Schichten die Lasten übernehmen können.

→ Dies sollte auch in Bezug zur richtigen Vorspannung im Glas gesetzt werden, damit im Falle eines Bruchs die Resttragfähigkeit ausgenützt werden kann.

Schutz der tragenden Querschnittsbauteile vor hartem Stoß oder Schlag: Es soll darauf geachtet werden, dass tragende Scheiben sowie auch die Kanten vor dem Einschlag von harten Gegenständen zu schützen sind.

Kontakt von harten Materialien mit Glas ist zu verhindern: Lasten müssen über lastenverteilende Verbindungen abgetragen werden, um Spannungsspitzen zu vermeiden.

Schutz von Personen vor Splitterwirkung: Beim Bruch einer Scheibe dürfen keine gefährlichen Glasscherben oder Bruchstücke zu Boden fallen und somit Personen gefährden

Die oben erwähnten Punkte werden in den folgenden gebauten Beispielen (siehe Abbildung 57) berücksichtigt.

Ganzglaskonstruktionen mit großer Transparenz und einem gleichsam unsichtbaren Übergang von innen nach außen erfordern tragend Glasbauteile. Bei „schwebenden Dächern“ werden scheibenartige Glasstützen sowohl im Fassadenbereich als auch im Innenraum eingesetzt. Bedingt durch die hohe Schlankheit unterliegen solche gläserne Stützen bei axialen Drucklasten und gegebenenfalls bei Windeinwirkungen sowie bei Anpralllasten der Gefahr zu versagen. Durch Anordnung von Schutzschichten oder durch Vorsehen von Umlagerungsmöglichkeiten auf Nachbarglasstützen können ausreichende Resttragfähigkeiten geschaffen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Resttragfähigkeitsanforderungen bei primär tragenden Glasbauteilen (wie Glasstützen) höher sind als bei üblichen sekundären Glasbauteilen. Obwohl die Anwendung von Stützen aus Glas in der Vergangenheit bereits in zahlreichen Bauvorhaben verwirklicht wurde, fehlen nach wie vor Bemessungsregeln, so dass immer auf kostenintensive Sondergenehmigungsverfahren und Bauteilversuche im Rahme einer Zustimmung im Einzelfall zurückgegriffen werden muss. (Langosch, 2012)



Abb. 57 Anwendungsbeispiele von scheibenartigen Glasstützen : Glaspavillon Rheinbach (oben 1999), Talus du Temple in Frankreich (unten, 2001) Fotos: Christian Richters

Bei komplexen Verbundkonstruktionen wie HGV-Elementen, welche durch das Zusammenspiel einer Vielzahl von Konstruktionsmittel gebildet werden, empfiehlt sich die Anwendung einer probalistischen oder semiprobalistischen Nachweisform. Zur Beurteilung der Versagenswahrscheinlichkeit lassen sich Versagenspfade erstellen. Dabei werden sämtliche Einwirkungen in die Verteilungsfunktion mitaufgenommen. Geht man davon aus, dass ein Bauwerk nicht ausschließlich durch HGV-Elemente ausgesteift wird, sondern auch durch andere Systeme, wie herkömmliche Wandscheiben, so kann eine Einteilung in ein primäres und sekundäres Aussteifungssystem vorgenommen werden. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass diese beiden Einzelversagenswahrscheinlichkeiten wiederum aus den Zuverlässigkeiten der jeweiligen Systembestandteile gebildet werden. Jedes Konstruktionselement hat also einen speziell definierten Einfluss auf die gesamte Systemsicherheit und fließt in die Zuverlässigkeitsberechnung mit ein. (Langosch, 2013)

3.3 Tageslichtnutzung und Sichtbeziehung nach außen

„Raum ist der größte Luxus unserer Zeit“ sagte der britische Designer Sir Terence Conran. Umso wichtiger ist es, die vorhandene Fläche optimal zu nutzen. Licht und Farbe können wesentlich dazu beitragen, das Raumgefühl zu beeinflussen. Geschickt eingesetzt, sorgt das Duo für Proportion im Raum.

In der Architektur versteht man unter Belichtung die Ausleuchtung eines Raumes mit Tageslicht. Die Ausleuchtung mit Kunstlicht dagegen wird als Beleuchtung bezeichnet. Die Belichtung von Gebäuden erfolgt durch Fenster, die in den Außenwänden oder im Dach (Dachfenster, Oberlichter) angeordnet sind, durch Glaswände, Fassaden und Dächer sowie durch Lichtlenkung im Innenraum, mittels geeigneter Raumgestaltung mit Öffnungen und Durchsicht zu Fenstern. Bei großen Gebäudekomplexen werden Lichthöfe oder Atrien eingefügt, um eine ausreichende Belichtung aller Bereiche des Gebäudes zu gewährleisten.

Bei der Planung von Gebäuden ist die ausreichende Versorgung mit Tageslicht ein wichtiger Aspekt. Viele Parameter wie die Lage des Baugrundstückes, die Ausrichtung des Baukörpers, die Größe und Anordnung der Fensteröffnungen, die Tiefe und Höhe der Räume sowie die Art der Verglasung und des Sonnenschutzes sind zu berücksichtigen,.

Für den Menschen ist das Tageslicht und die Sichtbeziehung nach Außen unabhängig von seiner Tätigkeit von elementarer Bedeutung. Dies beeinflusst das Wohlbefinden, die Gesundheit sowie die Leistungsfähigkeit. Zunehmend gewinnt die Belichtung von Gebäuden auch hinsichtlich des energieoptimierten Bauens an Bedeutung. Durch Tageslichtsysteme und Tageslichtplanung kann große Mengen an Energie eingespart werden, da die Beleuchtung in den meisten Gebäuden einen großen Teil des Energiebedarfs ausmacht. Die größte Bedeutung für Energieeinsparungen wird jedoch dem Büro und Verwaltungsbau zugeschrieben, da auf Grund der längeren Nutzungszeiten und vor allem wegen der höheren Nennbeleuchtungsstärke Kunstlicht benötigt wird. Deshalb sollte ein möglichst großer Teil der Nutzfläche „tageslichtorientiert“ sein um somit die größte mögliche Effizienz zu haben. Zugleich ist es jedoch wichtig, dass der direkte Strahlungseintrag möglichst gering gehalten wird. Dadurch können eine sommerliche Überhitzung und die damit verbundene energieaufwändige Kühlung des Gebäudes reduziert oder sogar verhindert werden.

Die im Raum verfügbare Menge an Tageslicht wird durch bauliche, umgebungs- und nutzerbedingte Faktoren beeinflusst, deren Zusammenspiel den Lichteintrag und den innenräumlichen Lichtverlauf definieren. Die baulichen Gegebenheiten für den Lichteintrag werden durch die Proportion des Raumes, die Größe der Fenster und der Beschaffenheit sowie Lage und Position von Öffnungen in der Gebäudehülle vorgegeben. Da eine ökonomische Raumnutzung vertikale Öffnungen in der Fassade vorgibt, wird bei entsprechender Gebäudetiefe ein Raum mit vertikalen Öffnungen in der Fassade einseitig belichtet. Dies hat naturgemäß zur Folge, dass in Fensternähe mit der stärksten Belichtung zu rechnen ist und sie nimmt mit zunehmender Raumtiefe ab.

Die Belichtungsstärke auf einer beleuchteten Fläche gibt an, welcher Lichtstrom (Lumen) auf dieser Fläche (m²) gemessen wird. Diese SI-Einheit wird Lux genannt (lm/m²). Für einen Arbeitsplatz werden zwischen 300 und 1000 Lux empfohlen, durchschnittlich sind es 500 Lux.

Die nachstehende Tabelle gibt gemessene Lux-Werte vergleichend wieder:

Belichtungsstärke in Lux (lx)			
Licht vom Sternenhimmel	0,01	Gute Arbeitsbeleuchtung	300 – 1.000
Licht vom Vollmond	0,24	Trüber Wintertag	3.000
Nächtliche Straßenbeleuchtung	1- 30	Sommertag bei bedecktem Himmel	20.000
Energiesparlampe 20W in 2m Abstand	35	Sommertag bei Sonnenschein	100.000

Tab. 1 Lux Werte

In Mitteleuropa ist davon auszugehen, dass bei bedecktem Himmel eine Außenbeleuchtungsstärke von:

- 10.000 lx an 50 % der Tagesstunden überschritten wird.
- 5.000 lx an 75 % der Tagesstunden überschritten wird.
- 2.500 lx an 90 % der Tagesstunden im Jahr überschritten wird.

Räume können als tageslichtautonom bezeichnet werden, wenn während eines bestimmten Zeitraums das Tageslicht zur Raumbelichtung ausreicht und kein künstliches Licht zusätzlich notwendig ist.

Die Größe und Anordnung von Öffnungen in der Fassade wirkt sich auf den Tageslichtertrag und auf eine damit verbundene mögliche Tageslichtautonomie aus. Niedrige Raumhöhen reduzieren die Eindringtiefe des Lichtes im Innenraum aufgrund geometrischer Zusammenhänge. Entscheidend für eine bessere Belichtung in der Raumtiefe sind neben den Raumproportionen möglichst hoch reichende Fenster sowie angemessene Tiefen von Außenleibungen.

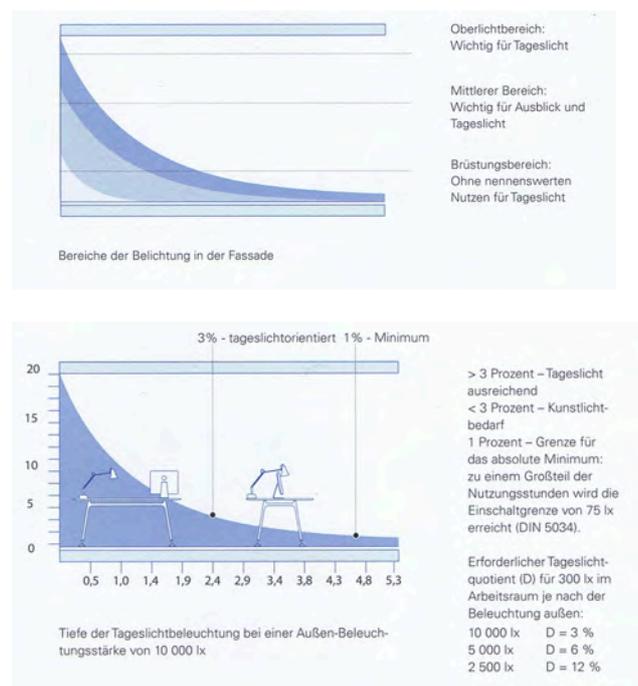
Da in herkömmlichen Bauten das Licht über Öffnungen in der Fassade eingebracht wird, ist je nach Art und Größe der Öffnung davon auszugehen, dass maximal 30% der gesamten Hauptnutzfläche lichtautonom sein können. Jedoch kann erst ab einem Fensterflächenanteil von 50% in der Fassade davon ausgegangen werden, dass der genannte Wert von 30% der Nutzfläche ausreichend belichtet wird. Als Optimalwert für Tageslichtautonomie und das damit verbundene Energieeinsparungspotential kann ein Fensterflächenanteil in der Fassade von 65% angesehen werden.

Bei der Erhöhung des Fensterflächenanteil auf über 65% wird keine weitere Verbesserung hinsichtlich Sichtverbindung, Tageslichtausnutzung und damit verbundenes Einsparungspotential erreicht. Denn in diesem Fall wäre eine Verglasung unter der Brüstungshöhe die praktische Umsetzung. Aus ökonomischer Sicht gibt es jedoch keine nennenswerte Nutzung des Tageslichts in diesem Bereich. Natürlich ist der Raumeindruck ein Anderer und kann aus gestalterischer Sicht den Mehraufwand und die damit verbundenen Mehrkosten rechtfertigen.

Ein wichtiges Instrument zur Beurteilung der Tageslichtausbeute in Innenräumen ist der Tageslichtquotient „D“. Dieser ist ein prozentuales Verhältnis der Beleuchtungsstärke von außen zu innen, multipliziert mit 100: $DF = \frac{E_i}{E_a} \times 100 (\%)$

Wenn man nun davon ausgeht, dass außen eine Beleuchtungsstärke von 10.000lx vorherrscht und wir, die oben beschrieben 300lx im Innenraum bei einem Arbeitsplatz benötigen, ist D somit 3%. Je nach der Beleuchtungsstärke außen ist ein anderer Tageslichtquotient erforderlich, um die benötigten 300lx im Innenraum zu erhalten. Wie auf den nachfolgenden Grafiken ersichtlich, nimmt der Tageslichtquotient von der Fassade weg exponential ab.

Abb. 58 Tiefe der Tageslichtbeleuchtung bei einer Außen-Beleuchtungsstärke von 10.000 lx;
Quelle: Raumpilot - Grundlagen ; THomas Jocher, Sigrid Loch



3.4 Diagrid Structures:

Wie anfänglich beschrieben wurde im ausgehenden 19. Jahrhundert der Hochhausbau in den USA von der Wirtschaft vorangetrieben. Obwohl neue Bautechniken wie die „curtain wall Fassade“ entwickelt wurden und ein Wettrennen um immer höhere Gebäude begann, konnte die Konstruktion der Tragstruktur keine bemerkenswerte technische Neuheiten vorweisen. Die Höhen wurden nur durch den exzessiven Einsatz von Materialien ermöglicht. Erst in den 1960iger Jahren wurden Konstruktionsprinzipien von Hochhäusern grundlegend überdacht. Die innovativen Forschungen haben diese möglich gemacht. Noch heute wird das Erscheinungsbild von modernen Hochhäusern von den Entdeckungen dieser Zeit geprägt.

Fazular Khan erkannte als Erster, dass je höher Gebäude wurden, diese in ihrer Struktur bestimmt waren, horizontale Kräfte abzutragen. Diesen Zusammenhang macht er verantwortlich für den drastischen Anstieg von Materialverbrauch für den Bau eines Hochhauses. (Ali, 2001) Jedes Geschoß muss annähernd gleich dimensioniert werden um Vertikallasten abtragen zu können. Um hingegen Horizontallasten abtragen zu können, muss der Querschnitt der lastabtragenden Bauteile, die dem Boden näher kommen, proportional erhöht werden. Khan stellte deshalb basierend auf seinen Beobachtungen fest, dass ab einer Gebäudehöhe von 10 Geschoßen die horizontalen Kräfte beginnen das Gebäude in seiner Form zu kontrollieren. Aus diesen Beobachtungen konnte er die Schlussfolgerung ziehen, dass es für jede Konstruktion eine bestmögliche Einsatzhöhe geben muss, um den horizontalen Kräften entgegenzuwirken und somit die Materialien effektiv einsetzen zu können. In der folgenden Grafik werden unterschiedliche Konstruktionsprinzipien im Hochhausbau in Grundriss und Ansicht dargestellt. Die Anzahl der Geschoße gibt eine ungefähre effektive Maximalhöhe an.

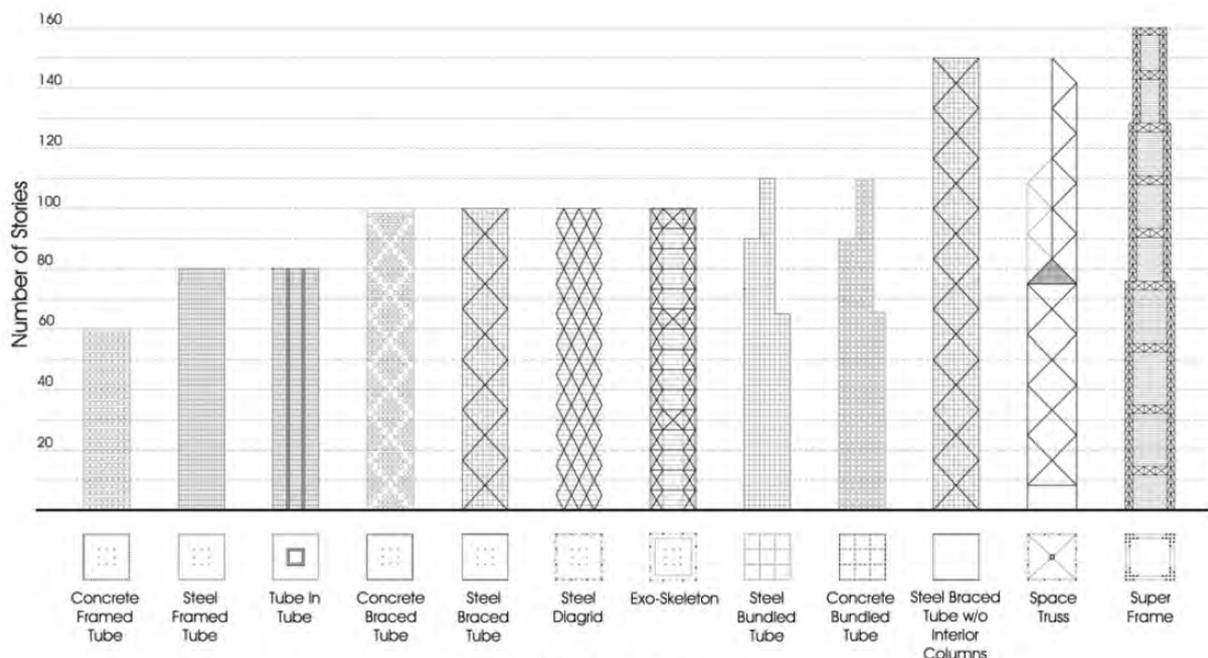


Abb. 59 Diagrammatische Darstellung von Tragwerkskonzepten und empfohlenen Höhen. Quelle : Structural Developments in Tall Building: Current Trends and Future Prospects; Mir M. Ali and Kyoung Sun Moon

Die aus diesen Beobachtungen hervorgegangene „Diagrid structures“, möchte ich im Zusammenhang mit dieser Arbeit als Konstruktionsprinzip für Hochbauten hervorheben. Eines der bekanntesten Gebäude mit einer „Stahl Diagrid structure“ ist der „Hearst Tower“ von Sir Norman Foster. Nach Angaben des Büros konnten durch die „Diagrid structure“ gegenüber konventionellen Konstruktionen 21% an Stahl für die Tragstruktur eingespart werden.

Eine „Diagrid structure“ ist eine Konstruktionsweise von Gebäuden, die zumeist bei Hochhäusern Verwendung findet. Die statische Grundstruktur wird aus Dreiecken gebildet und befindet sich in der Fassade des Gebäudes. Diese Gebäude können über eine runde oder eckige Grundrissform verfügen. Eine „Diagrid structure“ profitiert davon, dass zwei statische Grundkonzepte in einem vereint werden. Zum einen ist es möglich, horizontale wie auch vertikale Lasten mit ein und der selben Tragstruktur abzutragen. Zum anderen bildet die Gesamtkonstruktion ein in sich geschlossenes System, welches ermöglicht, Lasten kontinuierlich und unterbrechungsfrei abzutragen. Die Gesamtstruktur wird nochmals stabilisiert indem die Knotenpunkte einer Ebene miteinander verbunden sind und somit ein Ausbeulen der dreieckigen Tragstruktur unterbunden wird.



Abb. 60 Hearst Tower - Sir Norman Foster; Quelle: www.fosterandpartners.com/ (16.05.2016)

Bei einer „Diagrid Structure“ können die Lasten der Geschoßdecken über die Gesamtstruktur abgetragen werden und somit kann auf herkömmliche Stützen in der Fassade verzichtet werden.

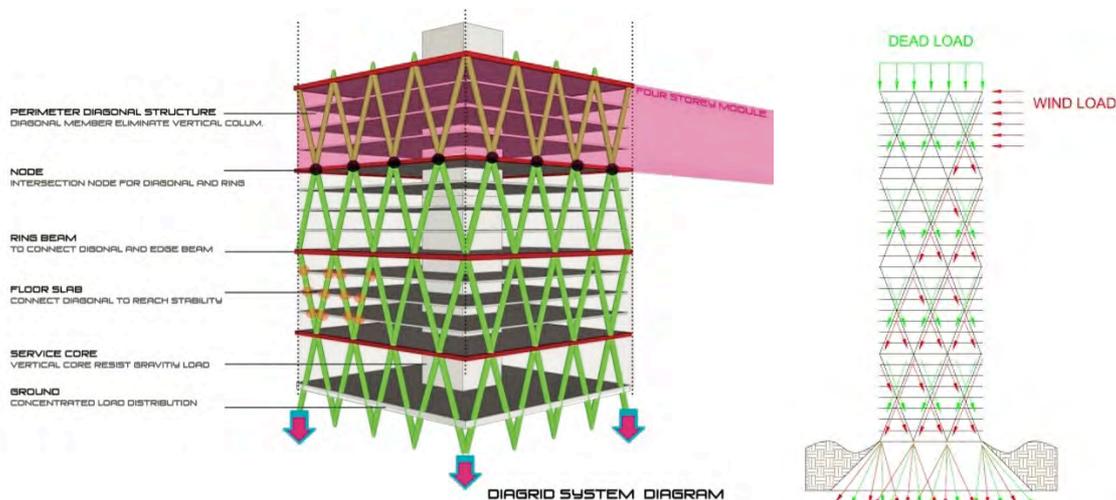
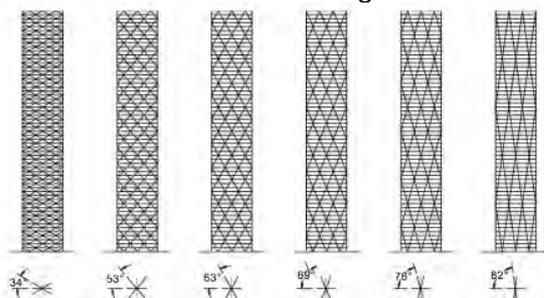


Abb. 61 Funktionsweise der "Diagrid structure"; Quelle: The Gherkin: Case Study; Norman Foster Architects

Bei „Diagrid structures“ ist die Konstruktion symmetrisch und kann mit verschiedenen Dreieckswinkeln ausgebildet werden. In der folgenden Grafik finden sich verschiedene Winkel dargestellt und deren damit verbundenen Erscheinungsbild. Bei Berechnungen wurde festgestellt, dass Strukturen mit Winkeln von 53° bis 76° besonders gut geeignet sind, um die auftretenden Gesamtlasten abtragen zu können. Dies kann überprüft werden, wenn man sich die Berechnungen zur Verformung und Scherkraft am Fundament und in mittlerer Höhe des Gebäudes untereinander vergleicht.

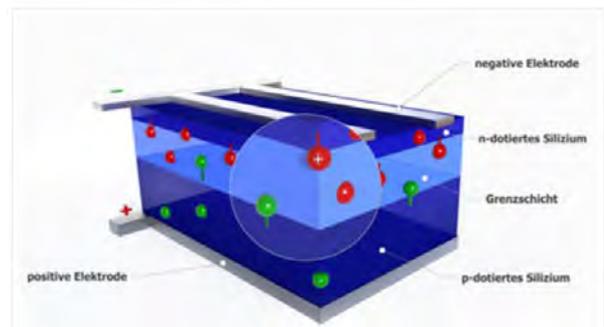


Angle (degrees)	Deflection (feet)	Shear Lag Ratio, f	
		Base	Mid Height
31	6.82	0.98	0.87
45	2.70	1.06	0.85
63.4	1.50	1.26	0.78
71.6	1.48	1.49	0.69
80.5	2.37	2.27	0.45
90	5.40	5.69	0.51

Abb. 62 Unterschiedle Winkel der Dreieckstruktur; Structural Developments in tall Bulidings: Current Trends and Future Prospects; Mir M. Ali and Kyoung Sun Moon

3.5 Photovoltaik

Beim Prozess der Photovoltaik wird Sonnenlicht in elektrischen Strom umgewandelt. Dieser Umwandlungsprozess geschieht in einer Photovoltaik- bzw. Solarzelle. Der Hauptbestandteil dieser Zellen ist heute in der Regel Silicium, jedoch wird an neuen Werkstoffen geforscht. Die einzelnen Photovoltaikzellen werden im Verbund zu größeren Paneelen, zu sogenannten Solarmodule oder Photovoltaik Modulen, zusammengefasst, die Gleichstrom erzeugen. (Roberts & Guariento, 2009)



Solarzellen Querschnitt, Bildquelle: H. Strauß, fotolia

Abb. 63 Querschnitt Zelle - Funktionsweise Photovoltaik. Quelle: H. Strauß, fotolia

Die Grundlage des Photovoltaikprozesses ist der photovoltaische Effekt in Halbleitermaterialien. Diese Halbleitermaterialien besitzen die Fähigkeit, einen Teil des einfallenden Lichtes auf die Zelle zu absorbieren. Bei diesem Vorgang werden Elektronen freigesetzt, diese ermöglichen den Fluss einer elektrischen Ladung durch das Material. Durch ein integriertes elektrisches Feld in den Photovoltaikzellen werden die freigesetzten Elektronen in eine bestimmte Richtung geleitet. Um dieses elektrische Feld zu erzeugen, werden Verunreinigungen wie Phosphor oder Bor kontrolliert in das Silicium eingebracht (Dotierung). (Roberts & Guariento, 2009)

Der erzeugte elektrische Strom kann durch Anlegen von Metallkontakten an der Ober- und Unterseite der Photovoltaikzelle durch einen externen Stromkreis geleitet und nutzbar gemacht werden. Diese Art der Stromerzeugung funktioniert geräuschlos, ohne bewegliche Teile und emissionsfrei. Die Zellen müssen nicht gewartet werden, jedoch ist die Reinigung der Modulflächen zu empfehlen, um das Licht ungehindert auffangen zu können. (Roberts & Guariento, 2009)

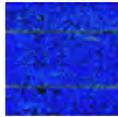
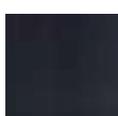
3.5.1 Arten von Photovoltaikzellen

Die herkömmlichen Zellen zur Erzeugung von elektrischem Strom in einem Photovoltaik Modul können in drei Typen unterschieden werden.

Polykristalline Zellen bestehen aus dem Halbleitermaterial Silicium. Dieses muss geschmolzen werden, um Solarzellen zu erzeugen. Während diesem Schmelzvorgang wird das Silizium mit Boraten verunreinigt und in Blöcke gegossen. Die erstarrten Silicium Blöcke, werden anschließend in Scheiben gesägt und mit einer Antireflexionsfolie versehen. Bei diesem Herstellungsverfahren bilden sich Kristalle aus, die sich unterschiedlich ausrichten. An den Grenzen der einzelnen Kristalle, den so genannten Korngrenzen, entstehen Verluste. Dies wirkt sich wiederum negativ auf deren Wirkungsgrad aus, hat aber den Vorteil einer preiswerten Herstellung. Um den Preisvorteil weiter ausnutzen zu können, werden diese Zellen in Größen von 21x 21cm produziert.

Monokristalline Zellen werden auch aus dem Halbleitermaterial Silicium hergestellt. Beim Herstellungsverfahren wird ein Einkristallblock höchster Reinheit gefertigt. In der Regel beträgt der Durchmesser des Blockes ca. 12,5 bis 15cm. Anschließend wird der Block in dünne Scheiben gesägt und zu Photovoltaikzellen weiterverarbeitet. Da es keine unterschiedliche Kristallorientierung gibt, entfallen die Korngrenzen der Wafer und es entstehen an dieser Stelle keine Verluste. Damit ist der Wirkungsgrad der monokristallinen Solarzellen höher. Die Fertigung ist aber vergleichsweise zu den anderen PV-Typen teuer und der Energieaufwand ist hoch.

Dünnschicht Zellen werden nicht wie mono- oder polykristalline Solarzellen in Blöcken produziert, sondern hier wird ein flächiges Trägermaterial mit Halbleitern beschichtet. Vergleichsweise wird bei diesem Verfahren nur wenig Rohstoff verwendet und eine einfache sowie hoch automatisierte Herstellung ist möglich. Die Auswahl an Halbleitermaterialien beschränkt sich nicht nur auf Silicium, sondern auch Galliumarsenid (GaAs), Cademiumtellurid (CdTe) oder Kupferindiumselenid (sogenannte CIS-Zellen) kommen zur Herstellung in Frage. Da die Verbindung der Zellen bereits während der Fertigung erfolgt, entstehen immer ganze Photovoltaik Module auf einmal. Dies macht die Herstellung vergleichsweise einfach, effizient und somit günstiger. Jedoch haben laut Angaben der Hersteller diese Module einen wesentlich geringerer Wirkungsgrad als herkömmliche Module (6-10%). Somit wäre eine viel größere Gesamtfläche notwendig, um eine vergleichbare Stromausbeute zu erzielen.

Type	Dimensions	Efficiency	Wpeak/m ²	Wpeak/cell
	Polycrystalline 156x156 125x125	16%	120	1.46 - 3.85
	Monocrystalline 156x156 125x125	18%	130	2.60- -4.02
	Monocrystalline – high efficient 125x125	22%	155	2.90 - 3.11
	Monocrystalline - semitransparent 125x125	17%	105	1.90 - 3.11
	aSi (amorphous Silicone) thin film 576x976	5%	50	32

aSi thin film 10% or 20% opacity

Abb. 64 Unterschiedliche PV-Zellen und deren Abmessung sowie Effizienz. Quelle <http://www.sapa-solar.com/pv-cells.html> (12.04.2016)

3.5.2 Anordnen der Zellen und Semitransparenz der Module

Es gibt vielerlei Möglichkeiten, wie Photovoltaik Module in Fassaden integriert werden können. Eine gestalterisch sehr ansprechende Lösung bietet das System, die einzelnen kristallinen Zellen in ein Glas-Glas Laminat einzulassen. Dabei reguliert der Abstand zwischen den Zellen die Lichtdurchlässigkeit und die Eigenschaft, zwischen den opaken Zellen Sichtbeziehungen herzustellen. Dieser Abstand kann 1 – 30mm betragen. Je größer der Abstand ist, desto mehr Licht kann durch ein Modul durchdringen und den dahinter liegenden Raum beleuchten sowie spannende Lichteffekte erzeugen. Um Strom zu erzeugen müssen die einzelnen Elemente mit Drähten verbunden werde, diese sind jedoch nur aus unmittelbarer Nähe mit freiem Auge sichtbar. Je enger die Zellen nebeneinander platziert werden, des mehr Zellen finden in einem Modul Platz und dies wiederum führt zu einer höheren Stromausbeute. Bei dieser Art von Transluzenz kann aber lediglich nur von einer Semitransparenz gesprochen werden, da die Zellen aus Silicium nicht durchsichtig sind.

Die Perforation von kristallinen Zellen stellt eine weitere und feinere Möglichkeit der Semitransparenz dar. Diese Perforationen werden heute üblicherweise mit einem Laser

eingeschnitten. Bei dieser Methode ist eine gleichmäßige und neutral gefärbte Durchschnittstransparenz von 10–15% zu erzielen.

Es besteht auch die Möglichkeit Dünnschichtfolien transparent herzustellen. Dies wird aber aufgrund der derzeit noch geringen Energieausbeute und den damit verbundenen Wirkungsgrad nicht näher erörtert.

Possible combinations cell-type and cell distances

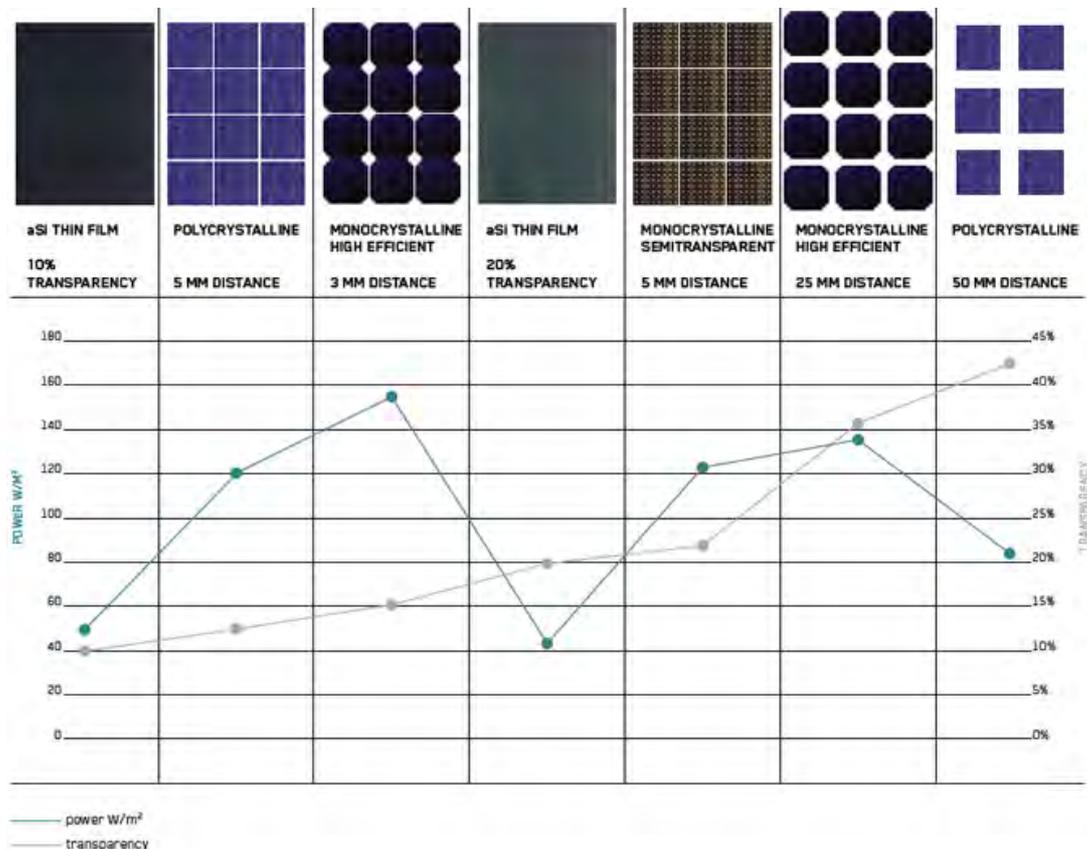


Abb. 65 Vergleich der unterschiedlichen Zellen auf Transparenz und Energieausbeute. Quelle : <http://www.sapa-solar.com/pv-cells.html> (12.04.2016)

3.5.3 Standortklärung

Je früher bei dem Entwurf eines Gebäudes daran gedacht wird, Photovoltaik in der Fassade zu integrieren, desto besser wird das Ergebnis der Umsetzung sein. Denn das Solarfeld kann die Orientierung, den Grundriss, die räumliche Anordnung und Form eines Gebäudes und somit das Gesamtkonzept des Gebäudes beeinflussen. Wenn andere Faktoren die Gebäudeform bestimmen, sollte untersucht werden, ob diese für den Einsatz von Photovoltaik in der Fassade geeignet ist. Dazu können die folgenden Punkte in Betracht gezogen werden:

- Neigung und Orientierung der verfügbaren Gebäudeoberflächen
- Beurteilung des Verschattungsgrades
- Anordnung der Module für den elektrischen Anschluss
- Reduzierung der Teilverschattung auf ein Minimum
- Temperatureffekt und Hinterlüftung der Paneele
- Potenzielle Leistungsabgabe (Roberts & Guariento, 2009)

3.5.4 Auswirkung von Neigung und Orientierung

Um eine fassadenintegrierte Photovoltaikanlage bestmöglich ausführen zu können, sollte man sich über die Bedeutung von Neigung und Orientierung der Fassadenelemente im Klaren sein. Dies hängt natürlich vom Stand der Sonne und deren Verlauf am Himmelszelt ab. Dadurch verändert sich die Sonneneinstrahlung auf die Gebäudeoberfläche nicht nur über den Tag sondern auch über das gesamte Jahr gesehen. Als Globalstrahlung wird die Menge an Licht bezeichnet, die aus der Kombination von direkter und diffuser Strahlung auf einen Standort auftrifft. Die direkte Strahlung wird von dem Sonnenstand und der Sonnenbahn bestimmt und trifft somit in verschiedenen Winkeln auf.

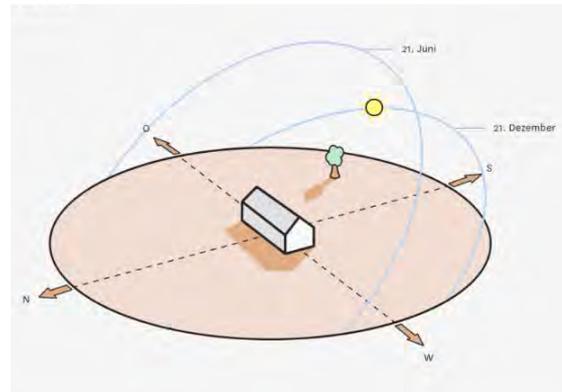


Abb. 66 Sonnenbahn von Sommersonnenwende bis Wintersonnenwende für einen Breitengrad wie Europa. Quelle Gebäudeintegrierte Photovoltaik ein Handbuch für den Planer

Die diffuse Strahlung wird der Teil der Strahlung bezeichnet, der durch Wolken, Dunst und anderer Ablenkungen der Atmosphäre indirekt auftrifft aber auch zum Solareintrag beiträgt. Auf der Nordhalbkugel ist die maximale Photovoltaikleistung bei einem fix montierten Paneel in der Fassade zu erreichen, wenn dieses nach Süden orientiert wird mit einer gleichzeitigen Neigung gegen den Horizont. Je nach Standort ist eine optimale Neigung des Paneels mit dem Breitengrad des Standorts minus 20° zu erreichen. Dies trifft deswegen zu, da die maximale Sonneneinstrahlung im Sommer anfällt, da die Sonne dann höher steht als im Winter. Wenn man dies nun für Wien (48. Breitengrad) berechnet, ergibt sich eine Neigung von ca. 28° (Roberts & Guariento, 2009)

3.5.5 Temperatureffekte und Hinterlüftung von PV-Paneelen

Zur Warmwasseraufbereitung sind solare Warmwasserkollektoren am Markt erhältlich. Die Leistung dieser Kollektoren nimmt mit zunehmender Sonneneinstrahlung und der damit verbundenen Wärmeentwicklung zu. Bei Photovoltaik Paneelen ist dies nicht der Fall. Der Wirkungsgrad sinkt bei steigender Temperatur. Herkömmliche PV-Module wandeln derzeit 15-20% der Sonneneinstrahlung in elektrischen Strom um. Der restliche Teil der Energie wird in Wärmeenergie umgewandelt. Bei kristallinen Silicium Zellen nimmt der Wirkungsgrad bei einer Temperaturerhöhung pro Grad Celsius um 0,4% ab. Bei amorphen Silicium Zellen ist dieser Effekt je nach spezifischem Herstellungsprozess etwa halb so groß.

Je nach Strahlungsstärke kann die Temperaturdifferenz zwischen der Photovoltaikoberfläche und der Umgebung bis zu 40°C ausmachen. An heißen Sommertagen kann es durchaus vorkommen, dass diese sich somit auf $70-75^\circ\text{C}$ aufheizen und einen Großteil der Nennleistung verlieren.

Um Module vergleichen zu können, geben Modulhersteller die Nennbetriebstemperatur der Zellen (NOCT) an. Diese wird bei einer Bestrahlungsstärke von $800\text{W}/\text{m}^2$, bei einer Umgebungstemperatur von 20°C und einer Windgeschwindigkeit von $1\text{m}/\text{s}$ ermittelt. (Roberts & Guariento, 2009)

3.5.6 Leistungsreduzierung aufgrund von Wärmebildung

Wie oben beschrieben hat die Betriebstemperatur von Photovoltaik Paneelen einen Einfluss auf die Energieausbeute. Somit ist bei dem Einbau der Photovoltaik Anlage darauf zu achten, dass die Rückseite des Paneels über Konvektion Wärme an die nähere Umgebung abgeben kann. Klarerweise ist das direkte Aufbringen eines PV-Moduls auf eine Wärmedämmung somit zu vermeiden, da in diesem Fall die Wärme nur über die Vorderseite des Paneels entweichen kann. Wenn konstruktiv machbar, sollte daher eine Hinterlüftung zwischen Wand und Photovoltaik Paneel hergestellt werden.

