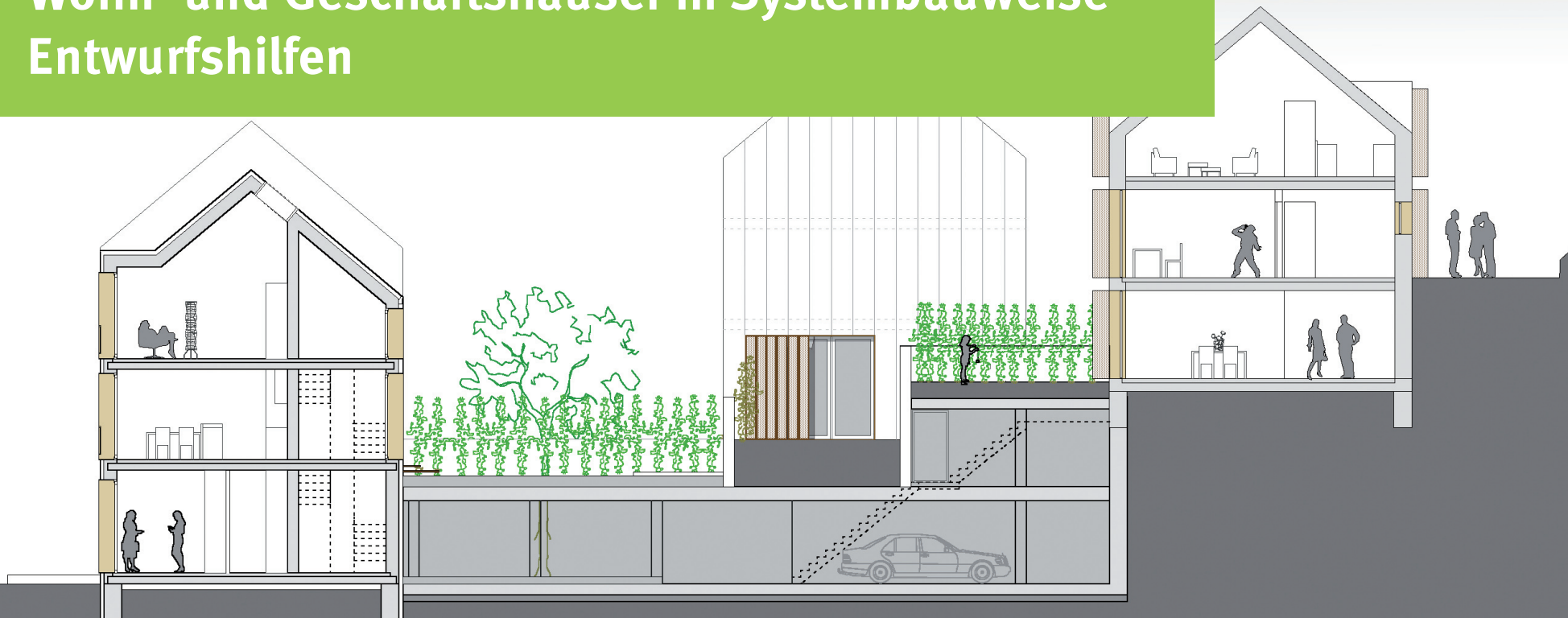


# Wohn- und Geschäftshäuser in Systembauweise Entwurfshilfen



Das IGF-Vorhaben 15446 BR der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA), Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



**AiF**  
Ideen eine Zukunft geben

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Die Autoren



**Carolin Kodisch**, Dipl.-Ing.

Carolin Kodisch studierte nach ihrer Ausbildung zum Bauzeichner Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar und der Technischen Hochschule Delft. Seit 2006 ist sie wiss. Mitarbeiterin an der Professur Entwerfen und Wohnungsbau der Bauhaus-Universität Weimar. Außerdem ist sie seit 2007 Büroinhaberin kug-architekten in München.



**Stefanie Raabe**, Dipl.-Ing., M. Sc.

Nach ihrer Lehre zum Steinmetz und Steinbildhauer studierte Stefanie Raabe Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar. Sie arbeitete anschließend als wiss. Mitarbeiterin an der Professur Grundlagen des ökologischen Bauens der Bauhaus-Universität Weimar und absolvierte den Fernstudiengang Architektur und Umwelt an der Hochschule Wismar. Seit 2008 ist sie wiss. Mitarbeiterin an der Professur Bauklimatik der Bauhaus-Universität Weimar.



**Martina Wolf**, Dipl.-Ing.

Martina Wolf studierte an der Bauhaus-Universität Weimar Bauingenieurwesen und arbeitete anschließend in verschiedenen Ingenieurbüros und Baubetrieben. Nach einer Weiterbildung zum Gebäudeenergieberater (BAFA) ist sie seit 2008 als wiss. Mitarbeiterin der Professur Stahlbau der Bauhaus-Universität Weimar, u. a. als Projektleiter „Innovative Systembauweise in der Innenstadt“, beschäftigt.



**Thomas Wahlbuhl**, Dipl.-Ing.

Thomas Wahlbuhl studierte an der Technischen Universität Dresden Technische Gebäudeausrüstung. Anschließend arbeitete er in verschiedenen Planungsbüros und absolvierte ein Aufbaustudium zum Anlagenplaner Regenerative Energieanlagen an der Universität Kassel sowie eine Weiterbildung zum Gebäudeenergieberater (BAFA). Seit 2008 ist er wiss. Mitarbeiter an der Professur Gebäudetechnik der Bauhaus-Universität Weimar und Büroinhaber des Planungsbüros PBW in Naumburg.

## Impressum:

Wohn- und Geschäftshäuser  
in Systembauweise – Entwurfshilfen  
Nr. B 403

Herausgeber:

>>bauforumstahl e.V.  
Sohnstraße 65 | 40237 Düsseldorf  
Postfach 10 48 42 | 40039 Düsseldorf  
T: +49(0)211.6707.828  
F: +49(0)211.6707.829  
zentrale@bauforumstahl.de  
www.bauforumstahl.de

Januar 2011

Ein Nachdruck dieser Publikation – auch auszugsweise – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers bei deutlicher Quellenangabe gestattet.

Die Entwurfshilfen wurden sorgfältig nach persönlichem Ermessen zusammengetragen. Für den Inhalt kann jedoch keine Haftung und keine Gewähr übernommen werden.

Titelbild: Pilotprojekt in Rudolstadt  
© kug-architekten, München

<b>I Einleitung</b>		Motivation Benutzerhinweise
<b>II Planungsbereich</b>	<b>1</b>	<b>Wohnungsbau</b>
	1.1	Grundlagen
	1.2	Entwurfsparameter
	1.3	Gebäudeentwurf
	<b>2</b>	<b>Tragwerk</b>
	2.1	Grundlagen
	2.2	Statische Systeme
	2.3	Deckensysteme
	2.4	Anschlussdetails
	<b>3</b>	<b>Bauklimatik</b>
	3.1	Wärmeschutz
	3.2	Feuchteschutz
	3.3	Schallschutz
	3.4	Außenwandaufbauten
	<b>4</b>	<b>Gebäudetechnik</b>
	4.1	Technische Anforderungen
	4.2	Bauweise und Heiz- und Kühlenergieverbrauch
	4.3	Das Gebäude als Energieerzeuger
	4.4	Wärmeversorgung
	4.5	Kühlung
	4.6	Lüftung
	4.7	Wasser-, Strom- und Medienversorgung
	<b>5</b>	<b>Brandschutz des Stahltragwerks</b>
	5.1	Allgemeine Grundlagen
	5.2	Brandschutz von Stahlbauteilen
	5.3	Spezielle Brandschutzmaßnahmen
<b>III Anhang</b>		Detailzeichnungen Verwendete Normen

## Motivation

„Planen und Bauen im Bestand“ gehört zu den Tätigkeitsfeldern der Zukunft. Stadtumbau wird eine zentrale städtebauliche Aufgabe in den kommenden Jahren sein, denn die Alterung und der Rückgang der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland gehen mit Bedarfs- und Angebotsveränderungen in allen Lebensbereichen einher. Dies wird auch weitreichende Folgen für die Stadtentwicklung zeigen und eine noch nie da gewesene Herausforderung für den Städtebau bedeuten.

Konzepte müssen gefunden werden, die es gestatten, die Revitalisierung und Reorganisation der Innenstädte als wesentliche Orte des gesellschaftlichen Lebens auf der Basis zukunftsweisender Ideen zu realisieren. Inzwischen gibt es eine wachsende Bewegung zurück in die Innenstadt. Ständig steigende Kosten für die Mobilität sowie die voranschreitende Ausdünnung der technischen und sozialen Infrastruktur auf dem Lande leiten einen Paradigmenwechsel ein. Allerdings sind die Innenstädte vielfach nicht auf die vielschichtigen Anforderungen und Bedürfnisse der potenziellen Bewohner vorbereitet.

Die Entwicklung innerstädtischer Gebiete erfordert in den meisten deutschen Städten neue Ansätze für die Nutzung vorhandener Grundstücke. An vielen Orten, insbesondere in Klein- und Mittelstädten, werden attraktive und interessante Plätze nicht mehr bebaut, weil die gegebenen Randbedingungen, wie Zugänglichkeit, Nachbarschaftssituation, Forderungen der Denkmalpflege u. ä. bei Einsatz üblicher Planungs- und Baume-

thoden kostengünstig kaum zu erfüllen sind. In der Verwaltung von Klein- und Mittelstädten ist nach wie vor die Ansicht weit verbreitet, dass die Altstädte wieder so zu ergänzen seien, wie sie vor 200 Jahren aussahen. Die Realität stellt sich indes anders dar. Die potenziellen Neu- oder Wiederbewohner dieser Quartiere verlangen wohnungsnaher Stellplätze, Licht, Luft und ein abgezontes Freiraumkonzept. Privaten Freiräumen, halböffentlichen Bereichen bis hin zu öffentlichen Spielplätzen bzw. Aufenthaltsräumen sind zu schaffen. Verkehr und technische Infrastrukturen erfordern eine Optimierung. Die vorhandenen Potentiale der sozialen und Freiraumstrukturen, wie Kinderbetreuung, Kunst, Kultur, Gesundheitsversorgung, Gewerbe, Sport u. a. sind aufzuwerten.

Innenstadtareale zu bebauen, heißt in erster Linie problemangepasst zu bauen. Dies erfordert eine ganzheitliche Betrachtung des Standortes mit seinen spezifischen Gegebenheiten, den strukturellen, gestalterischen und konstruktiven Möglichkeiten und eine nachhaltige Nutzung. Die Zukunft gehört dabei den flexiblen Systembauweisen, die eine industrielle Grundstruktur aufweisen und, ausgehend von konstruktiven Basissystemen, in der Lage sind, sehr individuell eingesetzt zu werden, ohne die Vorteile eines wiederverwendbaren erprobten Konzepts aufzugeben.

Wurde noch vor Jahren darüber nachgedacht, typisierte Konstruktionen zu verwenden, weiß man heute, dass gerade auf dem Gebiet des innerstädtischen Bauens eine wirkliche Typisierung aufgrund der Vielfältigkeiten der Situationen und der

Wünsche der Nutzer nicht sinnvoll und technisch kaum möglich ist.

Der vorliegende Katalog demonstriert ein ganzheitliches und durchgängiges Planungssystem zum Entwurf hochwertiger, zukunftsfähiger Gebäude im innerstädtischen Bereich bei komplizierten Randbedingungen. Die Qualität des Produktes „Haus = Gebäude“ umfasst dabei den Gestaltwert unter Berücksichtigung der vorhandenen Bebauung, den Gebrauchswert als innerstädtische Immobilie und die Nachhaltigkeit des Gebäudes bei Nutzung zukunftsfähiger energieschonender Ausrüstungen.

Der Fokus des Katalogs, der als Entwurfshilfe verstanden wird, liegt dabei weniger auf der Entwicklung innovativer Einzelaspekte als vielmehr auf dem Zusammenspiel unterschiedlicher Anforderungen aus den Disziplinen Gestaltung, Konstruktion und Technik, d. h. die integrative Entwicklung der Architektur, Tragkonstruktion, Gebäudetechnik und Bauklimatik.

Die Fachleute finden eine Planungshilfe für eine rationelle und planerisch gesicherte Entwicklung zukunftsfähiger, nicht nur innerstädtischer, Wohn- und Geschäftshäuser – interessierte Bauherren können sich informieren, wie ihre Gestaltungswünsche flexibel realisiert werden können.

## Benutzerhinweise

Der Katalog ist gegliedert in fünf Abschnitte, in denen die Inhalte der Disziplinen der Planungsbereiche

- Wohnungsbau,
- Tragwerk,
- Bauklimatik,
- Gebäudetechnik und
- Brandschutz

aufeinander bezugnehmend erläutert werden.

Der Umgang mit dem Katalog wird mittels Kopfzeile und Marginalspalte am rechten Blattrand in einfacher Weise gesteuert.

Die Kopfspalte gibt darüber Auskunft, in welchem Abschnitt des Kataloges sich der Nutzer befindet - Einleitung, Planungsbereich, Anhang. Die Marginalspalte ermöglicht aufgrund der Reiter in unterschiedlichen Farben, je nach Disziplin, ein schnelles Auffinden der entsprechenden Themengebiete durch den Nutzer. Die Reiter geben die Anzahl der Kapitel des entsprechenden Bereiches an, sowie welches Kapitel gerade behandelt wird. Darüber hinaus verweisen entsprechende Piktogramme auf inhaltliche Rückkopplungen zu den jeweils anderen Disziplinen.