Um dies zu verdeutlichen finden sich nachstehend vergleichende Richtwerte. Bei diesen wird die Leistungsreduzierung von kristallinen Silicium Modulen in verschiedenen Dachkonstruktionen und Fassadenkonstruktionen mit frei stehenden Solarfeldern verglichen. (Roberts & Guariento, 2009)

Leistungsreduzierung bei Photovoltaik Paneelen, die an einem Schrägdach angebracht sind:

- Mit einem großen Luftspalt – 1,8% (28°C wärmer)
- Mit guter Hinterlüftung -2,1% (29°C wärmer)
- Mit schlechter Hinterlüftung – 2,6% (32°C wärmer)
- Ohne Hinterlüftung – 5,4% (43°C wärmer)

Leistungsreduzierung bei Fassadenintegrierten Photovoltaik Paneelen:

- Mit guter Hinterlüftung – 3,9% (35°C wärmer)
- Mit schlechter Hinterlüftung -4,8% (39°C wärmer)
- Ohne Hinterlüftung – 8,9% (55°C wärmer)

(Roberts & Guariento, 2009)

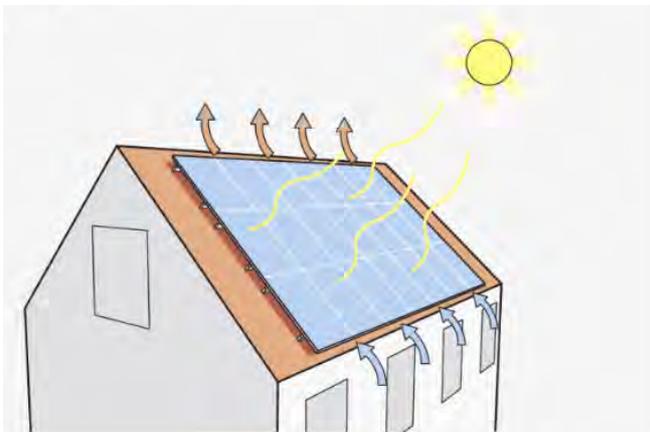


Abb. 67 Skizze Hinterlüftung der Photovoltaik. Quelle: Gebäudeintegrierte Photovoltaik: Ein Handbuch für Planer

4 HGV

4.1 Erläuterung der Grundidee des Holz Glas Verbund Elementes und Funktionsweise.

Glas mit seiner hohen Druckfestigkeit und Holz mit seiner hohen Zugfestigkeit ergänzen sich gut. Der Klebstoff als Binde- oder FügemitteI schafft den gleichmäßigen Eintrag der Druckkräfte in die Glasscheibe und verhindert somit punktuelle Spannungsspitzen, wie sie bei herkömmlichen Einbauten entstehen würden und somit das Glas zum Bersten bringen würden. An dieser Stelle sei positiv erwähnt, dass das umlaufende Holz um die Scheibe, wie es bei manchen HGV-Konstruktionen der Fall ist, auch als Kantenschutz für die Glasscheibe dient.

Die eingeklebte Glasscheibe in einen Holzrahmen bzw. die aufgeklebte Glasscheibe auf einer Koppelleiste kann nun als aussteifendes Element in einem Gebäude eingebaut werden. Damit wird das Glas statisch aktiviert. Aus planerischer und konstruktiver Sicht erhält Glas somit eine neue Definition und Dimension. Da es nicht mehr nur als raumabschließender Bauteil dem Lichteintrag in einem Raum dient, sondern zum statisch relevanten Bauteil für das ganze Gebäude wird.

Die im herkömmlichen Skelett oder Rahmenbau notwendigen Aussteifungen wie Stahlzugbänder, Zugdrückdiagonalen, Beplankungen oder die Ausbildung von biegesteifen Rahmen, werden zu einem großen Teil durch die ein-oder aufgeklebten Glasscheiben ersetzt.

Holz hat auf Grund seiner Porosität gegenüber seiner Konkurrenten Stahl, Aluminium und Beton den Vorteil, gut wärmedämmend zu sein. Dies würde den Einsatz von Holz als Außenbauteil aus thermischer Sicht begünstigen.

Ein weiterer ganz entscheidender Punkt, welcher Glas und Holz aus praktischer Sicht zu einem guten Fügepartner macht, ist der ähnliche Wärmeausdehnungskoeffizient der jeweiligen Materialien. Bei Stahl- oder Aluminium-Glas-Verbundkonstruktionen muss die thermische Differenzverformung ausgeglichen werden. Daraus ergibt sich eine wesentlich einfachere Fügetechnik für die HGV-Konstruktion. (Heid, 2014, p. 125)

Durch die vergleichsweise einfache Verarbeitungsmethode von Holz und der Verklebung als Bindemittel, kann eine Holz-Glas-Verbundkonstruktion, im Vergleich zu den anderen Fassadenkonstruktionen, mit einfachen Mitteln hergestellt werden. Auch die Montage auf der Baustelle ist mit am Markt erhältlichen Koppelleistensystemen schnell und unkompliziert.

Neben den vielen Vorteilen, die das System bietet, muss auch der Nachteil der feuchteabhängigen Bauteil deformation erwähnt werden. Die Holzeigenschaften sind stark vom Feuchtigkeitsgehalt des Holzes abhängig. Bei Wasseraufnahme kommt es zum Quellen und bei Trocknung zum Schwinden. Mit dem Eindringen von Feuchtigkeit in ein HGV-Fassadenbauteil, sei es durch Wärmebrücken und der damit verbundenen Kondensation oder durch Staunässe, kann es zu ungewollten Schwierigkeiten kommen. Da Holz ein organischer Werkstoff ist, kann es bei ständiger Durchfeuchtung zur Bildung von Schimmel kommen. Schimmelbildung muss auf jeden Fall vermieden werden, da es sich im Fall der Holz-Glas-Verbundkonstruktion um ein tragendes und aussteifendes Bauteil handelt. Jedoch kann dieser Problemstellung mit planerischem Knowhow entgegengewirkt werden.

4.2 Bereits geleistet Forschungsarbeiten und Stand des Wissens über HGV

Seit den frühen 90er Jahren des 20. Jht. wird daran geforscht Holz Glas Verbindungen als mittragendes und aussteifendes Element einzusetzen. Die Schwierigkeit bestand in der Art der Lasteinleitung. – Werden die Lasten Punktuell eingeleitet, kommt es zu örtlichen Spannungskonzentrationen im Glas. Dies kommt den mechanischen Eigenschaftenn des Glases nicht entgegen. Werden die Lasten allerdings gleichmäßig in die Glastafel eingeleitet werden höhere Belastungen möglich und das Glas trägt mit. Die (semi-)elastische Verbindung erlaubt eine derartige Lasteinleitung.

Zu Beginn wurden noch Klebstoffe aus anderen Industriebereichen verwendet. Durch diverse Forschungsvorhaben wurden die Anforderungen an Klebstoffe erarbeite und erkannt. Neue innovative Klebetechniken wurden entwickelt.

Durch den kraftschlüssigen Verbund von Holz und Glas können die Vorteile beider Materialien optimal genutzt werden. Das Holz mit seiner hohen Zugfestigkeit in Faserrichtung übernimmt die tragende Funktion und dient als Schutz für die Kanten des spröden Glases. Das Glas mit seiner hohen Druckfestigkeit. Steift die Konstruktion auch gegen Horizontallasten aus.

Die Holzforschung Austria (HFA) begann 2002 mit Versuchen auf diesem Gebiet. Das Projekt mit dem Namen HGV1(Holzverbund) beschäftigte sich mit der grundsätzlichen Machbarkeit und konstruktiven Lösungen von Holz Glas Verbundkonstruktionen. Bei den Versuchen wurden Glasscheiben auf einen Koppelrahmen geklebt der wiederum mit der Tragkonstruktion verschraubt wurde.

Dem weiterführenden Forschungsprojekt HGV 2 mit dem Ziel der Industrie ein funktionierendes System zu präsentieren schloss sich das Institut für Tragwerksplanung und Holzbau (iti) der Tu Wien als Partner an. Aufbauend auf den Forschungsergebnissen der Holzforschung Austria welche die Lasteinleitung ins Glas ausschließlich mittels Schubverklebung vorgenommen haben, wurde im laufenden Forschungsprojekt ein gekoppeltes Tragverhalten verfolgt: Schubverklebung bei gleichzeitiger Verklotzung der Glasscheibe. (Winter, 2012)

Auf Grund des großen Interesses an dem Holz-Glas-Verbundsystem entstanden über die letzten Jahre viele Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet. In den folgenden Kapiteln wird aufbauend auf bereits gebaute Beispiele und deren zugrunde liegenden Entwicklungen im Überblick eingegangen. Detailliertere Überblicke und Zusammenfassungen über einen Großteil der vorangegangene Forschungsarbeiten, sind bei Interesse in der Dissertation von Werner Hochhauser zu finden: Ein Beitrag zur Berechnung und Bemessung von geklebten und geklotzten Holz-Glas-Verbundscheiben. (Hochhauser, 2011)

4.3 Gebaute HGV Beispiele und Stand der Entwicklung

Wie oben bereits erwähnt, wurden zwei verschiedene Konzepte mit der Holz Glas Verbundentwicklung verfolgt. Zum einen wurde eine Anwendung in der Fassade angestrebt und zur Serienreife gebracht zum anderen wurde parallel an Trägern geforscht. Die Anwendung in der Fassade und Träger unterscheiden sich in der Funktionsweise, sowie deren Art und Weise wie das Glas mit dem Holz zusammengefügt ist und somit die Lasteinleitung in die Glasscheibe funktioniert. Bei der Anwendung in der Fassade wird die Glasscheibe auf das Holz geklebt und beim Träger wird die Scheibe in eine Nut im Holz eingeklebt.

4.3.1 Anwendung mit Uniglas Fassade : Die Schattenbox

Bei dem Gebäude mit dem Namen Schattenbox im Wiener Wald, wurde erstmalig eine HGV-Fassade verbaut. Das Haus hat eine Nutzfläche von 162 m² und wurde in einer Massivholz-Trockenbauweise aus Brettspertholz-Elementen hergestellt. In die vorgesetzte hinterlüftete Fassade aus 8 m langen, sägerauen und schwarz lasierten Lärchenholzplatten wurden Alufenster integriert. Die in einer Pfosten Riegel Fassade ausgeführten Ostfassade wurde und mit HGV-Elementen hergestellt. Diese HGV-Fassade trägt in diesem Gebäude zu einem großen Teil zur Gebäudeaussteifung bei. Von den 16 HGV-Elementen in der Fassade werden 4 Elemente mit öffnbaren Fensterflügeln ausgeführt. Die HGV Elemente waren das Ergebnis einer langen Forschungsarbeit die in Kooperation zwischen der Holz Forschung Austria (HFA) und der TU-



Abb. 68 Schattenbox im Eichgraben; Quelle: Superlab - Dold und Hasenauer OG, Arch. DI Christoph Feldbacher

Wien Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) realisiert werden konnte. Aufbauend auf den „geklebten“ Glasfassadenkonstruktionen wurde versucht, Glas über die Lasteinleitenden Klebefugen als statisch tragendens Bauteil in die Gesamtkonstruktion eines Gebäudes miteinzubeziehen. Aus den Forschungsarbeiten ging das Patent mit der Nr. 502470 hervor, bei dem auf die Ränder der Glasscheibe eine Koppelleiste mit Silikon geklebt wird, dies ermöglicht die gleichmäßige und linienförmigen Lasteinleitung in das Bauteil. Die Koppelleiste wird mittels Schrauben auf die dahinter liegende Pfosten Riegel Konstruktion geschraubt und bietet zu gleich den Raumabschluss des Gebäudes. Dank der Koppelleiste ist die Möglichkeit nach wie vor gegeben die Elemente austuschen zu können

In zahlreichen Forschungsarbeiten wurden verschiedene Klebstoffe auf Leistungsfähigkeit überprüft. Bei diesen wurde festgestellt, dass in erster Linie Silikone, Silane, Polyurethane oder Acrylate zum Einsatz kommen können. Empfohlen und zugelassen sind bei diesem Patent aber Silikonklebstoffe. Beim Glas kann zwischen normalem Floatglas, TVG oder VSG je nach Einsatz gewählt werden.

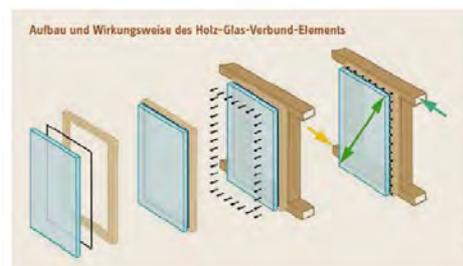


Abb. 69 Konstruktionsprinzip von HGV-Elementen mittels Koppelleiste, Quelle Holzforschung Austria

Mit der einfachen Klebefuge auf einer flachen Holzleiste wurde bei Versuchen festgestellt, dass die Ecken den größten Belastungen ausgesetzt sind und somit ein Versagen in diesem Bereich der Bauteile bei Tests vorzufinden war. Als eine alternative oder Weiterentwicklung wurde von dem ITI der TU-Wien ein L förmige Adapterrahmen benutzt und nicht wie zuvor eine flache Koppelleiste. Dadurch konnten größere Lasten in die Glasscheibe übertragen werden und somit eine geringere Deformation der Gesamtkonstruktion erzielt werden.

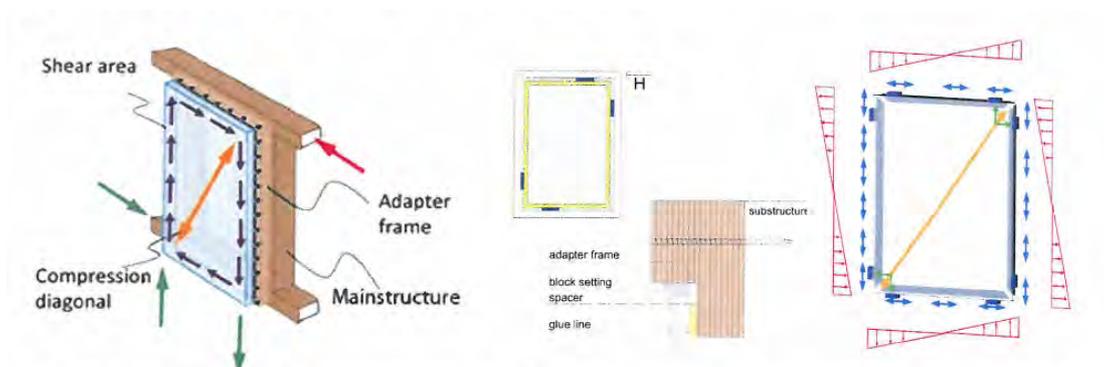


Figure 2: Combination of adhesive bond line and stiff blocks, Prefabrication, load-bearing behavior stressed on shear. Detail with continuous adhesive bond line and with block settings by epoxy only in the corners. Developed and patented by Department of Structural Design and Timber Engineering (IT), Vienna University of Technology (VUT)

Abb. 70 Abbildung der Lastabtragung eines HGV Systems mit geklebter und geklotzter Scheib, Entwicklung des ITI -Tu Wien; Quelle: Application of Load Bearing Glass Timber Composites | Wolfgang Winter – TU Wien

In Kombination mit einer weitem Klotzung zwischen Scheibe und Koppelrahmen in den Ecken konnten noch größere Kräfte in das System eingeleitet werden und die lastabtragende Wirkung erhöht werden.

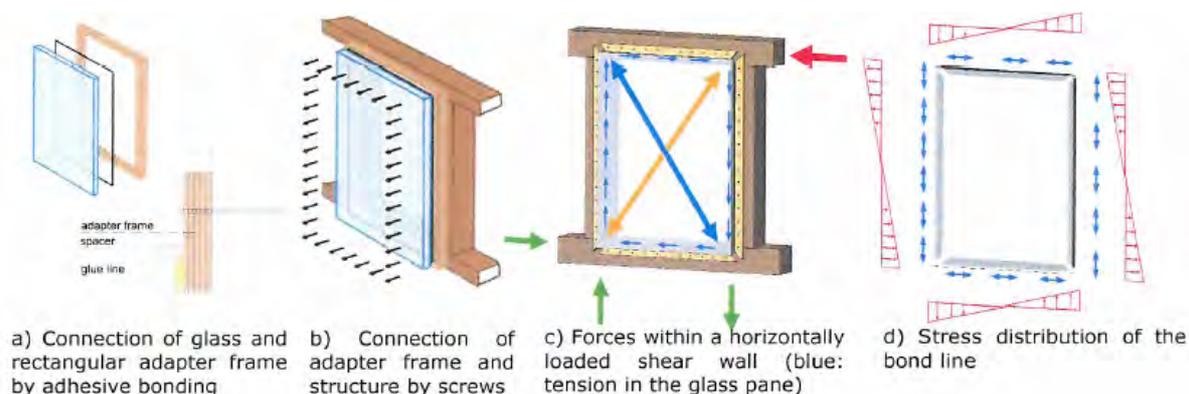
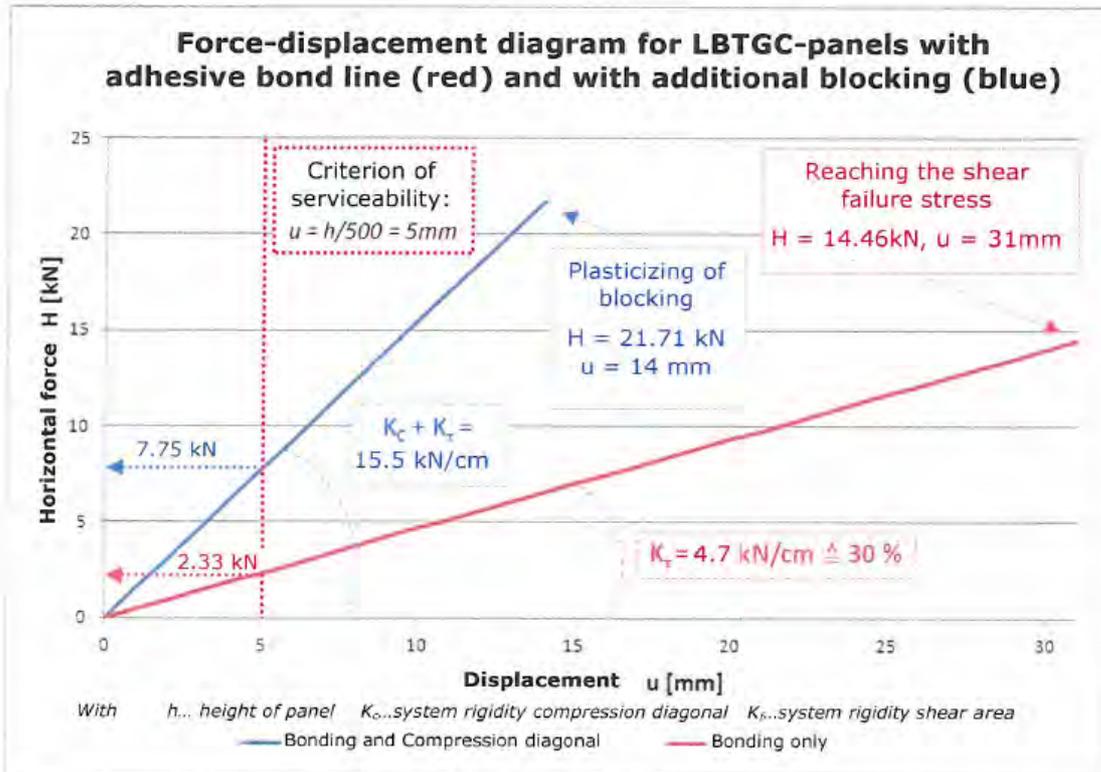


Abb. 71 HGV System - Scheibe Aufgeklebt auf einer Koppleiste. Horizontale Lasten werden über bei Schubverklebung abgetragen; Quelle: Application of Load Bearing Glass Timber Composites | Wolfgang Winter – TU Wien

Die unten folgende Grafik zeigt den Vergleich zwischen Kräfteinleitung mit und ohne Klotzung und der dabei auftretende Horizontalverschiebung des Bauteils. Ein weiter Faktor der die Verschiebung mit bestimmt ist die Wahl des Klebstoffes. Je nach dem wie elastisch oder steif dieser ist fällt die Verschiebung dementsprechend aus.



Calculation parameters

Height of panel:	$h = 2.50\text{ m}$	Width of bond line:	$b_r = 14\text{ mm}$	Thickness of block:	$d_c = 8\text{ mm}$
Width of panel:	$b = 1.25\text{ m}$	Thickness of bond line:	$d_r = 3\text{ mm}$	Distance corner of glass and block:	$e_c = 50\text{ mm}$
Shear modulus adhesive:	$G = 0.37\text{ N/mm}^2$	Length of block:	$l_c = 50\text{ mm}$		
Elastic modulus block:	$E = 280\text{ N/mm}^2$	Width of block:	$b_c = 8\text{ mm}$		
Shear failure stress:	$\tau_k = 0.824\text{ N/mm}^2$	Transition "elastic-plastic" of block:	$\sigma_k = 86\text{ N/mm}^2$		

Diagram 1: Comparison of horizontal displacement of the upper corner under horizontal load. Only bond line (red) and with additional blocking (blue). Shear wall size: $b = 1.25\text{ m}$, $h = 2.50\text{ m}$. In the actual design practice the allowable horizontal displacement is $h/500 = 5\text{ mm}$

Picture Credit: Department of Structural Design and Timber Engineering, Vienna University of Technology (VUT)

Abb. 72 Vergleich HGV-Fassadenelementen mit oder ohne Klotzung; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, TU – Wien

Bei den anfänglichen Berechnungen und Modellierungen wurde immer von HGV-Einzelementen ausgegangen. Dies wird aber nur in den wenigsten Fällen so sein. In folgendem Diagramm sind die Steifigkeiten dreier nebeneinander angeordneten Elemente grafisch dargestellt. Bei diesem geht hervor, dass der Verband von geklotzten Elementen eine deutliche Steigerung der Gesamtsteifigkeit darstellt. (Weissensteiner, 2013)

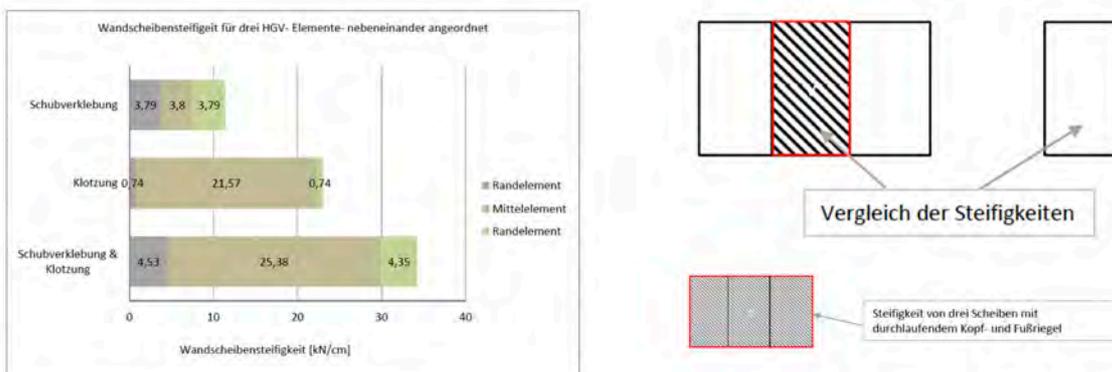


Abb. 73 Wandscheibensteifigkeit für drei nebeneinander angeordneten Elementen; Quelle: Weissensteiner F. – Holz-Glas-Verbundkonstruktionen im Einsatz an thermischen Pufferzonen. Prototypischer Einsatz am Beispiel eines Anbaus

4.3.2 Weitere Beispielgebäude mit HGV-Fassaden

Eine kleine Auswahl an Gebäuden die bereits mit einer HGV-Fassade realisiert worden sind. Diese Auswahl soll einen Eindruck über die Ästhetik der Fassade und die damit verbundenen gestalterischen Möglichkeiten wiedergeben.



Abb. 74 Tischlerei Fa. Gegg; Quelle: Holzforschung Austria ; Dipl. HTL Ing. Peter Schober



Abb. 75 ECOLAR home der HTWG Konstanz; Quelle: Holzforschung Austria; Dipl. HTL Ing. Peter Schober

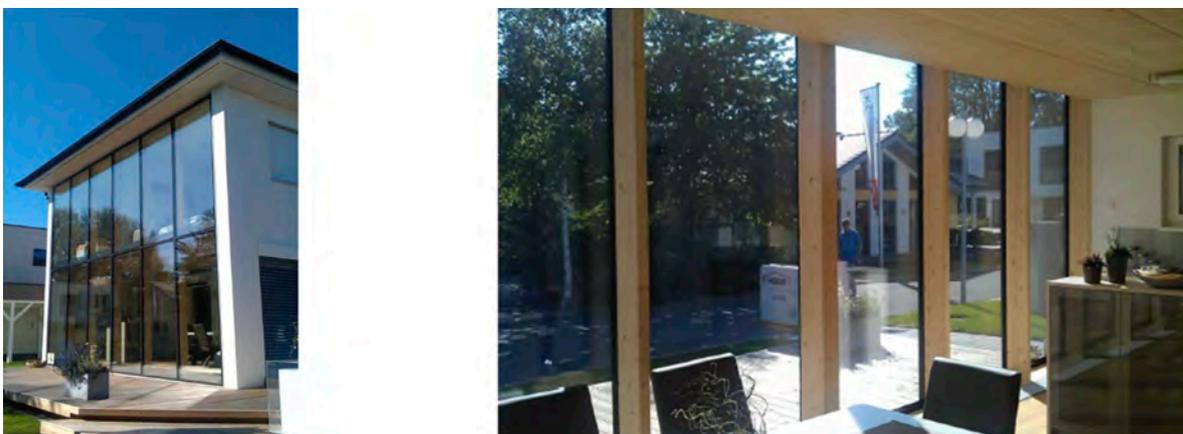


Abb. 76 Musterhaus Fa. Haas; Quelle: Holzforschung Austria; Dipl. HTL Ing. Peter Schober

4.3.3 Anwendung als Träger:

Holz Glas Verbundträger sind schon längere Zeit Gegenstand der Forschung. Neben der FH Potsdam führte auch das Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) Experimente diesbezüglich durch. Die Ergebnisse sollten numerisch und rechnerischen Aufschluss über das Tragverhalten und die Einsetzbarkeit in der Praxis geben.

Das Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) entwickelte eine Holz Glas Verbundträger auf dessen Unterkonstruktion beidseitig aussteifende Holz Glas Verbundscheiben aufgeschraubt werden. Das dabei entstehende Tragverhalten entspricht dem eines Schubfeldträgers.

Der Träger besteht aus 8 mm dicken, teilweise vorgespannten Glastafeln (TVG) mit 125cm Länge und 62,5 cm Höhe. Die Holzleisten bestehen aus Birkenfurniersperrholz und als Klebstoff wurden 3mm Acrylat verwendet. Die Unterkonstruktion besteht aus Furnierschichtholz (Kerto-Q) Es wurden drei Versuche mit ausschließlicher Schubverklebung und anschließend zwei Vergleichsversuche mit nur geklotzten Verbundscheiben durchgeführt. In weiterer Folge, wurden beide System aus Schubverklebung und Klotzung kombiniert.

Bei kombinierter Schubverklebung mit Klotzung entstehen mehrere sich überlagernde Tragsysteme die eine Berechnung der Holz Glas Verbundträger erschweren. Es entstehen:

- Tragmechanismen eines Schubfeldträgers
- Tragmechanismen eines Fachwerkträgers
- Tragmechanismen eines Vierendeelträgers
- Durchlaufwirkung des Obergurtes
- Biegewirkung des Untergurtes (Hochhauser)

Bei der Berechnung können der Tragmechanismus eines Vierendeelträgers und der Ober bzw. Untergurt vernachlässigt und als Sicherheit verwendet werden. Übrig bleiben der Tragmechanismus eines Schubfeldträgers und der eines Fachwerkträgers. Dabei zeigt sich, dass das Schubfeld zwei Drittel und die Druckdiagonale 1/3 der Lasten aufnimmt.

Bei den Holz- Glas Stegträgern die an der FH Potsdam untersucht wurden fällt auf, dass das Rissbild dem von Stahlbetonbalken ähnelt. „Lange vor dem Versagen des Trägers bilden sich Risse im Glas, die jeweils in Büscheln auftreten. Das Eindeutige Versagen trat jeweils im Zuggurt des Holz-Glas-Verbundträgers auf, was auf die Überschreitung der Zugspannung zurückzuführen ist. Der Bruch entsteht hierbei im Holz und nicht in der Klebefuge.

(Louter et al., 2014, p. 267/268)

4.3.4 Gebäude mit integriertem HGV-Träger:

Im Zuge dieser Arbeit konnte nur ein einziges gebautes Projekt bei dem ein HGV-Träger verbaut wurde recherchiert werden. Im Gegenteil zur HGV-Entwicklung in der Fassade, gibt es noch kein Anwendungssystem welches von Firmen kommerziell vertrieben wird.

4.3.5 Hotel Palafite complex in Neuchâtel - Schweiz

Der Bauherr wollte einen Hotelkomplex im alten und traditionellen Wohnstil der in Neuchâtel üblich ist. Da diese Gebäude ursprünglich für die Expo 02 geplant waren mussten diese demontierbar sein damit man diese an einem anderen Ort wieder aufbauen konnte. Natürlich durfte deswegen kein Abstrich bei den Standards, Qualität und Komfort gemacht werden. Das Hotel Palafite, ist das einzige Hotel in Europa welches „im See“ auf dem Wasser gebaut wurde. Insgesamt besitzt die Hotelanlage 40 Zimmereinheiten die als so genannte „ Singel Unites“ funktionieren, also eine getrennte Wohneinheit. Diese stehen auf Piloten und sind in einer Holzrahmenbauweise konstruiert. 26 von diese Wohneinheiten sind direkt über dem Wasser gebaut.

Bei diesem Projekt wurden erstmals Holz Glas Verbundträger in der Lobby des Hotels eingesetzt um den Eindruck zu erwecken als ob das Begrünte- Flachdach über dem Baukörper schweben würde um somit eine angenehm warmen Lichtstimmung zu inszenieren. Im Originaltext wurde die Konstruktion wie folgt beschrieben: „The lightness of the structure makes the flat roof seem to float above the building and floods the whole building with warm and pleasant light.“(Dirlewanger, 2013, p. 49 ff.)



Abb. 77 Lobby Glasträger Sicht Außen/Innen - Hotel Palafite; Neuchatel (CH); Quelle: <https://de.oyster.com/neuchatel/hotels/hotel-palafite/photos/lobby--v6233461/> (08.08.2015)

Tragwerksplanung:

Die Träger bestehen aus einem vertikalem Glasträger und einem Holzrahmen, der an beiden Seiten des Glaspanels angeklebt ist. Die positiven Eigenschaften beider Materialien sollen ausgenutzt werden. Die hölzernen Rahmen verteilen die Lasten und bilden das Auflager so wie die Zugbewehrung um Brüche/Sprünge im Glas zu verhindern.

Neben der Möglichkeit die Konstruktion wieder in seine Einzelteile zu zerlegen, war die Brandsicherheit / Feuerwiderstandsfähigkeit / von höchster Bedeutung.

Diese wurde erreicht indem die oberen Holzbalken so dimensioniert wurde, dass er im Falle eines Versagens des Glases oder des Klebstoffes die notwendige Sicherheit / Resttragfähigkeit erbracht wird und somit die Gesamtlast tragen könnte.

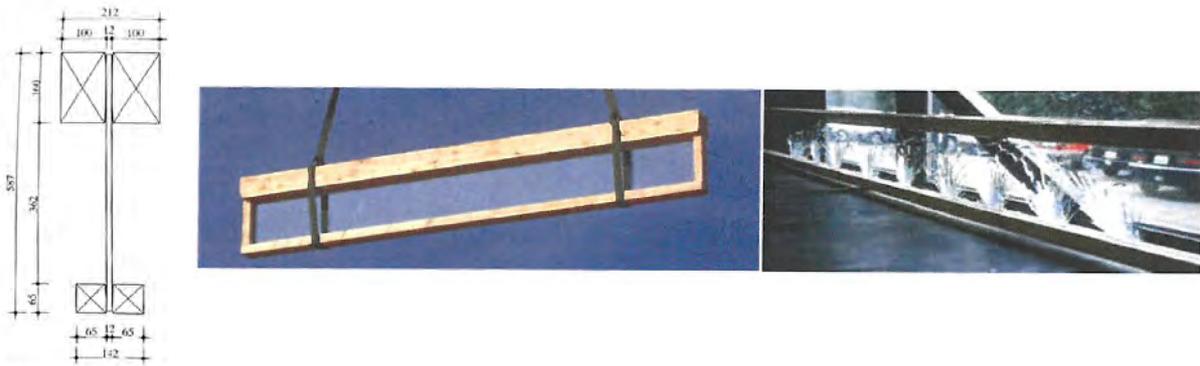


Abb. 78 Links: Querschnitt Träger; Abbildung Träger ; Quelle: Kreher K. 2004 - Structural Engineering International

Die Träger wurden als Prototyp im Maßstab 1:1 getestet um für bauliche Anwendungen eingesetzt werden zu können. Basierend auf vorangegangene Arbeiten von Hamm J.(Klaus Kreher, Natterer, & Natterer, 2004) und Kreher K. (Hamm, 2000).

Bei diesen Arbeiten wurden erstmals Berechnungen realisiert welche sich mit der Klebefuge beschäftigten. Um die genau Krafteinwirkung in der Klebefuge berechnen zu können, mussten differential Gleichungen entwickelt werden.

Die Verklebung musste kontrolliert werden.

Der Klebeprozess muss wohl koordiniert werden, da der verwendete Klebstoff (Polyurethane hot melding system) In der Aushärtungszeit sehr begrenzt war. Alle Klebefugen des 6 m langen Trägers mussten angebracht und das Holz positioniert werden.

Die Träger wurden nach EOTA vorgeschlagenen Tests auf Schub getestet.

Die Fähigkeiten Lasten abzutragen wurde mittels vier Punkt Biegeversuchen ermittelt.

Laut der Schweizer Norm SIA161 musste der Träger eine Gesamtlast von 2,4 kn/m² aufnehmen können. Die Spannweite des Trägers beträgt 6 m und hat eine Einzugsbreite von 3,87m. Somit ergibt dies eine Gesamtlast von 9,36 KN/lfm oder eine Gesamtlast von 56,16 KN.

Das Glaspanel ist eine ESG - Einzugscheibe mit einer Stärke/ Dicke von 12 mm und eine Höhe von 580 mm. Dieses wurde aus wirtschaftlichen Gründen und dem Grund gewählt, dass auf Grund der Überdimensionierung der oberen Holzträger – die Tragsicherheit gewährleistet war und somit keine Resttragfähigkeit gebraucht wird.

Hamm J. (K. Kreher, 2004) hat An der École Polytechnique Fédérale de Lausanne wurden acht 4000 mm lange und 25mm hohe Träger mit diversen Schnittformen der Holz Flange/Träger gebaut und getestet. Die Glas Paneele waren 10 mm dick und die Scheibe war aus TVG Floatglas.

Das Brettchichtholz wurde mit Polyurethan Klebstoff auf die Glasscheibe geklebt.

Die Höhe der Holzflaschen variierte zwischen 50 und 30 mm und die Breite variierte zwischen 60 und 50 mm. An beiden Enden des Trägers wurden zwei Holzpfosten angebracht um den Träger auf den Auflagern zu positionieren.

Bei all den Versuchen wurden ähnliche Ergebnisse festgestellt. Erste Sprünge traten lange vor dem Gesamtversagen des Trägers auf.

Nach jedem auftreten eines Sprungs wurde ein kleine Reduzierung der Steifigkeit beobachtet.

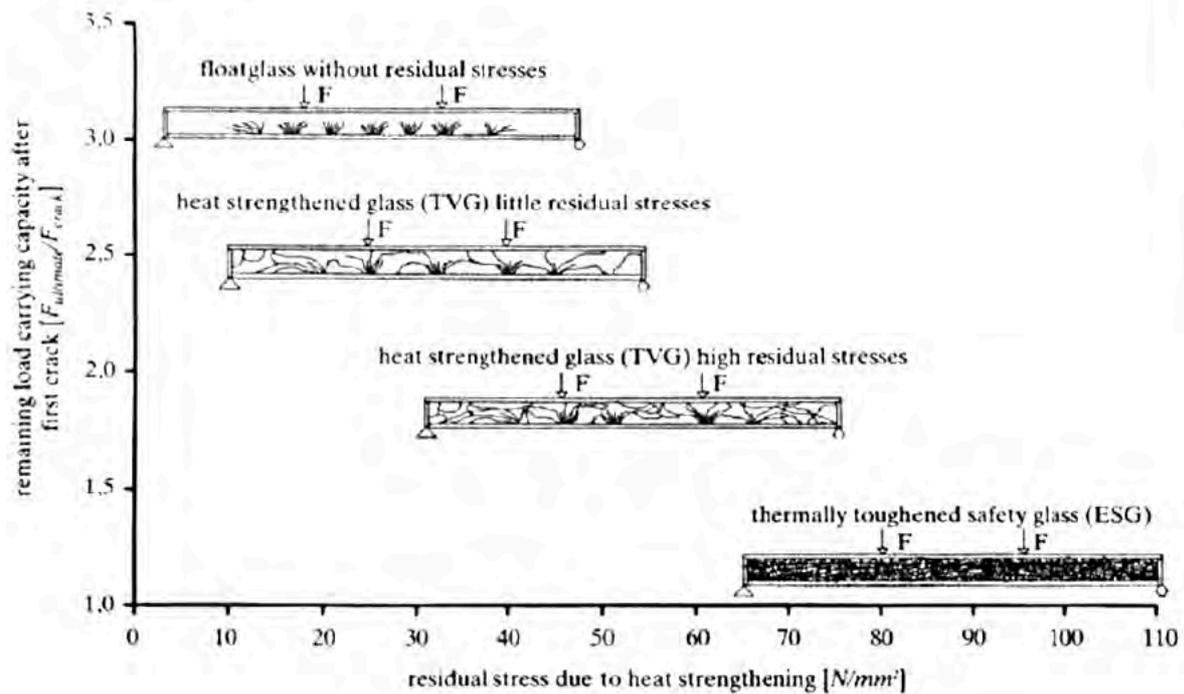


Abb. 79 Zusammenhang zwischen Vorspannung und Resttragfähigkeit der Glasscheibe; Kreher K - Timber-Glass-Composite Girders for a Hotel in Switzerland

Umfangreiche Untersuchungen über I-Träger aus Holz Glas Verbund mit Floatglas TVG und ESG wurden durch Kreher (Hamm, 2000) an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne durchgeführt. Alle Träger waren 2000 mm lang und hatten eine Höhe von 150 mm. Die Scheiben betrug 4-6mm. Die Querschnitte der Flansch-Hölzer betrug 20x20mm bis zu 50x50 mm. Alle Versuchskörper wurden einem Vierpunkt Biegeversuch unterzogen.

Die Tests zeigten auf, dass die Behandlung/ die Beschaffenheit der Glaskanten großen Einfluss auf die Ergebnisse hatten. Die hölzernen Flansche steigerten die Steifigkeit des Systems und waren geeignet um die Lasten in das Glas einzuleiten und als Auflager. Dieses erlaubte Verformungen aufzunehmen oder ein verformbares System zu haben und hat erlaubt es die verbleibenden Kräfte um 300% zu steigern.

In seiner Doktorarbeit präsentierte er des weiteren einen analytischen Ansatz um Berechnungen durchzuführen die sich um die Spannungen und Verformungen Holz Glas Verbundträger.

Der entwickelte Träger und das Berechnungskonzept wurde in einem 1 zu eins Modell getestet und im Hotel Palafite in Neuchatel eingebaut.

4.3.6 „Wiener Kastenträger“ und dessen Weiterentwicklung des ITI (TU-Wien)

Das ITI machte vergleichsweise ähnliche Beobachtungen bei Versuchen mit HGV-Trägern. In weiterführenden Studien, wurden andere Aufbauten für Versuchsträger hergestellt und getestet. Der „Wiener Kastenträger“ wurde 2010 entwickelt und bestand aus einem Ober- und Untergurt aus Kerto-Q, auf dem eingeklebte Galsscheiben mittels einem Umlaufenden Rahmen an diese verschraubt wurde.

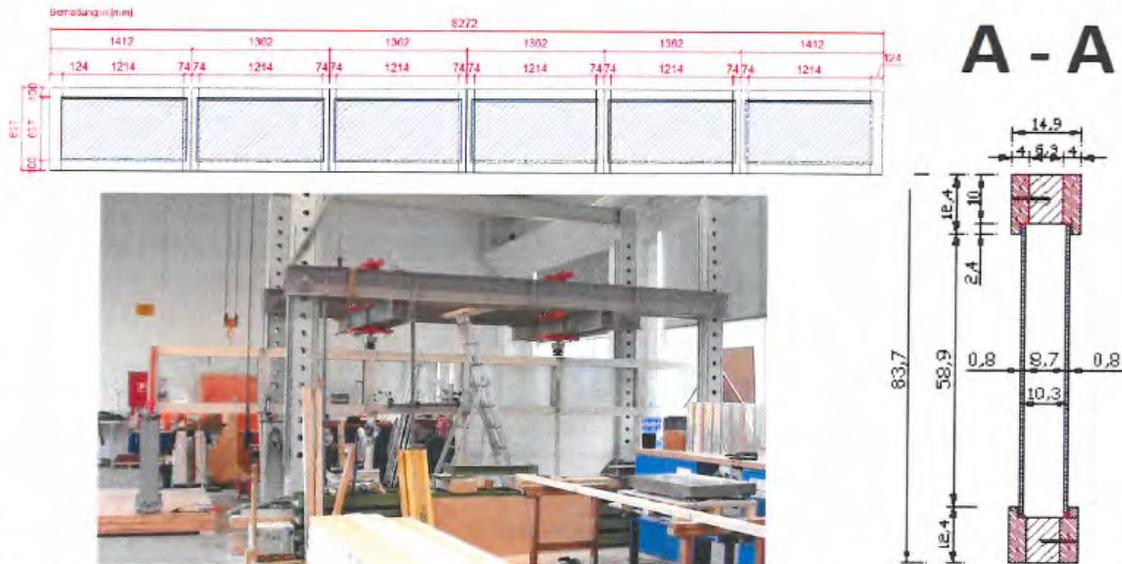


Abb. 80 "Wiener Kastenträger" Erster Prototyp - ITI 2010- Durchgehende Träger aus Kerto Q mit eingeklebten Glasscheiben in Koppelleisten, beidseitig aufgeschraubt wurden. Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) - TU-Wien

In darauffolgenden Forschungsprogrammen wurde der oben erwähnte Träger optimiert. Anstatt sechs Doppelscheiben mit einer Länge von 1,2 m (Aufbau „Wiener Kastenträger“), wurden nur noch drei Einzelscheiben verbaut. Die mittlere der drei Scheiben hatte eine Länge von 4 m und erzeugte somit eine Teilung des 8 m langen Trägers in den Viertelpunkten. Zwischen den Scheiben wurden Polyamide Blöcke zur Lastübertragung angebracht. Des weiteren dient dieser Zwischenraum der Scheibe zur Führung von Gewindestangen. Diese dienen dazu um Zugkräfte zwischen Unter- und Obergurt wie bei einem Fachwerkträger zu übertragen. Dadurch konnte der Konstruktionsansatz verfolgt werden, dass die mittlere Glasscheibe als Biegeelement mit kurzer Spannweite fungierte und die Scheiben der Seiten Druckdiagonalen aufbauen konnten. Der Ober und Untergurt wurde aus einem Buche-Furnierschichtholz ausgeführt, dieses kann im vergleich zu anderen Holzwerkstoffen hohe Zugkräfte aufnehmen. Daher die gesamten Zugspannungen in den Untergurt übertragen werden, ist damit die Wahl des Holzes zu begründen. Wie auch beim „Wiener Kastenträger“ hatten die Versuchsträger eine Spannweite von 8 m und wurde einem vier Punkt Biegeversuche unterzogen. (W. Winter, 2015)

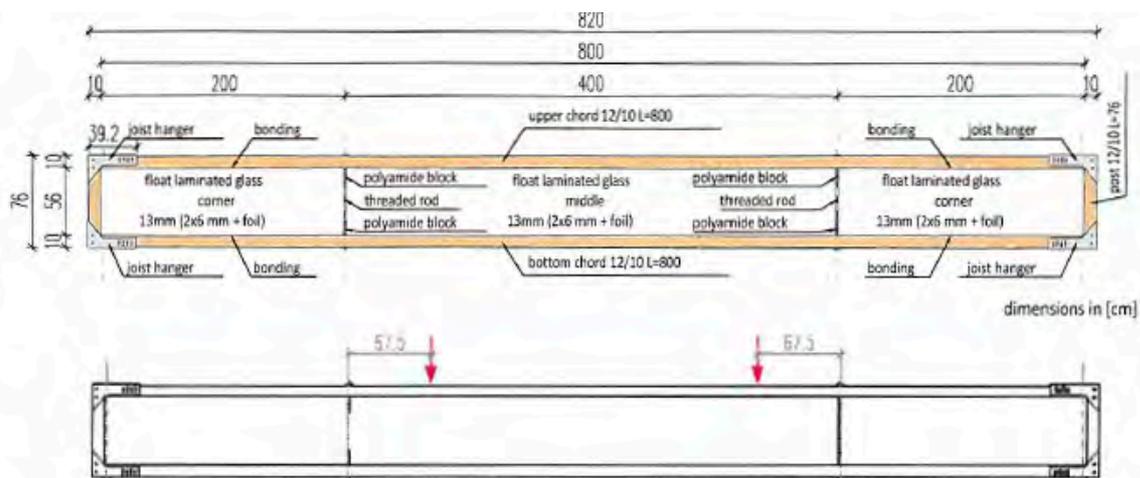


Abb. 81 Weiterentwicklung "Wiener Kastenträger"- Konstruktionsansatz; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau - TU-Wien

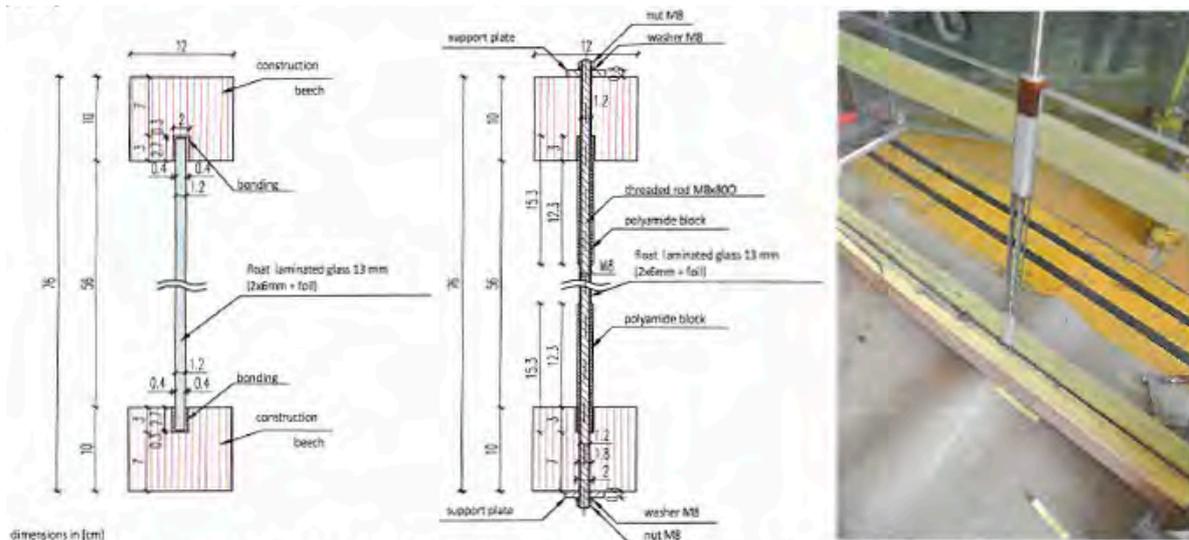


Abb. 82 Weiterentwicklung "Wiener Kastenträger" - Querschnitt , Aufbau, Konstruktionsprinzip; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau - TU-Wien

Bei dem Versuchsaufbau, wurden fünf Versuchsträger hergestellt, bei dem zwei unterschiedliche Klebstoffe verwendet wurden. Dadurch konnte eine direkte Aussage über das lastabtragende Verhalten von Silikon- und Epoxy Klebstoff getroffen werden. Besonders der auf Biegung beanspruchte mittlere Teil des Trägers, zeigte deutliche Unterschiede zwischen den Klebstoffen auf. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass die Verklebung mit Silikon geringere Scherkräfte aufnehmen kann als die Verklebung mit Epoxy Klebstoff. Dabei muss angemerkt werden, dass Silikon-Klebstoff leichter zu verarbeiten ist und im Gegensatz zu Epoxy-Klebstoff UV-resistent ist. (W. Winter, 2015)



Abb. 83 Versuchsergebnisse Biegeversuche bis zum Totalversagen " Wiener - Kastenträger - Weiterentwicklung"; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau - TU-Wien

5 Entwurf - Analyse

Glas mit seiner Eigenschaft hohe Druckkräfte abtragen zu können, soll nun im Verbund mit Holz als statisch wirksames Bauteil in der Fassade eines Gebäudes zum Einsatz kommen, um die Schlussfolgerung der Einleitung zu unterstreichen.

Als Grundlage für ein geeignetes Fallbeispiel bzw. einen Entwurf wurden vorab Grundrisstypologien untersucht. Wie im Kapitel „Stand des Wissens“ erörtert, wurde die Analyse ausgehend vom gebauten Beispiel „Schattenbox“ bei Einfamilienhäusern gestartet. Der primäre Fokus wurde auf architektonische Grundüberlegungen gelegt und auch Überlegungen zur statischen Grundkonzeption der Gebäude wurden miteinbezogen.

Des Weiteren wurde die Frage aufgeworfen, ob ein zusätzlicher Einsatz von HGV Elementen im Innenraum weitere Vorteile bringen würde, sei es als tragende Wandscheibe, Träger oder Stütze. Um dies zu überprüfen, wurden folgenden Überlegungen angestellt:

- Wie wirkt sich das HGV-Element auf den Raum aus, der um diesen liegt?
- Schafft man mit dem Einsatz des HGV Elements einen nachvollziehbaren oder messbaren Mehrwert für den Raum oder das Gebäude?
- Wie wirkt sich dies konstruktiv auf das Gesamtsystem aus?
- Wie ist ein Austausch des tragenden und aussteifenden Bauteils in einer Gesamtkonstruktion im Innenraum möglich?

5.1 Analyse der Grundrisstypen

In dieser Arbeit wird exemplarisch ein Auszug von gewählten Grundrisstypologien zur näheren Erläuterung der Analyse dargestellt. Die ursprüngliche Analyse befasste sich mit den folgenden Grundrisstypologien unterschieden nach Gebäudetypen und deren Nutzung und die damit verbundene Funktion:

- Wohnbau
- Gaststätten und Hotels
- Bürobauten
- Industrie und Gewerbebauten
- Bauten für den Handel
- Arbeitsstätten
- Bauten für Erziehung und Bildung
- Sport und Fitnessanlagen

Im folgenden Kapitel wird nun die Methodik der Analyse anhand des Wohnbaus erklärt. Diese Methodik ist sinngemäß aber auch auf die anderen Grundrisstypen anwendbar.

5.1.1 Methodik der Analyse am Beispiel des Wohnbaus

Das Konzept von Wohnungsbau hängt sehr stark von den zukünftigen Nutzern ab und dem Standort an dem es errichtet wird. Es kann nicht von einem allgemein gültigen Fall ausgegangen werden. Man kann nur gewisse Tendenzen feststellen. Für den generellen Entwurf aus statischer Sicht muss folgendes überlegt werden:

Standortfaktoren: (Standort/Belichtung/Ausblick/Einblick)

- Befindet sich das Gebäude in einem städtischen Kontext oder auf der grünen Wiese ohne Nachbarn mit einer interessanten Aussicht?
- Kann das Gebäude über alle Fassaden belichtet werden?
- Kann über alle Fassaden des Gebäudes ein Ausblick geschaffen werden?
- Auf welchen Fassaden hat man mit unerwünschten Einblicken zu rechnen?
- Ist es wichtig eine Privatsphäre gegenüber Nachbarn zu schaffen?

Architektonische Intention / Entwurf:

- Was wollten der Bauherr und der Architekt bei diesem Entwurf erreichen?
- Was ist auf Grund der Normen möglich?

Statisches Grundkonzept:

- Wie werden die vertikalen Lasten abgetragen?
- Wie werden die horizontalen Lasten abgetragen?
- Wie sieht das Aussteifungskonzept aus?
- Wie beeinflussen die Lastabtragung und das Aussteifungskonzept den Entwurf?

Potentielle HGV Anwendung an der Fassade:

- Was wäre der Vorteil für dieses Gebäude?
- Wäre dies aus technischer Sicht möglich?
- Was für bauphysikalische Auswirkung hätte dieser Eingriff?
- Was bedeutet dies für den Brandschutz?

In den folgenden Kapiteln werden wie oben beschrieben exemplarische Analysen von Wohnbauten, Schul- und Bildungsbauten sowie Bürobauten beschrieben. Da sich laut Meinung des Autors dieser Arbeit diese Gebäudetypen besonders für den Einsatz von HGV Fassaden eignen würden.

5.1.2 Analyse Einfamilienhaus im vorstädtischen Kontext

Bei Wohnbauten oder Einfamilienhäusern ist festzustellen, dass ein Einsatz von HGV-Elementen auf Grund der kleinen Größe des Gebäudes nur dann Sinn macht, wenn der gestalterische Wille und der Nutzer danach verlangt. Bei einem herkömmlichen Einfamilienhaus in einer Struktur von Einfamilienhäusern mit Gärten, muss bei den großflächigen Fenstern, die mit dem Einsatz von HGV verbunden sind, darauf geachtet werden, inwiefern diese Sichtbeziehungen zu Nachbarn erwünscht sind.

Bei dem unten abgebildeten EFH in Berlin befinden sich die Küche das Bad und die Erschließung in einer „Betonbox“ im nördlichen Bereich des Gebäudes. Der Wohnbereich und die Schlafzimmer befinden sich in einem weiteren Teil des Gebäudes. Somit entsteht ein kleiner „Innenhof“ zwischen den Bauteilen der zur Belichtung von oben dient und Einblick von außen vermeidet.

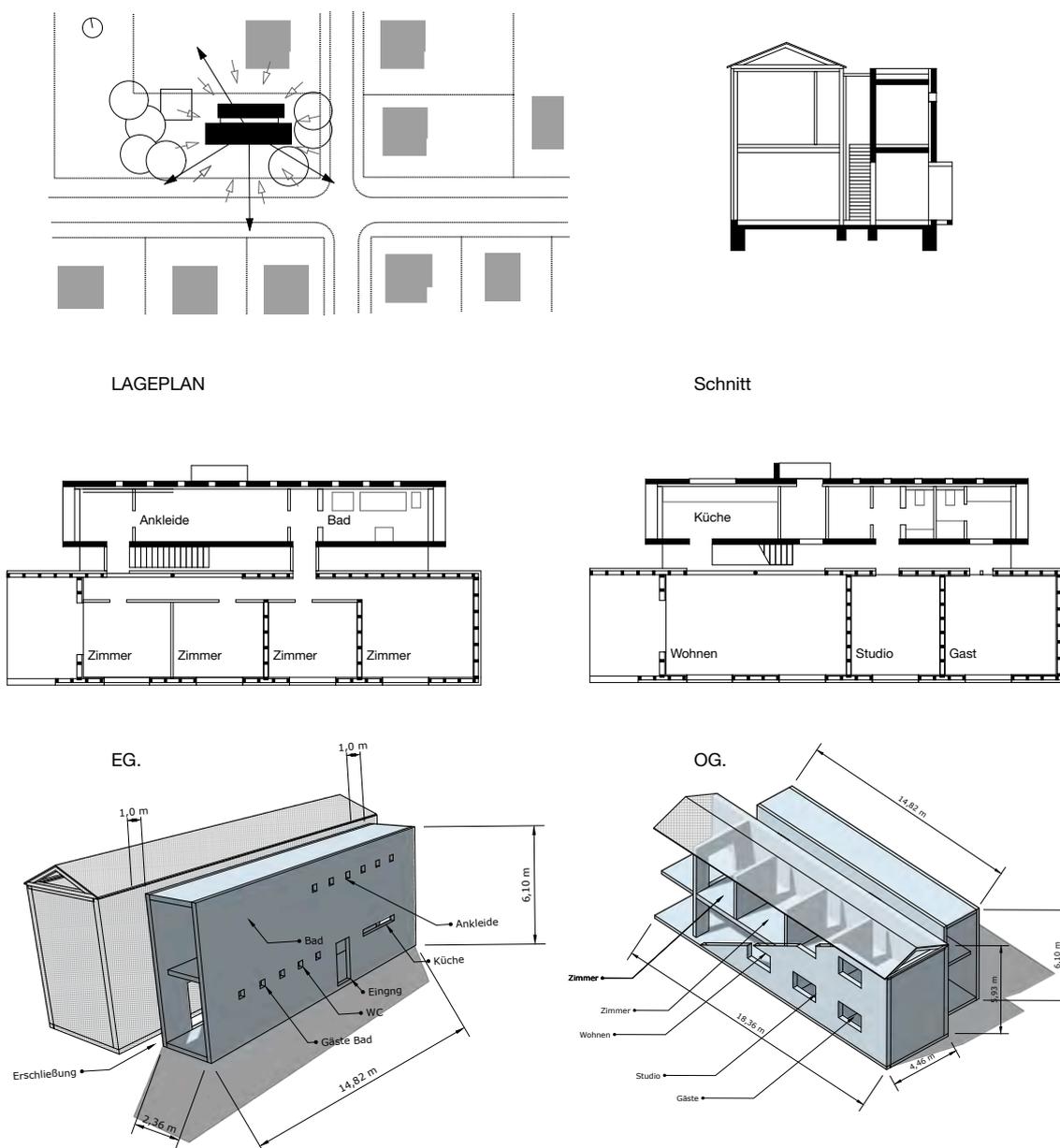


Abb. 84 Einfamilienhaus in Berlin; Arch.: OIKOS; Herrle und W. Stroll; Berlin (GER)

5.1.3 Analyse Einfamilienhaus im ländlichen Kontext

Bei diesem Einfamilienhaus in der Schweiz, ist der Bereich im Westen des Hauses unverbaut und lädt damit ein, große Öffnungen in die Fassade des Gebäudes einzubringen. Jedoch wird auch hier, je nach Funktion des dahinter liegenden Raumes, darauf geachtet, wie groß und klein die Ein- und Ausblicke gehalten werden. Stützen oder Träger sind auf Grund der Größe der Räume und der Konstruktionsweise des Gebäudes nicht vorzusehen. Die Belichtung des Treppenbereiches geschieht über eine Galerien und schafft zugleich Sichtbeziehungen innerhalb des Gebäudes über beide Geschoße.

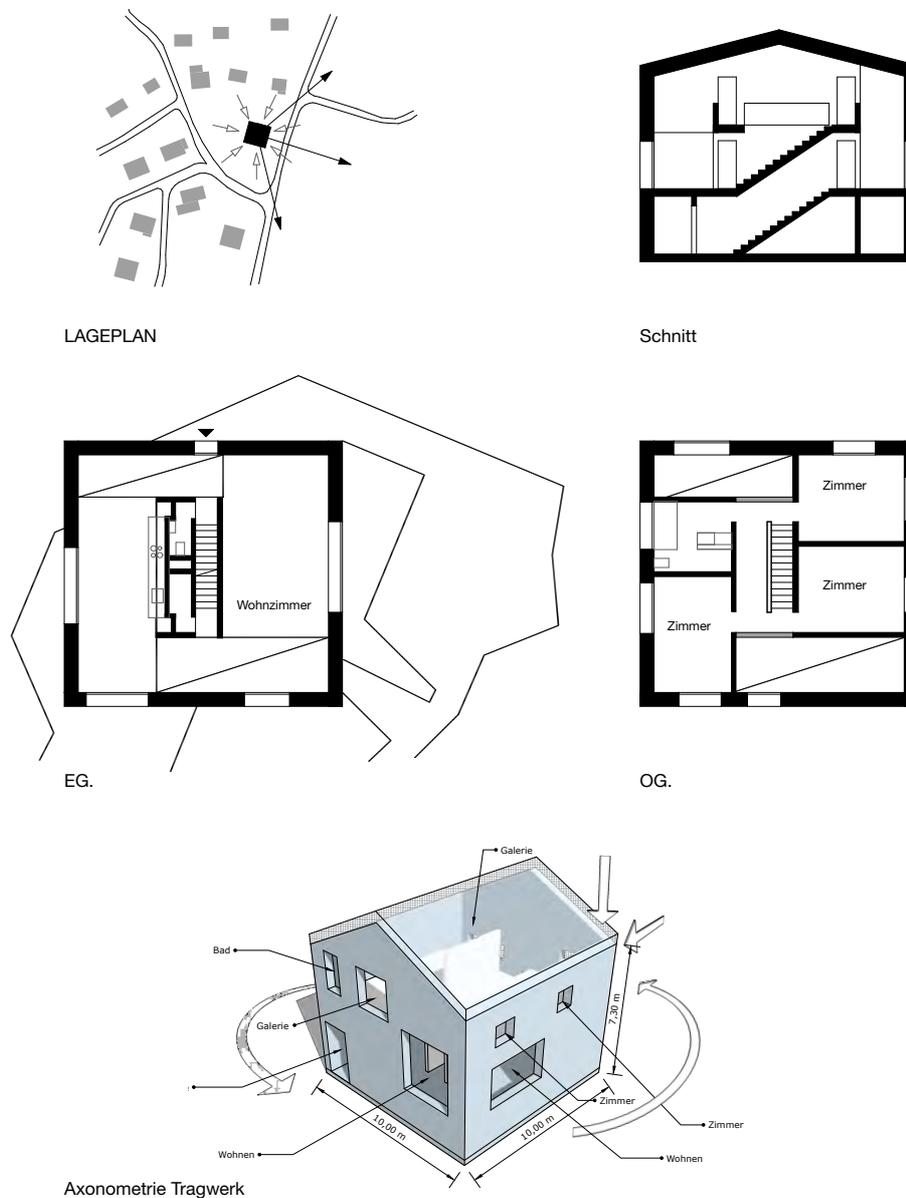
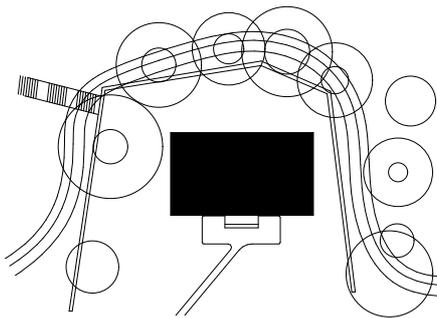


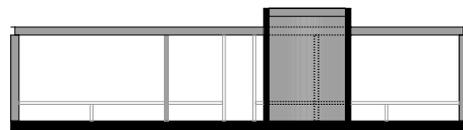
Abb. 85 Einfamilienhaus mit Galerien im Ennetmos; Arch.: Ken Architekten; Baden Zürich (CH)

5.1.4 Analyse Einfamilienhaus alleinstehend

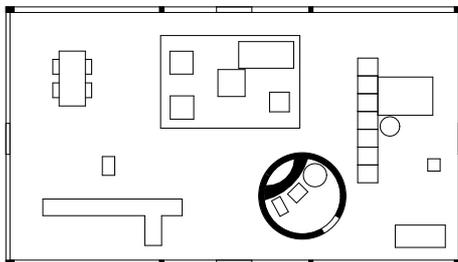
Wie der Klassiker der Moderne bereits in seinem Namen verrät, handelt es sich bei diesem Entwurf um ein „Glashaus“. Dies ist in diesem Fall möglich, da das Gebäude auf einem parkartigen Grundstück steht und daher Blickbeziehungen von außen aus Sicht des Entwerfers außer Acht gelassen werden können. Dieses Konzept könnte natürlich auch mit einer HGV-Fassade realisiert werden. Im Innenraum befindet sich lediglich der geschlossene Bereich des Bades in dem auch der Kamin integriert ist. Auch hier scheint der Einsatz eines HGV-Trägers oder Stütze auf Grund der Größe des Projekts nicht sinnvoll zu sein.



LAGEPLAN



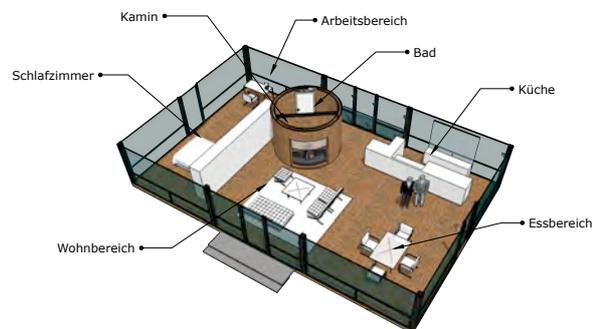
Schnitt



Grundriss



Axonometrie



Axonometrie

Abb. 86 Glass House; Arch.: Philip Johnson and Richard Foster 1949 (USA)

5.1.5 Analyse mehrgeschossiger Wohnbau

Bei größeren Wohnbauprojekten könnte eine HGV-Fassade angedacht werden. Wieder ist im Einzelfall zu überprüfen, ob die geschaffenen Sichtbeziehungen der HGV-Fassade erwünscht sind. Bei dem unten dargestellten Projekt wird bereits auf diese Problematik eingegangen. Vor den umliegenden Balkonen sind Schwerter aus Holz angebracht, die Sichtbeziehungen leiten sollen. Da die Gebäude versetzt am Bauplatz angeordnet sind, trifft der Blick von einem Gebäude zum nächsten schräg auf die Holzschwerter und verringert somit die Einblicke in die gegenüber liegende Wohnung. Eine HGV-Fassade könnte bei diesem Projekt theoretisch eine noch größere Freiheit im Grundriss ermöglichen, da auf aussteifende Wände innerhalb der Wohnungen verzichtet werden könnte. Wie auch bei den Einfamilienhäusern sei dies mit der Funktion der dahinter liegenden Räume und mit der damit verbundenen Notwendigkeit abzustimmen und zu überprüfen. HGV-Träger oder aussteifende Stützen im Innenraum können aus heutiger Sicht des Autors dieser Arbeit in mehrgeschossigen Gebäuden nur schwer Einsatz finden, da tragende Glasbauteile das Problem mit sich bringen, dass sie aufgrund von äußerer Krafteinwirkung springen können. In so einem Schadensfall müssen diese tragenden Bauteile aus Glas auch austauschbar sein. Wie diese unter der Belastung von mehreren darüberliegenden Geschoßen geschehen soll, ist dem Autor dieser Arbeit nach heutigem Stand des Wissens nicht bekannt.

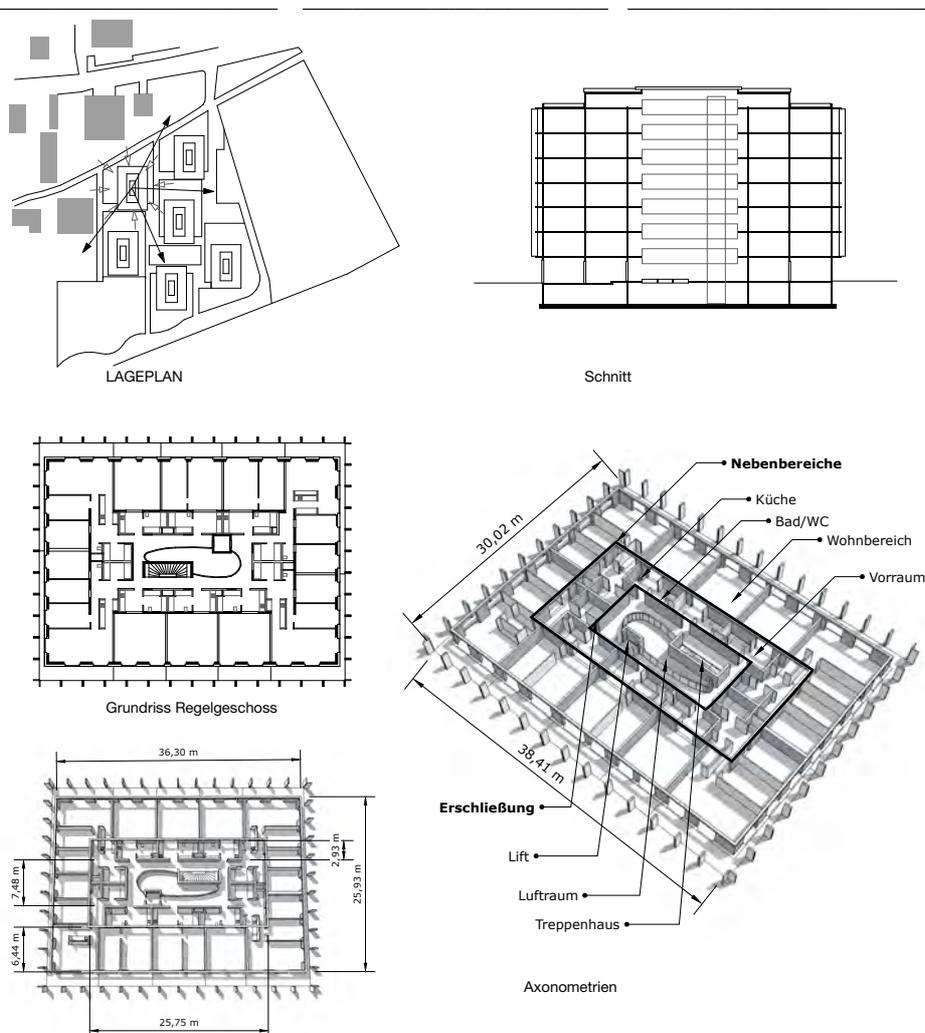


Abb. 87 Geschößwohnungen in Innsbruck; Arch.: Baumschlager Eberle; Lustenau (AUT)

5.1.6 Analyse Kindergarten – Laubengangerschließung

Je nach Nutzungsfunktion von Gebäuden kann Ein- und Ausblick bei einem Gebäude nicht als störend empfunden werden, sondern sogar wünschenswert sein. Bei Kindergärten tragen offene und flexible Grundrisse sowie ein hoher Eintrag an Tageslicht zum Wohlbefinden der Kinder bei. Unten folgend ein Projekt, bei dem ein noch weiteres Öffnen der Fassade mit HGV-Elementen angedacht werden könnte. Die HGV-Fassade könnte in diesem Fall zu einem Teil die Aussteifung des Gebäudes übernehmen. Ob das Einführen eines HGV-Trägers im Gangbereich, wie in den Darstellungen markiert, als Oberlichte Sinn machen würde, sei aus folgenden Gründen in Frage gestellt. Die hinter dem Gangbereich liegenden Sanitäreinheiten verlangen weder nach einer Sichtbeziehung zum Gang noch zu den Gruppenräumen. Aufgrund der Tiefe des davor liegenden Laubengangs wäre ein Lichteintrag auch nicht mehr gegeben. Durch das statische Gesamtkonzept des Gebäudes ist es möglich bei den Spielräumen raumhohe Glaswände zu installieren.

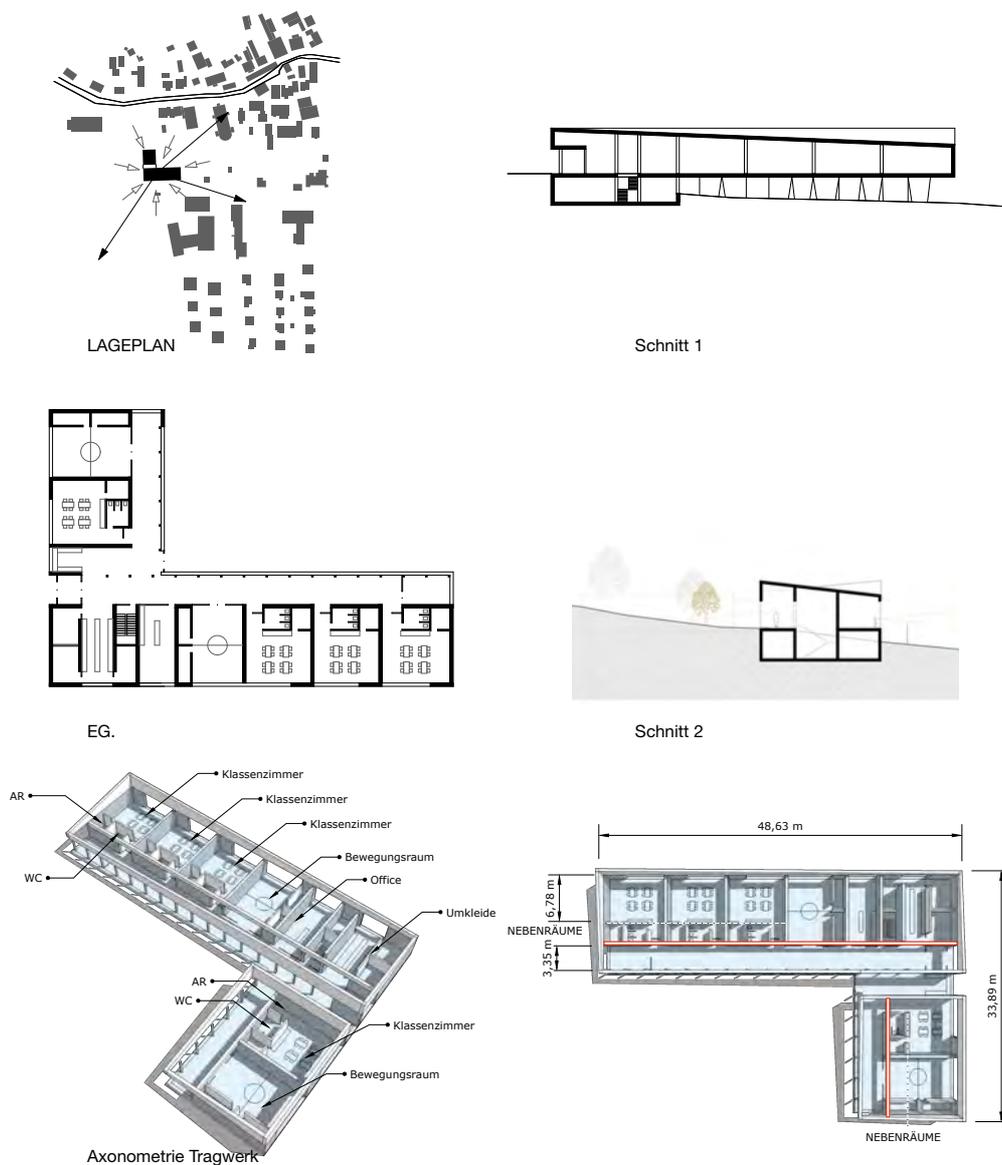


Abb. 88 Kindergarten - Haus im Ennstahl; Arch.: Krainer Architekten; Haus im Ennstahl (AUT)

5.1.7 Analyse Schulpavillon

Bei dem unten folgenden Schulpavillon könnten HGV-Konstruktionen in der Fassade wie auch als Träger theoretisch angedacht werden. Die verglasten Fronten der Klassenzimmer mit einer HGV-Fassade auszuführen, würde sich positiv auf das statische Gesamtkonzept des Gebäudes auswirken. Es wäre zu überlegen, ob es in weiterer Folge Sinn machen könnte, die Deckenträger im Vorraum mit HGV-Trägern auszuführen. Wie im Schnitt ersichtlich ruhen auf den Trägern des Vorraums Oberlichter. Dies hätte den Vorteil, dass das Licht der Oberlichter ungehindert durch die Glasträger in den Raum einfallen könnte und der Lichteintrag somit maximiert wird. Wie auch bei den vorangegangenen Beispielen, vertritt der Autor dieser Arbeit die Meinung, dass eine konstruktive Lösung zum Austausch der HGV-Träger oder Stützen im Innenraum erarbeitet werden muss.

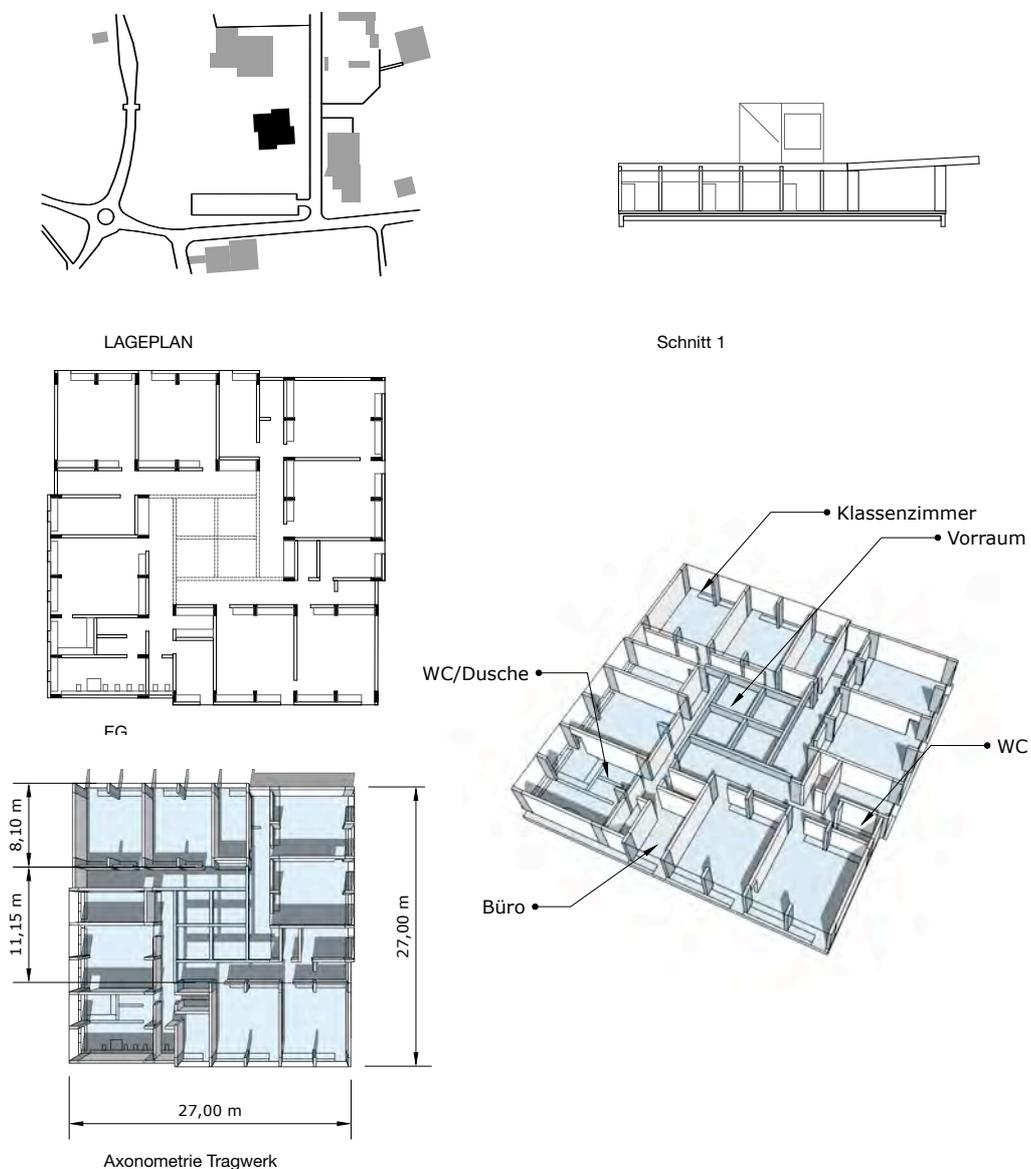


Abb. 89 Schulkindergarten in Buchen; Arch.: Eckner Architekten; Buchen (GER)

5.1.8 Analyse mehrgeschossiger Bürobau

Aus der modernen Architektur sind vollflächige Glasfassaden seit den 1960iger Jahren nicht mehr wegzudenken. Eine Vielzahl an Büro- und Verwaltungsgebäuden wurden in den letzten Jahren mit vollflächigen Glasfassaden geplant und verwirklicht. Die Akzeptanz bei den Nutzern für die vollflächige Verglasung steht nicht im Widerspruch zu einem zeitgerechten Büronutzen. Am Arbeitsplatz wird auf natürliches Tageslicht und Ausblick Wert gelegt. Des Weiteren ist Lichtautonomie aus Sicht der Betreiber ein wirtschaftlicher Faktor, der nicht mehr außer Acht zu lassen ist.

Bei all den Vorteilen gibt es natürlich auch Nachteile, die das viele Licht mit sich bringt. Gerade bei Arbeitsplätzen muss darauf geachtet werden, dass keine direkte Sonneneinstrahlung auf diese fällt, um ein blendfreies Arbeiten zu gewährleisten. Auch die sommerliche Überhitzung des Gebäudes sollte tunlichst vermieden werden, deshalb ist eine außenliegende Verschattung vorzusehen. Bei dem unten folgenden Beispiel eines mehrgeschossigen Großraumbüros befindet sich der aussteifende Betonkern zentral im Gebäude und beherbergt das Nottreppenhaus sowie den Liftschacht und diverse Nebenräume, wie Toiletten. Das Einbringen von HGV in der Fassade wäre eine Alternative zur konventionell verwendeten Fassade. Ohne auf das Problem der Austauschbarkeit von HGV-Elementen im Innenraum in mehrgeschossigen Bauwerken eingehen zu wollen, sei die Sinnhaftigkeit in Bezug des Grundriss und der damit verbundenen Funktion der Räume in Frage gestellt. Um eine höchst mögliche Flexibilität zu bewahren, wäre der theoretische Einsatz nur bei den Kernen zu empfehlen. Hier kann aufgrund der Raumtiefe nicht mehr mit dem Einbringen von Tageslicht für diese Intervention argumentiert werden. Somit wird lediglich eine Sichtbeziehung hergestellt. Diese gilt es für das Nottreppenhaus zu hinterfragen und bei den sanitären Nebenräumen in einem Büro sogar als unpassend zu bezeichnen.