**Arbeiten mit der Planungshilfe** | Ausgehend von der zu schließenden Baulücke, bzw. der entworfenen Kubatur des Gebäudes wird eine formale Zonierung der Grundrisse auf Basis des robusten Rasters (s. Planungskatalog Kap. 1.2) vorgenommen. Das Raster ist individuell anpassbar und kann so auf die örtlich vorgefundenen Gegebenheiten zugeschnitten werden.

Weiterhin stellt das Raster die Schnittstelle zur Tragwerksimplementierung dar. Je nach Gewichtung der verschiedenen Eigenschaften der statischen Systeme kann das jeweils „Passende“ ausgewählt werden. In einem folgenden Arbeitsschritt kann die Auswahl der Hüllelemente, je nach angestrebten energetischen Standard und des gewünschten äußeren Erscheinungsbildes des Gebäudes, erfolgen. Die Dimensionierung der Anlagentechnik steht in einem engen Zusammenhang mit der Qualität der Hülle. Aus diesem Grund können die beiden Komponenten nicht entkoppelt voneinander betrachtet werden, so dass die Auswahl stets ein iterativer Prozess ist.

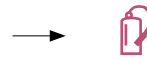
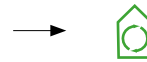
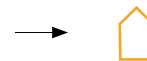
Wohnungsbau

Tragwerk

Bauklimatik

Gebäudetechnik

Brandschutz



Verweise





## INHALT

**1 Wohnungsbau****1.1 Grundlagen**

- 1.1.1 Innerstädtische Systembauweise im Wohnungsbau
- 1.1.2 Städtebau
- 1.1.3 Entwicklung eines Musterhauses

**1.2 Entwurfsparameter**

- 1.2.1 Zonierung
- 1.2.2 Flexibilität und offenes Grundrissystem
- 1.2.3 Robustes Raster
- 1.2.4 Baulücke / Ergänzung

**1.3 Gebäudeentwurf**

- 1.3.1 Grundrisse
- 1.3.2 Erschließung
- 1.3.3 Sanitärmodule
- 1.3.4 Schnitte
- 1.3.5 Ansichten
- 1.3.6 Fassade
- 1.3.7 Außenraum



## 1.1 Grundlagen

### 1.1.1 Innerstädtische Systembauweise im Wohnungsbau

In den Innenstädten ist gewöhnlich der Raum knapp. Nicht nur der Wohnraum – auch der Raum für die Baustelle, Baustellentätigkeiten und Baustelleneinrichtung steht häufig nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung. Umso stärker wiegen die Vorteile der Systembauweise:

- geringer Flächenverbrauch, durch minimale Arbeitsleistung auf der Baustelle
- kurze Montage- und Bauzeit, durch mögliche Vorfertigung
- weitgehender Verzicht auf Nassprozesse und folglich kurze Trocknungszeiten

Die industriell vorgefertigten Einzelbauteile kommen kompakt auf die Baustelle und werden dort zusammengesetzt. Dadurch sind beengte Verhältnisse durch Verkehr, enge Straßen und Anlieferung während der Bauzeit leichter beherrschbar. Das in der Regel geringe Gewicht der Bauteile ermöglicht einen geringeren Aufwand an Gründungsmaßnahmen und einen behutsamen Umgang mit vorhandener Nachbarbebauung.

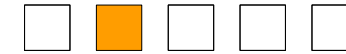
Mit der Vorfertigung verlagert sich ein Schwerpunkt der Planung auf die Ausbildung von Fugen und Anschlusspunkte der Einzelbauteile in der Fertigung und während der Montage.

Die konsequente Trennung von Hülle und Tragwerk ist hier ein entscheidendes Kriterium der Planung.

Die ständig steigenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung erfordern einen kreativen und innovativen Umgang mit Fassaden und Hüllkonstruktionen sowie deren energetischer Wirksamkeit. Die Stahlskelettkonstruktion ermöglicht dem Planer, die Hülle unabhängig vom Haupttragwerk zu gestalten und anzupassen.

### 1.1.2 Städtebau

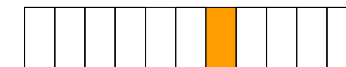
Im Wohnungsbau kann der Architekt in seiner Planung auf bestimmte Konstanten zurückgreifen. Ein einfaches und anschauliches Beispiel zur Erarbeitung der städtebaulichen Grundkonfiguration wären Vorüberlegungen zur Belichtung. So kann ein Reihenhaus von zwei, ein Reiheneckhaus von drei und ein freistehendes Haus von vier Seiten belichtet werden. Diese Situation wirkt sich unmittelbar auf Struktur und Bauweise sowie letztendlich auch auf die eingesetzten Baustoffe aus. Das klassische innerstädtische Haus, das auch im vorliegenden Fall betrachtet wurde, ist das von zwei Seiten belichtete Stadthaus in der Reihe.



freistehendes Wohngebäude

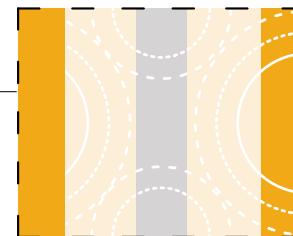
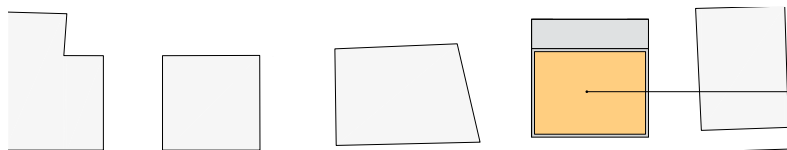


Endhaus



Reihenhaus

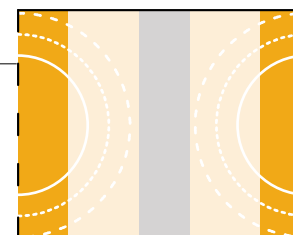




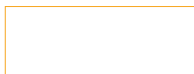
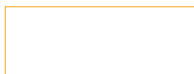
4-seitige Belichtung  
*freistehendes Haus*



3-seitige Belichtung  
*Endhaus*



2-seitige Belichtung  
*Reihenhaus*





1.1





### 1.1.3 Entwicklung eines Musterhauses

Anhand eines Musterentwurfes wurden in interdisziplinärer Zusammenarbeit Entwurfshilfen für innerstädtische Systembauweise mit Stahltragwerk im Wohnungsbau entwickelt.

Ausgangspunkt für die gemeinsame Arbeit am Planungskatalog ist das innerstädtische Musterhaus, das als Betrachtungsgrundlage für den Entwicklungsprozess der einzelnen Bauteile und Anschlusspunkte dient.

Das Musterhaus gilt als Prototyp und stellt die Basis aller Überlegungen dar. An ihm werden im Austausch und in steter Rückkoppelung mit allen Disziplinen eine Vielzahl von Aufbauten und Anschlusspunkten entwickelt und planerisch überprüft. Aus diesem Grund weist das Musterhaus unterschiedliche Dachformen, Fassaden, Gebäudeteile, Geschossigkeiten und Wohnungstypen auf.

Eine Auswahl von Bauteilen und Anschlusspunkten wurde bauphysikalisch und kybernetisch untersucht und ist im Planungskatalog dargestellt. Die Verweise zu den einzelnen Disziplinen und Untersuchungen finden sich in den jeweiligen Kapiteln.

Die wesentlichen Vorüberlegungen, die dem Entwurf des Musterhauses zu Grunde liegen, waren:

- Analyse typischer Wohnformen in der Innenstadt
- Verzicht auf Zielgruppenorientierung
- Darlegung möglichst vieler Fallbeispiele formaler und konstruktiver Art

Die Wahl fiel auf den Gebäudetyp Wohn- und Geschäftshaus in der Innenstadt, mit Nutzungsunterlagerung im Erdgeschoss in Form von Büros und/oder Gewerbeflächen sowie Wohnungen in den Obergeschossen. In der Formgebung galt es, möglichst viele Aspekte und typische bauliche Situationen im Fallbeispiel untersuchen und zeigen zu können.

Das Musterhaus setzt sich aus zwei Gebäudeteilen mit zwischengeschalteter Erschließungsfuge zusammen. Im Katalog werden diese als Haus 1, Haus 2 und als Erschließungsbauwerk bezeichnet.

Das Musterhaus ist als gereihtes Stadthaus mit Ost-West-Ausrichtung konzipiert. Die beiden Gebäudeteile Haus 1 und Haus 2 sind viergeschossig. Das Haus 2 als nördlicher Gebäudeteil erhält zusätzlich ein Dachgeschoss in Form eines Satteldachs.

Es wurden unter anderem unterschiedliche Tragsysteme, Wandaufbauten und Verschattungselemente untersucht.

Von besonderem Interesse war dabei der Beitrag der einzelnen Komponenten zur Verbesserung der Energieeffizienz der Gebäude.

1.1





## 1.2 Entwurfparameter

### 1.2.1 Zonierung

**Außenraumbezug, dienende Zone, Kommunikations- und Individualbereiche** | Die Zonierung einer Wohnung erfolgt in der Regel in einen kommunikativen und einen individuellen Bereich. Außenraumbezüge und die Lage der dienenden Zone sollten so gesetzt werden, dass für beide Bereiche angemessene Funktionsbeziehungen entstehen.

Der kommunikative Raum dient als Treffpunkt der Bewohner. Hier wird gemeinsam gekocht, gegessen, gespielt und Gäste empfangen.

Die Individualräume bilden den ruhigeren Bereich. Er dient als Rückzugsort für die Bewohner.

Im vorliegenden Musterbeispiel erfolgt die Ausrichtung und Belichtung der Wohnung nach Ost und West. Es liegt beim zweiseitig belichteten Reihenhaus also nahe, die Bereiche - kommunikativ und individuell - je einer Fassade mit Außenraumbezug zuzuordnen. Die Wahl ist nicht vordefiniert und dem Bewohner selbst überlassen.

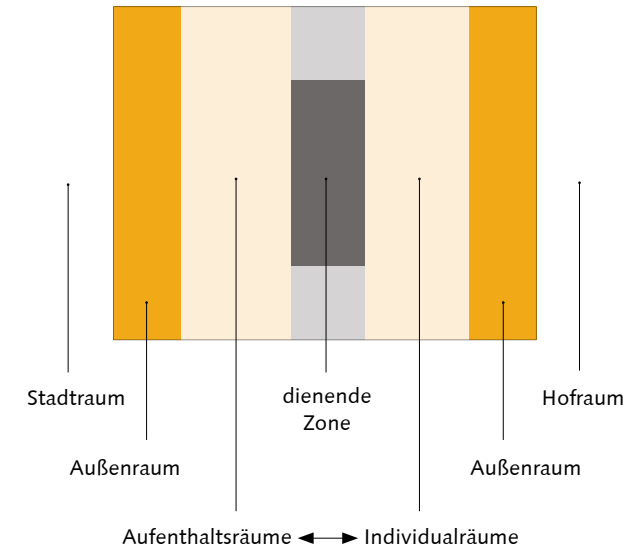
Betrachtet man gleichzeitig den Außenraum, finden sich auch hier die differenzierten Qualitäten einer städtischen und eher öffentlichen, meist lautereren, Stadt- und der eigenen, meist ruhigeren Hofseite.

Beide oben genannten Bereiche innerhalb der Wohnung werden im vorliegend betrachteten Fallbeispiel durch den Versorgungskern separiert.

Dieser ist in der Mittelzone des Grundrisses platziert und so gleichermaßen von beiden Bereichen zugänglich. Der Versorgungskern als Dienstleistungszone des Hauses ist unmittelbar an die Schächte angebunden, welche Wohnungen und Gewerberäume vertikal mit den technischen Medien versorgen.

Je nach Nutzerwunsch orientieren sich die Individualbereiche und kommunikativen Bereiche der Wohnung vom Versorgungskern weg - wahlweise nach Ost oder West. Beiden Fassaden kann ein privater Außenraum als Freibereich innerhalb der Wohnung oder im Erschließungsbauwerk zugeordnet werden.

Diese formale Zonierung des Grundrisses hat unmittelbaren Einfluss auf das Tragwerk.

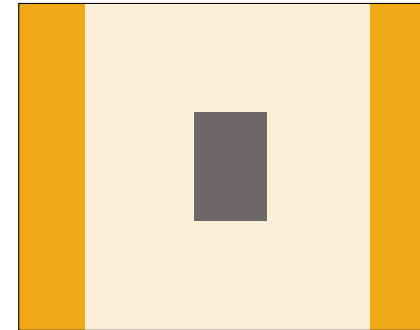




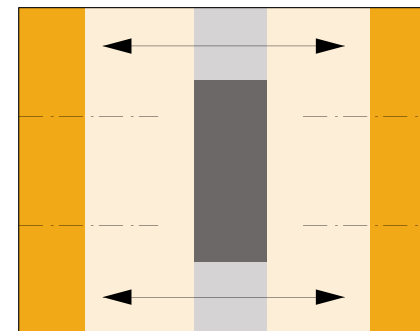
## 1.2.2 Flexibilität und offenes Grundrissystem

**Veränderungen im Lebenszyklus** | Die Grundstruktur des Musterhauses basiert auf einem offenen Grundrissystem, bestehend aus einer tragenden Stahlskelettkonstruktion und nicht tragenden Innenwänden. Dieses offene System ermöglicht eine Vielzahl von Grundrisslösungen, die mit einfachsten baulichen Maßnahmen realisierbar sind.