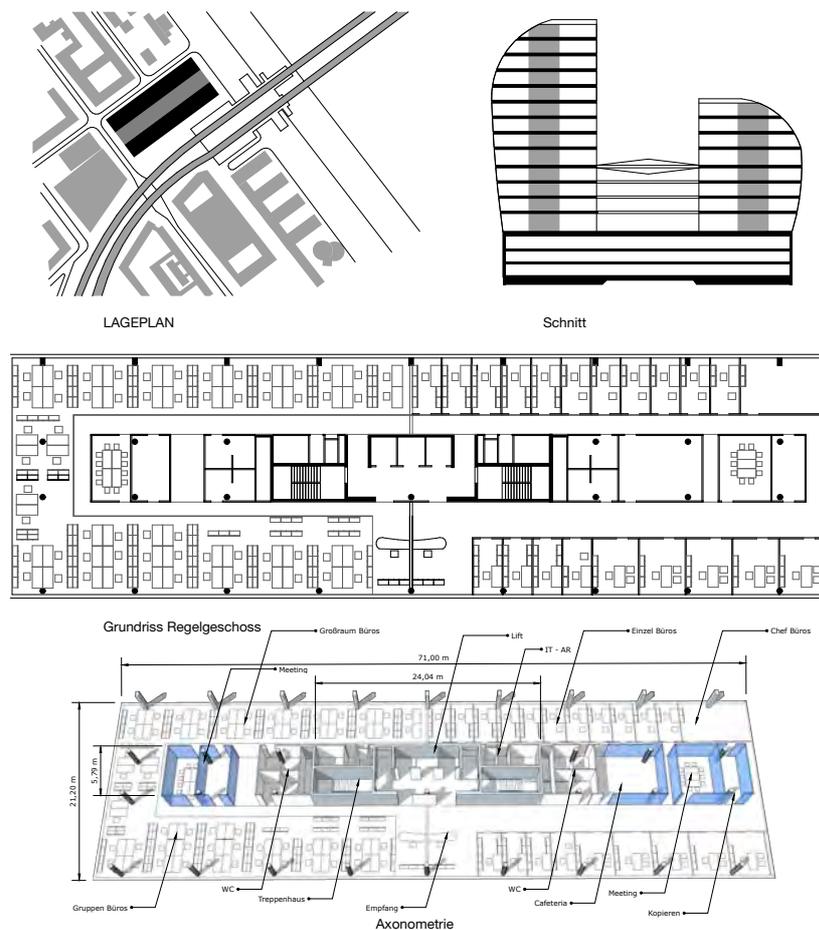


Abb. 90 Bürogebäude - Rivergate Wien; Arch.: BDA und Partner; Wien (AUT)

5.1.9 Analyse mehrgeschossiger Bürobau - Vergleichsobjekt



Abb. 91 Fotos - Bürogebäude - AK; Plößlgasse 2 - Wien (AUT)

Aus der Analyse der Grundrisstypen leitete sich die Schlussfolgerung ab, dass sich Bürobauten gut eignen um mit einer HGV-Fassade geplant zu werden und eine breite Akzeptanz für eine vollflächige Glasfassade in ihrer Nutzung bieten. Für das Fallbeispiel wurde ein Vergleichsobjekt unter folgenden Kriterien ausgewählt:

- Möglichst quadratischer Grundriss
- Möglichst freistehendes Gebäude
- Der aussteifende Kern sollte wenn möglich nicht in der Mitte des Gebäudes liegen
- Eine mehrschichtige Fassade wurde bevorzugt, um der HGV-Fassade ein schützende Hülle zu geben.

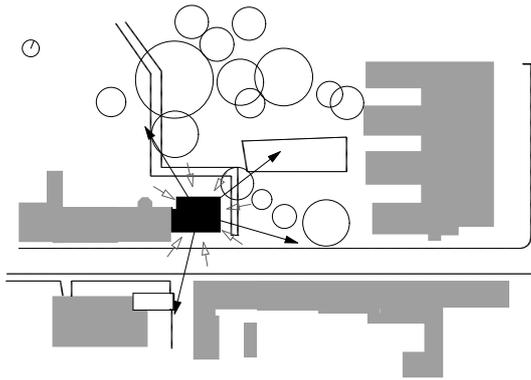
Die Wahl fiel auf das „ Bürohaus der Arbeiterkammer“ in der Plößlgasse 2 in Wien 4, welches im Jahr 2015 fertiggestellt wurde. Das Gebäude beherbergt ein Bearbeitungszentrum, die IT-Abteilung, die interne Verwaltung, ein Konferenzgeschoss, eine Chillout-Zone der Bildungsakademie sowie diverse Archive und Lagerräume der Arbeiterkammer Niederösterreich (AK-Niederösterreich).

Aufgrund des Bebauungsplan für diesen Standort, war die Kubatur eines würfelförmigen Objekts mit geringfügigen Abweichungen auf den parkartigen Gründen der Arbeiterkammer vorgegeben. Dieser Würfel stellt den Schlussstein einer Reihe von Gründerzeit-Häusern dar und schließt somit nur an ein Nachbargebäude an.

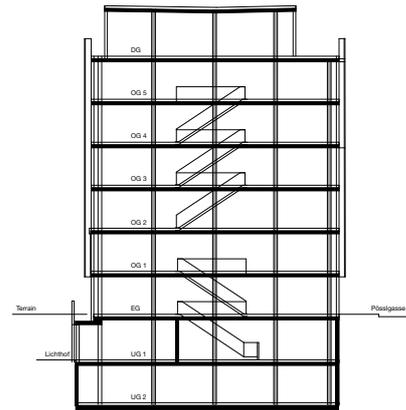
Laut dem ausführenden Architekturbüro wird der Entwurf wie folgt beschrieben: Der Entwurf nimmt die Vorgaben auf und akzentuiert sie. Der Baukörper ist durchgängig orthogonal gegliedert, die Kopfsituation wird durch eine „Fuge“ zum Bestand und die völlig andere Fassadengestaltung artikuliert.

Die zweischichtige Fassade wird in der äußeren Fassadenebene aus Profilglas ausgebildet, wobei punktuell Drehlamellen aus Flachglas eingefügt wurden. Diese Drehlamellen dienen der Regulierung der Wärme im Zwischenraum der Fassade und sollen ein Überhitzen verhindern. Die innenliegende Fassade besteht aus Fixverglasungen, öffnenbaren Fenstern und geschlossenen Fassadenelementen. In dem Zwischenraum werden Raffstoren installiert und dienen der Beschattung der Räume. Die zweite Fassadenebene stellt einen zusätzlichen Wind- und Wetterschutz dar.

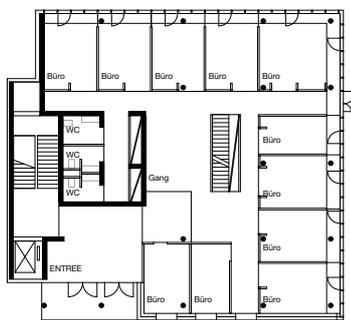
Ein Teil des Klimakonzeptes stellt die Außenhaut dar. Sie wurde in der Funktionalität auf eine natürliche Lüftung des Gebäudes abgestimmt. Eine kontrollierte Kühlung soll in der Nacht durch gekippte Oberlichter in der Innenhaut und Absaugung aus der Mittelzone des Gebäudes geschehen. Die Kühle der Nacht soll bei diesem Konzept in den unbedeckten Betondecken gespeichert werden. Nur die Besprechungsräume und das Konferenzgeschoß werden aktiv klimatisiert.



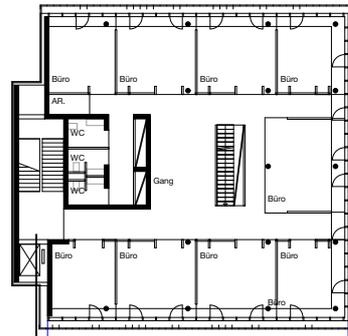
LAGEPLAN



Schnitt



EG.



OG.

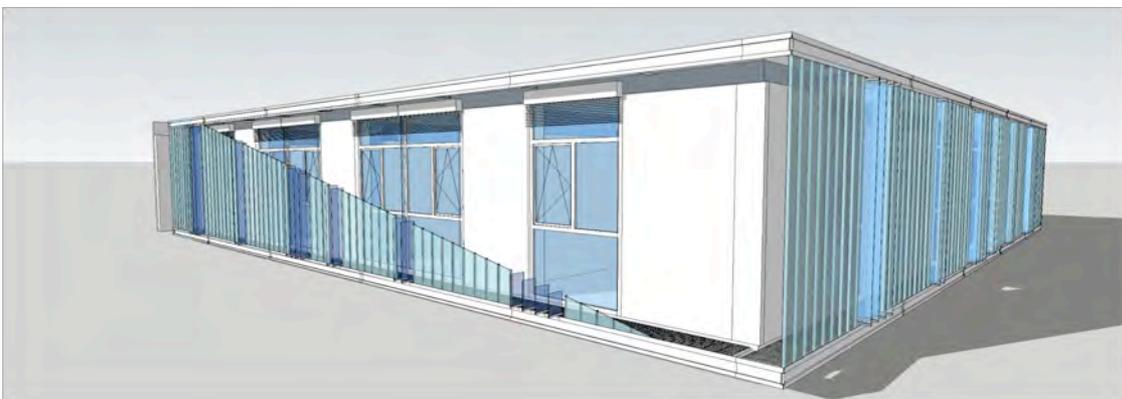
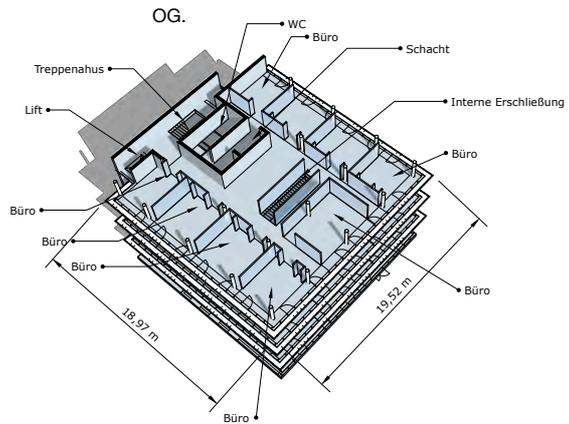
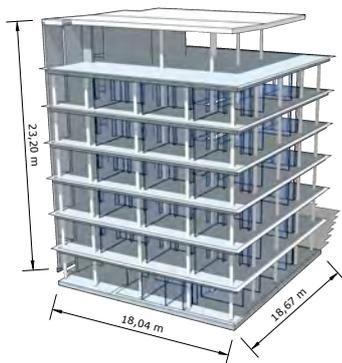


Abb. 92 Bürogebäude - AK - Plößlgasse 2; Arch.: cpa Ceska Priesner Partner Architektur, Fellerer-Vendl Architekten; Wien (AUT)

6 Entwurf – Fallbeispiel

Aus den Forschungsarbeiten gingen zwei Ideen im Sinne des Holz-Glas-Verbundsystem hervor. Die eine beschäftigte sich mit der Umsetzung eines Fassadenelementes und die andere untersuchte das Verhalten beim Lastabtrag von Glas eingesetzt als Träger. Die Fassadenanwendung stellt die viel praktikablere Lösung dar, da beim Bruch der Scheibe ein einfacher Austausch möglich ist. Des weitern konnten Fensterhersteller für diese Idee gewonnen werden, da die Fassadenelemente einfach herzustellen sind und eine schnelle Montage auf der Baustelle möglich ist.

Die Stärke des Trägers liegt in der Art und Weise wie die Kräfte in das Glas übertragen werden. Bei den HGV-Trägerelementen wird die Scheibe mittels einer Nut im Holz eingeklebt. Bei HGV-Fassadenelementen wird die Scheibe auf eine Koppelleiste aufgeklebt. Bei den Anwendungen als Träger konnten als Verbindung zwischen Holz und Glas Klebstoffe mit einer viel höheren Steifigkeit in Betracht gezogen werden, da diese nicht UV Strahlung ausgesetzt sind. Das ITI der TU-Wien ging auf die Erkenntnisse von Forschungsarbeiten ein und reichte ein Patent für eine L-förmige Koppelleiste ein, bei der mittels Klotzung noch höhere Lastabtragung als bei den bekannten HGV-Fassadenelementen möglich waren.

Dieser Entwurf hat nun versucht einen Hybrid aus HGV-Träger und Fassadenelement zu kreieren und diesen in einem Fallbeispiel exemplarisch darzustellen. Die umgesetzten Ideen sollen nicht als in Stein gemeißelt betrachtet werden, sondern als Anregung dienen um in diesem Forschungsbiet weiter Arbeit zu leisten und womöglich weitere Schwachstellen aufzuzeigen.

6.1 Entwurfskriterien

Es wurde bewusst entschieden den Entwurf an ein bestehendes Gebäude anzulehnen um eine mögliche Veränderung durch die Intervention und deren Auswirkung auf dieses Gebäude sichtbar machen zu können.

6.1.1 Bauplatz

Da das HGV-Element in der Fassade seine Wirkung hat, war es für diesen Entwurf wichtig die Möglichkeit zu haben, nicht nur an einer Fassade des Gebäudes eingesetzt werden zu können. Somit bietet der Bauplatz als Schlussstein einer gründerzeitlichen Gebäudereihe, die Möglichkeit an drei Seiten des Gebäudes HGV-Elemente anbringen zu können. Mit der Orientierung zum umliegenden parkartigen Grundstück im Osten und Nordwesten. Sowie der niedrigen gegenüberliegenden Bebauung im Südosten und der im rechten Winkel auf das Gebäude zulaufenden Straße im Süden, ist eine Belichtung auf allen Fassadenseiten möglich.

6.1.2 Statisches Grundkonzept

Da HGV-Systeme im Verhältnis zu einem herkömmlichen Stahlbetonkern weniger steif sind, wurde das statische Grundkonzept dahingehend abgeändert, dass nur noch die U förmigen Schächte für Haustechnik und das dahinterliegende Stiegenhaus in Beton vor Ort gegossen werden. Diese Zone stellt im Grundriss zu gleich den Brandabschnitt des Fluchttreppenhaus dar.

Unter herkömmlicher Betrachtung einer statischen Grundkonzeptionierung, wäre dieser Kern somit ungünstig angeordnet, da der Kern oder die aussteifenden Wände nur noch an einer Seite des Gebäudes vorhanden sind und nicht wie gewünscht in der Mitte des Gebäudes.

Diese aus konventioneller Sicht „ungünstige“ Anordnung wurde bewusst gewählt um auf die Eigenschaften des HGV-Systems eingehen zu können. Wie oben abgesprochen verfügt das

HGV-System über eine höhere Flexibilität und damit über eine geringere Steifigkeit als der Betonkern. HGV-Systeme brauchen auf Grund der Fügungstechnik von Glas und Holz durch den Klebstoff einige Millimeter Verschiebung um „statisch aktiv“ zu werden und Lasten dadurch abtragen zu können. Dies würde heißen, dass bei einer optimalen Anordnung des Betonkerns, die auftretenden Kräfte vom Betonkern abgetragen werden, bevor das HGV-System überhaupt erst aktiv werden würde.

Bei der statischen Anordnung im Entwurfsbeispiel, sollen die HGV-Elemente Wandscheiben über die gesamte Fassadenfläche ausbilden. Somit wird die nötige Aussteifung im statischen Gesamtkonzept über die drei Fassadenebenen aus HGV und dem seitlich anschließenden Betonkern erreicht.

Die Vertikallasten werden über Holzstütze im Innenraum und die Stützen in der Fassade abgeleitet. Diese Stützen in der Fassadenebene können sehr schlank ausgeführt werden, da diese von den HGV-Elementen gestützt werden und somit ein Ausknicken verhindert wird.

Konzeptionell wurde die Idee verfolgt, dass sich die HGV-Elemente in einem schachbrettartigen Muster in der Fassade geschoßweise überlappen. Dies soll ermöglichen, dass die horizontalen Kräfte von einem Element zum Nächsten abgetragen werden können. Somit soll in Anlehnung an eine „diagrid structure“ ein natürlicher Kräfteverlauf der horizontalen Lasten ins Erdreich geschehen. In der Decke sind über die gesamte Länge des Grundrisses KLH-Wandscheibenelemente als Deckenplatten eingebracht, die nicht nur die vertikalen Lasten über die darunter liegenden Stützen abtragen, sondern auch horizontal Lasten an den Betonkern weiterleiten.

6.1.3 Gestaltung des Grundriss

Die aus statisch konventioneller Sicht ungünstige Anordnung des Kernes, ist durchaus positiv für den Grundriss. Somit ist die Möglichkeit gegeben über alle Geschoße die Raumaufteilung frei zu bestimmen und zu wählen. Selbst die Nebenräume wie WCs können am Grundriss frei platziert werden, da über die abgehängten Decken und den doppeltem Boden alle Leitungen in die Haustechnickschächte bei dem Treppenhaus verzogen werden können.

6.1.4 Fassadenkonzept

Wie auch beim Vergleichsobjekt, wurde eine mehrschichtige Fassade bei diesem Gebäude angedacht. Diese soll mehrere Aufgaben erfüllen die in diesem Kapitel beschrieben werden. Der primäre Zweck dient der Möglichkeit einen thermischen Pufferraum zu schaffen und somit in der Übergangszeit Heizkosten zu sparen, wie auch in den Sommermonaten eine zusätzliche außenliegende Verschattung zu schaffen und einer Überhitzung vorzubeugen. Der Zwischenraum dient ebenfalls als zur Beherrschung der Raffstoren und schafft somit Schutz vor Wind und Wetter. Des weiteren sollen Sichtbeziehungen gelenkt und Einblicke von Außen verringert werden.

Die äußere Hülle der Fassade wird durch horizontale Glaslamellen gebildet, die sich je nach Sonnenstand und Witterung öffnen oder schließen können. Dies schafft somit ein gestalterisch gewolltes Spiel in der Fassade und lockert die klaren Linien des Gebäudes auf. Bei der Süd- und Ost- Fassade werden diese Glaslamellen mit gebäudeintegrierter Photovoltaik Zellen bestückt. Die 125mm x 125mm großen Mono-Kristall-Silicium Zellen werden in einem Abstand von 25mm zwischen zwei Glasscheiben laminiert. Dies hat den Grund, dass bei dieser Zusammenstellung das meiste Licht in den dahinter liegenden Innenraum eindringen kann und zugleich eine maximale Energieausbeute gewährleistet ist. Um im Sommer eine maximale Stromausbeute zu generieren, können die Paneele wie oben beschrieben aufgeklappt werden. Dies hat für die PV- Zellen den Vorteil, dass diese die Wärme die beim Prozess der

Stromerzeugung in einer PV Zelle entsteht, über Konvektion abgeben können. Aufgrund des Stellungswinkel kann eine noch größere Verschattung für die dahinter liegende Fassade erreicht werden. Die Sichtbeziehungen von Innen nach Außen verändern sich je nachdem ob die Lamellen geöffnet oder geschlossen sind.

Wie einleitend beschrieben, soll die Fassade in der Übergangszeit Wärme generieren und eine Pufferzone schaffen. Dies geschieht wenn die Lamellen geschlossen sind und die Sonne tief steht. Einerseits soll sich über den Glashauseffekt der Zwischenraum aufwärmen, wie auch die PV-Zellen generieren bei dem Prozess der Stromerzeugung Abwärme, die in diesem Fall erwünscht ist. Die Pufferzone ermöglicht ein aufsteigen der erwärmten Luft über die gesamte Fassade und soll am höchsten Punkt abgesaugt werden um die Wärme über eine Wärmetauscher Rückzugewinnen.

Mit der angedachten Eigenschaft eine klimatische Pufferzone zu schaffen, soll der Taupunkt in den kalten Monaten außerhalb der ersten Fassadenebene verschoben werden, in der sich auch die HGV-Fassadenelemente befinden.

Um diese HGV-Fassadenelemente in einem Schadensfall austauschen zu können, wird die mehrschichtige Fassade in einer Art Kastenbausatz vor die Fassade gehängt und kann dementsprechend auch wieder demontiert werden.

6.1.5 Haustechnik – Lüftung

Dank der schachbrettartigen Anordnung der HGV-Elemente in der Fassade gibt es nach wie vor die Möglichkeit Fensterelemente zu integrieren. Diese können natürlich vom Nutzer geöffnet werden und sollen zum Wohlbefinden beitragen. Da der Deckenaufbau einen doppelten Boden sowie eine abgehängt Decke vorsieht, ist genügend Raum für haustechnische Installationen vorgesehen. Diese werden über die Betonschächte vom Dach bis zum Keller zur Haustechnikzentrale geführt. Da beim Deckenaufbau außer in der Fassade auf Unterzüge verzichtet wurde, können die Installationen in den Ebenen ungehindert verteilt werden.

Wie auch bei dem Vergleichsobjekt könnte eine zusätzliche Nachtlüftung mit den Gegebenheiten realisiert werden. Unter den Fenstern bietet die Konstruktion der Fassade Platz, dezentrale Lüftungsgeräte anzubringen. Über diese könnte in der Nacht kalte Luft in den Innenraum eingebracht werden und die warme Luft in der Mittelzone über die Lüftungsanlage abgesaugt werden.

Ob bei der Fassade zusätzliche Bodenkollektoren angebracht werden müssen, wurde in diesem Entwurf nicht erörtert, aber auch hier würde der Deckenaufbau diese Möglichkeit bieten.

6.1.6 Fassadengestaltung

Die Fassadenelemente aus vorvergrautem Holz mit den vorgesetzten Lamellen prägen das Erscheinungsbild der Fassade. Je nach Sonnenstand werden die Lamellen geöffnet oder geschlossen. Die Lamellen vor den Fenstern sind von den Nutzern nach persönlichem Empfinden zu öffnen und zu schließen. Die Lamellen auf der Süd und Ost Fassade vor den HGV-Elementen sind mit PV-Zellen bestückt und die vor den Fenstern nicht. Bei geschlossenem Zustand der Lamellen wird ein Anschein einer klassischen Lochfassade erweckt und das Gebäude kann sich in den Gründerzeitlichen Kontext eingliedern. Die Raffstoren sollen je nach Sonneneinstrahlung geöffnet und geschlossen werden, wobei eine Übersteuerung durch den Nutzer möglich sein muss. Diese bildet als Gesamtkonzept viele Bespieglungsmöglichkeiten, diese Fassade zum Leben zu erwecken.

6.2 Entwurf

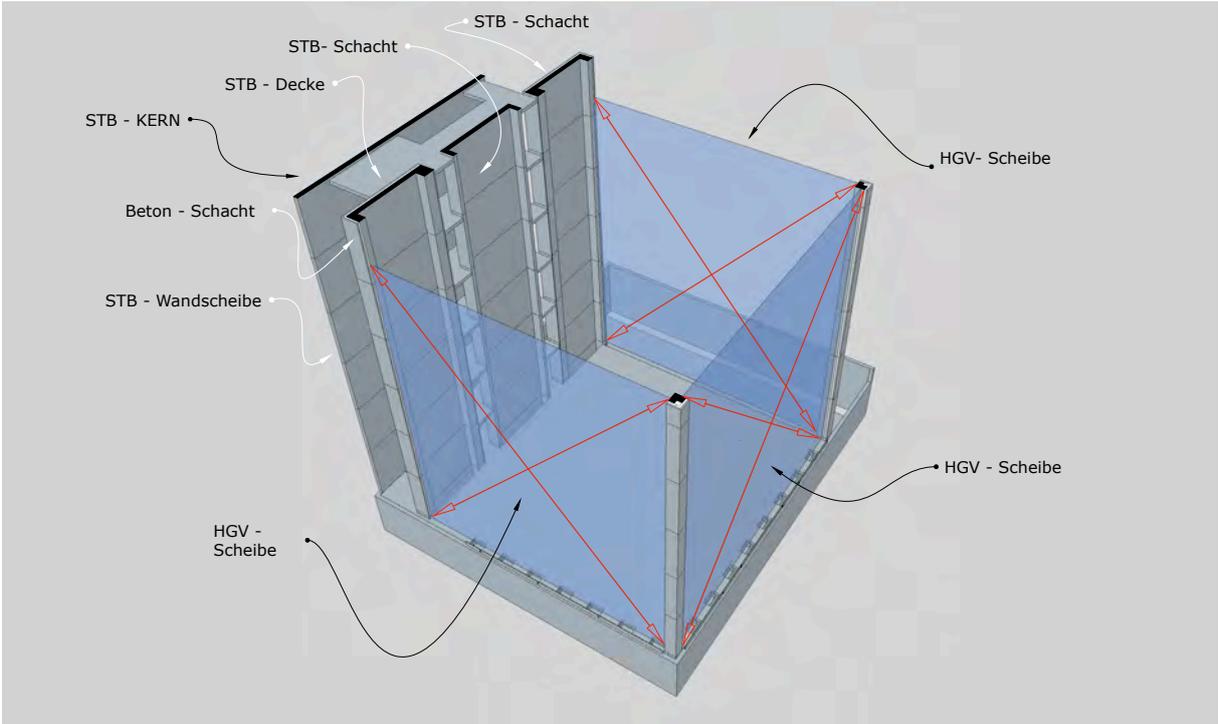
Julian Heresch
Matr. Nr.: 0730183
Wien; Mai 2016



KONZEPT - STATIK

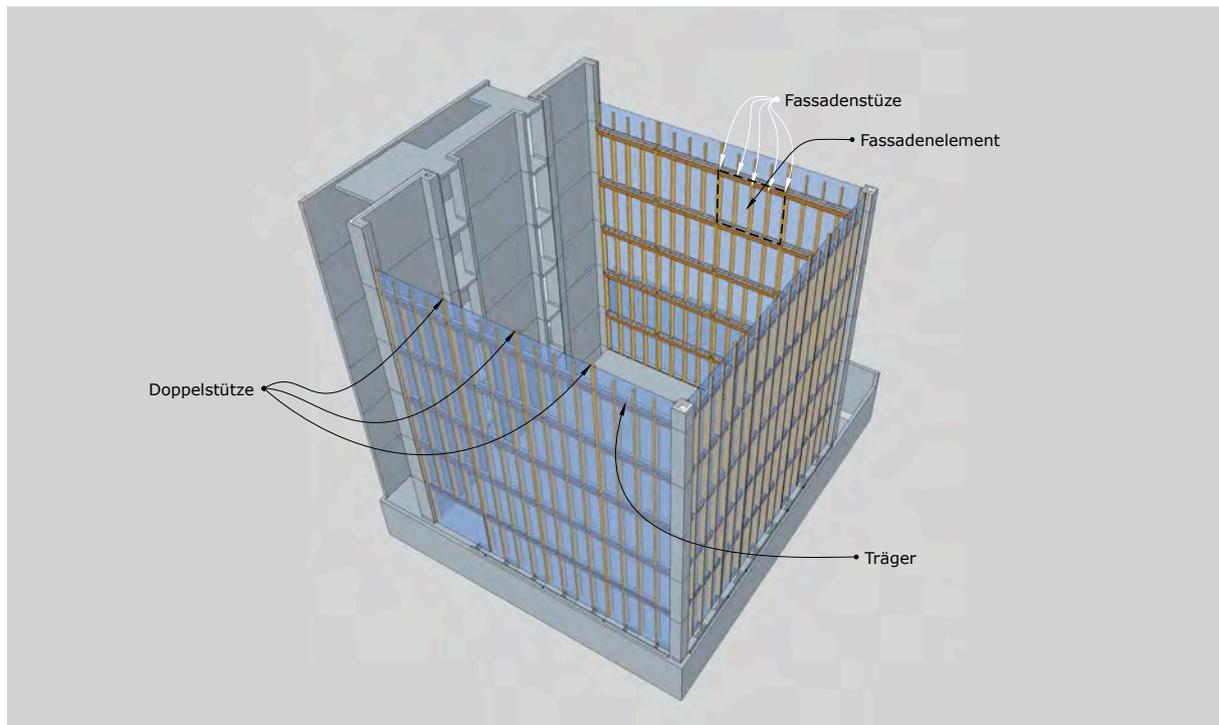


VOGELPERSPEKTIVE MIT NACHBARBEBAUUNG

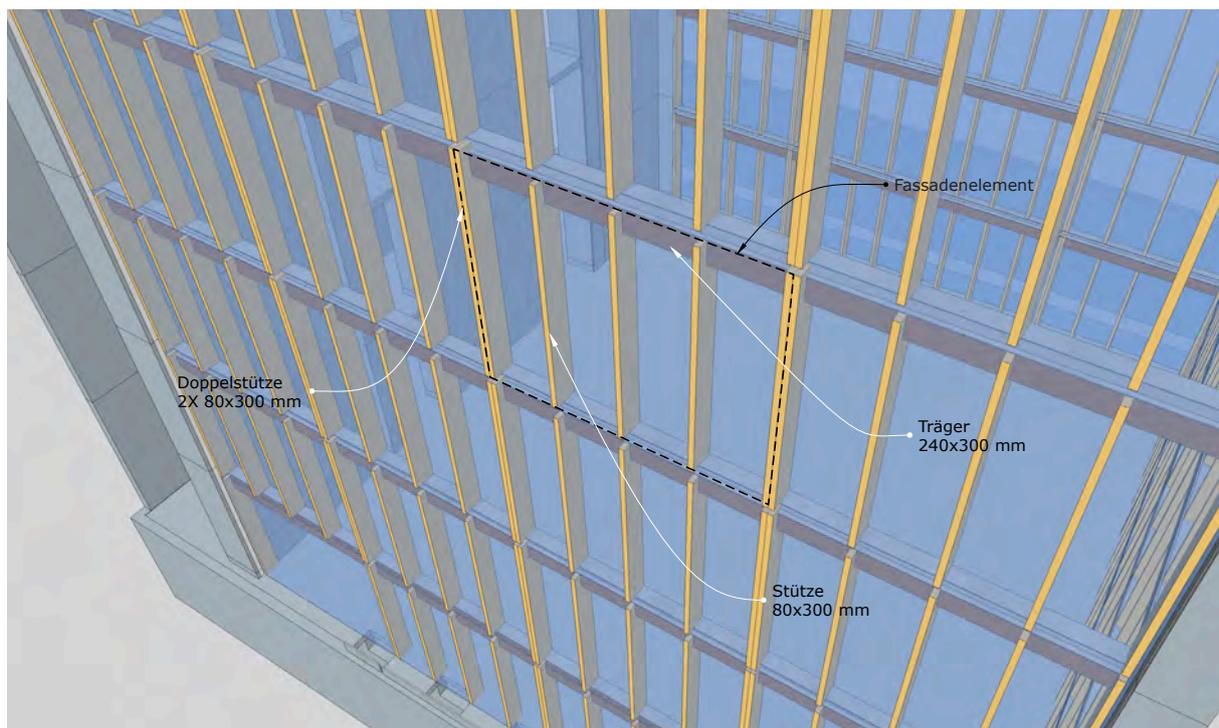


STATISCHES GRUNDKONZEPT

AUFBAU - HGV - FASSADENELEMENT / SCHEIBENWIRKUNG

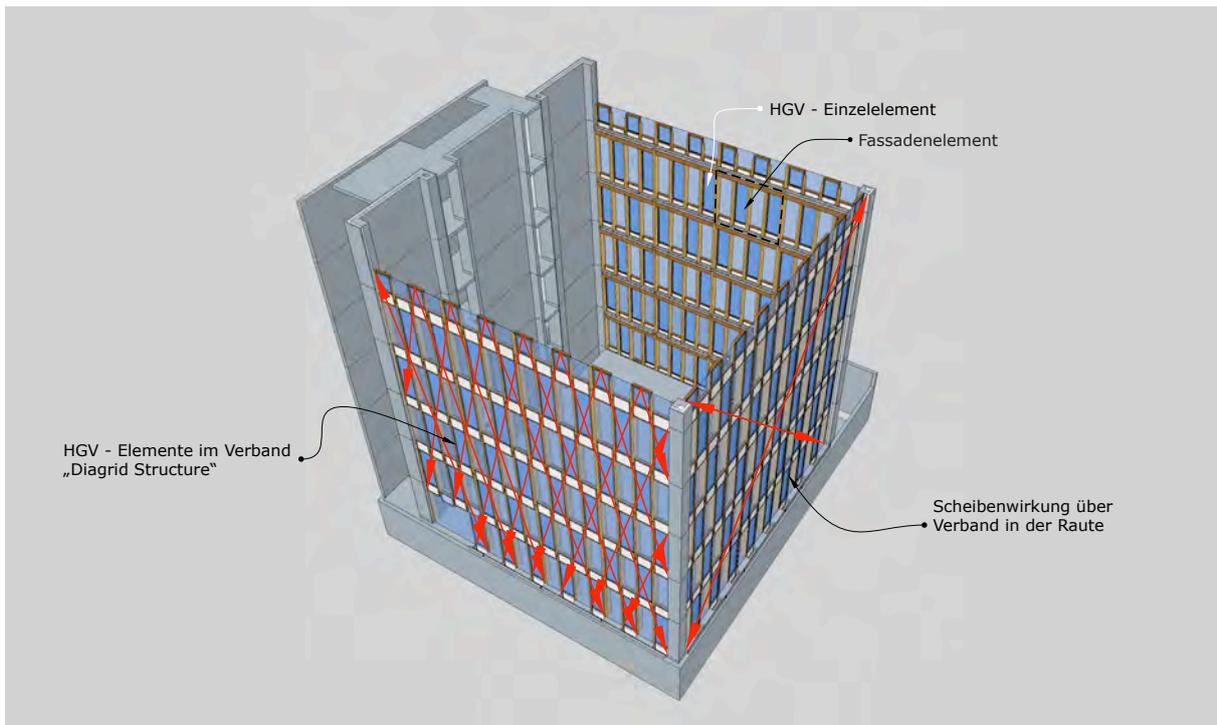


STÜTZEN IN DER FASSADENEBENE

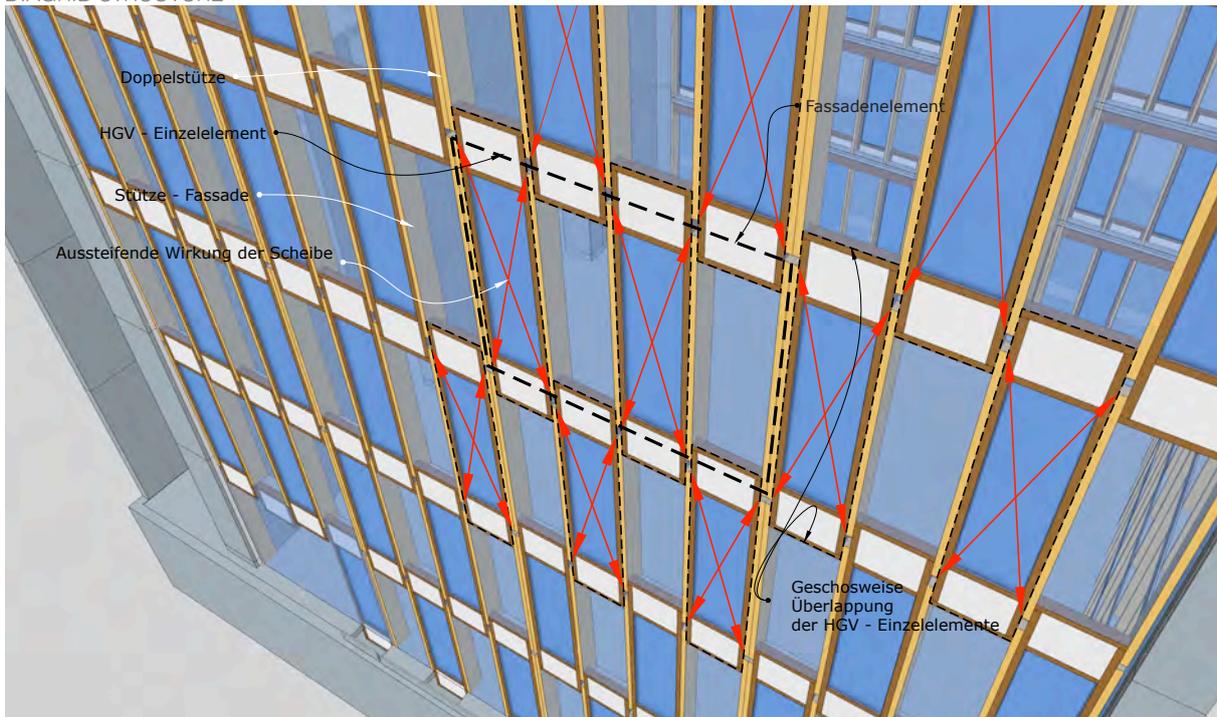


STÜTZEN IN DER FASSADENEBENE

AUFBAU - HGV - FASSADENELEMENT / SCHEIBENWIRKUNG

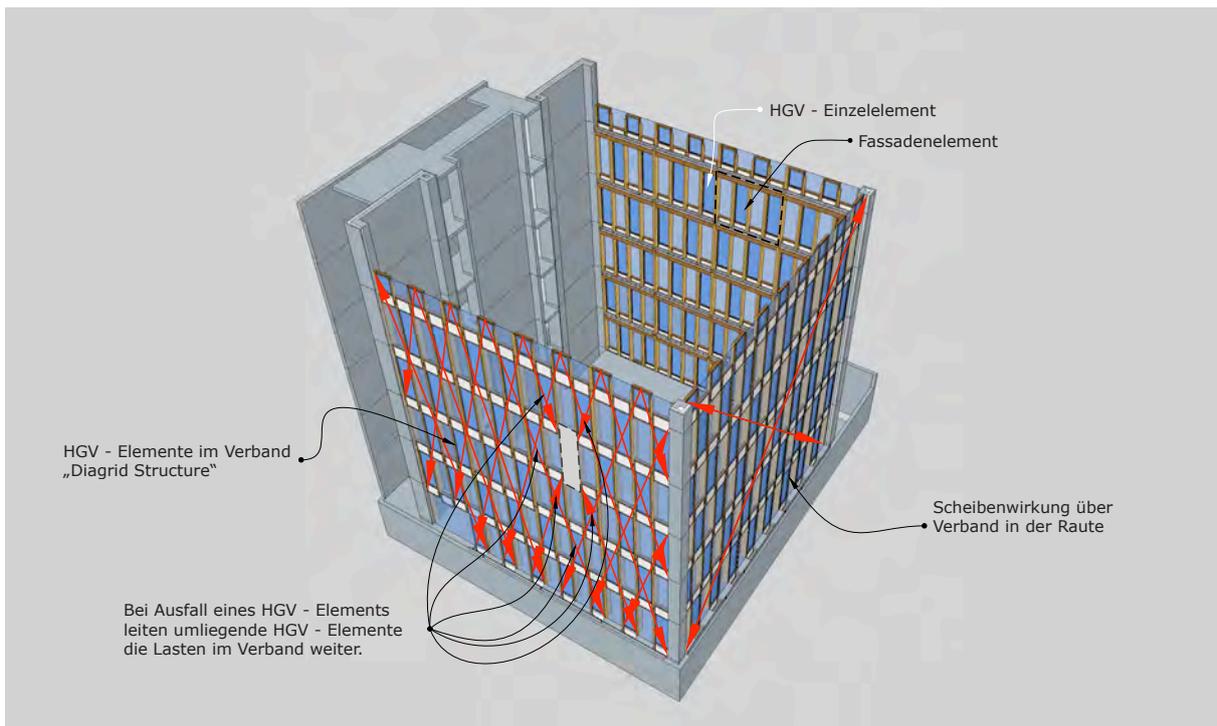


HGV - ELEMENT IM VERBAND - DIAGRID STRUCTURE

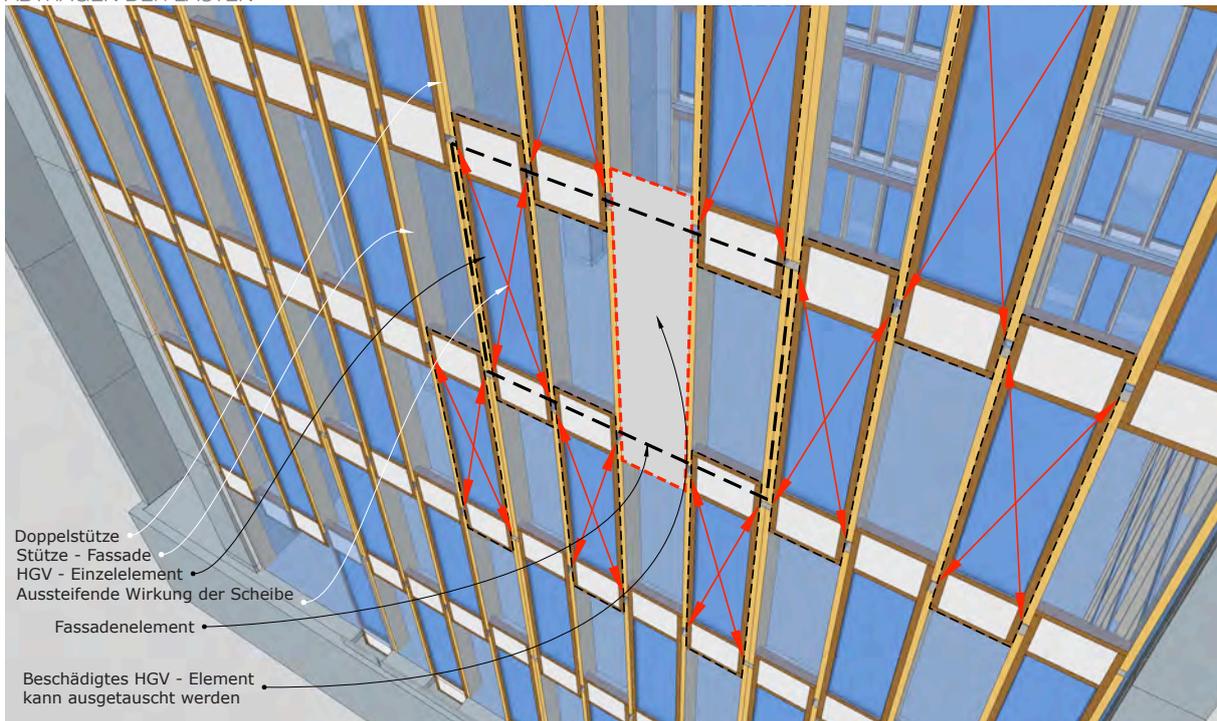


HGV ELEMENT ÜBERLAPPEND ANGEORDNET

AUSTAUSCH EINES HGV - ELEMENTS

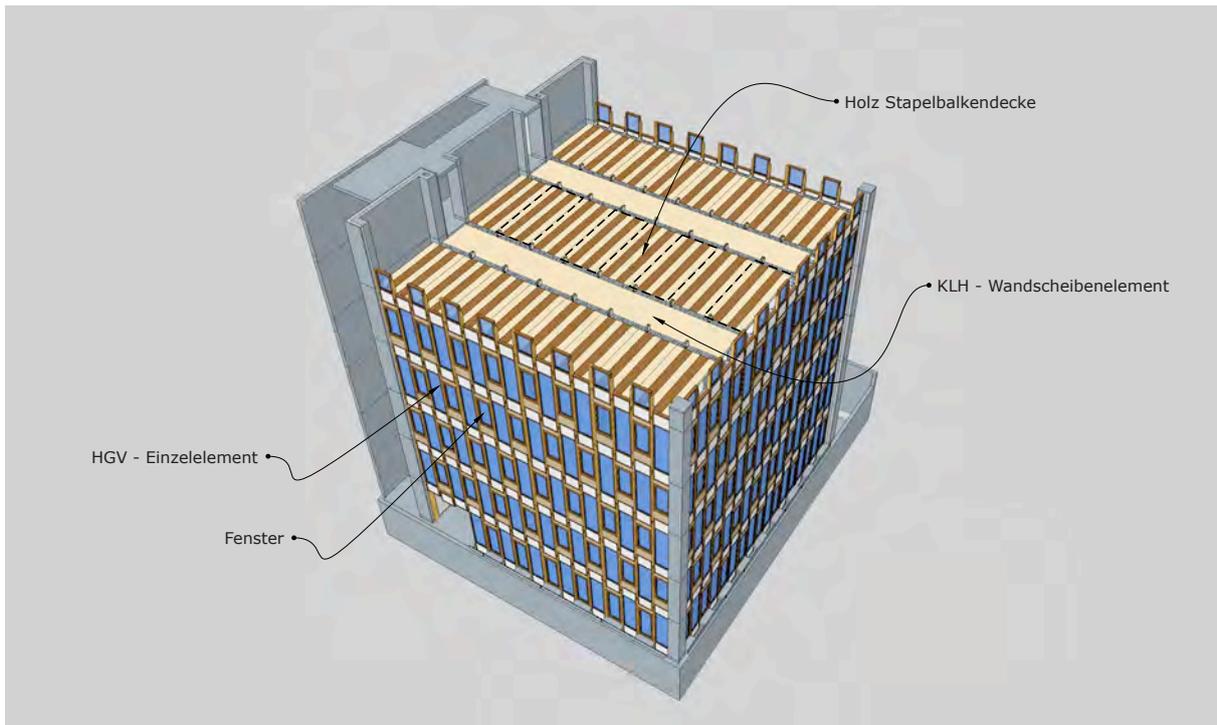


VERBAND IN DER RAUTE GEWÄHRLEISTET DAS ABTRAGEN DER LASTEN

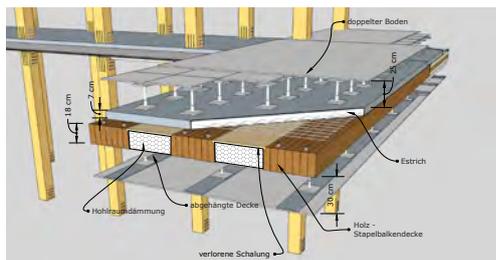


DIE ANORDNUNG UND DER FASSADENAUFBAU LÄSST DEN AUSTAUSCH EINES HGV - ELEMENTS IM SCHADENSFALL ZU

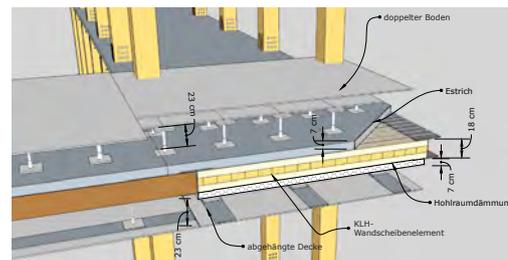
TRAGWERKSMODELL



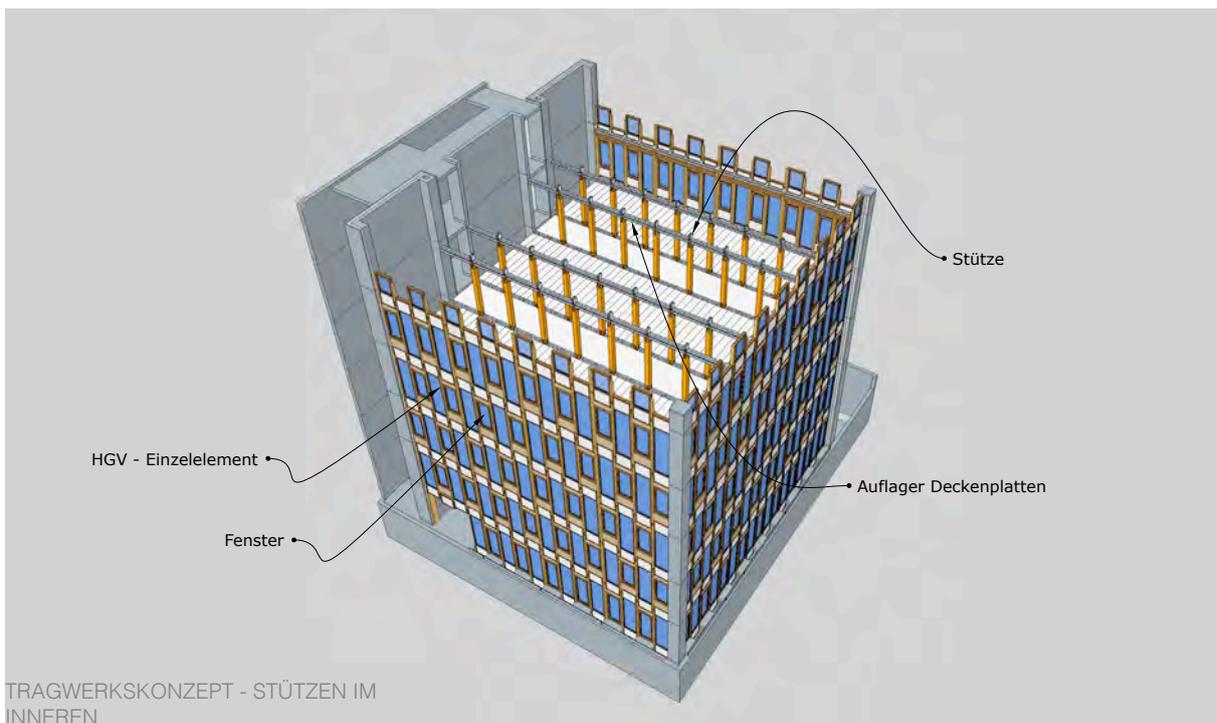
TRAGWERKSKONZEPT - DECKENPLATTEN



HOLZ - STAPELBALKENDECKE

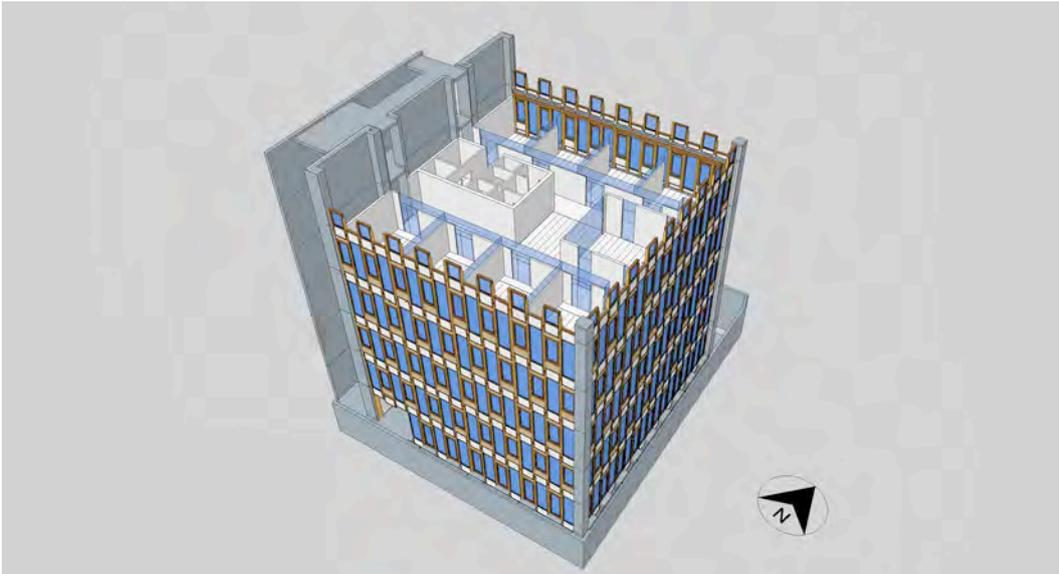


KLH - WANDSCHEIBE

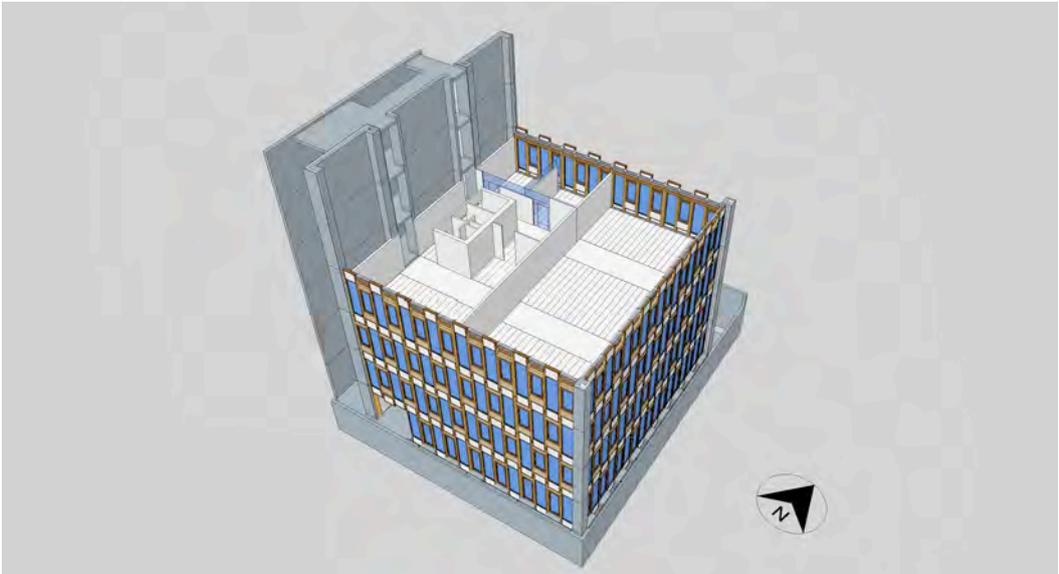


TRAGWERKSKONZEPT - STÜTZEN IM INNEREN

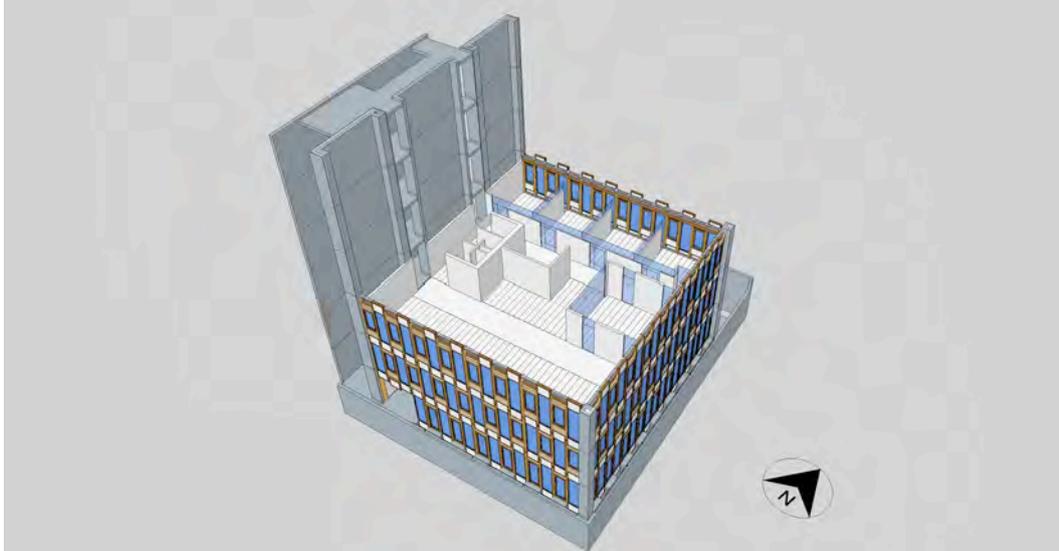
FELXIBILITÄT IM GRUNDRISS



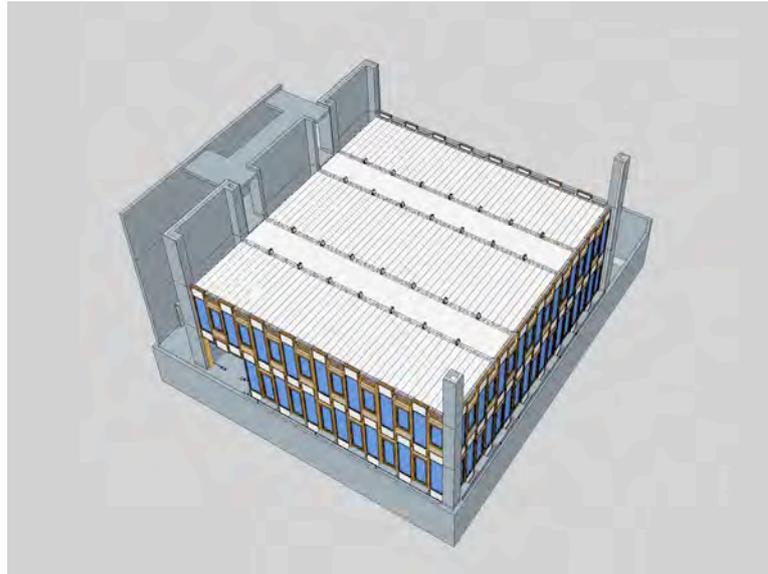
RAUMTEILUNG 4. OG



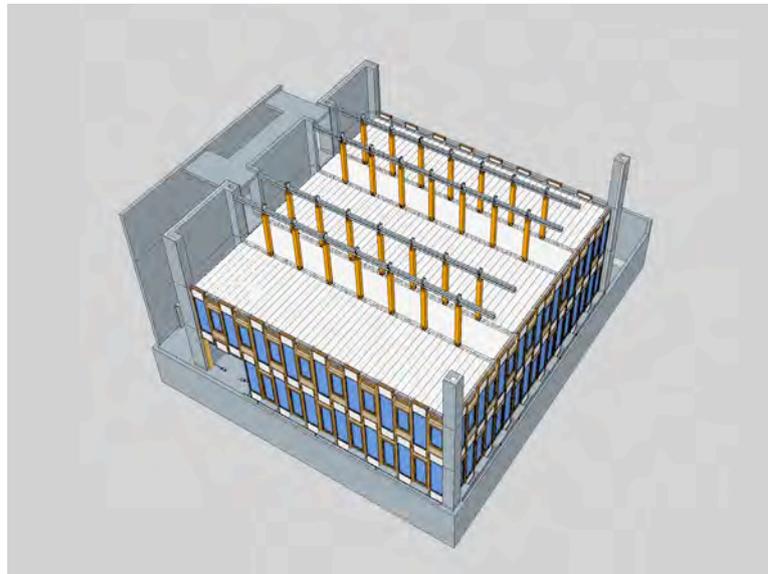
RAUMTEILUNG 3. OG U. 2.OG



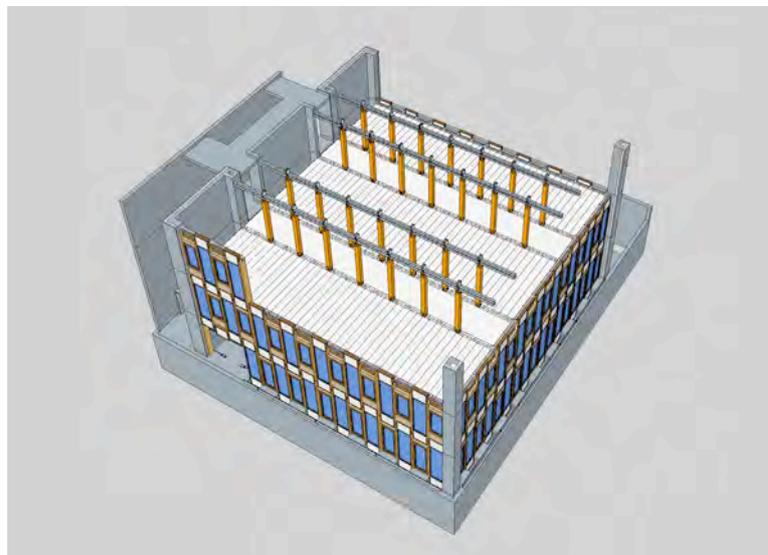
SCHEMA - BAUABLAUF - TRAGWERK



BETONELEMENTE WERDEN VOR ORT GEGOSSEN

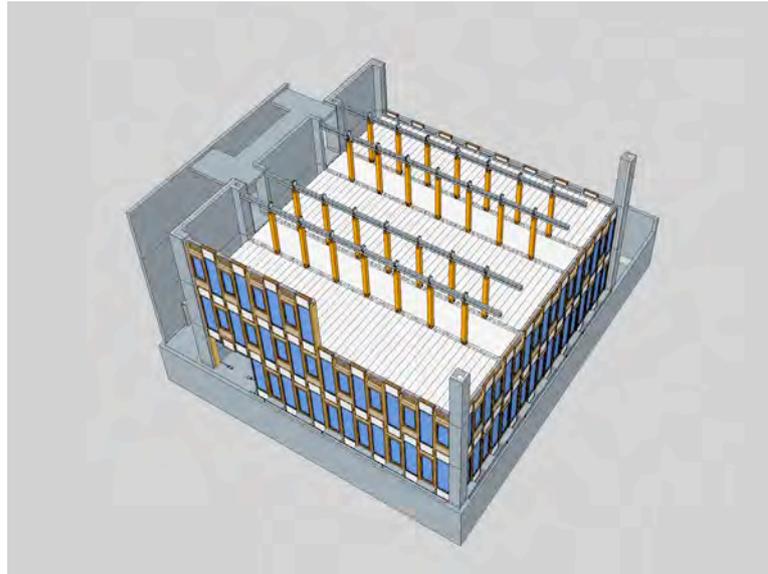


AUFSTELLEN DER STÜTZEN IM INNEREN

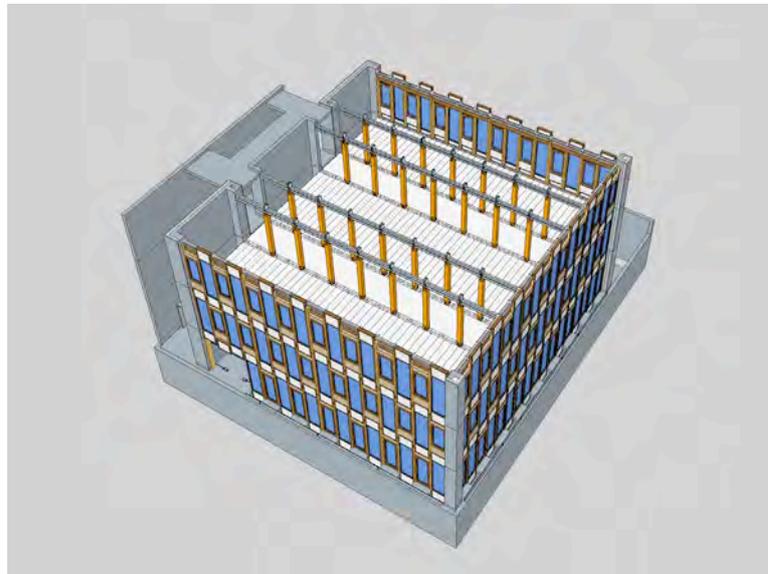


EINSETZEN DER FASSADENELEMENTE

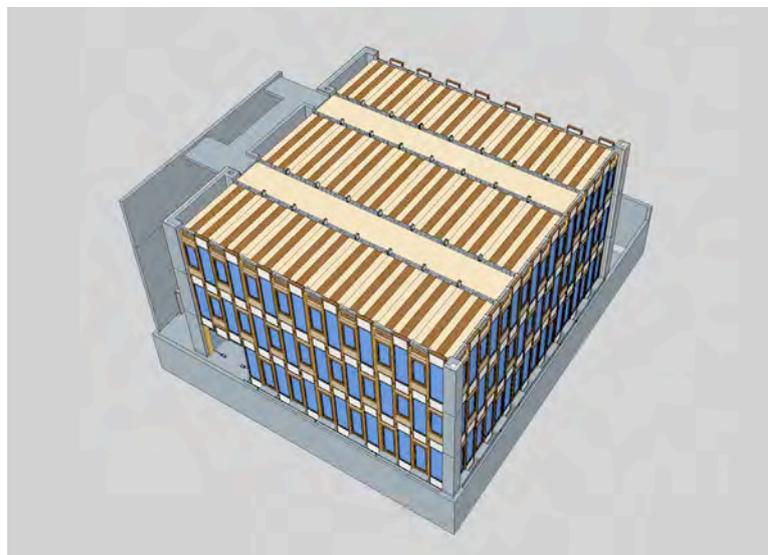
SCHEMA - BAUABLAUF - TRAGWERK



ANBRINGEN DER FASSADENELEMENTE

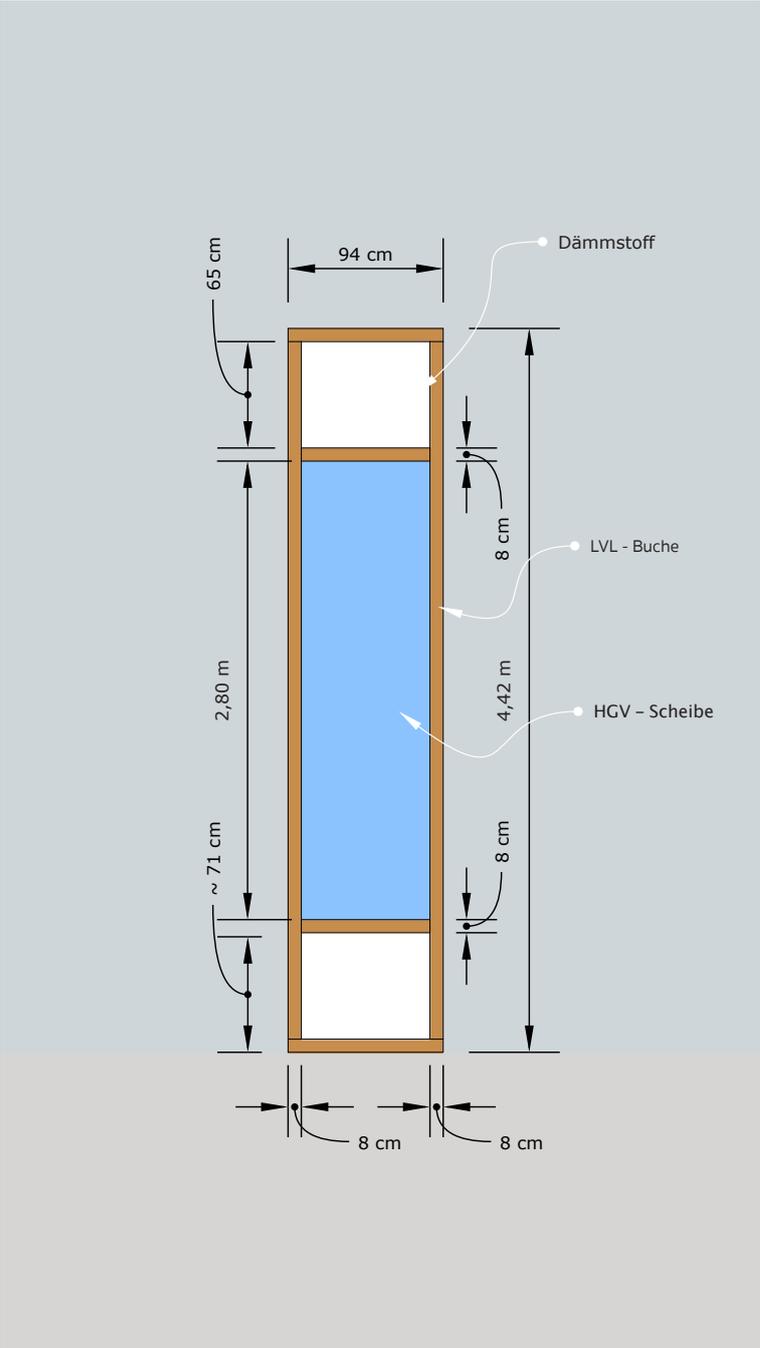


ANBRINGEN DER DECKENELEMENTE



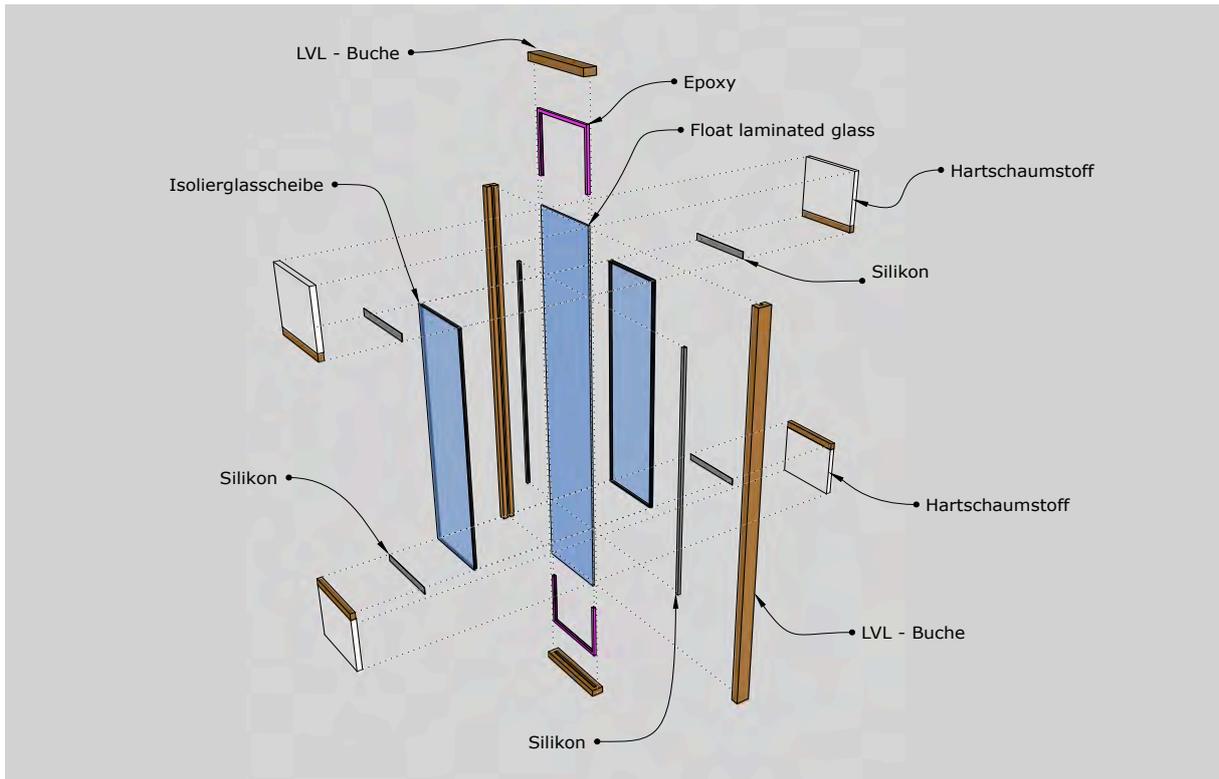
FERTIGES GESCHOß

HGV - ELEMENT

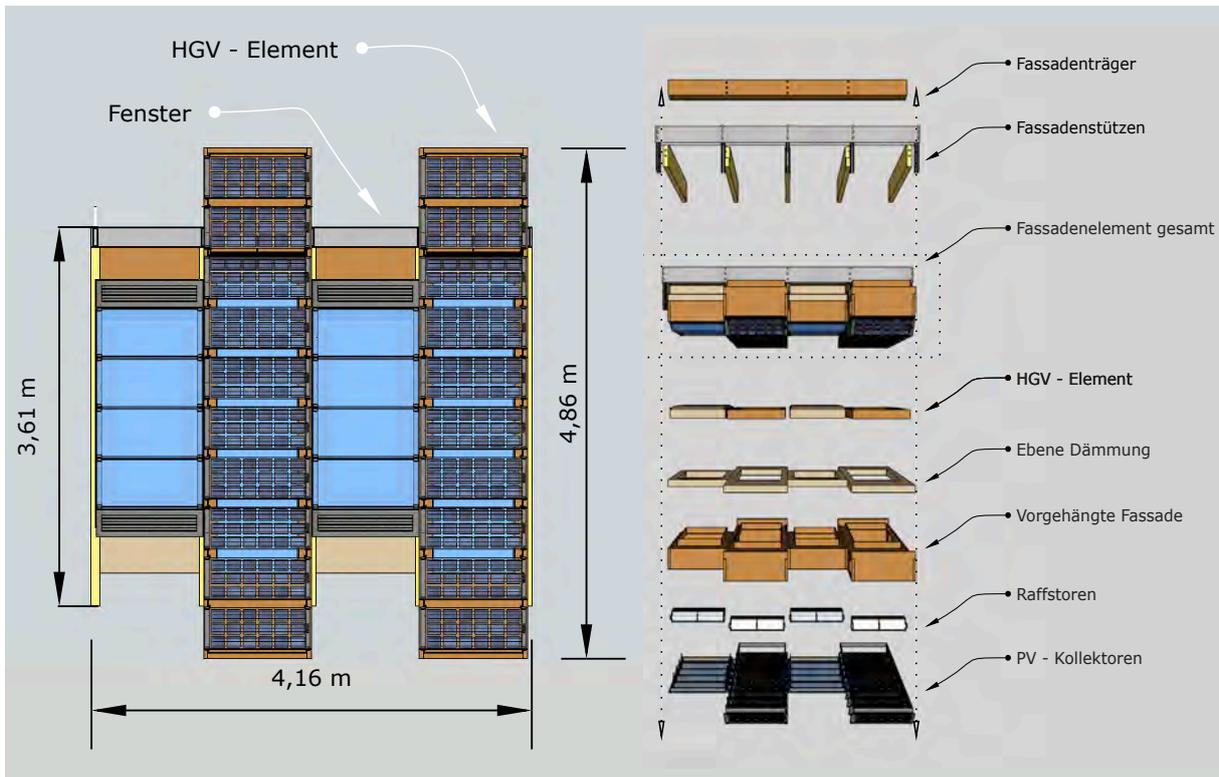


HGV - ELEMENT FRONTAL

HGV - ELEMENT UND FASSADENELEMENT