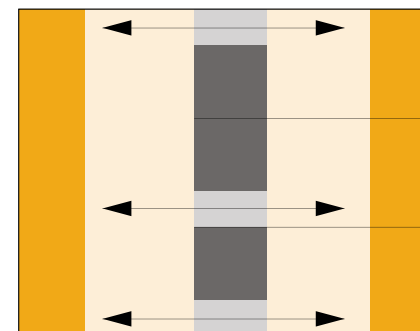
Das Gebäude ist in seinem Lebenszyklus veränderbar, passt sich Nutzern und Funktionen an, auch dann wenn sich die Lebensbedingungen der Bewohner im Laufe der Zeit ändern. So werden die klassische Familienwohnung, das Loft, Wohnkonzepte mit Servicecharakter, die Studenten- oder Seniorenwohngemeinschaft in Zeiten des demographischen Wandels mit einem Grundsystem ermöglicht.



Loft



Familienwohnung



Wohngemeinschaft

### 1.2.3 Robustes Raster

**Das Stahltragwerk aus Sicht des entwerfenden Architekten** | Im Zusammenhang mit dem Grundrisskonzept und der Zonierung der Wohn-geschosse wurden zu Beginn unterschiedliche Möglichkeiten und Synergieeffekte des Tragwerks mit der Gebäudetechnik beleuchtet.

Die Vorgaben aus dem Stahltragwerk für die Architektur und Grundrissgestaltung wurden in drei Situationen unterteilt:



**Das Kernsystem** | Die Aussteifung des Stahlskelettsystems erfolgt mittels massivem Kern aus Stahlbeton.



Die Auswirkungen auf die Architektur sind als Einschränkung in der Grundrissgestaltung und -flexibilität zu werten, da die Lage und Größe des Sanitärkerns vordefiniert ist. Die Reaktionsmöglichkeit auf nutzerspezifische Anforderungen ist begrenzt. Jedoch zeigt sich in dieser Bauweise auch eine Chance in gestalterischer und funktionaler Hinsicht: Der statisch wirksame Einbau als „eingestellte Box“ im Raum. Die Dienstleister oder Medienkerne im Gebäudeinneren könnten als Produkt vermarktet und vom Eigentümer individuell zugekauft werden. In einem Auswahlkatalog könnten beispielsweise unterschiedliche Oberflächenqualitäten, Einrichtungen, die Farbgestaltung und weitere Eigenschaften definiert sein, welche beliebig zusammengestellt werden können.

**Das Gelenksystem** | Die Aussteifung des Stahlskelettsystems erfolgt durch Verbände und/oder Fachwerkstäbe.

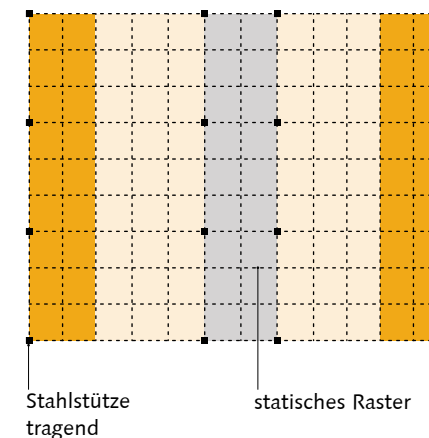
In diesem System ist die Flexibilität in der Gestaltung des Grundrisses zwar eingeschränkt, fällt jedoch höher aus als beim Kernsystem. Die Definition und Lage der Aussteifungskreuze oder Fachwerkstäbe ist zu Beginn des Entwurfs erforderlich, wodurch der entsprechende Gestaltungsspielraum abgesteckt wird.

**Das Rahmensystem** | Die Aussteifung des Gebäudes erfolgt in Form eines Rahmensystems mit zum Teil biegesteifen Anschlusspunkten.

Die größte Grundrissflexibilität für den Architekten wird bei diesem System erreicht. Aufgrund der erforderlichen höheren Bauteilquerschnitte der Stützen weist das System jedoch einen höheren Materialverbrauch auf. In einem begrenzten Maße geht Wohnfläche verloren.

Im Einklang mit der Entwicklung des Tragwerks und des Grundrisses, wurde gleichzeitig ein Schachtsystem für die Gebäudetechnik entwickelt.

Das Schachtsystem für Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektroinstallation befindet sich mittig im Grundriss und versorgt die Wohnungen zentral mit allen erforderliche Medien. Das System be-



herbergt integrierte, wandbündige Öffnungen zur Medienversorgung, die jederzeit nachrüstbar sind. Die Wohnraumlüftung wird über seitliche Schattenfugen in der Abhangdecke oder der Wandverkleidung des Versorgungskerns ermöglicht.

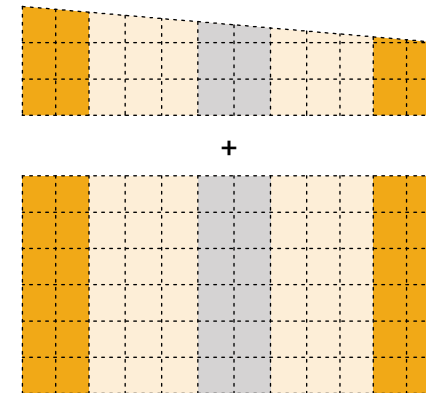
Bei allen genannten Varianten können Qualitätsstandards je nach Wunsch des Bauherren festgelegt werden. Standards von Sozialwohnungen bis hin zu Luxuswohnungen sind umsetzbar. Jedoch gilt zu beachten, dass ökonomische, ökologische, technische und insbesondere brandschutztechnische Vorgaben die Wahl des Systems beeinflussen.



### 1.2.4 Baulücke / Ergänzung

Bauen in Innenstädten heißt unter anderem Bauen auf beengtem Raum, Anpassung an die umgebende Bebauung und an vorgefundenen Geometrien durch die Nachbarbebauung. Häufig gilt es, Traufkanten, Dachformen und -neigungen einzuhalten und vorgegebene Gestaltungssatzungen aufzunehmen und das Gebäude äußeren Rahmenbedingungen anzupassen.

Das gewählte Grundsystem kann den vielfältigen innerstädtischen Baulücken und Geometrien angepasst werden. Dies gilt sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Ausrichtung. Es können schiefwinklige Geometrien ausgebildet werden. Ganz bewusst wurde die Nordfassade des Musterhauses mit einer schrägen Außenwand versehen.





## 1.3 Gebäudeentwurf

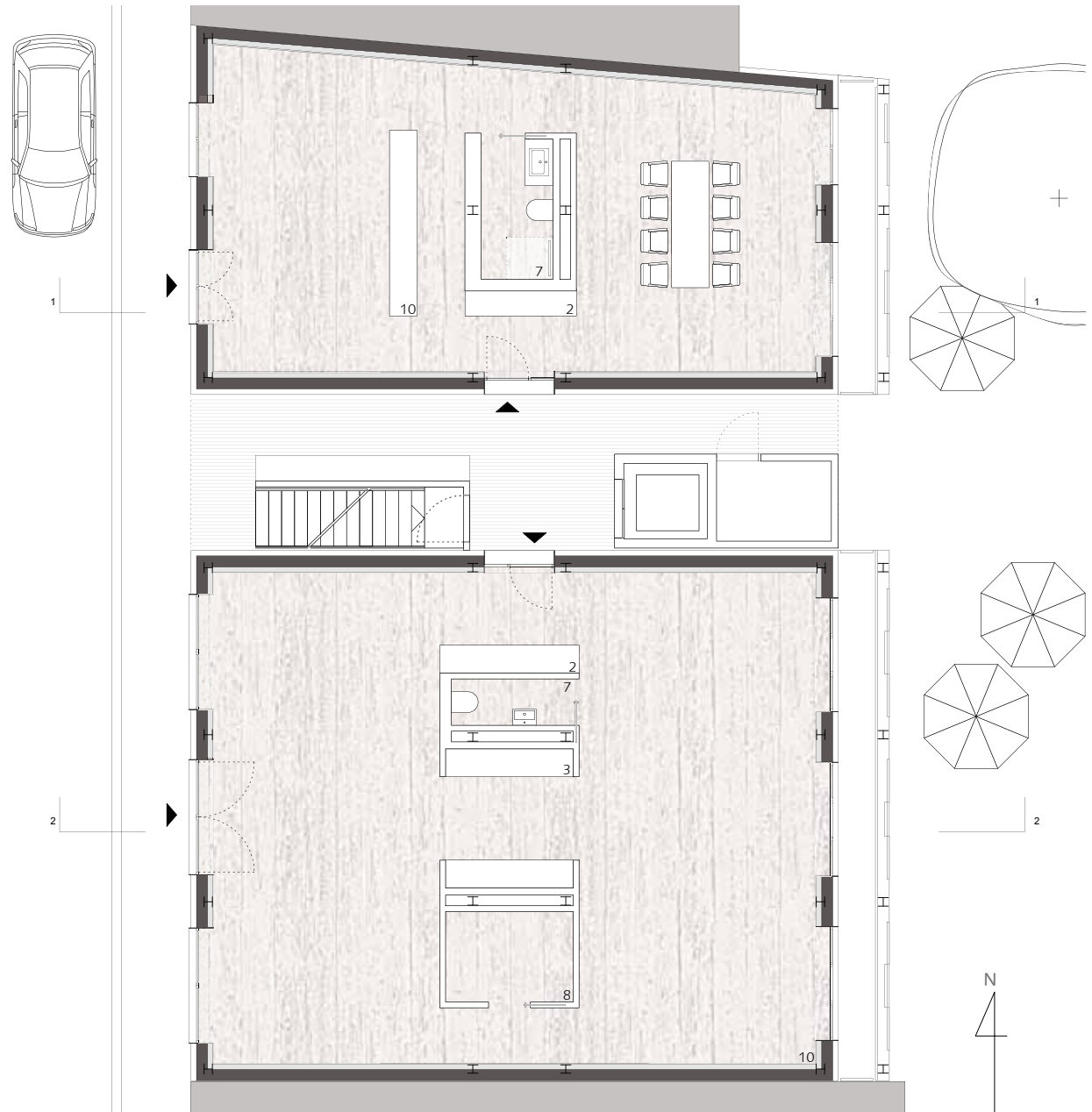
### 1.3.1 Grundrisse

**Erdgeschoss** | Im Erdgeschoss befindet sich in Haus 1 und 2 die Nutzungsunterlagerung in Form von Dienstleistern und Gewerbeflächen (Büros / Geschäfte). Der Versorgungskern, als dienende Zone, beherbergt die Nebenraumfunktionen wie Garderobe, Sanitäranlagen und Teeküche. Auch Archive oder Abstellräume können hier vorgesehen werden. Der umgebende Raum kann je nach Nutzerwunsch frei gestaltet werden.

Die Erschließungsfuge verfügt über eine zweiläufige Treppenanlage sowie einen Aufzug, wodurch ein barrierefreier Zugang der Obergeschosse gewährleistet wird. Darüber hinaus sind hier ein Nebenraum für Abfall sowie Briefkästen seitlich des Treppenaufganges untergebracht.

Dem Nutzer wird im vorliegenden Fall ein Durchgang in den Hinterhof und Garten angeboten. Bedarfsorientiert kann der Durchgang fußläufig oder als Durchfahrt für Personenkraftwagen mit Parkmöglichkeit im Hinterhof gestaltet werden.

Beide Gebäudeteile sind zur Aufnahme der hauseigenen Gebäudetechnik unterkellert. Die technische Erschließung erfolgt vertikal über die zentralen Schächte.



1.3

Erdgeschoss

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe

0 1 2 m





**1. Obergeschoss** | Ab dem ersten Obergeschoss sind die Wohneinheiten angeordnet. Das vorgesehene offene Grundrissystem mit nicht tragenden Innenwänden lässt, wie bereits erwähnt, eine Vielzahl an Nutzern zu. Haus 1 verfügt hier beispielsweise über eine klassische Familienwohnung mit drei Schlafräumen nach Osten, sowie einen Wohn- und Essbereich mit Küche nach Westen (zur Stadt) orientiert. Wohn- und Essbereich sind durch eine eingerückte Loggia gegliedert. Abstellraum, Gäste-WC, Garderobe und Bad befinden sich in der dienenden Zone und sind an das vorgegebene Schachtsystem angeschlossen.

Die nördliche Wohnung in Haus 2 orientiert sich mit Wohn- und Essbereich nach Osten, während hier die beiden Individualräume im Westteil liegen.

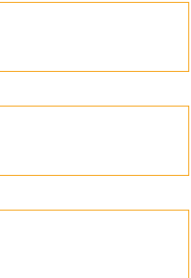
Diese beiden Wohnraumangebote könnten von Familien als auch Wohngemeinschaften genutzt werden.



## 1. Obergeschoss

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe

0 1 2 m



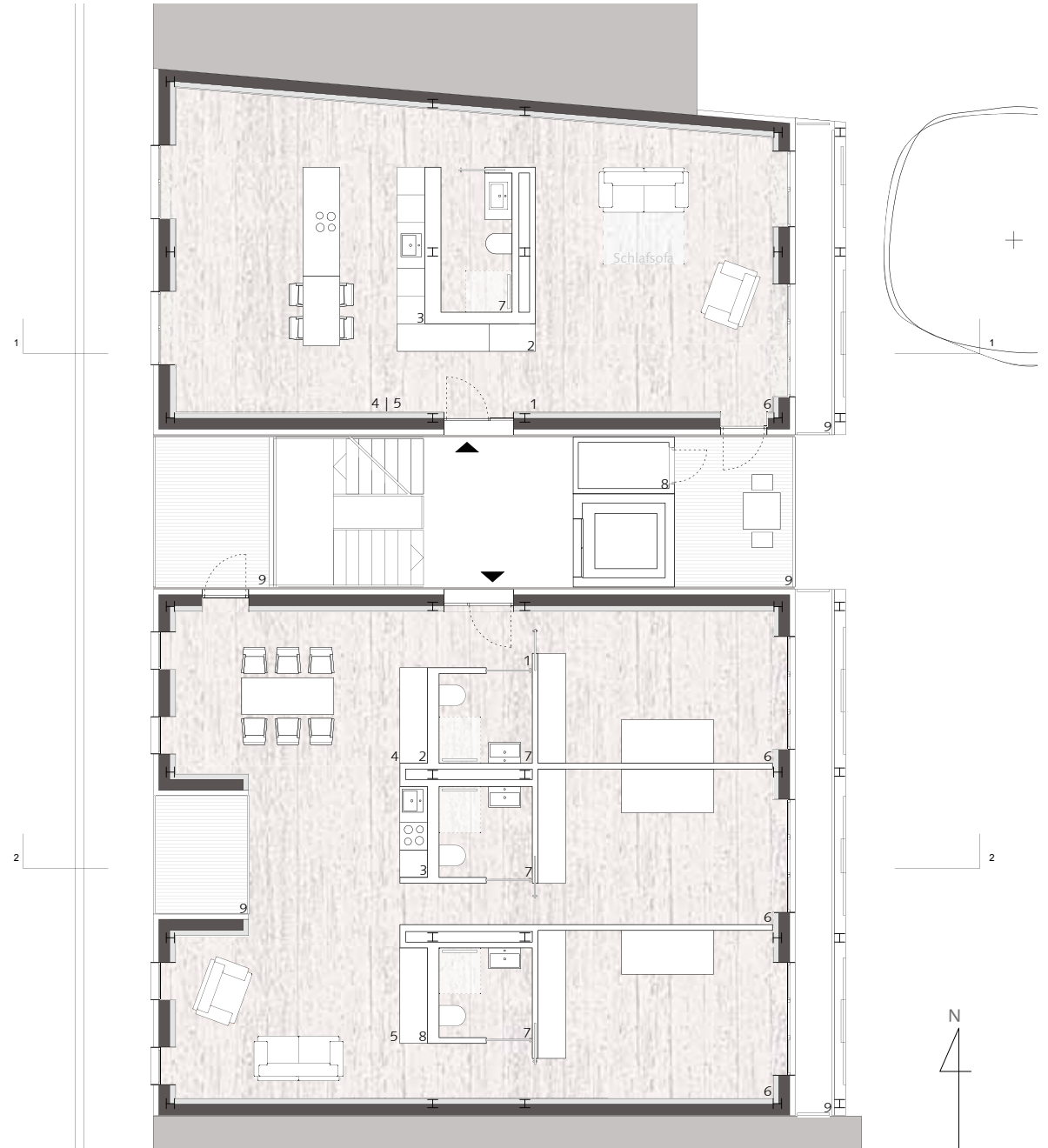
1.3

**2. Obergeschoss** | Haus 1 zeigt die klassische Wohnung für eine Wohngemeinschaft: drei Individualräume mit je eigenem Bad und gemeinsamem Wohn- und Essbereich. Da das Gebäude bis zum 3. Obergeschoss barrierefrei gestaltet ist, kann diese Wohnung von Studenten oder Senioren gleichermaßen genutzt werden.

Haus 2 bietet hier als Variante eine Einraumwohnung mit gliederndem, eingestellten Sanitärkern als Single-Loft an.

2. Obergeschoss

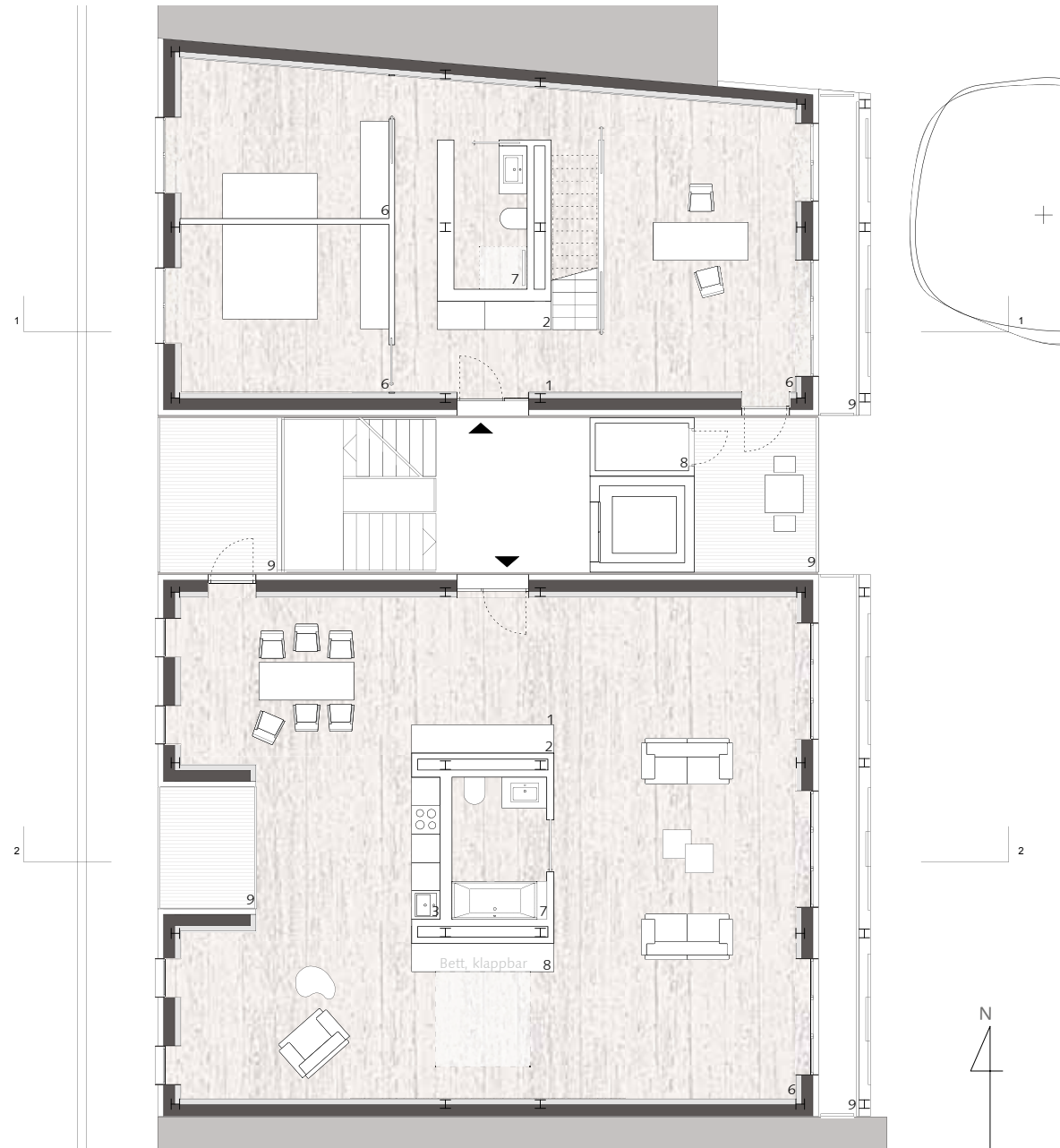
- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe





**3. Obergeschoss** | Die Beweisführung für die Variabilität der Grundrissgestaltung ist hier am deutlichsten: Durch den Entfall von allen nicht tragenden Wänden in Haus 1 kann ein großzügiges Loft angeboten werden, das lediglich einen Sanitärkern mit angedockter Küchenzeile beherbergt. Der restliche Grundriss bleibt frei und individuell bespielbar.

Betritt man die Maisonette-Wohnung im nördlichen Gebäudeteil (Haus 2), so befinden sich die Individualräume im 3. Obergeschoss, während die Wohnräume im Dachgeschoss angeordnet sind.

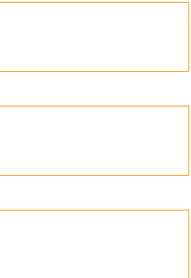


1.3

3. Obergeschoss

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe

0 1 2 m

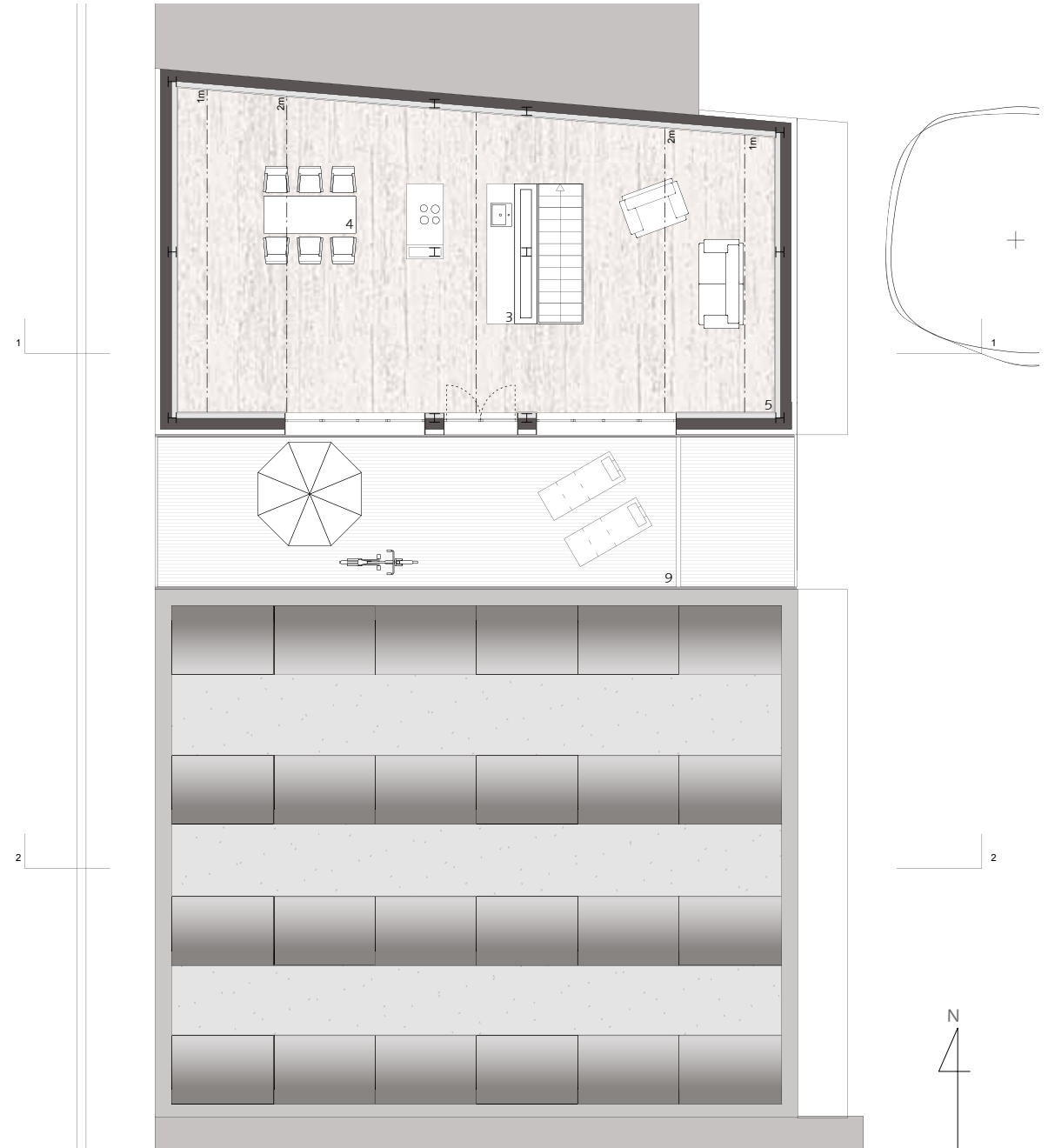


1.3

**Dachgeschoss** | Die Wohnräume der Maisonette-Wohnung in Haus 2 verfügen über eine großzügige Verglasung nach Süden und werden durch die angrenzende Dachterrasse erweitert. Die mögliche Offenheit des Grundrisses durch den Wegfall der nicht tragenden Wände wird deutlich.