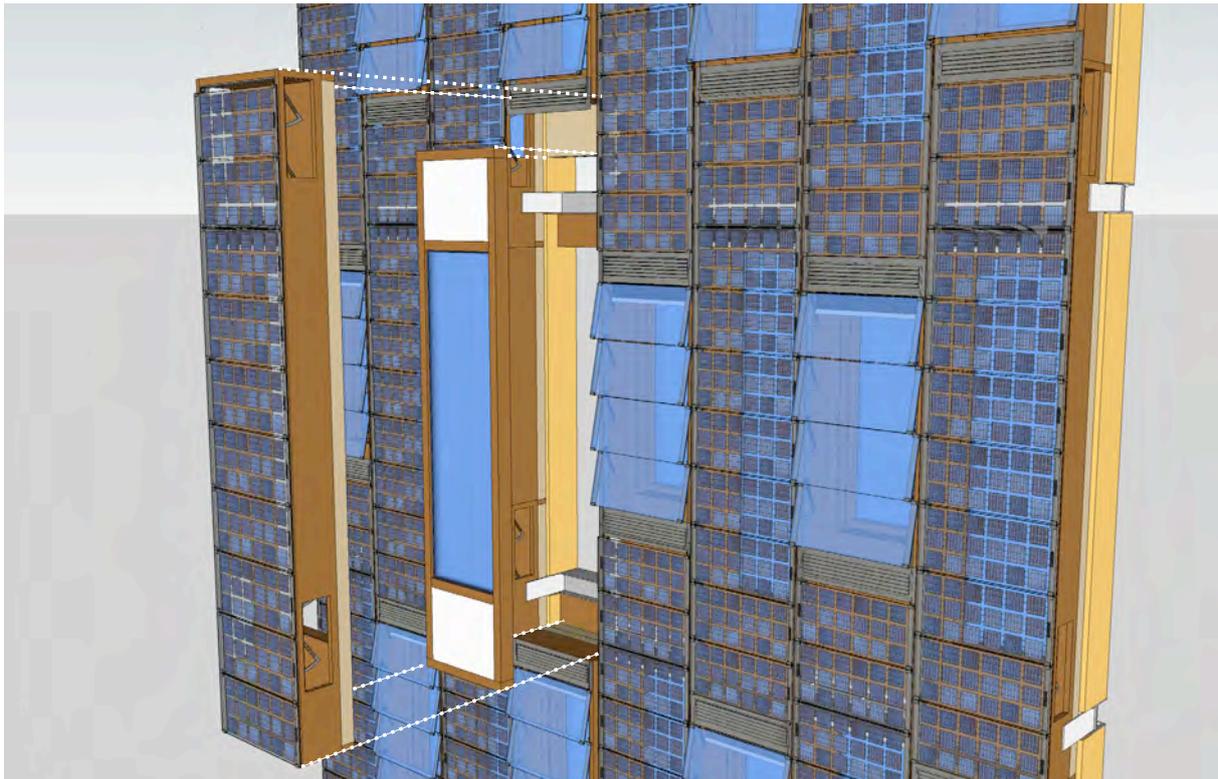
EXPLOSIONSDARSTELLUNG
HGV - ELEMENT



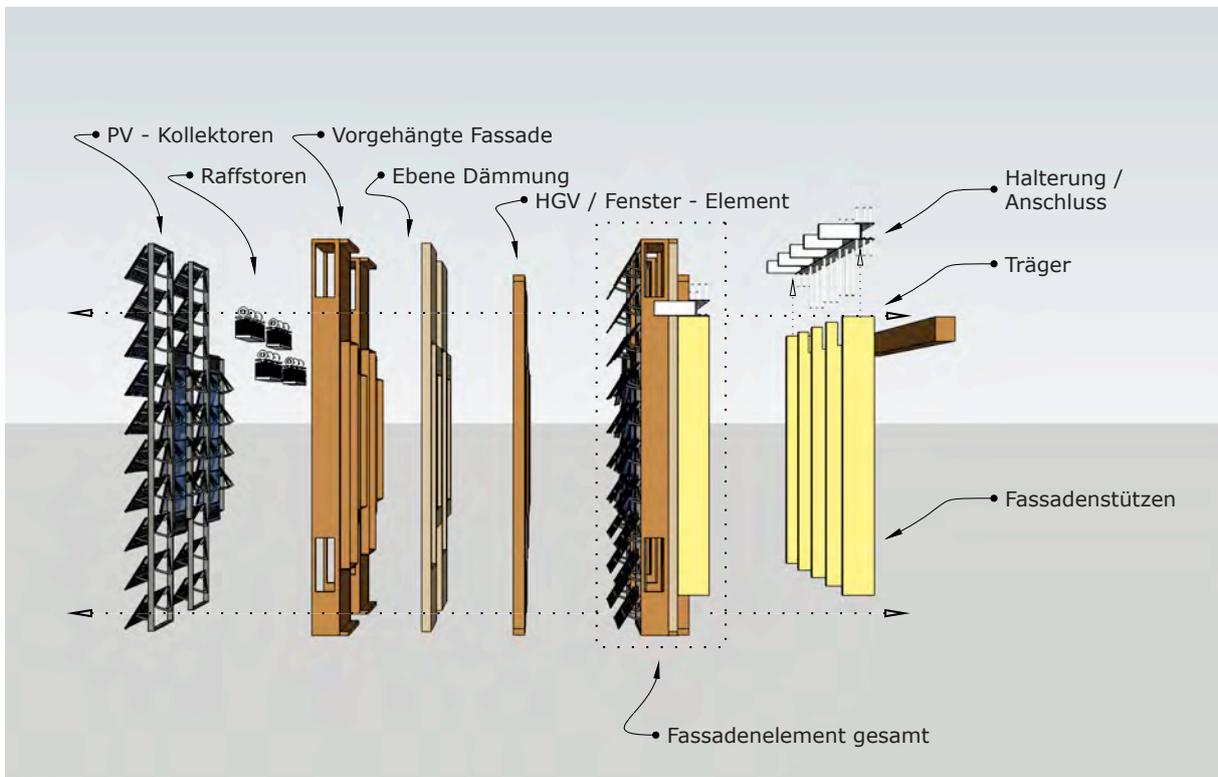
FASSADENELEMENT FRONTAL

ANSICHT OBEN - BAUTEILE FASSADENELEMENT
EXPLOSIONSDARSTELLUNG

HGV - ELEMENT INTEGRIERT IN DER FASSADE

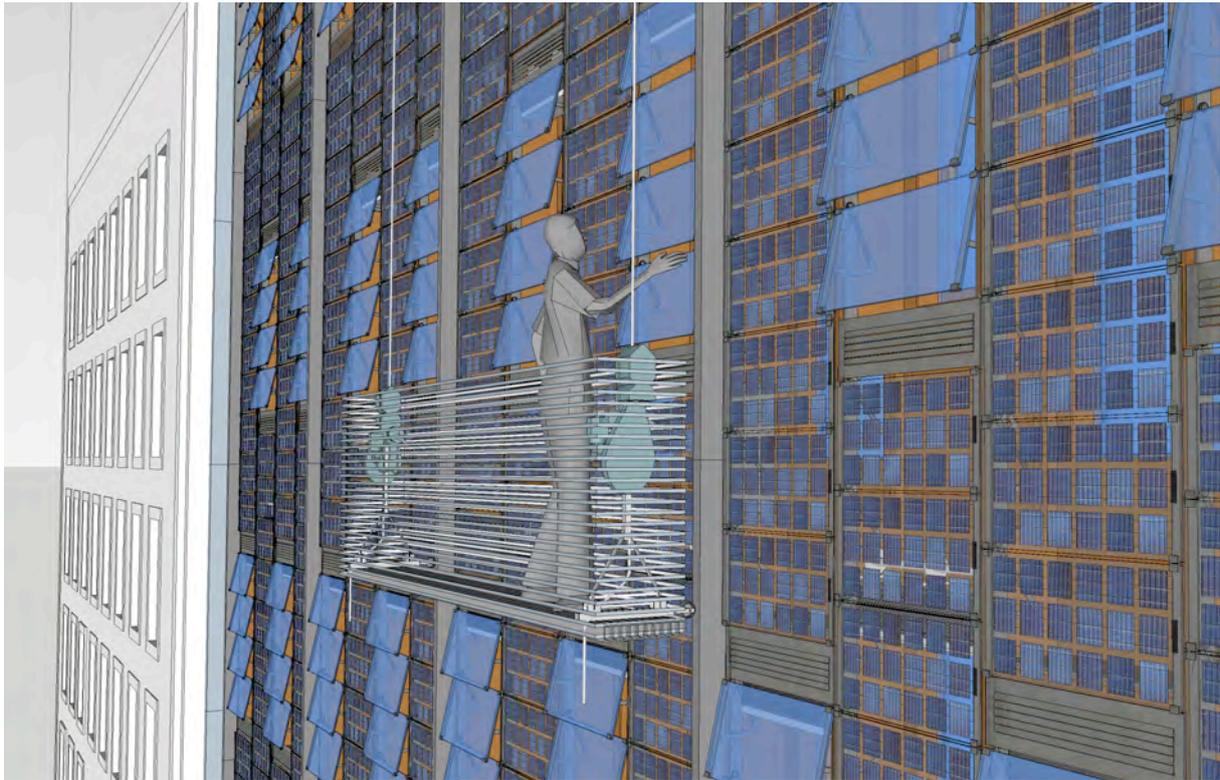


AUFBAU / AUSTAUSCH HGV - ELEMENT IN EINEM FASSADENELEMENT

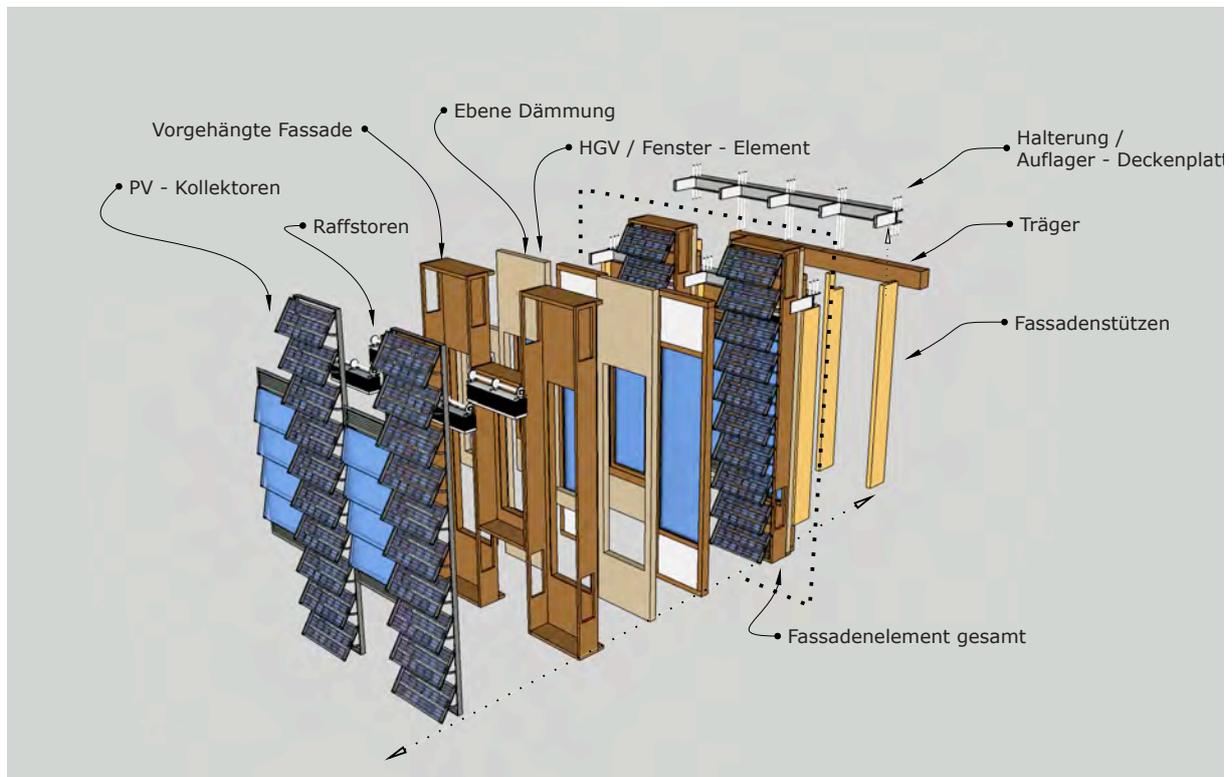


EXPLOSIONSDARSTELLUNG
SEITENANSICHT - BAUTEILE FASSADENELEMENT

REINIGUNG DER FASSADE / HGV - ELEMENT IM FASSADENELEMENT

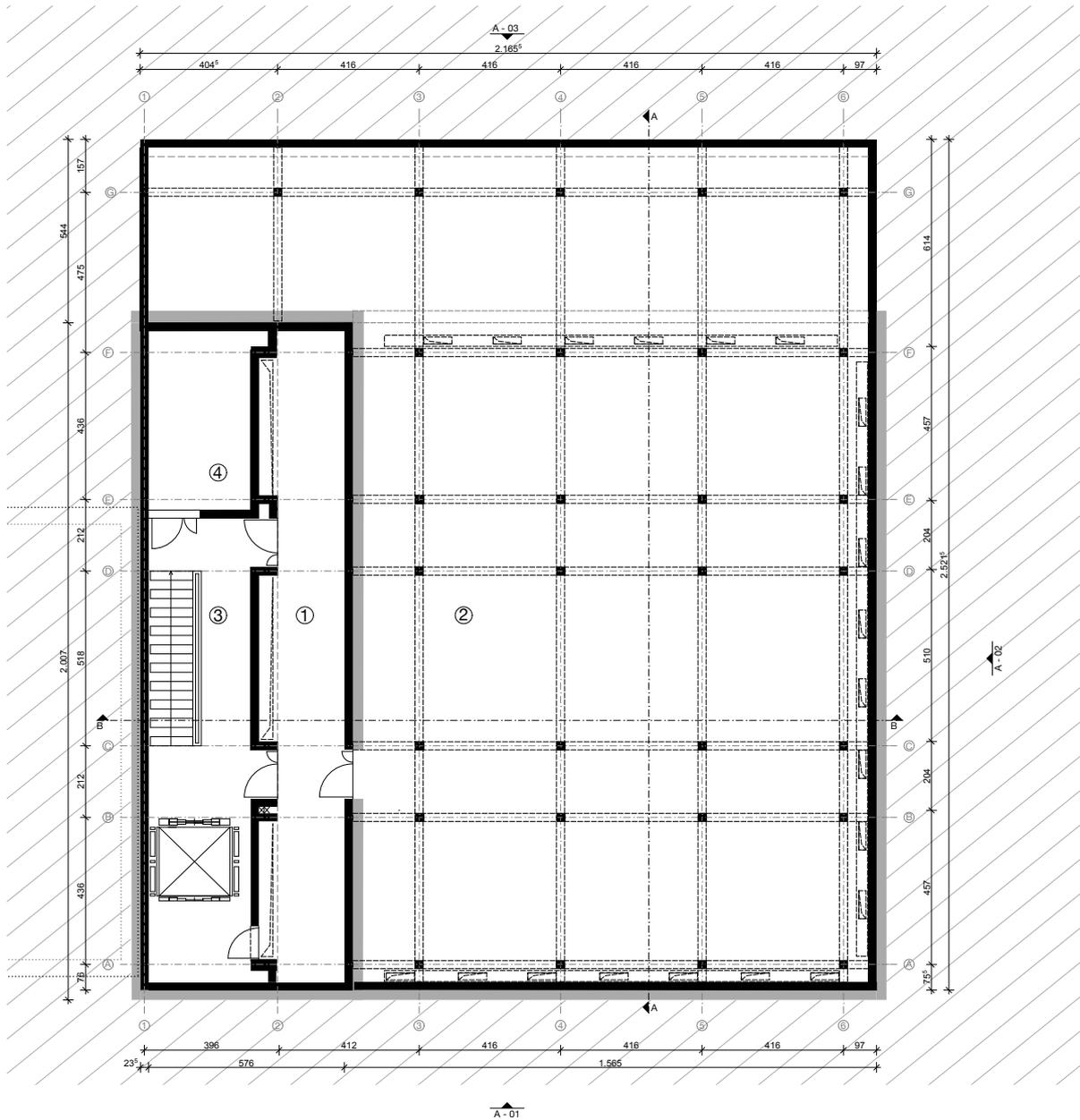


REINIGUNG UND WARTUNG DER FASSADE



EXPLOSIONSDARSTELLUNG
PERSPEKTIVE - BAUTEILE FASSADENELEMENT

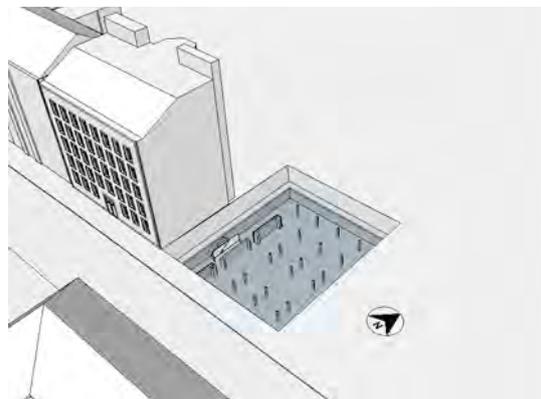
GRUNDRISS



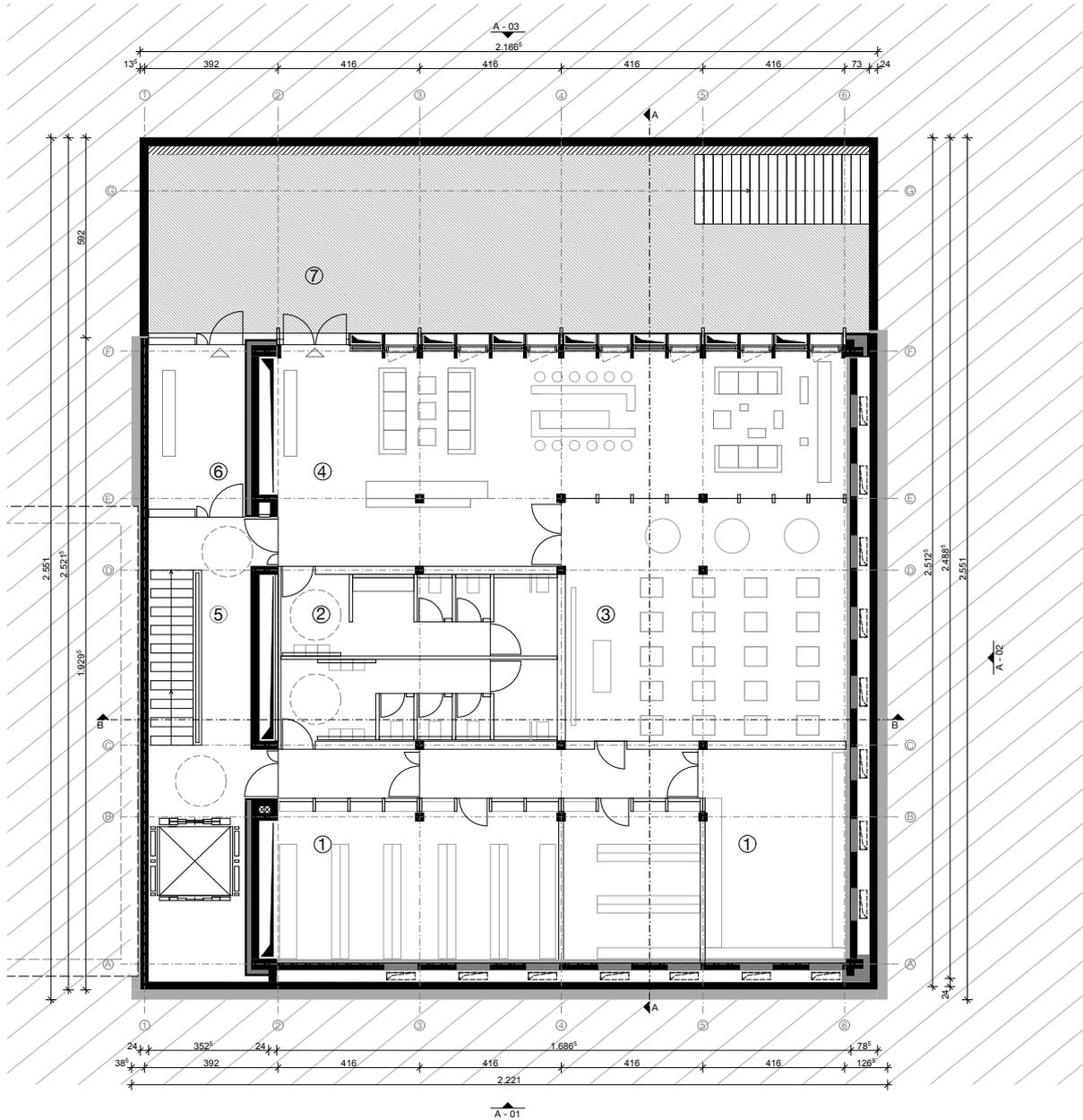
-2 Haustechnik / Qanat

M 1:200

- ① Haustechnik
- ② Qanat
- ③ Treppenhaus
- ④ Facility - Management
- ⑤ Liftraum



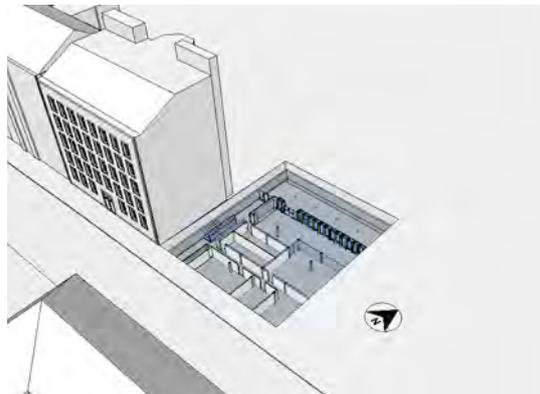
GRUNDRISS



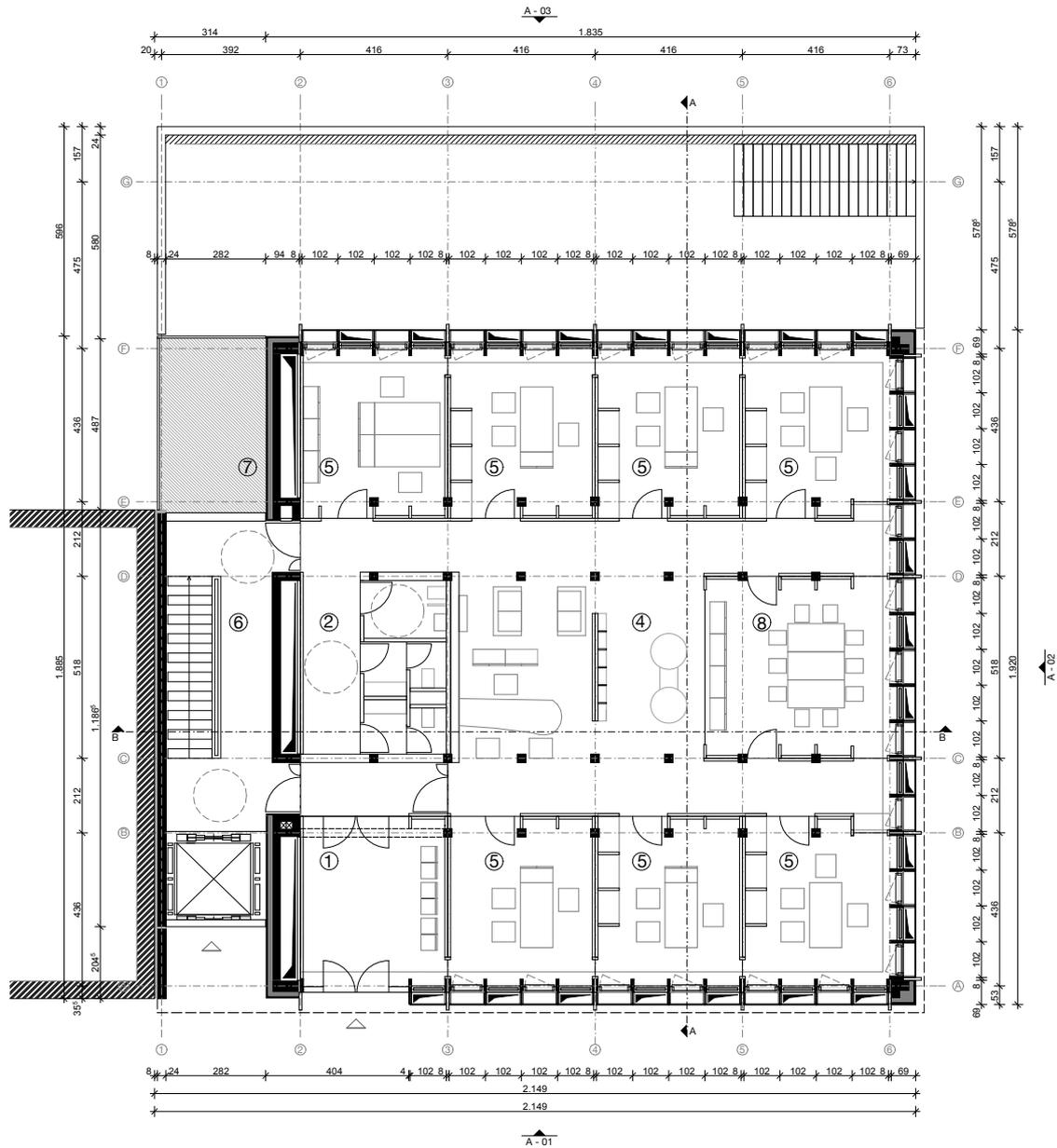
-1 Lager / Lounge

M 1:200

- ① Lager
- ② Toiletten
- ③ Vortragsraum
- ④ Lounge
- ⑤ Treppenhaus
- ⑥ Smokers - Paradise
- ⑦ Hof



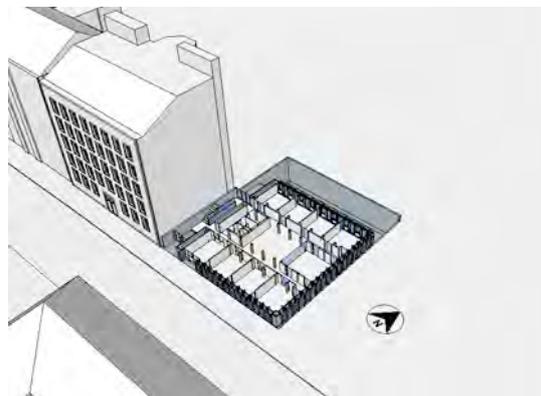
GRUNDRISS



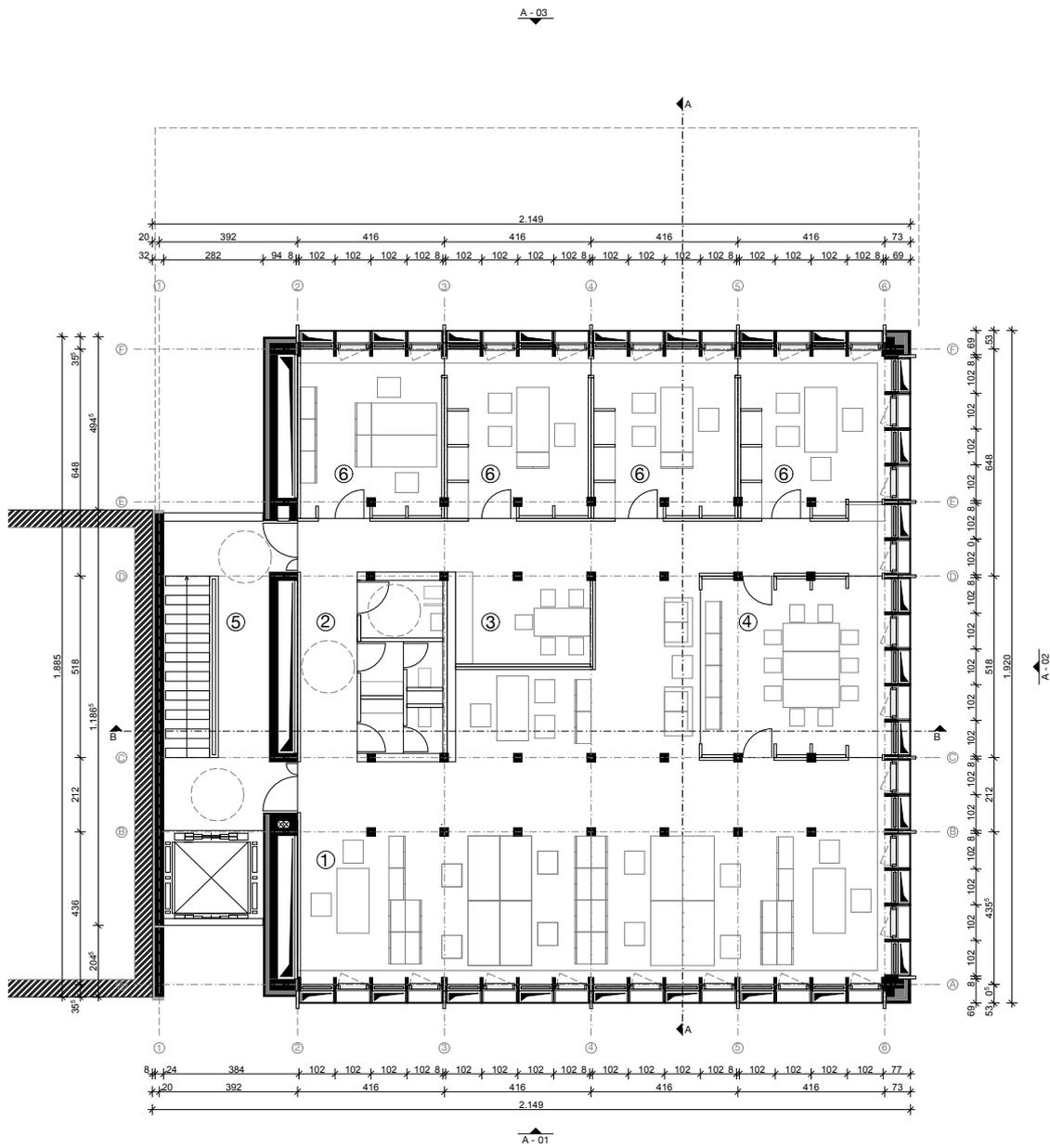
0 EG.

M 1:200

- ① Windfang
- ② Toiletten
- ③ Foyer
- ④ Point of Welcome
- ⑤ Büro
- ⑥ Treppenhaus
- ⑦ Balkon
- ⑧ Besprechung



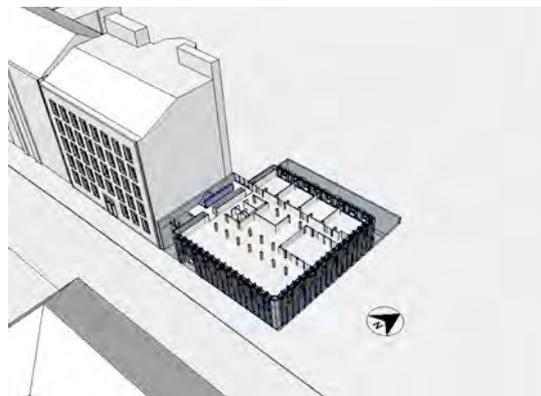
GRUNDRISS



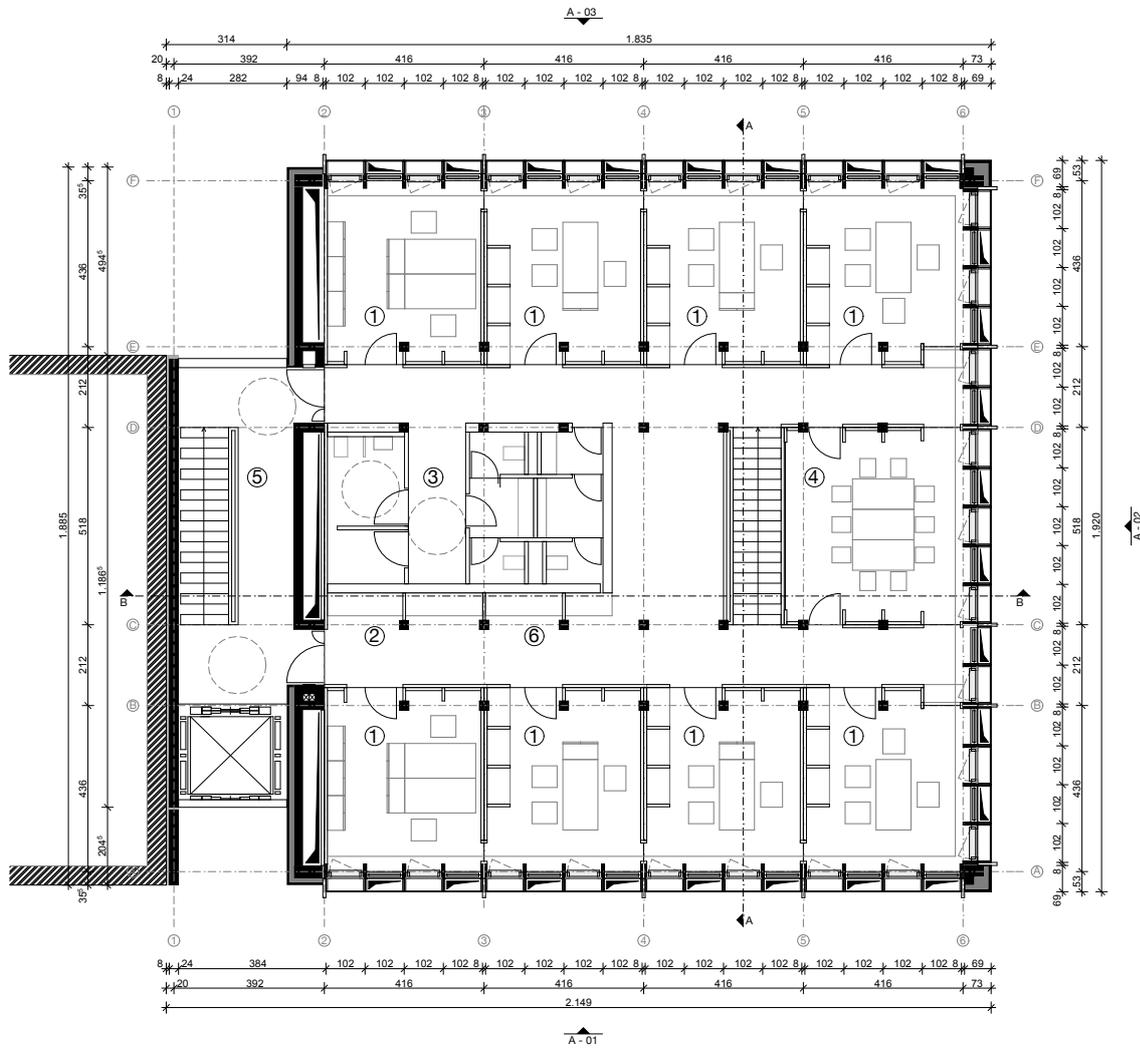
1. OG.

M 1:200

- ① Großraumbüro
- ② Toiletten
- ③ Foyer
- ④ Besprechung
- ⑤ Treppenhaus
- ⑥ Büro



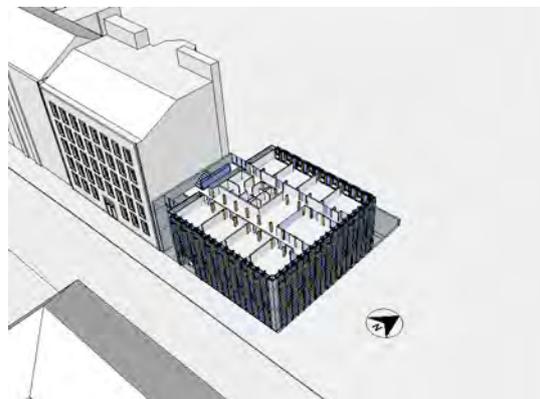
GRUNDRISS



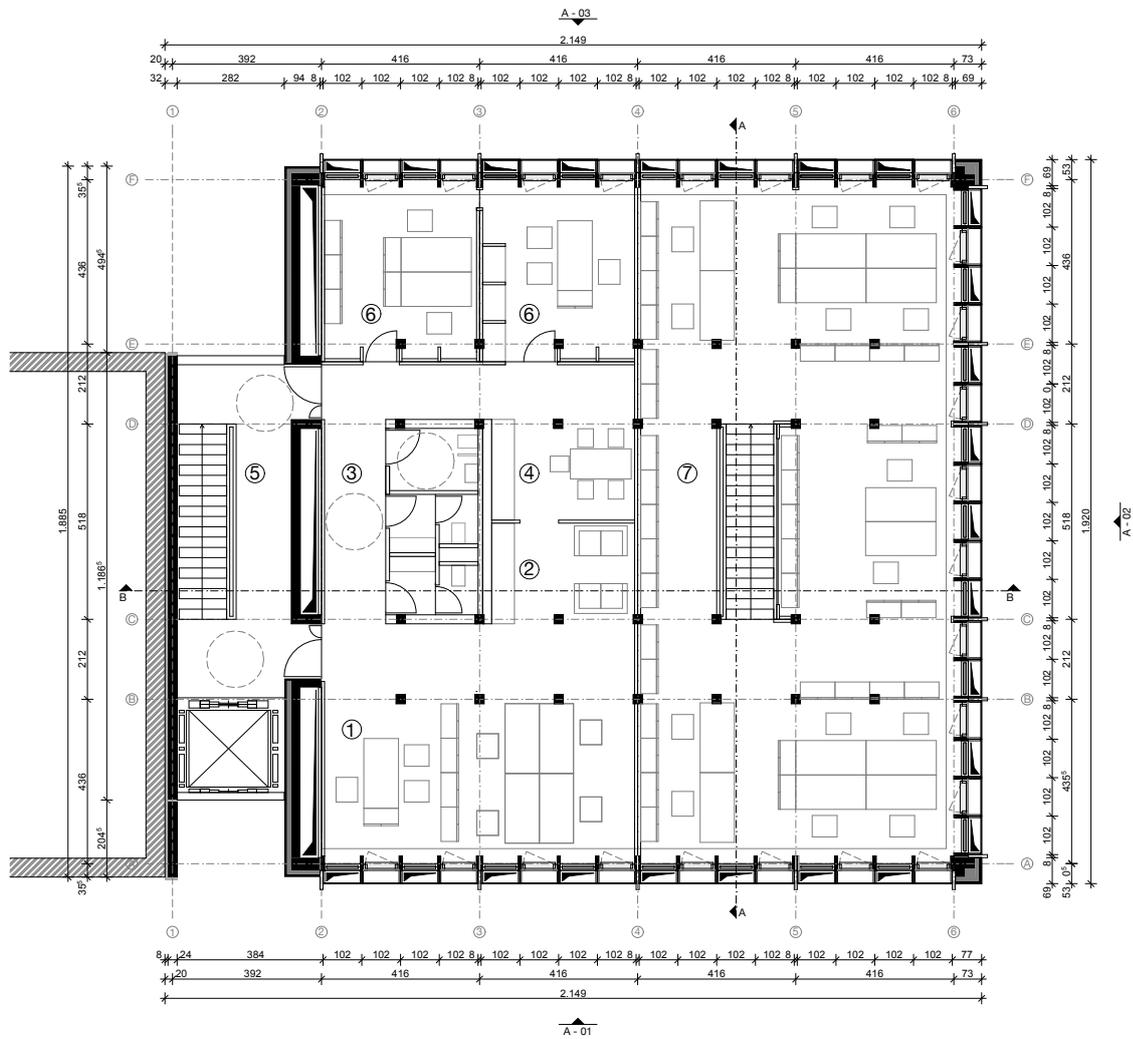
2. OG.

M 1:200

- ① Büro
- ② Garderobe
- ③ Toiletten
- ④ Besprechung
- ⑤ Treppenhaus
- ⑥ Teeküche
- ⑦ Lounge



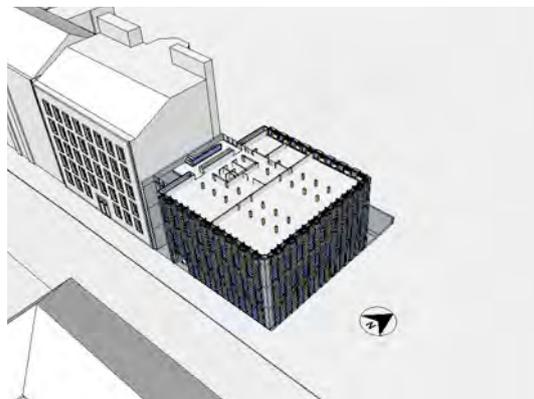
GRUNDRISS



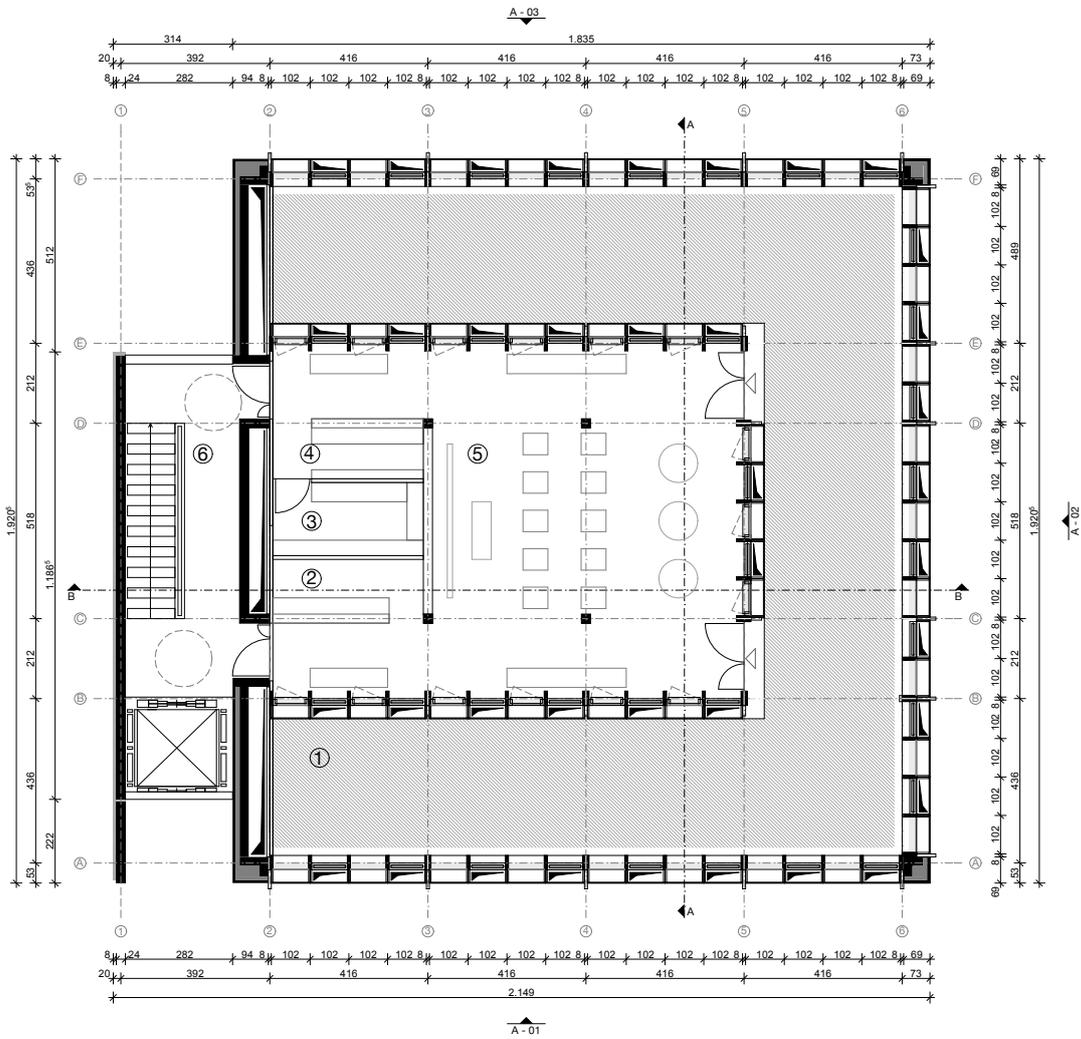
3. OG.

M 1:200

- ① Gruppenbüro
- ② Garderobe
- ③ Toiletten
- ④ Café - Küche
- ⑤ Treppenhaus
- ⑥ Einzelbüro
- ⑦ Großraumbüro



GRUNDRISS



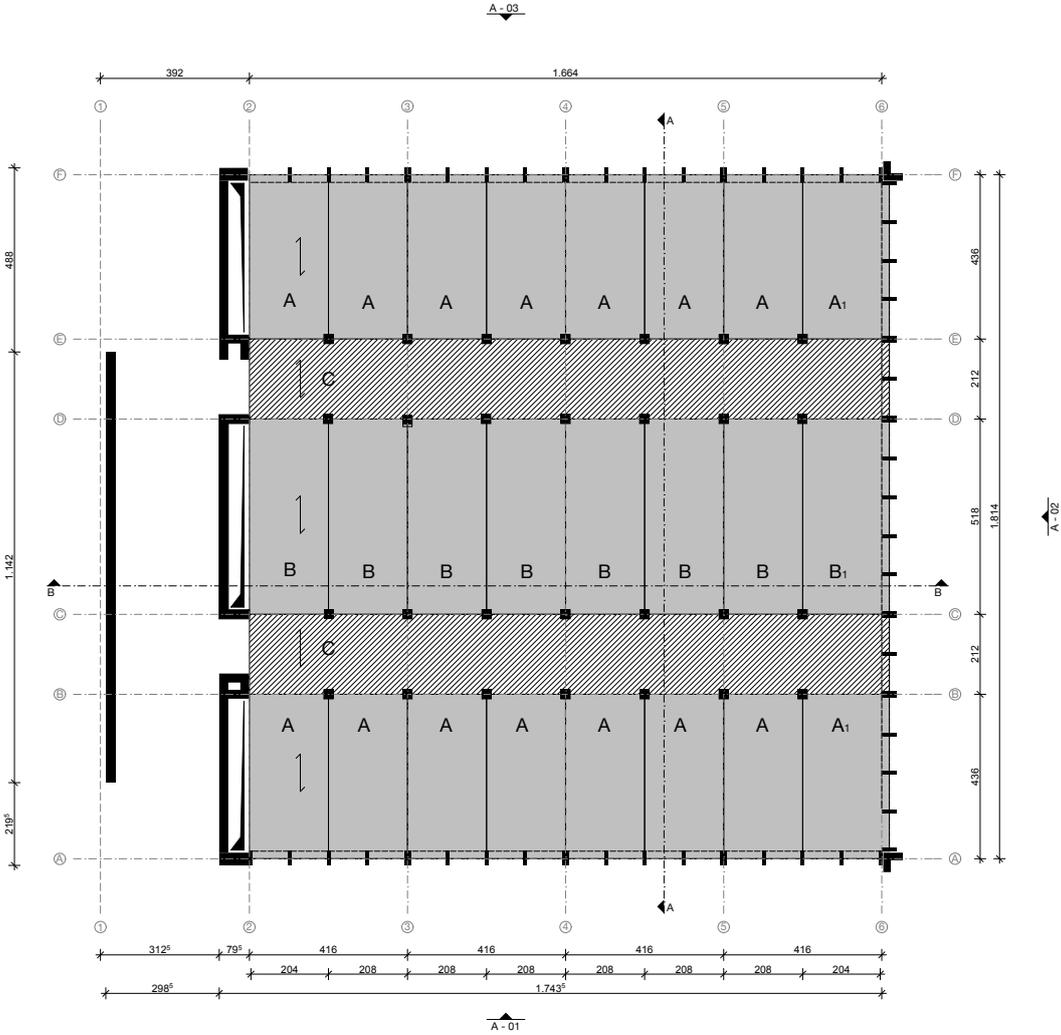
5. DG.