Dachgeschoss

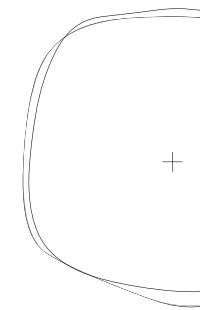
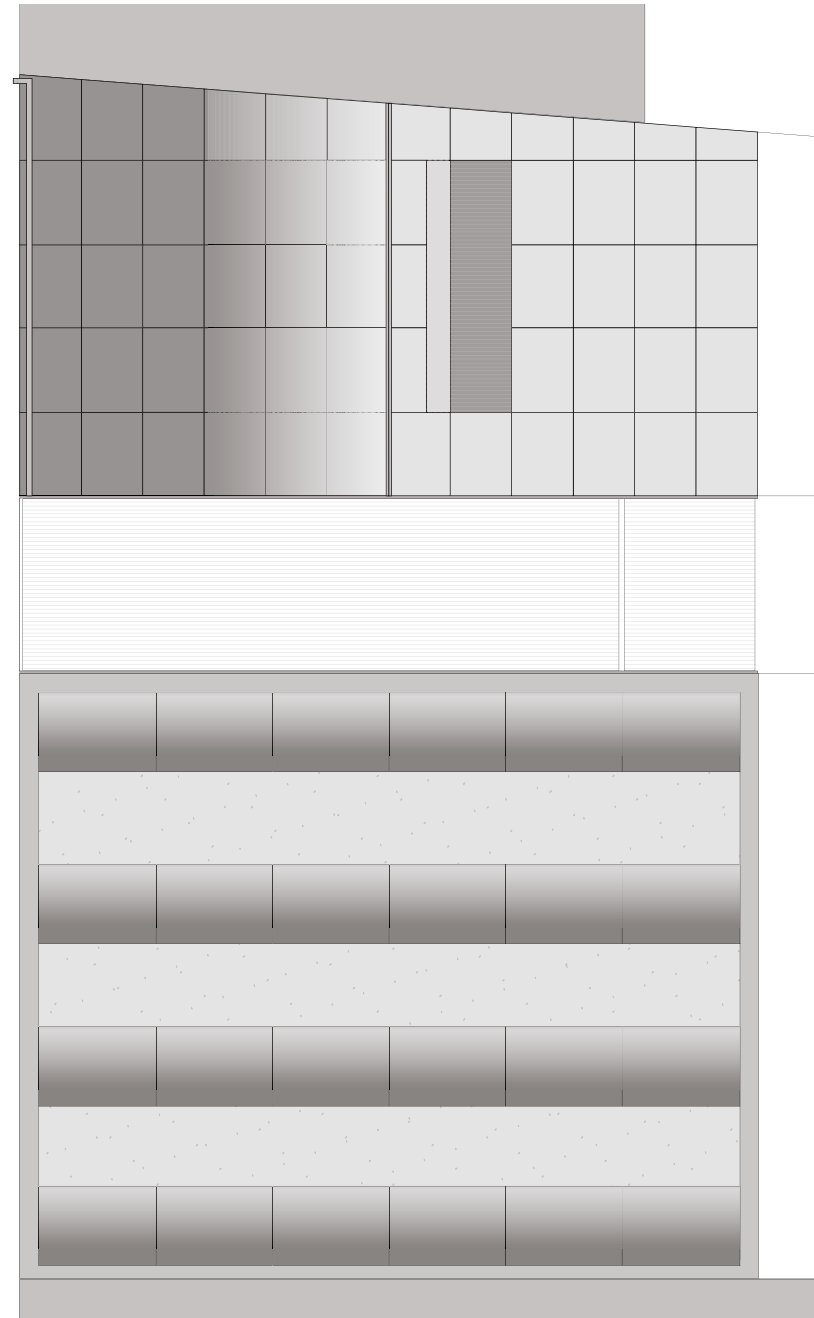
- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe





**Dachaufsicht** | In den Innenstädten findet die Form und Nutzung des Daches zunehmend Interesse. Das Flachdach punktet mit dem möglichen Angebot einer Dachterrasse als privater Außenraum bzw. einer intensiven Begrünung (Reduktion der versiegelten Fläche). Das geneigte Dach gilt in Deutschland allgemein jedoch als typisch. Im Musterhaus finden beide Dachformen Berücksichtigung.

Die Dachaufsicht zeigt die Qualitäten und je nach Bauherrenwunsch variierenden Gestaltungsmöglichkeiten von flachen und geneigten Dächern. Im vorliegenden Fallbeispiel dienen beide Dächer von Haus 1 und Haus 2 der Energiegewinnung. Das geneigte Dach bietet - aufgrund seiner Geometrie - die optimale Basis zur Anbringung der PV-Module, die Ausrichtung zur Sonne ist jedoch durch die Lage des Hauses definiert. Das Flachdach lässt eine frei wählbare Ausrichtung der PV-Module zu. Diese werden mit Hilfe einer Unterkonstruktion aufgestellt.

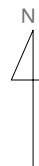


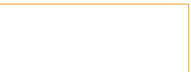
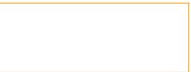
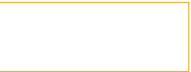
1.3

Dachaufsicht

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe

0 1 2 m





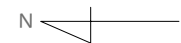
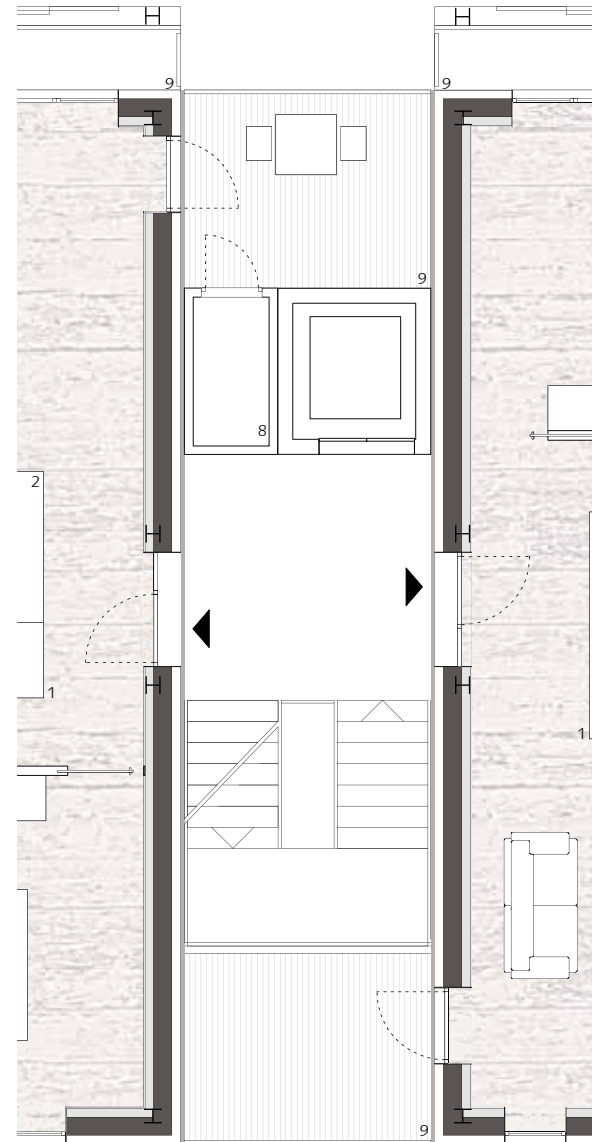
1.3

### 1.3.2 Erschließung

Der Erschließungsbau erfüllt unterschiedliche Anforderungen. Die primäre Aufgabe der vertikalen Erschließung des Gebäudes steht dabei außer Frage und wird mittels der zweiläufigen Treppe sowie des Personenaufzuges bedient. Von Vorteil erweist sich die offene Bauweise dieses verbindenden Elementes. So bietet sich in den Obergeschossen die Möglichkeit, den angrenzenden Wohnungen private Außenräume in Form von Loggien zuzuschreiben. Das Treppenhaus ist zugleich Fluchttreppenhaus.

Erschließung

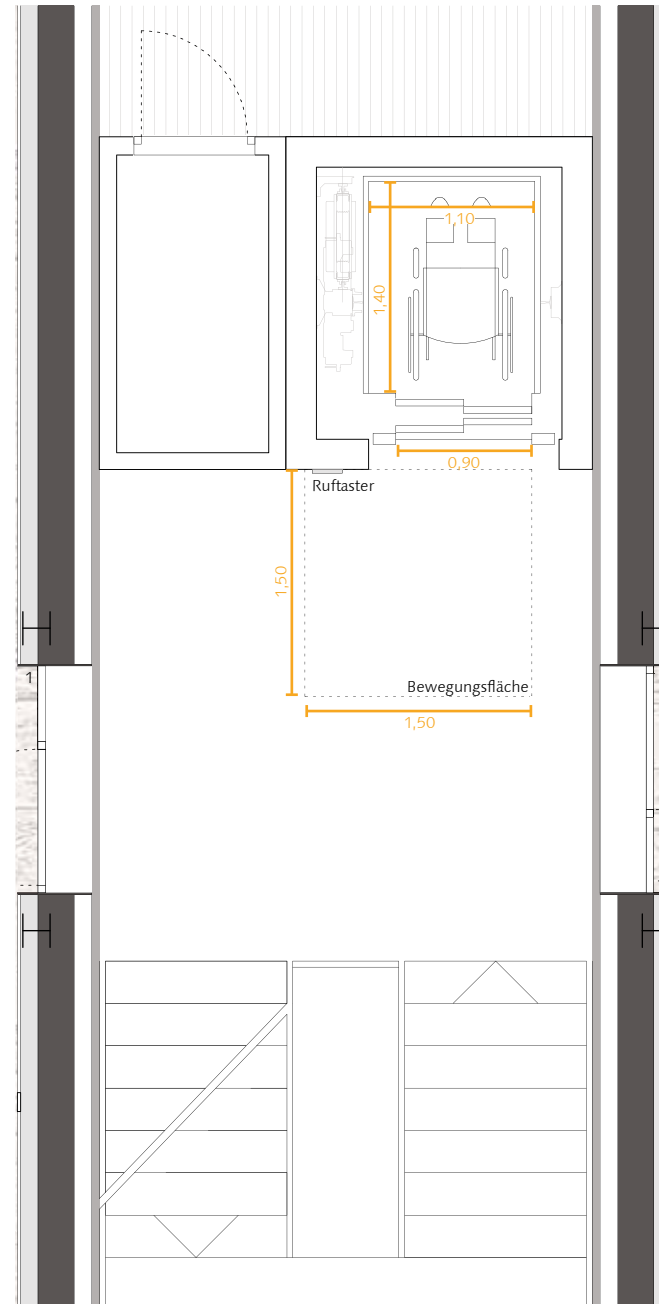
- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe





**Aufzug** | Der Personenaufzug gehört im Wohnungsbau ab dem 4. Obergeschoss und bei Anforderungen an die Barrierefreiheit zur Standardausstattung. Für das vorliegende Beispiel eines Wohn- und Geschäftshauses fiel die Wahl auf einen einfachen Seilzug ohne Triebwerksraum. Dieser kann ohne konventionellen Schachtkopf und -grube ausgeführt werden. So entstehen kaum Einschränkungen im Keller- und Dachterrassenbereich.

Je nach Tragsystem kann der Aufzug massiv oder auch als transparenter Stahl-Glas-Aufzug gestaltet sein.