M 1:200

- ① Terrasse
- ② Garderobe
- ③ Kitchenette
- ④ Bar
- ⑤ Salle de polyvalente
- ⑥ Treppenhaus



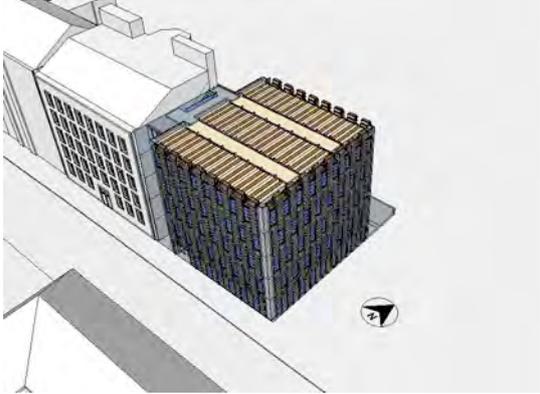
GRUNDRISS



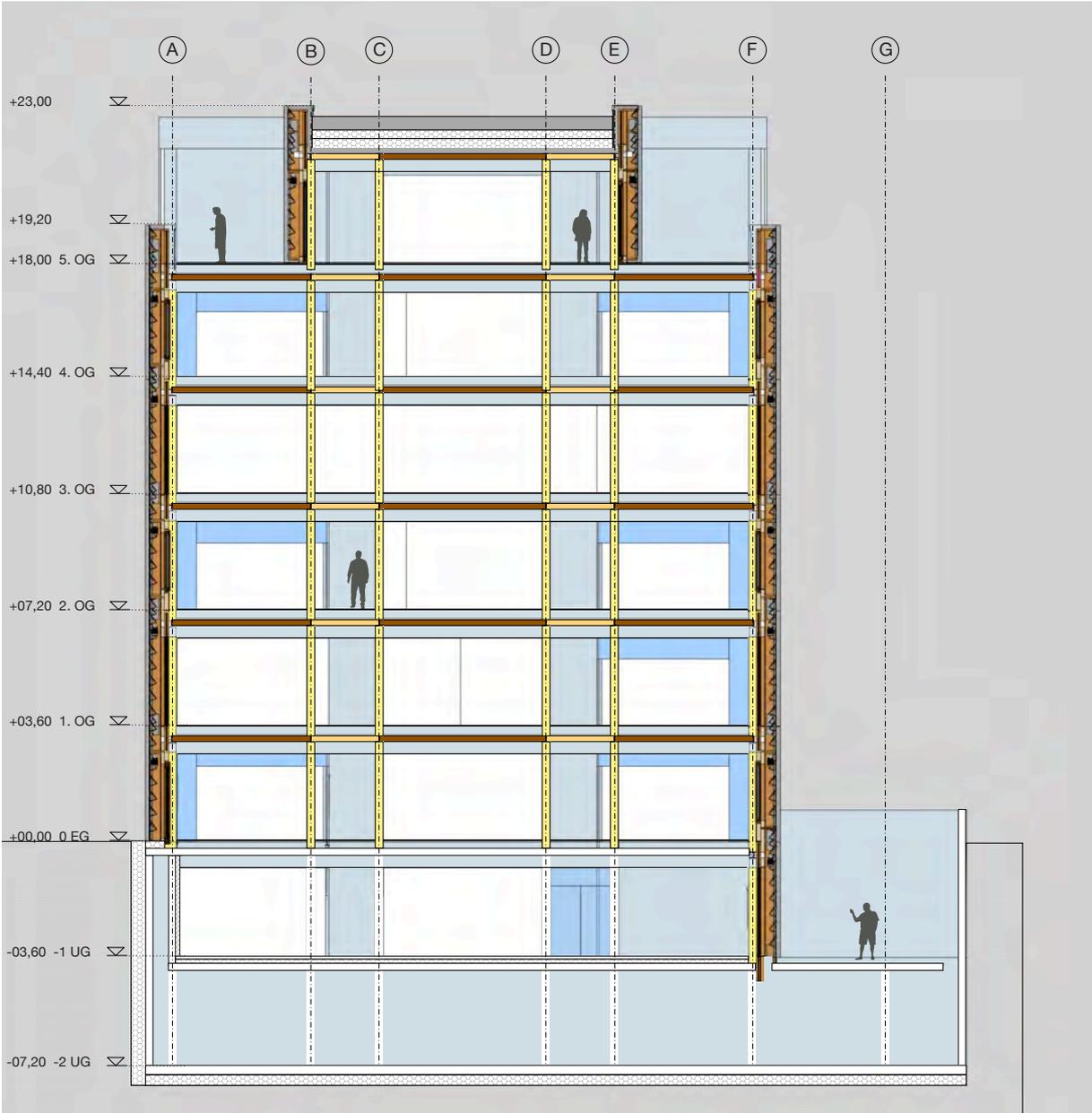
SHEMA - TRAGWERK

M 1:200

- Ⓐ Stapelholzdecke
- Ⓑ KLH Decke
- Ⓒ Stapelholzdecke



SCHNITT

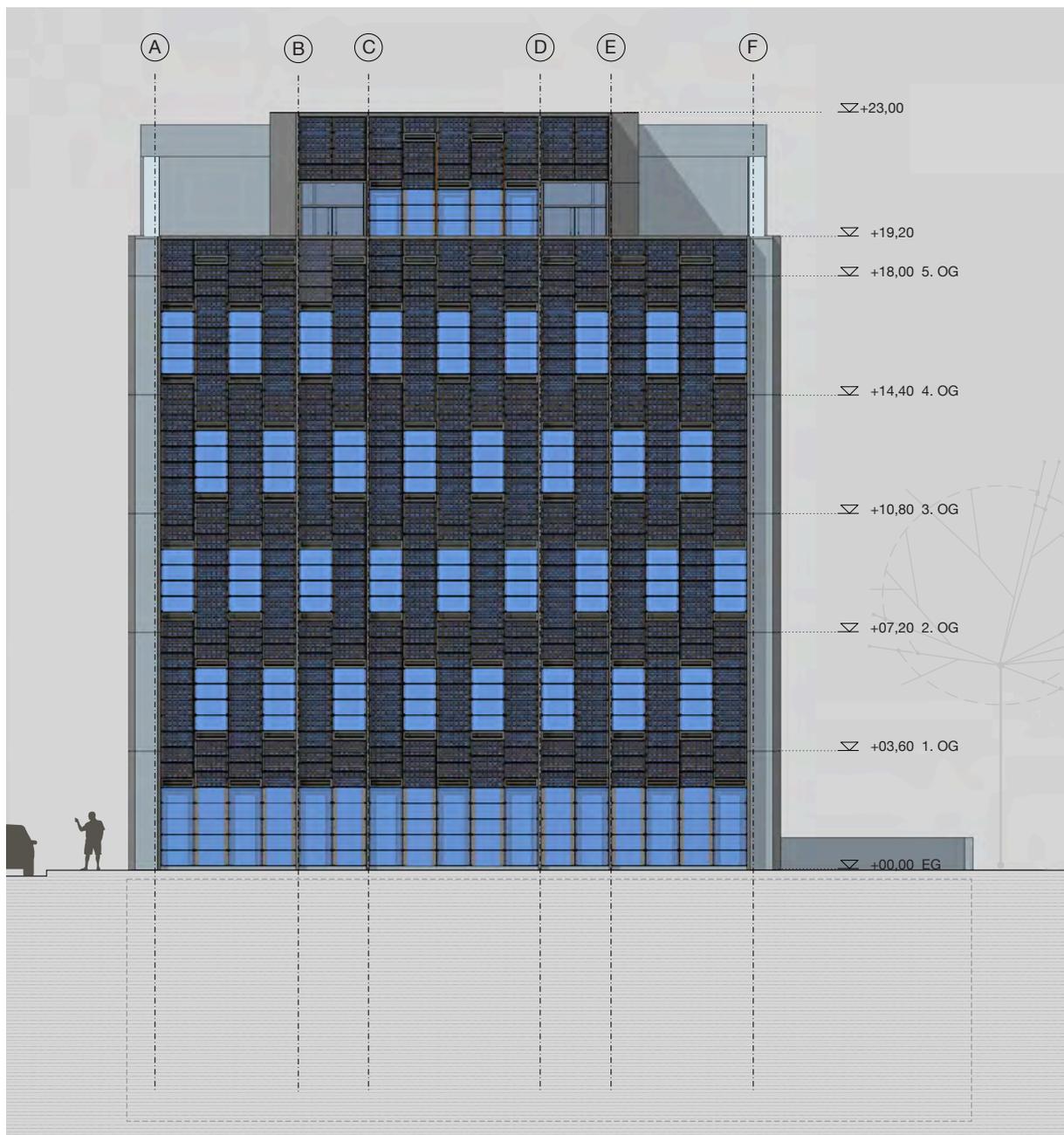


A-A SCHNITT

M 1:200

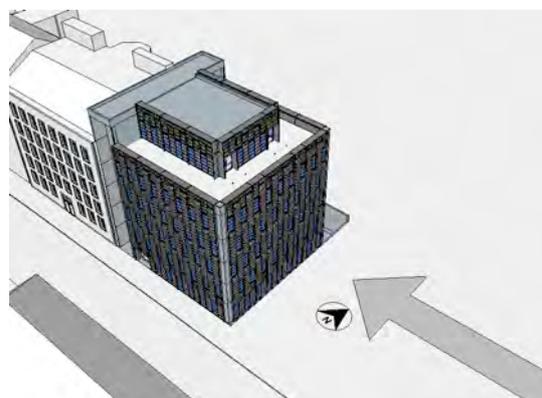


ANSICHT

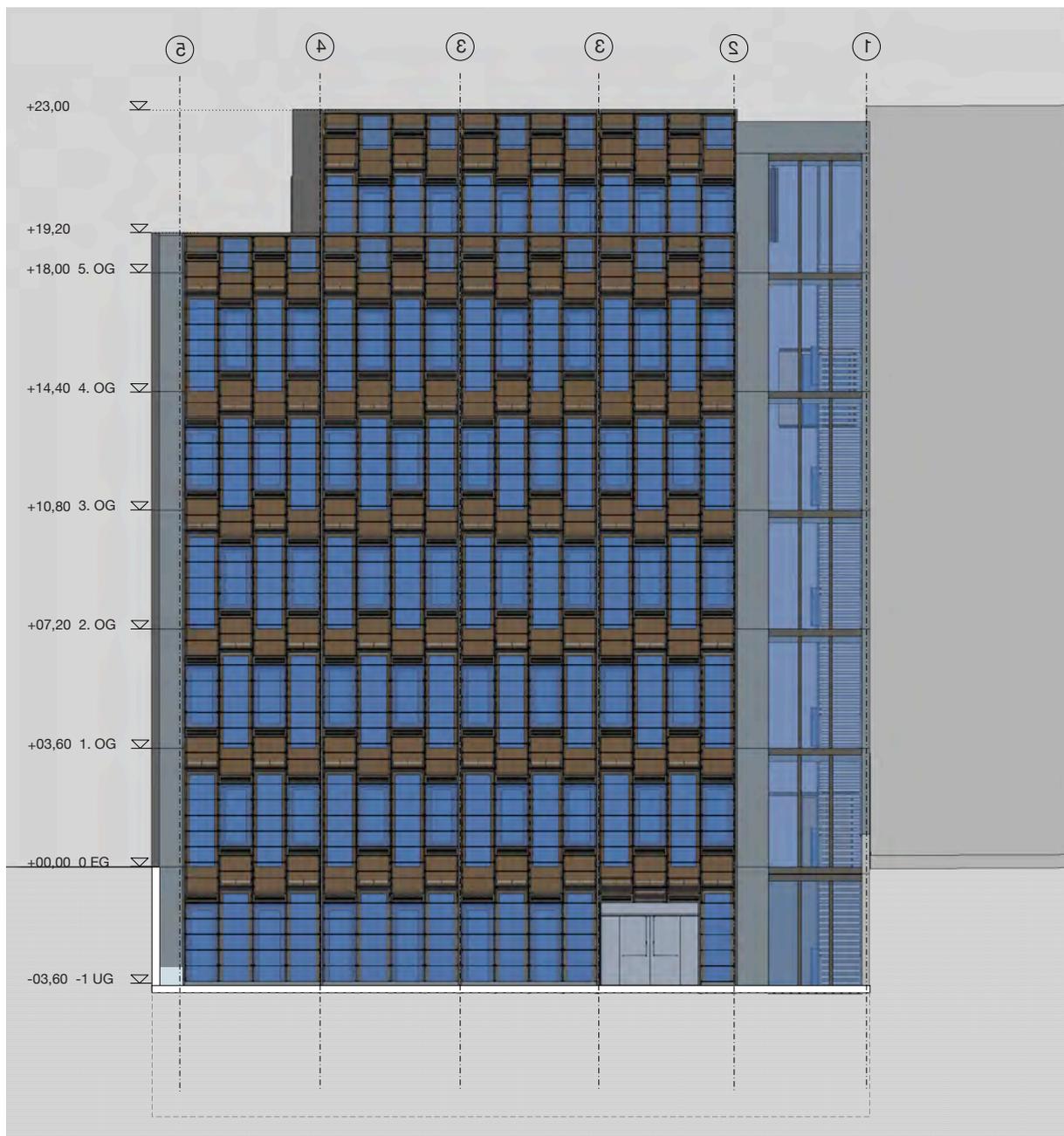


A02 - ANSICHT

M 1:200

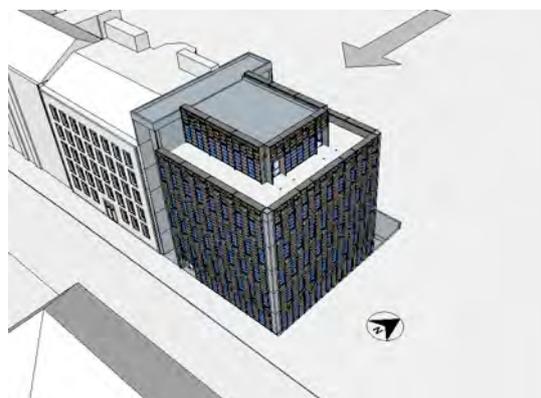


ANSICHT

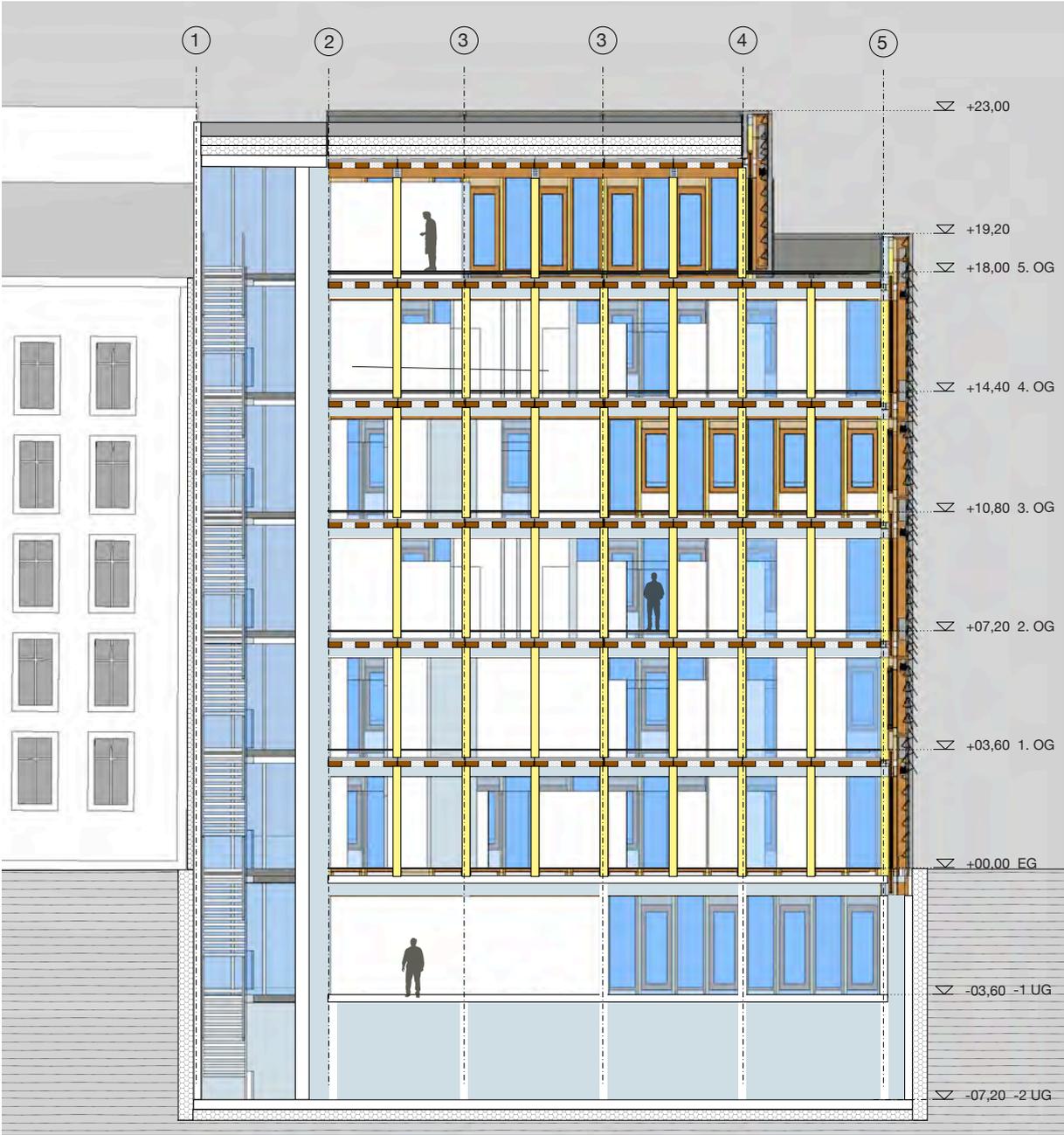


A03 - ANSICHT

M 1:200



SCHNITT

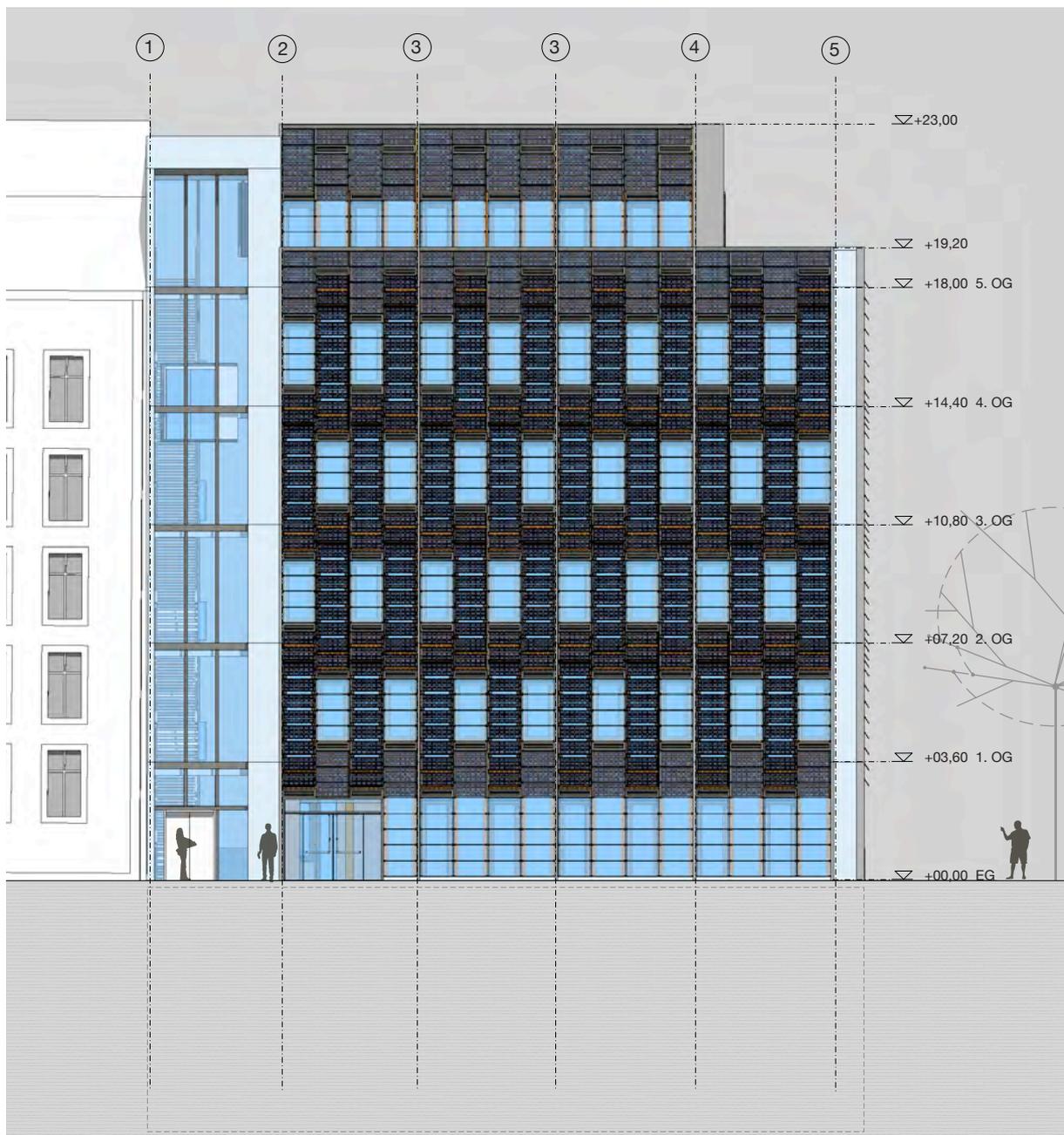


A-A SCHNITT

M 1:200

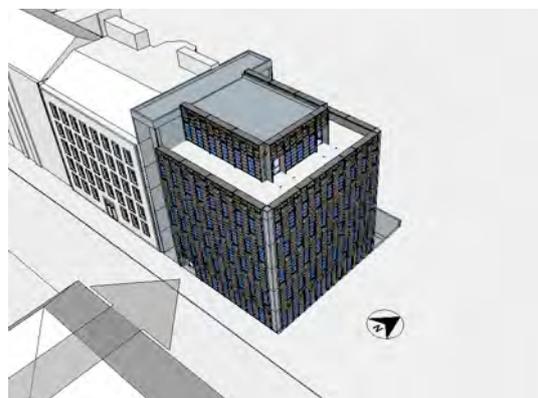


ANSICHT

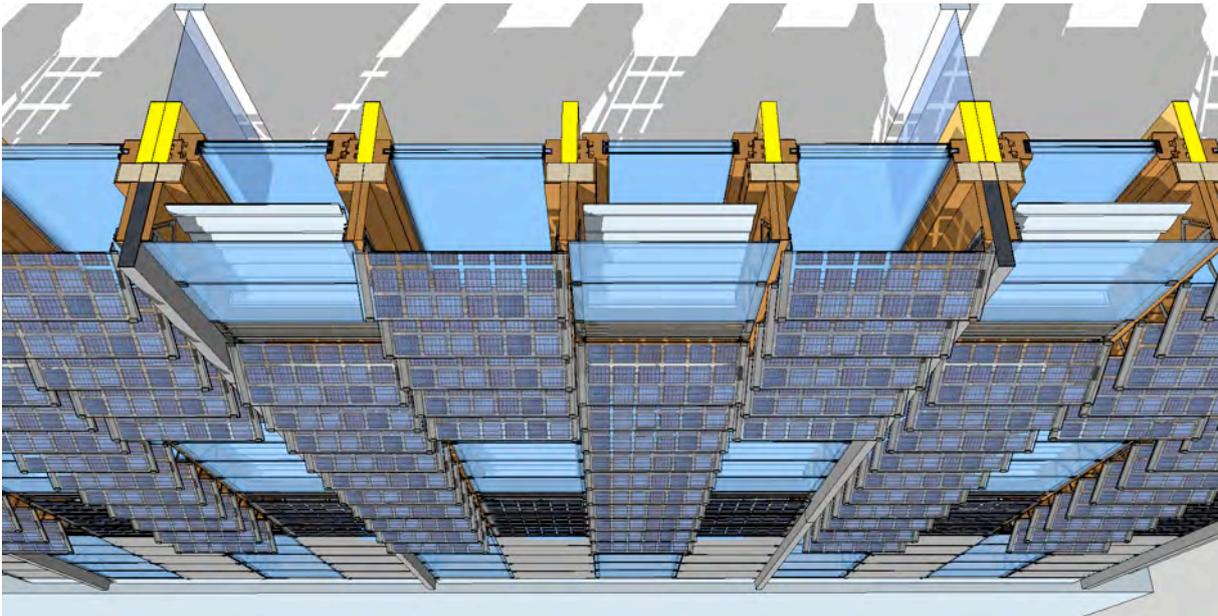


A01 - ANSICHT

M 1:200



GRUNDRISS - SCHNITT DURCH DIE HGV - FASSADE



PERSPEKTIVE FASSADENDETAIL

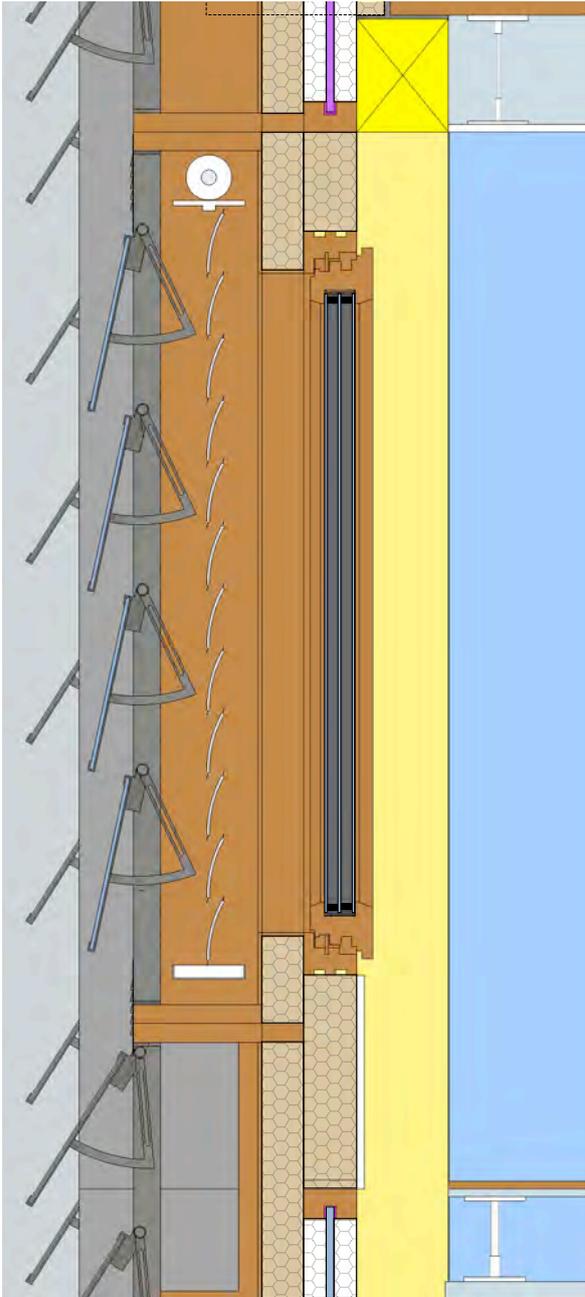


FASSADE DETAIL

M 1:20

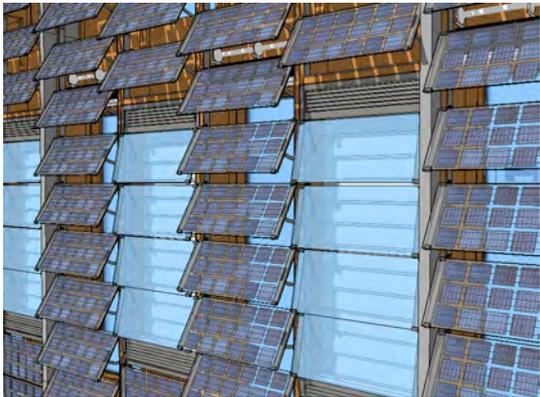


FASSADENSCHNITT - HGV ELEMENT / BESPIELUNG FASSADE



PERSPEKTIVE FASSADE -
 PV - KOLLEKTOR GEÖFFNET
 WINDSCHUTZ FENSTER GEÖFFNET
 RAFFSTORE FENSTER GESCHLOSSEN

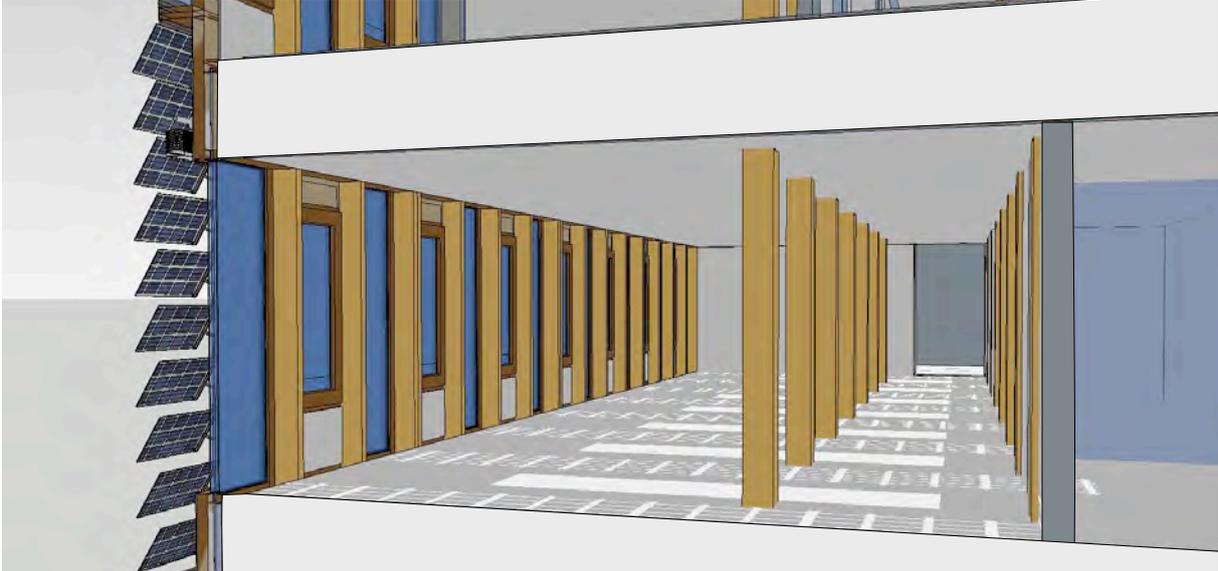
M 1:200



FASSADE / LICHTSPIEL INNENRAUM



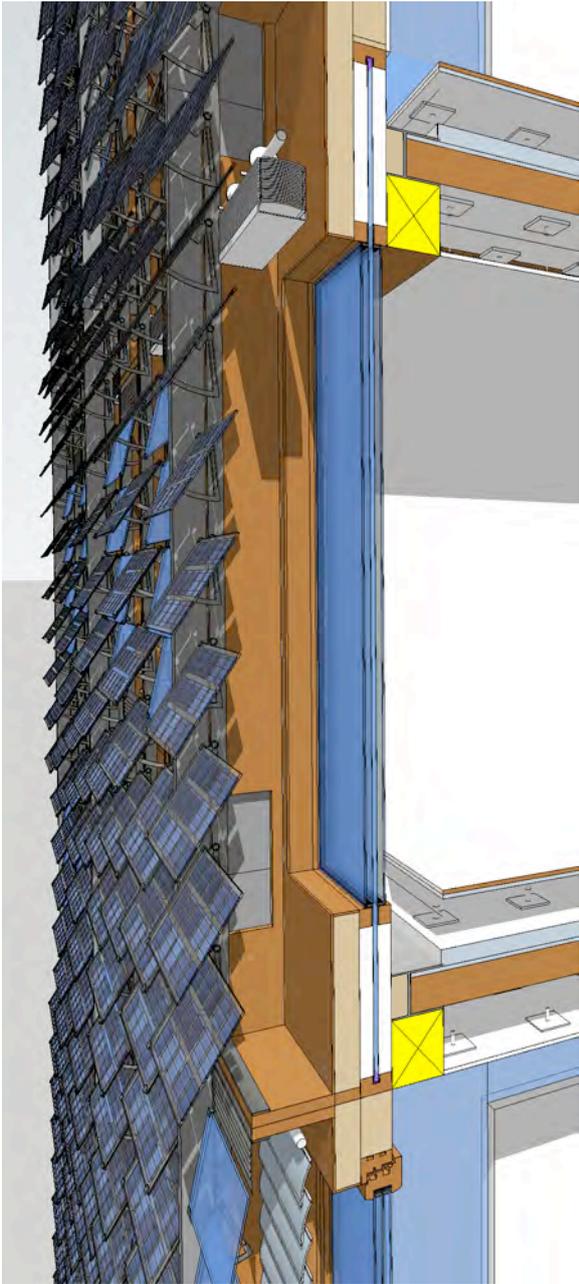
PERSPEKTIVE FASSADE -
PV - KOLLEKTOR GEÖFFNET