1.3

#### rollstuhlgerechte Erschließung

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe

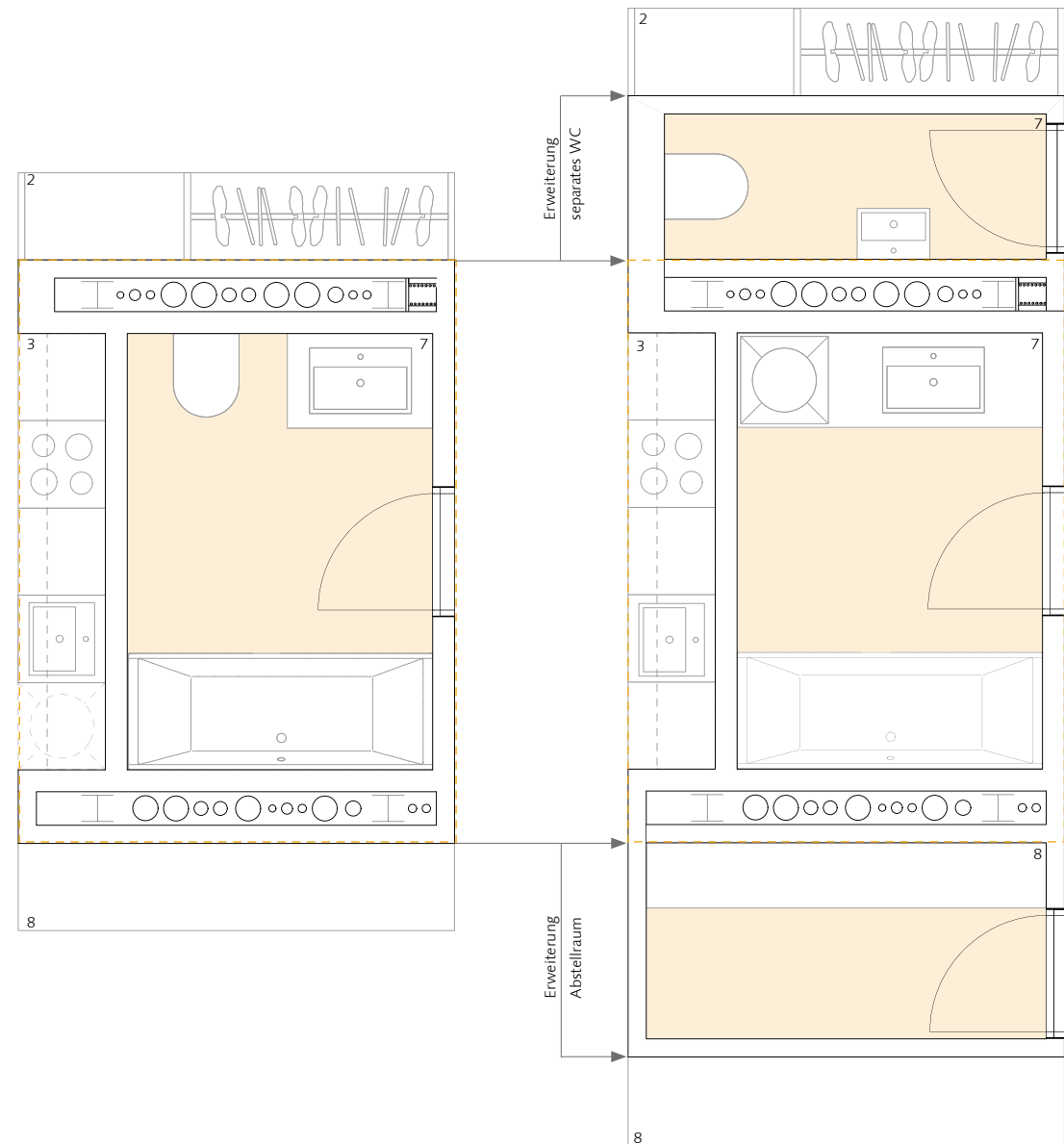
0 0,5 1m

1.3

### 1.3.3 Sanitärmodule

Die Sanitärmodule befinden sich als funktionale Einheiten in der dienenden Zone, dem Zentrum des Musterhauses. Aufgrund des statischen Rasters und der definierten Lage der Versorgungschächte, ergeben sich Parameter für deren Geometrie und Ausführung. In Abstimmung mit den Disziplinen Stahlbau und Gebäudetechnik wurden diese wie folgt entwickelt.

In der Basisvariante zeigt sich das Modul äußerst kompakt und auf seine wesentlichen Funktionen konzentriert. Mit Garderobe, Küche, Bad und einem großzügigem Stauraumelement wird der Wohnung eine Grundausstattung an dienender Zone bereitgestellt - geeignet z. B. für eine Loft-situation. Wie dargestellt, kann dieses Grundmodul auf denkbar einfache Weise erweitert werden, um beispielsweise in einer klassischen Familienwohnung zum Einsatz zu gelangen. Mit einem separaten WC und einem zusätzlichen Abstellraum wird die Grundausstattung, gemessen an den Nutzeransprüchen, komplettiert.

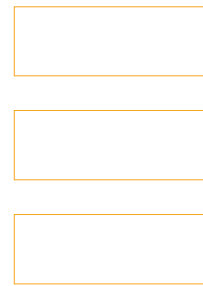


Grundmodul + Erweiterung

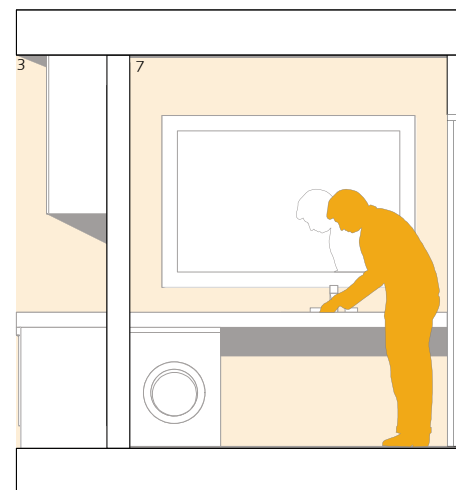
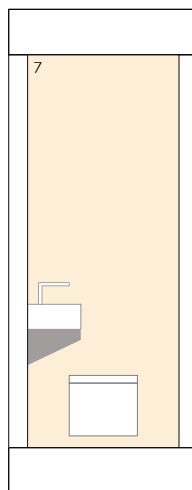
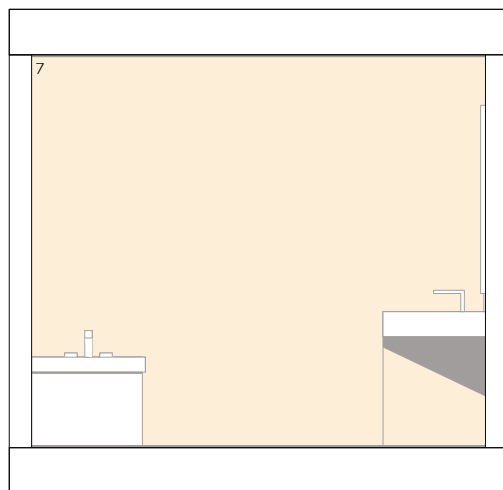
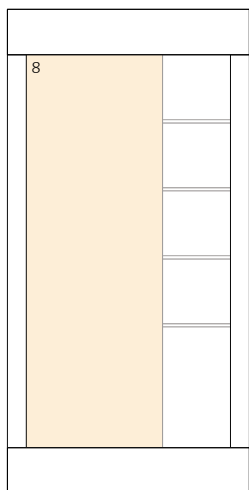
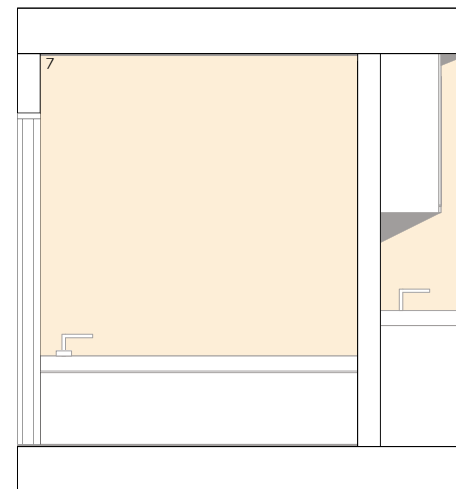
- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe

0 0,5 1m





1.3



Schnitte Grund-  
modul + Erweiterung

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe



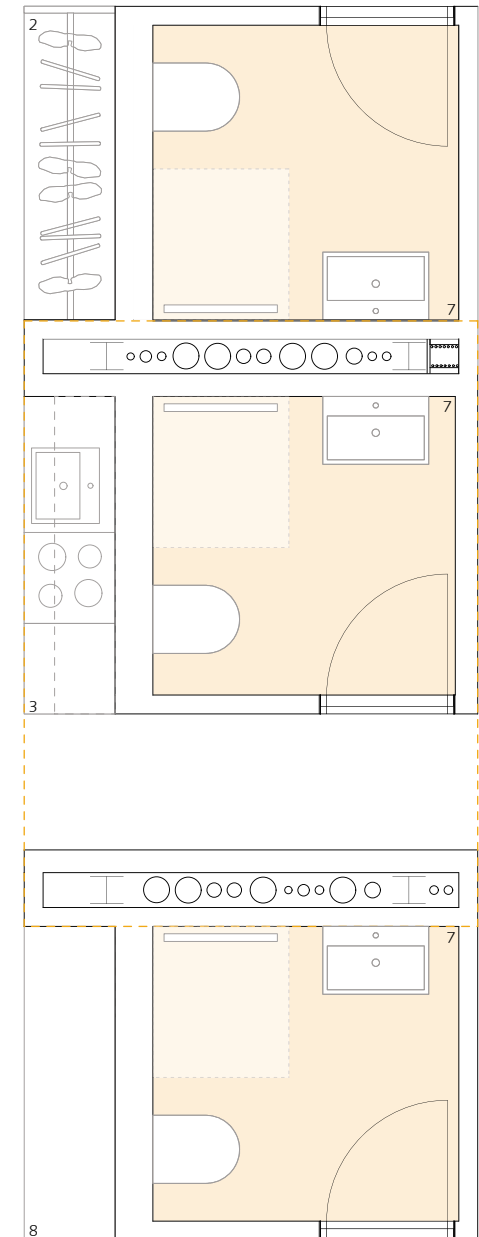
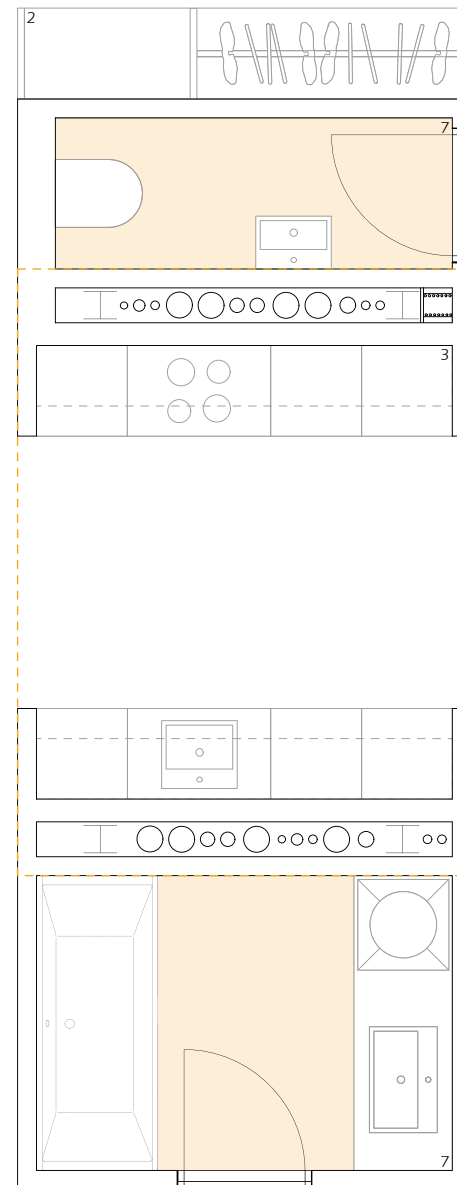


1.3

**Anpassung** | Auf den ersten Blick meint der Betrachter sich in einem engen Handlungsspielraum zu bewegen, doch das Modul kann einer Vielzahl an Nutzeransprüchen genügen. Je nach Ausführung und Anpassung bleiben sie dabei stets stapelbar, da die Lage der Schächte mit den integrierten Stützen beibehalten wird. Lösungen für Paare bzw. Wohngemeinschaften mit zugeordneten Badeeinheiten sind, wie abgebildet, ohne Weiteres umsetzbar.

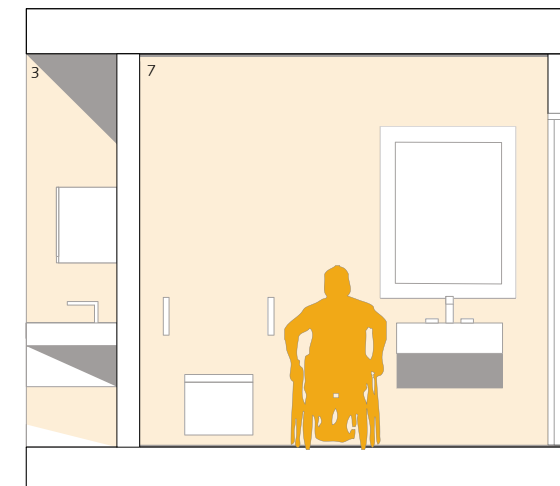
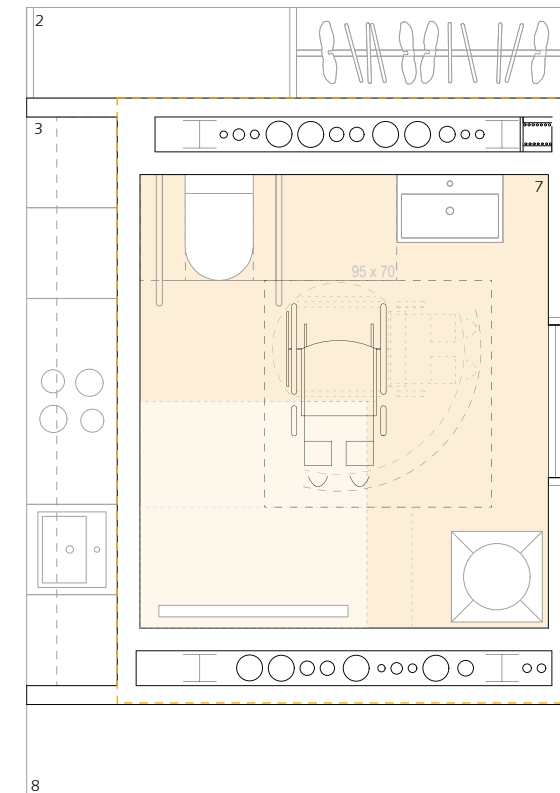
Sanitärmodule  
(Varianten)

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe





**Rollstuhlgerechtes Modul** | Die Variabilität des Moduls zeigt sich in einer durch einen Rollstuhlfahrer genutzten Wohneinheit. Diesen speziellen Anforderungen wird das System hervorragend gerecht. Hierzu wird die unterfahrbare Küchenzeile (UK = 0,67 m) vor den Kernbereich der Einheit gestellt. Folglich kann dem Nutzer im Bad eine ausreichende Bewegungsflächen von 1,50 x 1,50 m angeboten werden. Das Bad verfügt über eine bodengleiche Dusche, die auf Wunsch durch eine Badewanne ersetzt werden kann. Alle Arbeits- und Griffhöhen entsprechen den Normen.



1.3

#### Sanitärmodul, rollstuhlgerecht

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe

0 0,5 1m



1.3

### 1.3.4 Schnitte

**Schnitt 1** | Vorteile der Skelettbauweise werden im Schnitt deutlich. Durch die nicht tragenden, leichten Wände kann jede Ebene der entsprechenden Nutzung angepasst werden. Zwischenwände müssen nicht übereinander angeordnet sein. Lediglich die Schächte bilden eine durchgängige Konstante.



Schnitt 1-1

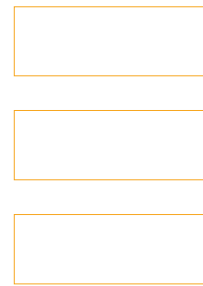


- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe





**Schnitt 2** | Dank des Stahltragwerks sind größere Deckenspannweiten als im konventionellen Wohnungsbau realisierbar. Das differenzierte Angebot an privaten Außenräumen wird im Schnitt ersichtlich.



1.3

Schnitt 2-2

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe





### 1.3.5 Ansichten

**Stadtfassade** | Die städtische Fassade des Musterhauses weist nach Westen und die private Hofseite nach Osten. Die Westfassade orientiert sich am Charakter eines Stadthauses: Zur Straße hin präsentiert sie sich mit stehenden Fensterformaten und einem angepassten Maß an geöffneten und geschlossenen Flächen. Die Loggien lockern das Bild der Fassade auf. Ersichtlich ist der bereits beschriebene Einsatz von unterschiedlichen Dachformen mit Hilfe derer auf die Nachbarbebauung reagiert werden kann.



Ansicht West  
(Straße)





**Hoffassade** | Im Hof zeigt sich die offenere und leichter wirkende Stahl-Glas-Konstruktion mit verschiebbaren und -wenn gewünscht- energetisch wirksamen Sonnenschutzelementen. Hier ist der Planer bezüglich des Einsatzes dieser Elemente freier und weniger an das städtische Fassadenbild gebunden. Die Glasfassade kann aus unterschiedlichen Elementen zusammengesetzt werden, die transparent, transluzent oder geschlossen ausgeführt sein können.



1.3

Ansicht Ost  
(Hof)

0 1 2 m

29



### 1.3.6 Fassaden

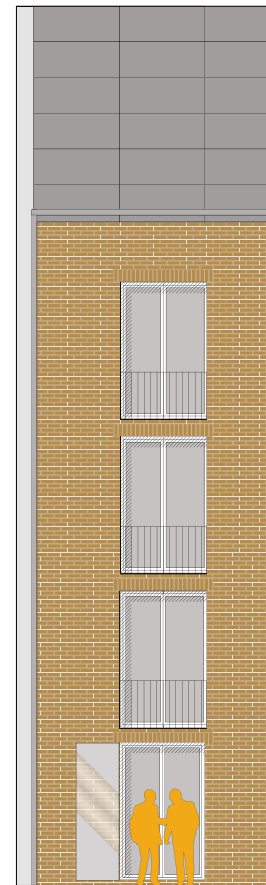
Die Fassade dient dem Schutz vor Sonneneinstrahlung und Witterung sowie der Gestaltung und Repräsentation. Darüber hinaus rücken Aspekte der energetischen Wirksamkeit in den Mittelpunkt. Sollten Fassaden künftig energetisch wirksam sein, wird sich dies in der Ansicht der Gebäude und im Stadtbild zeigen.

Gestalterisch wurden zunächst drei gängige Fassadentypen gewählt:

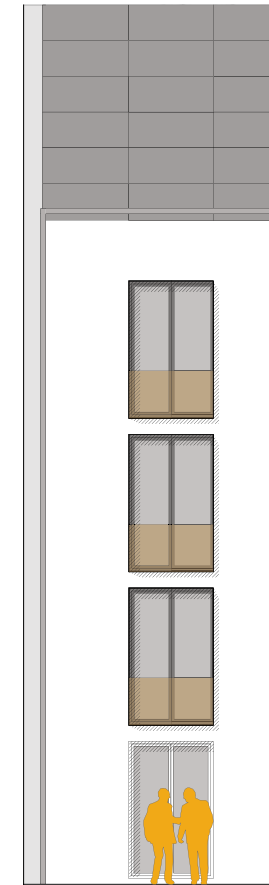
- klassische Klinkerfassade
- Wärmedämmverbundsystem
- vorgehängte Fassaden aus Paneelen, z.B. Stahl beschichtet bzw. Cor-Ten-Stahl, Naturstein etc.

Als Sonnenschutzelemente können beispielsweise vorgesehen werden:

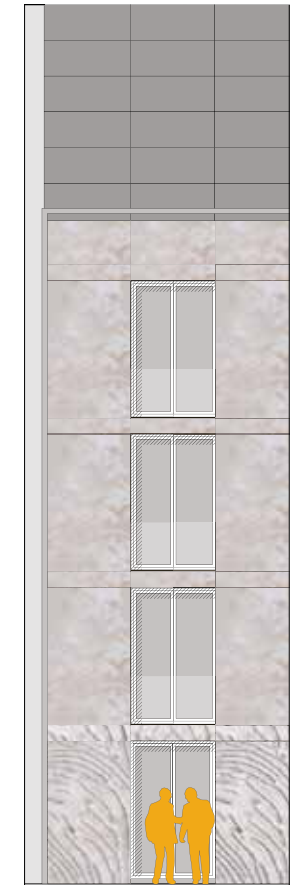
- außenliegende Raffstores
- innenliegende Rolläden aus textilen Materialien
- vorgeschaltete, verschiebbare und im besten Fall energetisch wirksame Sonnenschutz-elemente



Klinkerfassade



Putzfassade (WDVS)



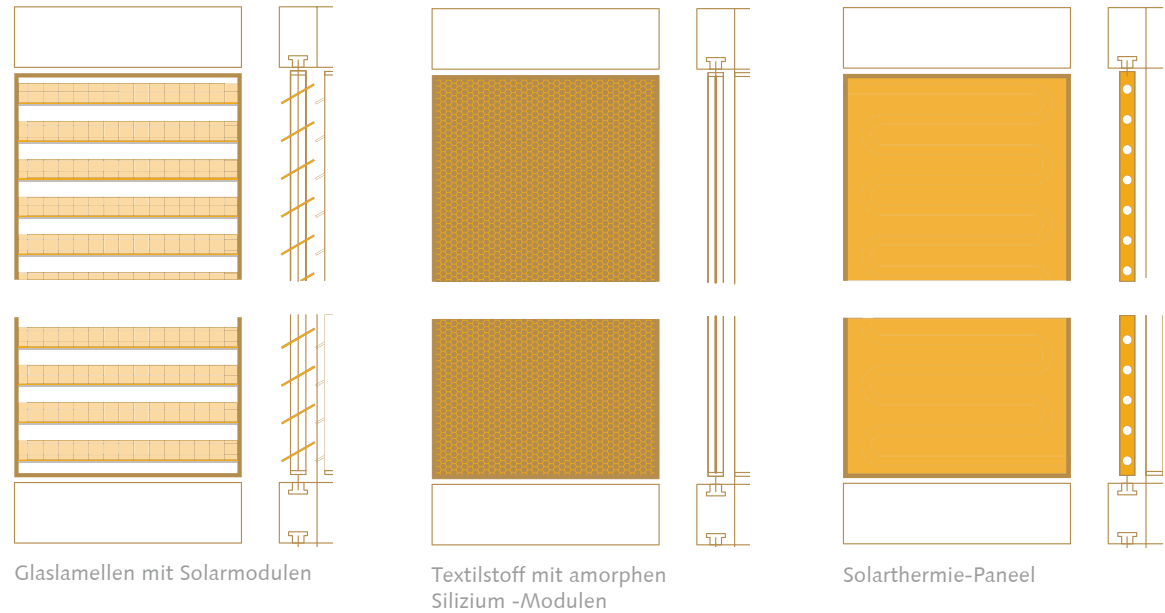
Stahlplattenfassade





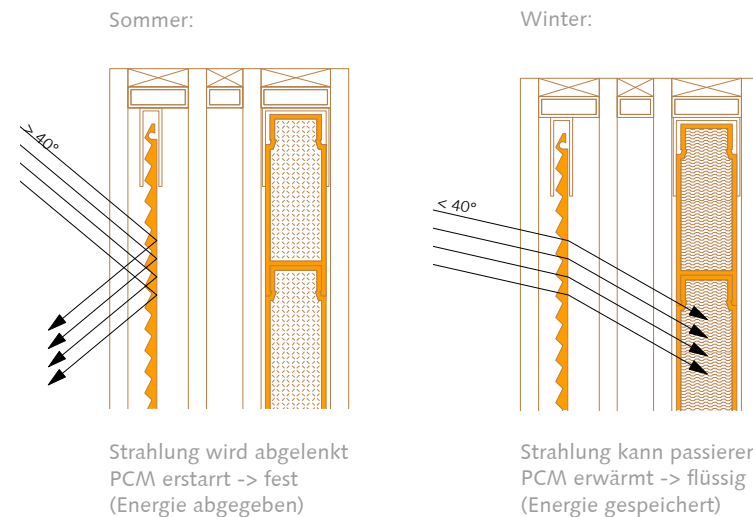
**Energetisch wirksame Fassadenelemente |**

Diese kommen vor allem an der Hoffassade zum Einsatz. Die Straßenfassade bietet lediglich im Bereich der Brüstungen einen Einsatzort. Die möglichen verschiedenen Strukturen und Farben können das Fassadenbild ergänzen. Für die beweglichen Verschattungselemente der Ostseite besteht eine Vielzahl an Ausführungsmöglichkeiten. Beispiele sind seitlich abgebildet.



1.3

Neben der Nutzung verschiebbarer Elemente zur Verbesserung des Energieeintrages in das Gebäude, besteht an der großflächig verglasten Hoffassade die Möglichkeit, ausgewählte Bereiche transparent und energetisch wirksam zu gestalten. Das dargestellte System, z. B. GLASSXcrystal, basiert im Wesentlichen auf PCM (Phase Change Material). Wie die Schemata verdeutlichen, wird die Lichtenergie zunächst - je nach Einfallswinkel- mittels eines Prismenglases reguliert. Die passierenden Lichtstrahlen gelangen dann zu einem PCM-Panel, welches in der Lage ist, Energie zu speichern und bei Bedarf wieder an den Raum abzugeben.



energetisch, wirksame Fassadenelemente

Referenz Abb. unten: GlassX AG - Schweiz Schema o. M.

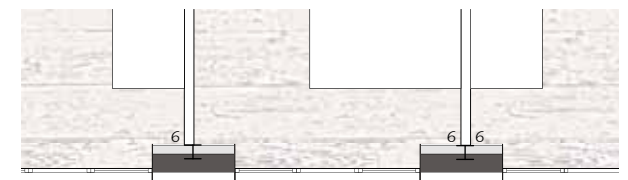
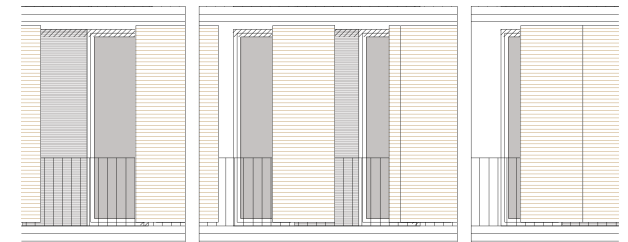
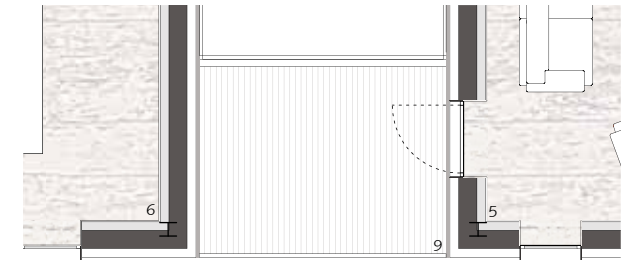
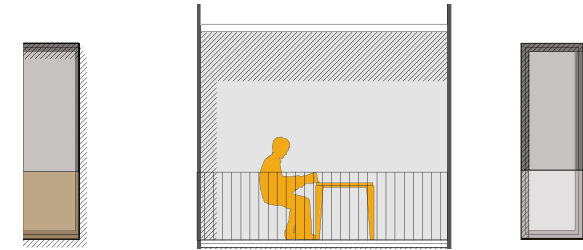




### 1.3.7 Außenraum

Das klassische Einfamilienhaus im Grünen mit Garten wird zunehmend abgelöst. Aufgrund der Reurbanisierung müssen neue Wohnraumangebote in der Stadt geschaffen werden. Der Bedarf an privatem Außenraum spielt hierbei eine große Rolle. Das Musterhaus bietet dem Nutzer verschiedene Möglichkeiten.