VERÄNDERUNG DER LICHTSITUATION
IM INNENRAUM

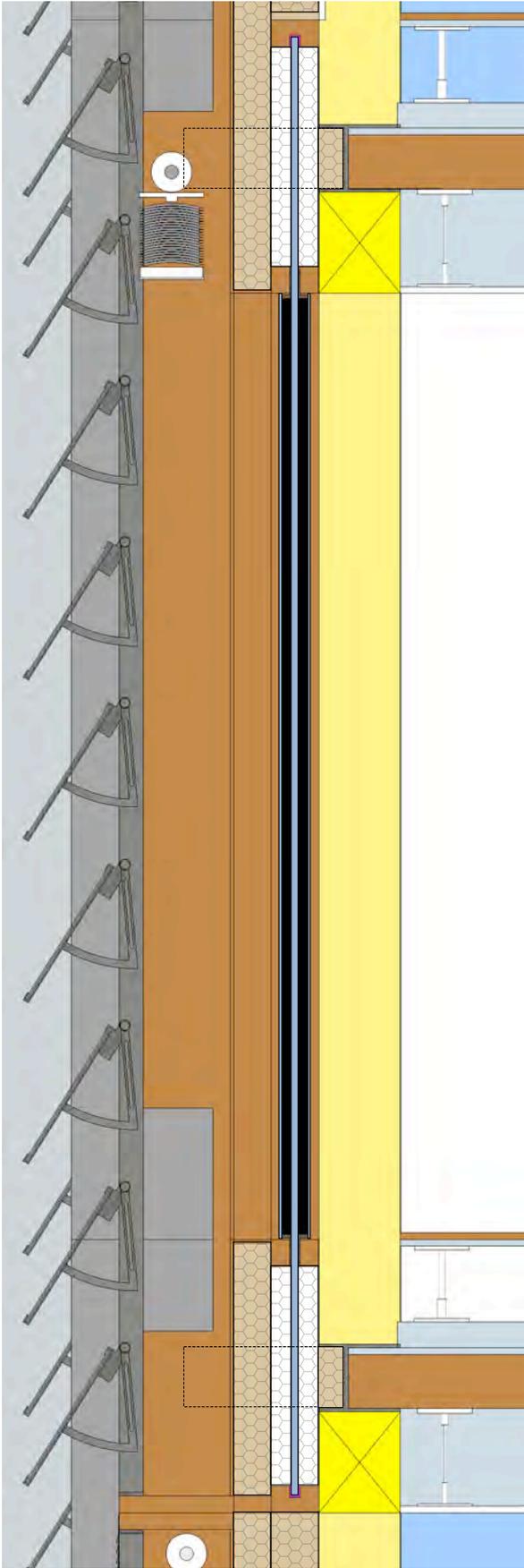


FASSADENSCHNITT - HGV ELEMENT / BESPIELUNG FASSADE

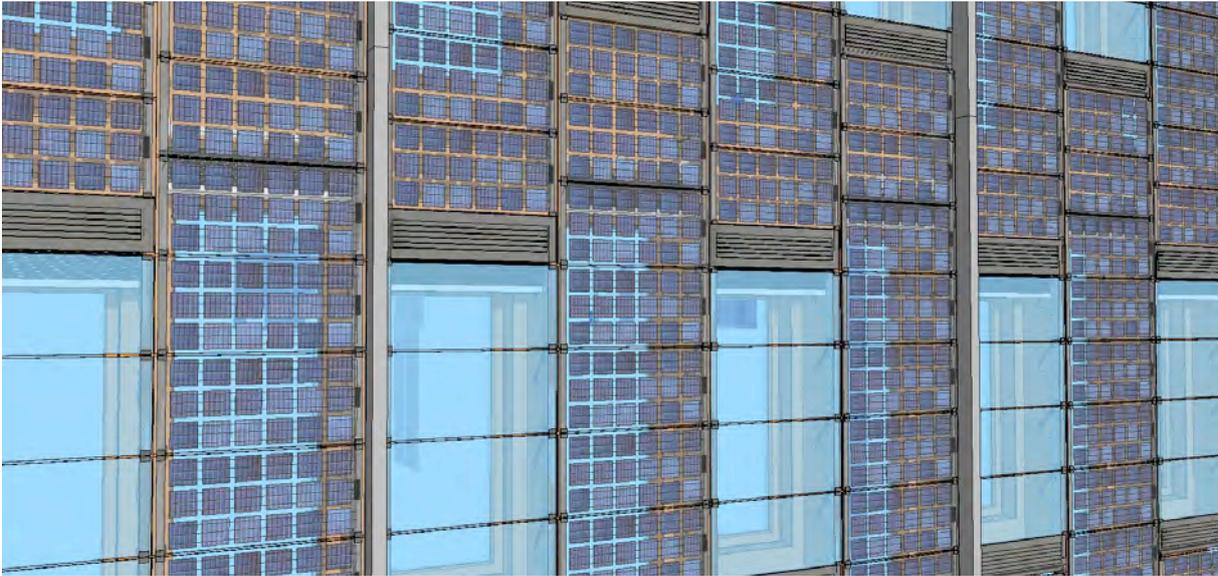


PERSPEKTIVE FASSADE -
PV - KOLLEKTOR GEÖFFNET
WINDSCHUTZ FENSTER GEÖFFNET
RAFFSTORE FENSTER GESCHLOSSEN

M 1:20



FASSADE / LICHTSPIEL INNENRAUM



PERSPEKTIVE FASSADE -
PV - KOLLEKTOR GEÖFFNET

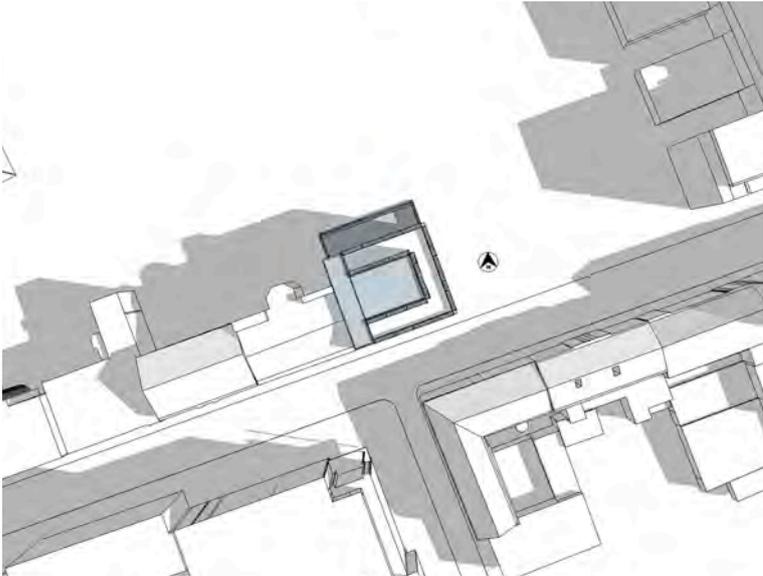


VERÄNDERUNG DER LICHTSITUATION
IM INNENRAUM

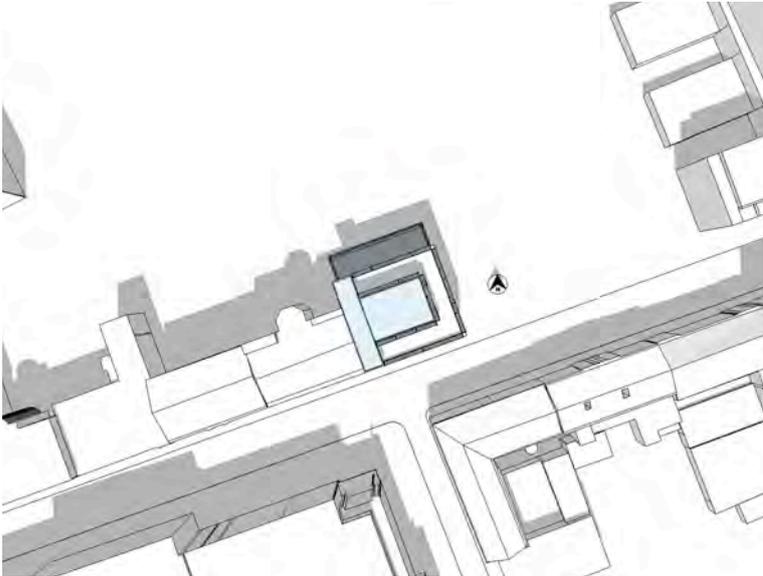


SONNENSTUDIE - SOMMER

08:00



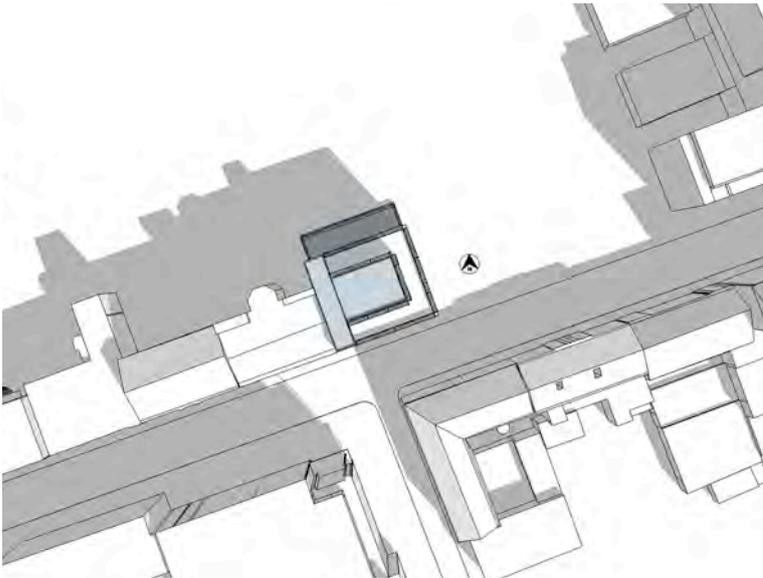
12:00



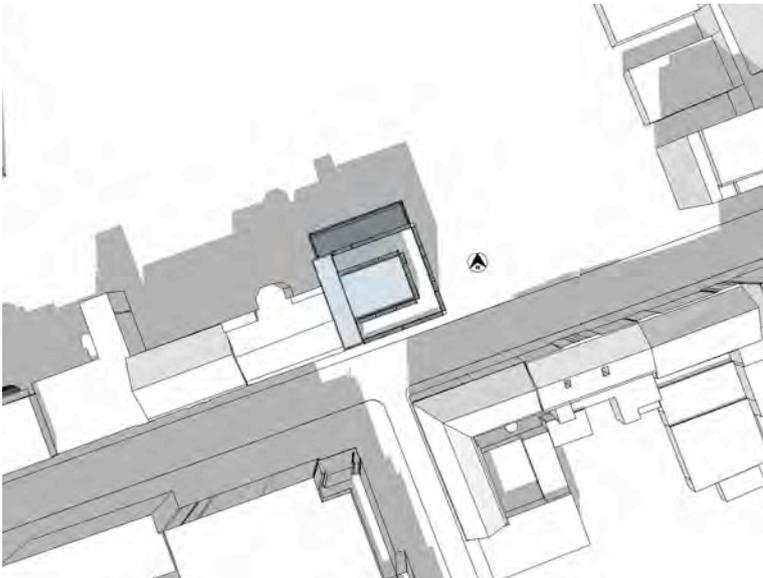
16:00



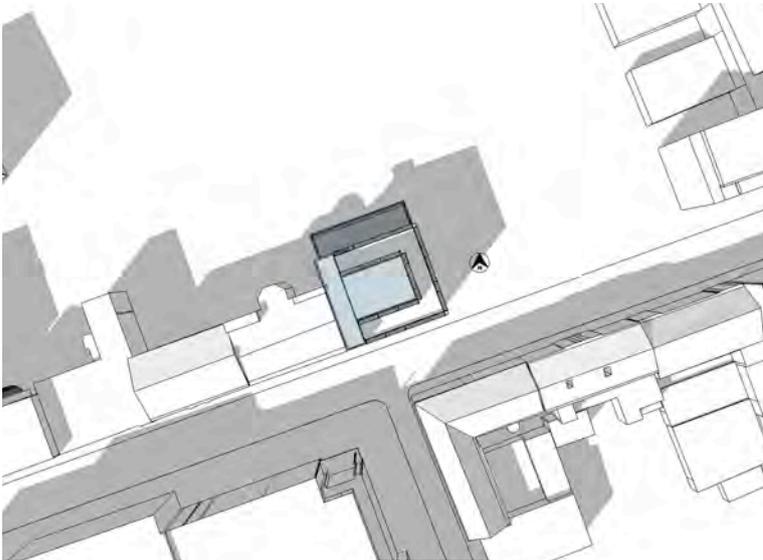
SONNENSTUDIE - FRÜHJAHR/HERBST



10:00



12:00



14:00

FASSADE AUSSENANSICHT - GESCHLOSSENE PANELE



PANELE GESCHLOSSEN
RAFFSTOREN OFFEN



STRASSENANSICHT
PANELE GESCHLOSSEN

INNENANSICHTEN - JAHRESZEITEN - GESCHLOSSENE FASSADE



SOMMER

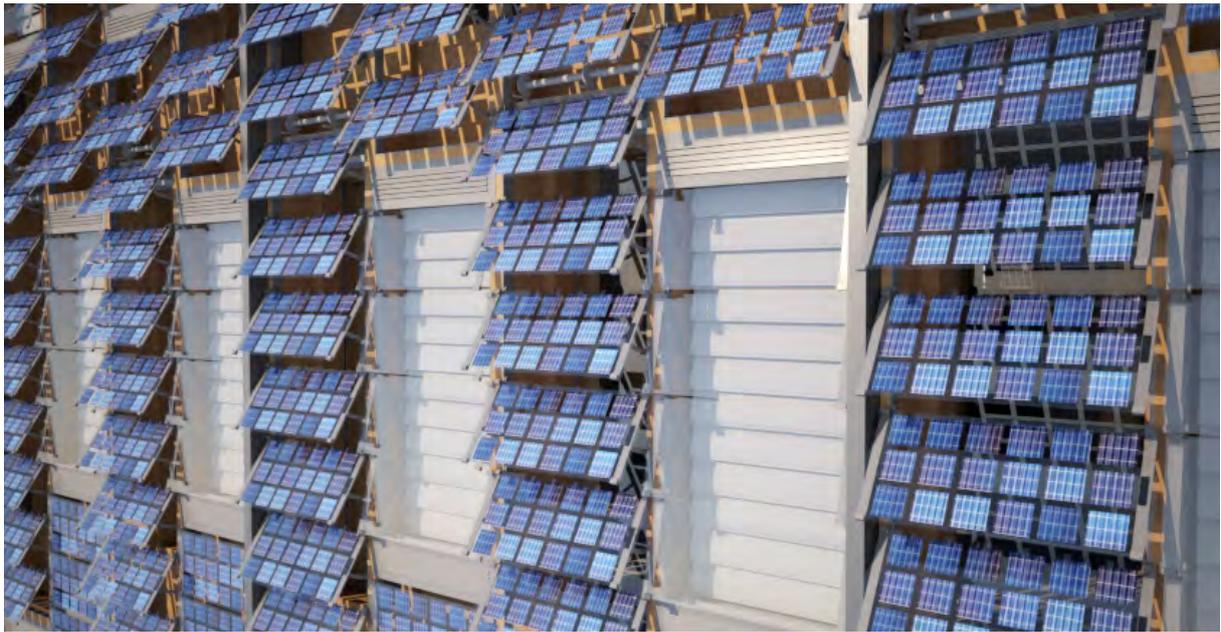


FRÜHJAHR



WINTER

FASSADE AUSSENANSICHT - OFFENE PANELE



PANELE GEÖFFNET
RAFFSTORE VOR DEM FENSTER
GESCHLOSSEN



STRASSENANSICHT
PANELE OFFEN
RAFFSTOREN OFFEN

INNENANSICHTEN - JAHRESZEITEN - OFFENE FASSADE



SOMMER

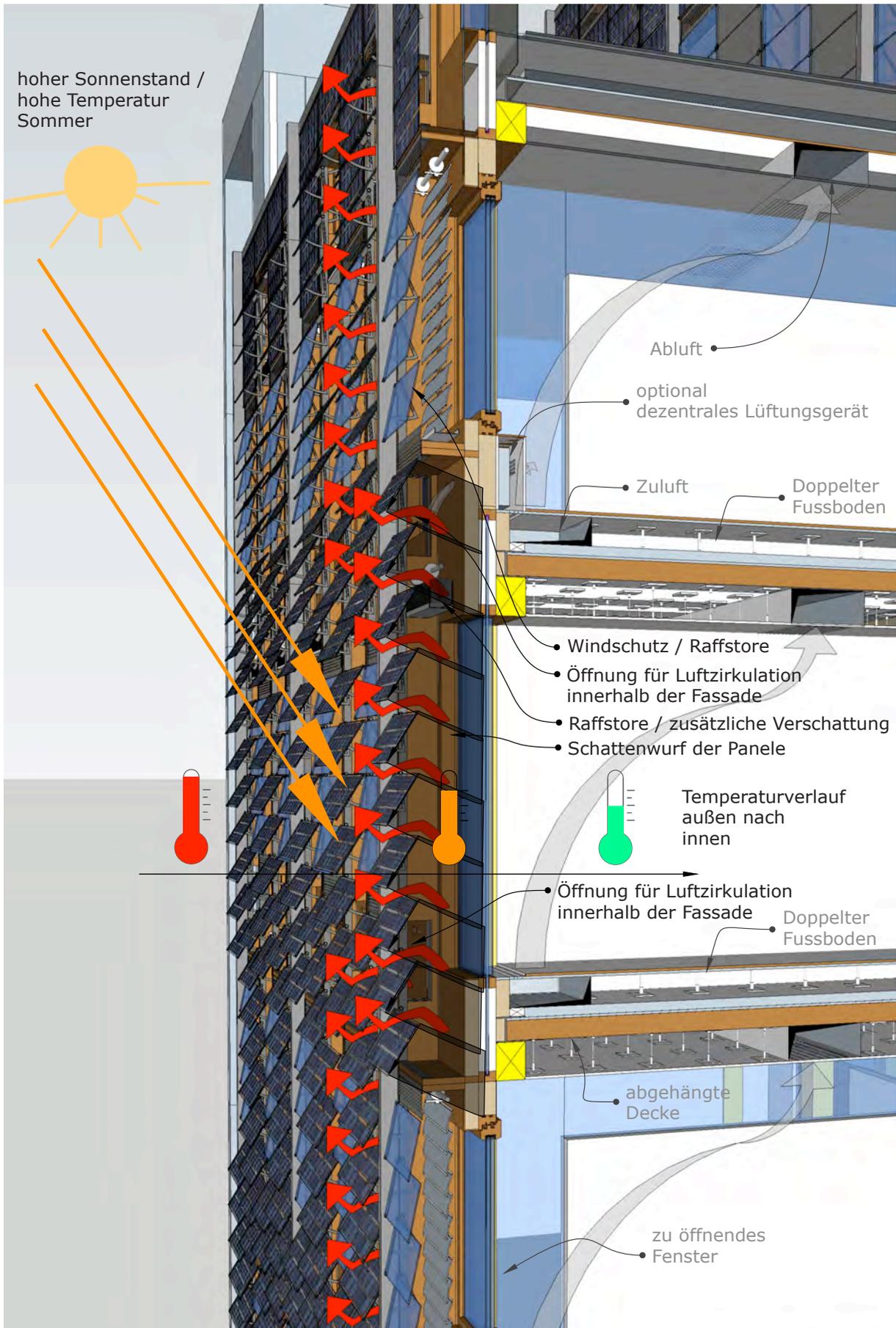


FRÜHJAHR

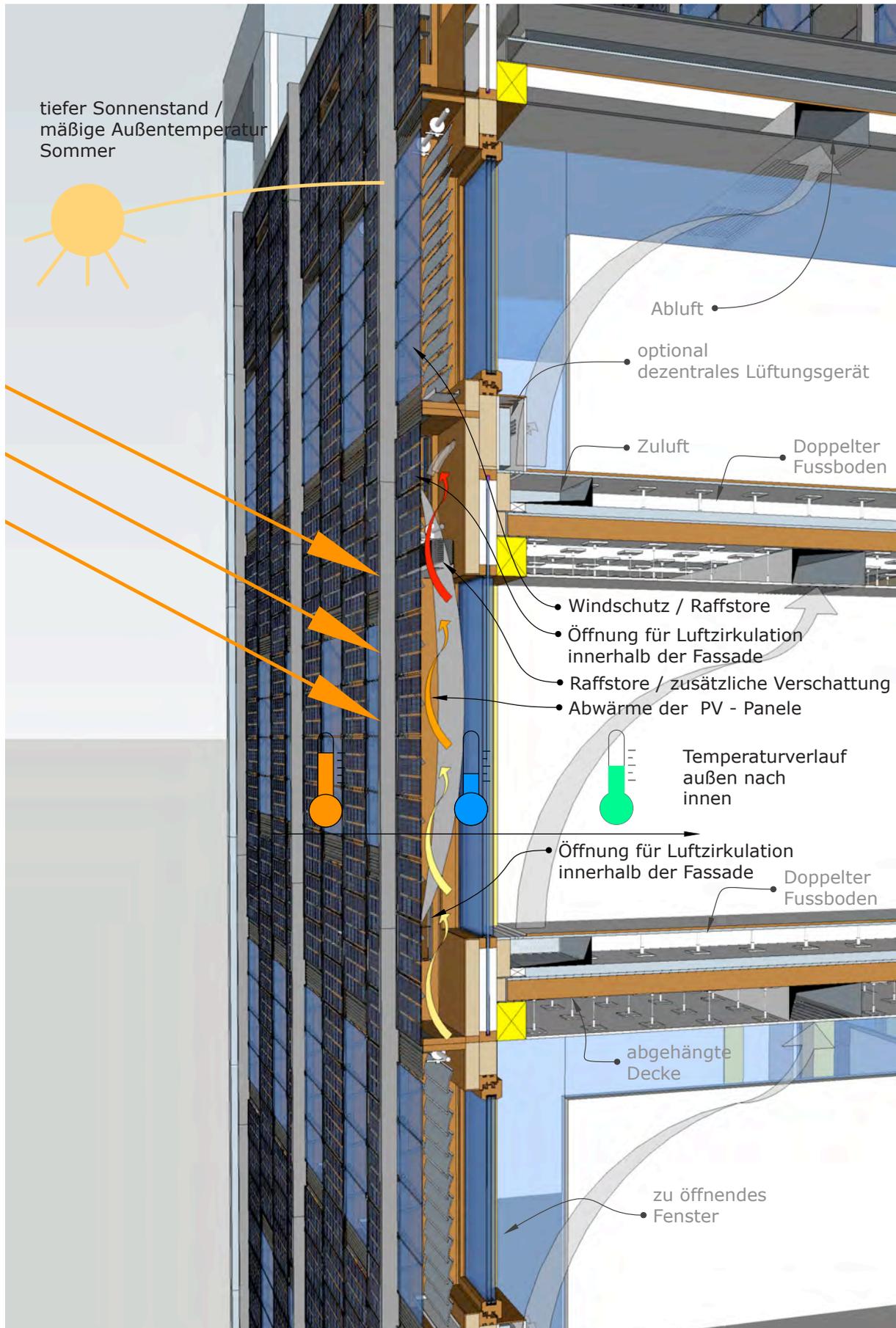


WINTER

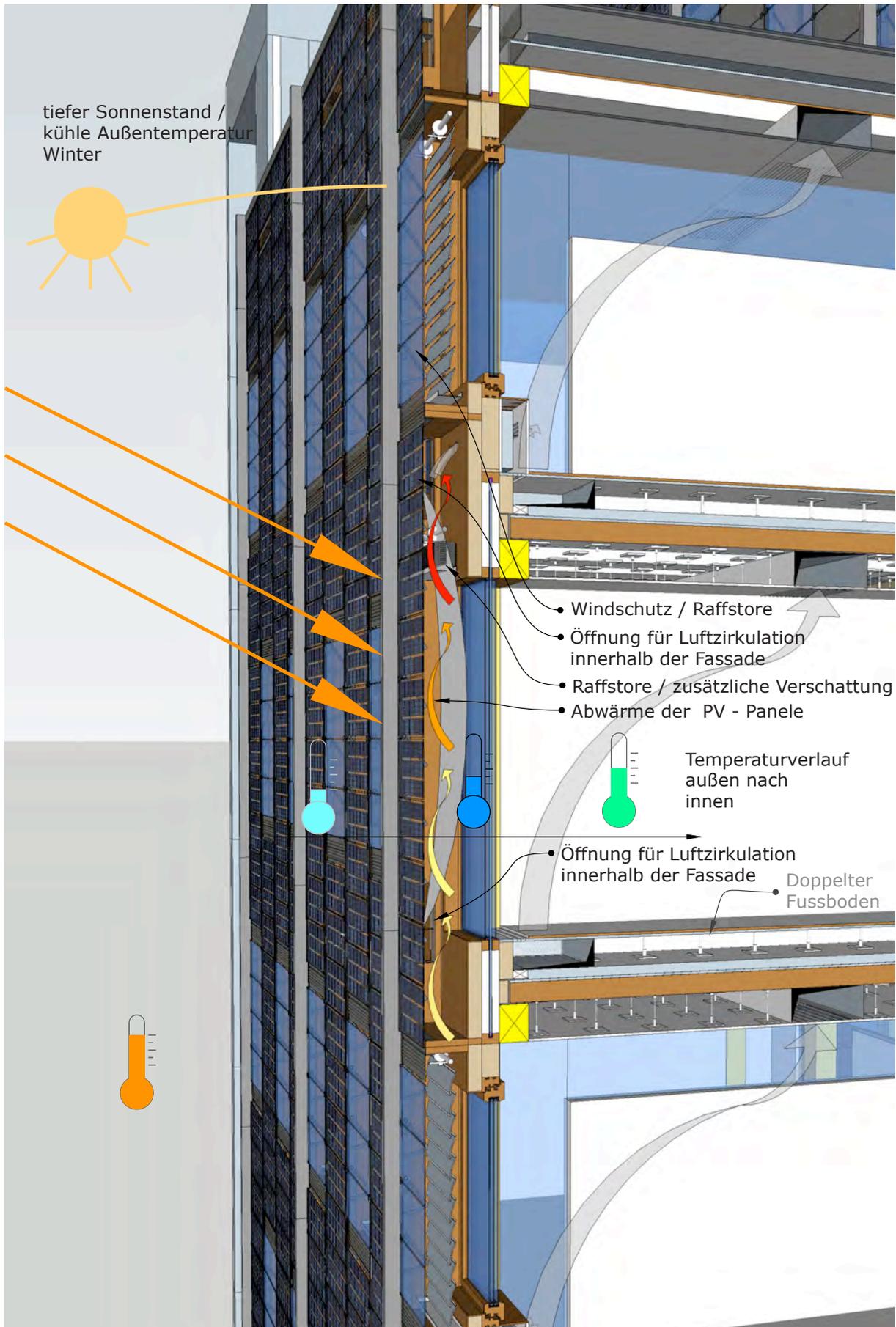
THERMISCHE FUNKTIONSWEISEN DER FASSADE / GESAMTKONZEPT LÜFTUNG



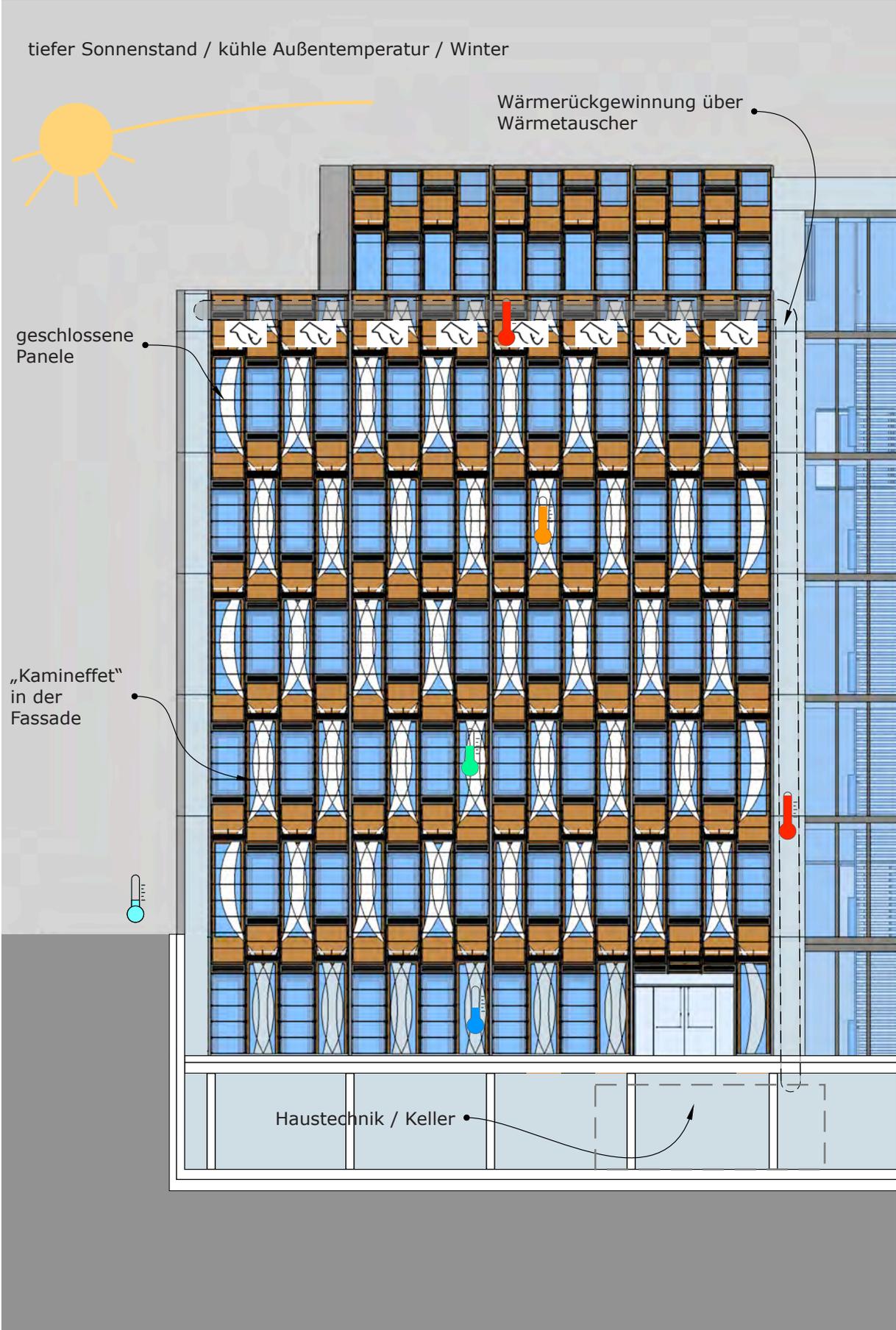
THERMISCHE FUNKTIONSWEISEN DER FASSADE / GESAMTKONZEPT LÜFTUNG



THERMISCHE FUNKTIONSWEISEN DER FASSADE / GESAMTKONZEPT LÜFTUNG



THERMISCHE FUNKTIONSWEISEN DER FASSADE / GESAMTKONZEPT LÜFTUNG



PERSPEKTIVE - FASSADE NORD - OFFENE RAFFSTOREN



PERSPEKTIVE - FASSADE NORD - GESCHLOSSENE RAFFSTOREN



7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Fußballfeld in Afrika ; Quelle http://www.lachschoen.de/item/4773-FussballfeldinAfrika/ ..	9
Abb. 2 Amsterdam Arena – Fußballstadion; Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Amsterdam_Arena	9
Abb. 3 Amsterdam Arena - Dynamic recalculation of roof structure; Quelle: Arcadis Bouw en Vastgoed; http://enews.scia.net/de/eNewsApril05_D.html	10
Abb. 4 Herstellung von Lehmziegeln im alten Ägypten; Quelle: Universitätsbibliothek Heidelberg - Http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/newberry1900/0065	11
Abb. 5 Rekonstruktion des Zikkurat in Ur, auch Götterberg genannt; Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.	12
Abb. 6 Darstellung des Lastenaufzugprinzips; Quelle: Mythologie in Zahlen an Pyramiden , Linck M.	12
Abb. 7 Mondpyramide Teotihuacan, Himmelsbeobachtung; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf, H.	12
Abb. 8 Von li. n. re.: Schitt durch das Remesseumsgewölbe (Tonnengewölbe aus Lehmziegel); Falsches Gewölbe, Dahshur, leicht abgerundete Granitblöcke (De Morgan); Kraggewölbe 12. Dynastie, Dahshur; Geschichte der Baukonstruktion u. Bautechnik, Mislin M.	13
Abb. 9 Von li. n. re.: Querschnitt, Apollon Tempel, Delos mit einer Rekonstruktion der Dachkonstruktion; Deckenplan - Kassettenplatten und Balken, Parthenon Tempel, Athen; Detail der Deckenkonstruktion, Erechtheion Tempel, Athen; Quelle: Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik Band 1, Mislin M.	13
Abb. 10 Transport und Hebeeinrichtungen des alten Rom; Quelle: Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik, Mislin M.	13
Abb. 11 a) Griechische Kraggewölbe; b) Schrägstellung zweier Steinplatten; c) Abgerundeter Balken mit Pfeilern, radial behauene Steine. Quelle: Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik, Mislin M.	14
Abb. 12 Römischer fünfeckiger Keilstein verbaut im Kolosseum in Rom; die Geschichte der Baukonstruktion und Baukunst; Quelle: Mislin M.	14
Abb. 13 Überbrückung der von einer Senke mit einem Aquädukt, Nimes Pont du Gard; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.	14
Abb. 14 Römisches Mauerwerk; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.	15
Abb. 15 Römisches Tonnengewölbe mit Binder - Läuferverband, auf Vollverschalung; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.	15
Abb. 16 Pantheon Rom, Schnitt quer mit Stützlinie und Grundriss, Schnitt längs; Quelle: Geschichte der Bautechnik und Baukonstruktion, Mislin M.	16
Abb. 17 Darstellung einer Trop und einer Pendentifkuppel und deren Wirkungslinien; Quelle: Geschichte der Bautechnik und Baukonstruktion Mislin M.	16
Abb. 18 Li. Klosterkirche Maursmünster, re. Kathedrale Reims; Quelle: Baukunst in 5 Jahrtausenden, Koepf H.	16
Abb. 19 Grundriss und Schnitt der Dreischiffigen Basilika mit Chor in Reims; Baukunst in 5 Jahrtausenden; Koepf H.	17
Abb. 20 Kristall Pallast, Perspektive, Schnitt, Ansicht, Vorgefertigtes Tonnengewölbe, Detail; Quelle: Von der Urhütte zum Wolkenkratzer, Klotz H.	18
Abb. 21 Schokoladenfabrik Menier in Noisel-sur-Marne, Ansicht, Schnitt und Detail; Quelle: Geschichte der Baukunst, Kugler F.	18
Abb. 22 Rliance Building, Chicago 1985, Grundriss und Ansicht; Quelle: Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik, Mislin M.	18
Abb. 23 Old Colony Buildin, Chicago 1890, Ansicht , Schnitt und Detail Tragkonstruktion; Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik, Quelle: Mislin M.	19
Abb. 24 Entwurf eines Glashochhaus in Berlin, 1921, Ludwig Mies van der Rohe	19
Abb. 25 Segrain Building mit einer "Curtain Wall" New York – 1958; Quelle: https://arch220.files.wordpress.com/2012/02/segrain-building.jpg (13.09.15)	20
Abb. 26 Li.: Typischer Hotel Grundriss des Burj Khalifa in Dubai, Re.: Foto des Burj Khalifa in Dubai mit Umgebung; Abbildungen: SOM -	-

http://www.architecturalrecord.com/articles/11017-burj-khalifa?v=preview ; http://i2.mirror.co.uk/incoming/article1439547.ece/ALTERNATES/s615b/Burj%20Khalifa%20at%20Day (14.11.15)	20
Abb. 27 HGV Fassade am Beispiel des Firmengebäude der "Revo" - Gegg Fenster GmbH in Haslach im Kizingtal, Deutschland; Quelle: http://revofenster.de/fileadmin/uploads/Referenzen/BV_Fenster_Gegg_Haslach-Schnellingen_1.jpg ; re.: http://www.frerichs-glas.de/pressespiegel/index.php (09.10.15)....	21
Abb. 28 Schema Lastabtragung Massenbau	24
Abb. 29 Schema Lastabtragung Tempel.....	24
Abb. 30 Schema Lastabtragung Rundbogen	24
Abb. 31 Schema Lastabtragung Tonnengewölbe	24
Abb. 32 Schma Lastabtragung Kuppel	25
Abb. 33 Schema Lastabtragung Kreuzgewölbe	25
Abb. 34 Schema Lastabtragung Kreuzrippengewölbe.....	25
Abb. 35 Schema Lastabtragung Glashaus	25
Abb. 36 Schema Lastabtragung "Curtain Wall"	25
Abb. 37 Schema Lastabtragung HGV-Fassade	25
Abb. 38 Mehrgeschoßiger Holzbau ; Murray Groove Tower; London (GB); Quelle http://www.texte-nach-mass.de/pdf/murray_grove_tower_london.pdf (05.07.2016).....	26
Abb. 39 Aufbau Zellstruktur Nadelholz Laubholz; Quelle: STÄHLI.....	27
Abb. 40 Erzeugung von Floatglas ; Quelle Uniglas Kolleg - Technisches Kompendium	31
Abb. 41 Bruchbilder von Floatglas, TVG und ESG; Quelle: (Ofner, 2007).....	32
Abb. 42 Einteilung der Klebstoffe nach der chemischen Basis ; Quelle . Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen. 6. Auflage; Habenicht, G.....	33
Abb. 43 Einteilung der Klebstoffe nach Abbinde-mechanismus ; Quelle: Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen; Habenicht G.....	34
Abb. 44 Beispiele Horizontallasten; Quelle: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Leicher – Werner Verlag.	36
Abb. 45 Darstellung Imperfektionen; Quelle: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Leicher - Werner Verlag.....	36
Abb. 46 Scheibe, Fachwerk, Rahmen, Stütze; Quelle: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Leicher - Werner Verlag.....	37
Abb. 48 (li.) 4 Wandscheiben zu einem Aussteifender - Kern verbunden, (re.) 3 Wandscheiben und 1 Decke im statischen Verbund; Tragwerkslehrer in Beispielen und Zeichnungen , Leicher - Werner Verlag.....	38
Abb. 49 (oben) Anordnung von aussteifenden Wandscheiben die ein stabiles System bilden. (unten) Wandscheiben schneiden sich in einem Punkt – labiles System; Beuth Hochschule für Technik Berlin - Prof. Dr.-Ing. M. Rösler.	38
Abb. 51 Verschiedene Anordnungen von Aussteifungen und die damit verbundene Wirksamkeit für das Gesamtsystem; Beuth Hochschule für Technik Berlin, Prof. Dr.-Ing. M. Rösler.....	39
Abb. 52 von links nach rechts: Schotten - oder Wandbau; Skelett oder Rahmenbau; Skelettbau mit Wandscheiben; Skelettbau mit Kern	40
Abb. 53 Im Bau übliche Materialien und Bauweisen für ein statisch aussteifendes Bauteil. Von li. nach re.: Mauerwerk, Stahlbeton, Stahlrahmen mit diagonalen Aussteifungen, Holzrahmen mit OSB beplankt; Quelle: Tragwerkslehrer in Beispielen und Zeichnungen , Leicher - Werner Verlag.	40
Abb. 54 HGV System - Scheibe Aufgeklebt auf einer Koppleiste. Horizontale Lasten werden über dei Schubverklebung abgetragen; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, Winter W.....	41
Abb. 55 Abbildung der Lastabtragung eines HGV Systems mit geklbter und geklotzter Scheib, Entwicklung des ITI -Tu Wien; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, Winter W.	41
Abb. 56 li.: Grundrisse des Burj Khalifa in Dubai, re.: Konstruktionskonzept des Burj Khalifa in Dubai mit Kommentaren. Quelle : https://de.wikipedia.org/wiki/Burj_Khalifa (15.09.15).....	42

Abb. 57 Anwendungsbeispiele von scheibenartigen Glasstützen : Glaspavillon Rheinbach (oben 1999), Talus du Temple in Frankreich (unten, 2001) Fotos: Christian Richters	44
Abb. 58 Tiefe der Tageslichtbeleuchtung bei einer Außen-Beleuchtungsstärke von 10.000 lx; Quelle: Raumpilot - Grundlagen ; THomas Jocher, Sigrid Loch	46
Abb. 59 Diagrammatische Darstellung von Tragwerkskonzepten und empfohlenen Höhen. Quelle : Structural Developments in Tall Building: Current Trends and Future Prospects; Mir M. Ali and Kyoung Sun Moon.....	47
Abb. 60 Hearst Tower - Sir Norman Foster; Quelle: www.fosterandpartners.com/ (16.05.2016)	48
Abb. 61 Funktionsweise der "Diagrid structure"; Quelle: The Gherkin: Case Study; Norman Foster Architects	48
Abb. 62 Unterschiedle Winkel der Dreieckstruktur; Structural Developments in tall Bulidings: Current Trends and Future Prospects; Mir M. Ali and Kyoung Sun Moon.....	48
Abb. 64 Unterschiedliche PV-Zellen und deren Abmessung sowie Effizienz. Quelle http://www.sapa-solar.com/pv-cells.html (12.04.2016)	50
Abb. 65 Vergleich der unterschiedlichen Zellen auf Transparenz und Energieausbeute. Quelle : http://www.sapa-solar.com/pv-cells.html (12.04.2016)	51
Abb. 66 Sonnenbahn von Sommersonnenwende bis Wintersonnenwende für einen Breitengrad wie Europa. Quelle Gebäudeintegrierte Photovoltaik ein Handbuch für den Planer.....	52
Abb. 67 Skizze Hinterlüftung der Photovoltaik. Quelle: Gebäudeintegrierte Photovoltaik: Ein Handbuch für Planer.....	53
Abb. 68 Schattenbox im Eichgraben; Quelle: Superlab - Dold und Hasenauer OG, Arch. DI Christoph Feldbacher	56
Abb. 69 Konstruktionsprinzip von HGV-Elementen mittels Koppelleiste, Quelle Holzforschung Austria.....	56
Abb. 70 Abbildung der Lastabtragung eines HGV Systems mit geklebter und geklotzter Scheib, Entwicklung des ITI -Tu Wien; Quelle: Application of Load Bearing Glass Timber Composites Wolfgang Winter – TU Wien	57
Abb. 71 HGV System - Scheibe Aufgeklebt auf einer Koppleiste. Horizontale Lasten werden über bei Schubverklebung abgetragen; Quelle: Application of Load Bearing Glass Timber Composites Wolfgang Winter – TU Wien	57
Abb. 72 Vergleich HGV-Fassadenelementen mit oder ohne Klotzung; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, TU – Wien.....	58
Abb. 73 Wandscheibensteifigkeit für drei nebeneinander angeordneten Elementen; Quelle: Weissensteiner F. – Holz-Glas-Verbundkonstruktionen im Einsatz an thermischen Pufferzonen. Prototypischer Einsatz am Beispiel eines Anbaus	58
Abb. 74 Tischlerei Fa. Gegg; Quelle: Holzforschung Austria ; Dipl. HTL Ing. Peter Schober.....	59
Abb. 75 ECOLAR home der HTWG Konstanz; Quelle: Holzforschung Austria; Dipl. HTL Ing. Peter Schober.....	59
Abb. 76 Musterhaus Fa. Haas; Quelle: Holzforschung Austria; Dipl. HTL Ing. Peter Schober ...	59
Abb. 77 Lobby Glasträger Sicht Außen/Innen - Hotel Palafite; Neuchatel (CH); Quelle: https://de.oyster.com/neuchatel/hotels/hotel-palafitte/photos/lobby--v6233461/ (08.08.2015).....	61
Abb. 78 Links: Querschnitt Träger; Abbildung Träger ; Quelle: Kreher K. 2004 - Structural Engenieering International	62
Abb. 79 Zusammenhang zwischen Vorspannung und Resttragfähigkeit der Glasscheibe; Kreher K - Timer-Glass-Composite Girders for a Hotel in Switzerland	63
Abb. 80 "Wiener Kastenträger" Erster Prototyp - ITI 2010- Durchgehende Träger aus Kerto Q mit eingeklebten Glasscheiben in Koppelleisten, beidseitig aufgeschraubt wurden. Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) - TU-Wien	64
Abb. 81 Weiterentwicklung "Wiener Kastenträger"- Konstruktionsansatz; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau - TU-Wien.....	64
Abb. 82 Weiterentwicklung "Wiener Kastenträger" - Querschnitt , Aufbau, Konstruktionsprinzip; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau - TU-Wien.....	65

Abb. 83 Versuchsergebnisse Biegeversuche bis zum Totalversagen "Wiener - Kastenträger - Weiterentwicklung"; Quelle: Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau - TU-Wien	65
Abb. 84 Einfamilienhaus in Berlin; Arch.: OIKOS; Herrle und W. Stroll; Berlin (GER)	68
Abb. 85 Einfamilienhaus mit Galerien im Ennetmos; Arch.: Ken Architekten; Baden Zürich (CH)	69
Abb. 86 Glass House; Arch.: Philip Johnson and Richard Foster 1949 (USA)	70
Abb. 87 Geschoßwohnungen in Innsbruck; Arch.: Baumschlager Eberle; Lustenau (AUT)	71
Abb. 88 Kindergarten - Haus im Ennstal; Arch.: Krainer Architekten; Haus im Ennstal (AUT)	72
Abb. 89 Schulkinderkergarten in Buchen; Arch.: Eckner Architekten; Buchen (GER)	73
Abb. 90 Bürogebäude - Rivergate Wien; Arch.: BDA und Partner; Wien (AUT)	74
Abb. 91 Fotos - Bürogebäude - AK; Plößlgasse 2 - Wien (AUT)	75
Abb. 92 Bürogebäude - AK - Plößlgasse 2; Arch.: cppa Ceska Priesner Partner Architektur, Fellerer- Vendl Architekten; Wien (AUT)	76

8 Literaturverzeichnis

- Ali, M. M. (2001). *Art of the Skyscraper: The Genius of Fazlur Khan*: Rizzoli International Publications, Incorporated.
- Arnheim, R. (1978). *Kunst und Sehen : eine Psychologie des schöpferischen Auges. Kunst und Sehen.*
- Berthold, M. (2010). *Architektur kostet Raum*. Vienna: Springer Vienna: Vienna.
- Dirlwanger, N. (2013). Einsatz von Holzmischbautechnologien bei Eingriffen in denkmalgeschützte Gebäudesubstanz : am Beispiel des denkmalgeschützten Getreidespeichers der Anker-Brotfabrik. *Einsatz von Holzmischbaut.*
- Edl, T. (2008). Entwicklung von wandartigen verklebten Holz-Glas-Verbundelementen und Beurteilung des Tragverhaltens als Aussteifungsscheibe. *Entwicklung von wandartig.*
- French, H. (1999). *Architektur. Architektur.*
- Habenicht, G. (2009). *Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Hamm, J. (2000). *Tragverhalten von Holz und Holzwerkstoffen im statischen Verbund mit Glas*: na.
- Heid, P. (2014). Thermische Bewertungen der Holz-Glas-Verbundkonstruktion, wie auch der Anwendungsmöglichkeit weiterer Optimierungsuntersuchungen : Anwendungsmöglichkeit weiterer Optimierungsuntersuchungen. *Thermische Bewertungen de.*
- Hochhauser, W. (2011). Ein Beitrag zur Berechnung und Bemessung von geklebten und geklotzten Holz-Glas-Verbundscheiben. *Ein Beitrag zur Berek.*
- Joedicke, J. (1968). *Vorbemerkungen zu einer Theorie des architektonischen Raumes, zugleich Versuch einer Standortbestimmung der Architektur.*
- Joedicke, J. (1985). Raum und Form in der Architektur : Über den behutsamen Umgang mit der Vergangenheit. *Raum und Form in der Arch.*
- Klotz, H. (1991). Von der Urhütte zum Wolkenkratzer : Geschichte der gebauten Umwelt. *Von der Urhütte zum Wolke.*
- Knaack, U. (1998). Konstruktiver Glasbau. [1](1998). *Konstruktiver GlasbauMmNm.*
- Kreher, K. (2004). *Tragverhalten und Bemessung von Holz-Glas-Verbundträgern unter Berücksichtigung der Eigenspannungen im Glas.*

- Kreher, K., Natterer, J., & Natterer, J. (2004). Timber-glass composite girders for a hotel in Switzerland. *Timber-glass composite gi*.
- Kugler, F. Geschichte der Baukunst. *Geschichte der BaukunstMm*.
- Kühn, K. (2012). Studien und Arbeiten zu Raum und Licht. *Studien und Arbeiten zu R*.
- Langosch, K. (2012). Glas für tragende Bauteile. *Glas für tragende Bauteil*.
- Langosch, K. (2013). *Das Tragverhalten von Glasstützen mit Mono- und Verbundquerschnitten* RWTH Aachen University, Aachen. Retrieved from urn:nbn:de:hbz:82-opus-47213 (VII, 226, LXIV S. : III., graph. Darst.)
- Leicher, G. W. (2006). *Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen*: Werner.
- Linck, M. (2015). *Mythologie in Zahl an Pyramiden*: Books on Demand.
- Louter, C., Bos, F., Belis, J., & Lebet, J. P. (2014). *Challenging Glass 4 & COST Action TU0905 Final Conference*: Taylor & Francis.
- Meyer, A. G. (1907). Eisenbauten : ihre Geschichte und Ästhetik. *Eisenbauten*.
- Mislin, M. (1988). Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik : von der Antike bis zur Neuzeit ; eine Einführung. *Geschichte der Baukonstru*.
- Newberry, P. E. (1900). *The Life of Rekhmara: Vezîr of Upper Egypt Under Thothmes III and Amenhetep II (circa B.C. 1471-1448)*: A. Constable.
- Newton, I. S. (2009). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.
- Ofner, R. (2007). *Leichtbau und Glasbau- Skriptum. Konstruktionsprinzipien des Leichtbaus*. Hg. Technische Universität Graz. Institut für Stahlbau und Flächentragwerke
- Roberts, S., & Guariento, N. (2009). *Gebäudeintegrierte Photovoltaik: Ein Handbuch*: Birkhäuser.
- Schlenker, R. (2011). Architektur für Einsteiger. *Architektur für Einsteige*.
- Uniglas GmbH & Co. KG, M. (2014). Technisches Kompendium. 358. Retrieved from <http://www.uniglas.net>
- W. Winter, A. F. (2015). *Application of Load Bearing Glass Timber Composites (TGC)* Paper presented at the 4th Forum Wood Building Nordic Växjö.
- Weissensteiner, F. (2013). Holz-Glas-Verbundkonstruktionen im Einsatz an thermischen Pufferzonen - prototypischer Einsatz am Beispiel eines Anbaus. *Holz-Glas-Verbundkonstruk*.
- Winkelvoss, W. (1985). Architektur und Raum : sehen und sichtbar machen. *Architektur und Raum*.
- Winter, W. (2012). Tragende Holz-Glas Klebeverbindungen, 5. Europäischer Kongress für effizientes Bauen mit Holz. Retrieved from http://www.forum-holzbau.ch/pdf/ebh12_winter.pdf

9 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Wolfgang Winter, der mich bei meiner Arbeit als Betreuer unterstützt hat und mir viele wertvolle Inputs für die Ausarbeitung meines Entwurfs gegeben hat.