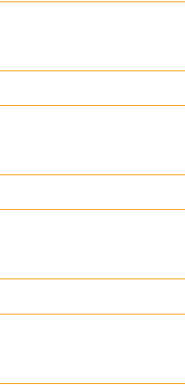
- die Loggia zum Straßenraum, mit dem Blick auf das städtische Leben
- der Balkon zum Hofraum, zurückgezogen und ruhig gelegen
- die großzügige Dachterrasse, mit dem Blick über die Dächer der Stadt
- der Gemeinschaftshof, für Ballspiele der Kinder oder Feste der Hausgemeinschaft



Loggia | o.  
Balkon | u.

- 1 Eingangsbereich
- 2 Garderobe
- 3 Kochen
- 4 Essen
- 5 Wohnen
- 6 Individualraum
- 7 Sanitär
- 8 Abstellen
- 9 Außenraum
- 10 Gewerbe

0 1 2 m





## INHALT

- 2 Tragwerk**
- 2.1 Grundlagen**
  - 2.1.1 Raster
  - 2.1.2 Lastannahmen
- 2.2 Statische Systeme**
  - 2.2.1 Kernsystem
  - 2.2.2 Gelenksystem
  - 2.2.3 Rahmensystem
  - 2.2.4 Balkensystem
- 2.3 Deckensysteme**
  - 2.3.1 Slim-Floor-Bauweise
  - 2.3.2 System Musterhaus
  - 2.3.3 Träger Musterhaus
  - 2.3.4 Versorgungsschächte
  - 2.3.5 Aussparung Treppenaugie Maisonettewohnung
  - 2.3.6 Ringanker
- 2.4 Anschlussdetails**
  - 2.4.1 Stahl - Stahl
  - 2.4.2 Stahl - Stahlbetonkern
  - 2.4.3 Stützenfuß
  - 2.4.4 Gründung

## 2.1 Grundlagen

### 2.1.1 Raster

Das Stützenraster des Musterhauses ist in Querrichtung regelmäßig und beträgt 3,6 m. Dieser Abstand wird bedingt durch die Elementbreiten der Deckensysteme, die üblicherweise 0,6 m oder 1,2 m betragen. In Längsrichtung ist das Stützenraster unregelmäßig (s. Abb. 2.1.1 und 2.1.3) infolge des architektonischen Konzeptes der dienenden Zone.

Die Regelgeschosshöhe beträgt 2,9 m. Im Satteldachbereich ergibt sich die Geschosshöhe aufgrund der Dachneigung des Musterhauses von 30° und des 1,0 m hohen Drempels zu 4,8 m.

Das Raster ist an komplizierte Randbedingungen des innerstädtischen Baus anpassbar. Zur Verdeutlichung ist das Musterhaus im Bereich der Reihe 1 einer Bebauung oder einen Straßenverlauf angepasst. Eine Schiefstellung im Bereich der Achsen ist in gleicher Weise möglich.

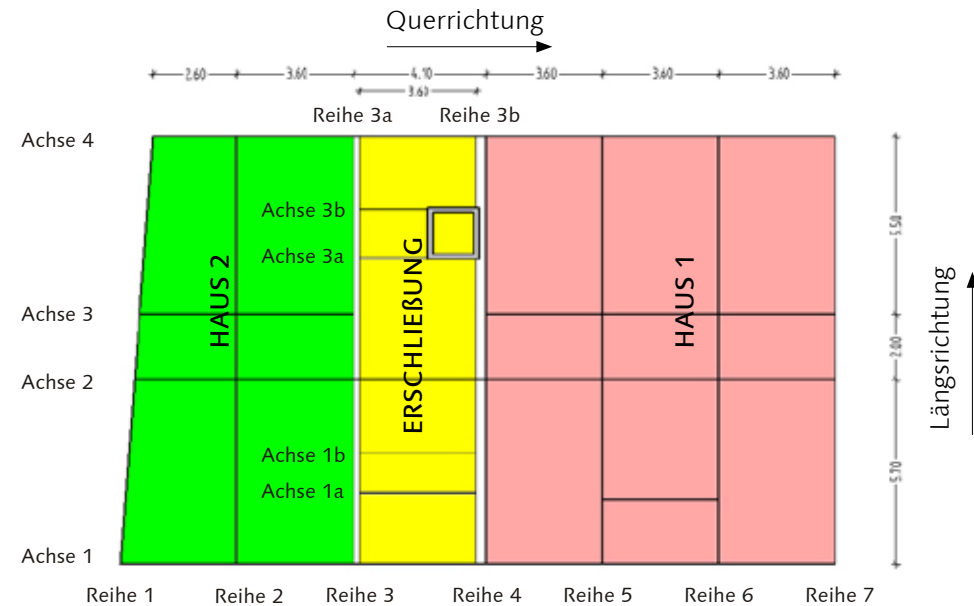


Abb. 2.1.1: Grundriss [m]

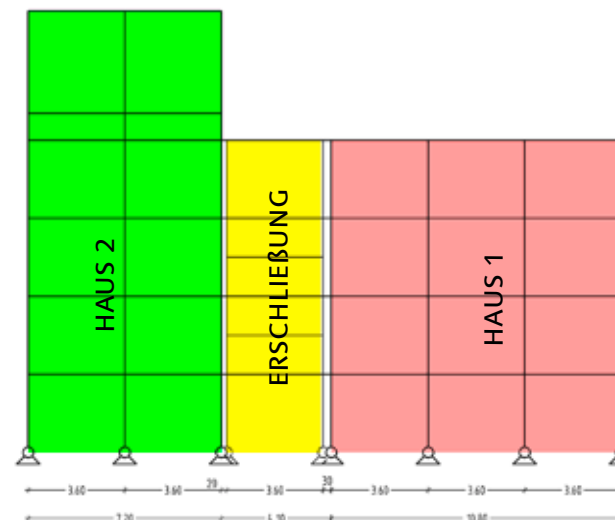


Abb. 2.1.2: Aufriss in Querrichtung [m]

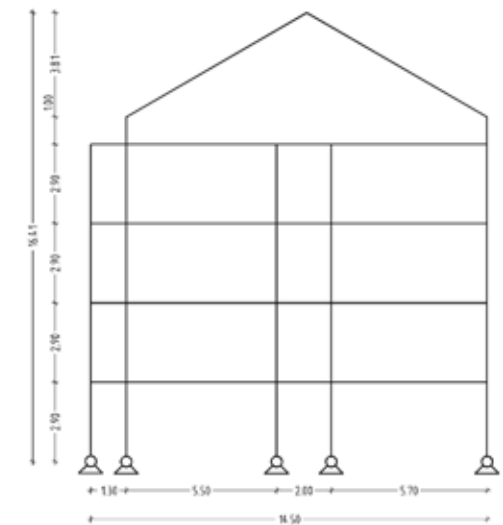


Abb. 2.1.3: Aufriss in Längsrichtung [m]

**2.1.2 Lastannahmen:**

In Tabelle 2.1.1 sind die charakteristischen Lasten für das Musterhaus angegeben. Bei der Zusammenstellung der Eigenlasten wurden stets die Aufbauten gewählt, die das größte Gewicht in die Konstruktion eintragen.

Die angegebenen lotrechten Nutzlasten orientieren sich an der DIN 1055-3. Die Ermittlung der Windlasten folgt der DIN 1055-4. Die Windzone 2a wurde für Solitärbauwerke gewählt, damit ist der größte Teil Deutschlands erfasst (s. Abb. 2.1.4).

Die Schneelastzone 2 nach DIN 1055-5 gilt ebenfalls für den größten Teil Deutschlands.

Die angegebenen Werte dienen lediglich als Orientierungshilfe. Für ein konkretes Projekt sind diese zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

<b>Eigenlasten</b>	Stahl	78,5 kN/m <sup>3</sup>
	180 mm Spannbetonhohldiele inkl. Fugenverguss	3,1 kN/m <sup>2</sup>
	Fußbodenaufbau mit Fliesen	4,0 kN/m <sup>2</sup>
	Satteldachaufbau mit Titanblech	1,5 kN/m <sup>2</sup>
<b>Nutzlast</b>	Flachdachaufbau mit Kiesschüttung inkl. PV-Module	1,8 kN/m <sup>2</sup>
	Wohnräume	1,5 kN/m <sup>2</sup>
	Zuschlag für leichte Trennwände	0,8 kN/m <sup>2</sup>
<b>Windlasten</b>	Dachterrassen und Loggien	4,0 kN/m <sup>2</sup>
	Treppen und Treppenpodeste	3,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Schneelasten</b>		<b>Windzone 2a</b>
		<b>Schneelastzone 2</b>

Tab. 2.1.1 charakteristische Lasten Musterhaus

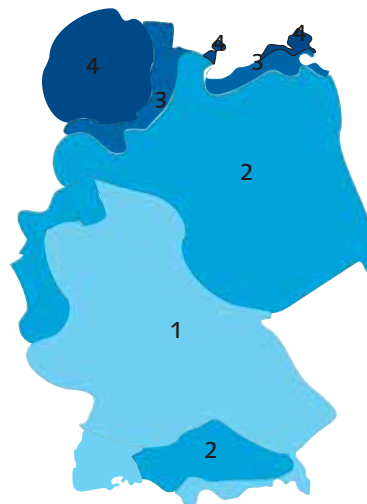


Abb. 2.1.4: Windzonen nach DIN 1055-4

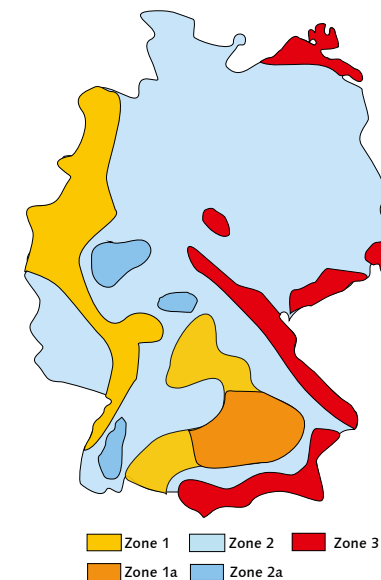


Abb. 2.1.5: Schneelastzonen nach DIN 1055-5

2.1

## 2.2 Statische Systeme

Hauptziel der Tragwerksgestaltung war die größtmögliche Innenraumflexibilität bei minimierten Tragwerksabmessungen. Ausgehend von der Zonierung wurden drei statische Systeme entwickelt, die den verschiedenen Anforderungen an die Gebäude auf unterschiedliche Weise gerecht werden (s. Tabelle 2.2.1):

- Kernsystem,
- Gelenksystem,
- Rahmensystem.

Die Systeme unterscheiden sich in der Art und der Positionierung der vertikalen Aussteifungen zum Abtrag der horizontalen Lasten.

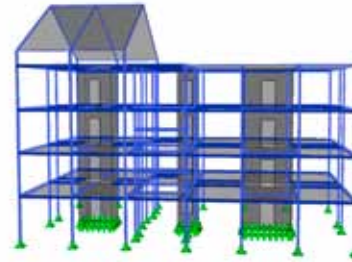
Für jedes System werden im Folgenden je 2 Variationen dargestellt:

- Variante I: Integration eines Fahrstuhlschachtes im Erschließungstragwerk,
- Variante II: ohne Fahrstuhlschacht im Erschließungstragwerk

Der Fahrstuhlschacht trägt erheblich zur vertikalen Aussteifung des Gesamtsystems bei und vereinfacht die konstruktive Ausführung. Die horizontale Aussteifung erfolgt bei allen Systemen durch die Ausbildung schubsteifer Decken (s. Kapitel 2.3 Deckensysteme).

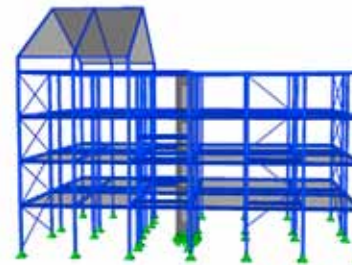
Das Erschließungstragwerk wird an 6 Punkten je Etage an Haus 1 und 2 gelenkig angeschlossen. Die schallschutztechnische und thermische Entkopplung der einzelnen Tragwerke ist effizient und unproblematisch herstellbar.

### Kernsystem |



Die Aussteifung wird mittels Stahlbetonkern realisiert. Dies ermöglicht eine Struktur mit schlanken Stützenquerschnitten. Die Anschlüsse der Riegel und Stützen können sowohl in Längs- als auch in Querrichtung gelenkig ausgebildet werden und sind i.A. wirtschaftlicher als biegesteife Anschlüsse (siehe Rahmensystem) erforderlich sind. Die Innenraumflexibilität erfährt bei diesem System die größte Einschränkung. Allerdings lässt sich der Kern hervorragend zur vertikalen Leitungsführung nutzen. Zusätzliche Aussteifungen im Bereich der Außenwände sind nicht erforderlich, so dass keine Einschränkungen bezüglich der Fassadengestaltung auftreten.

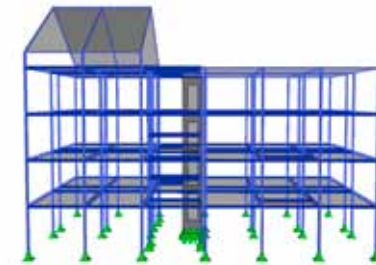
### Gelenksystem |



Die Aussteifung des Systems erfolgt mittels Zugbänder in den Außenwandbereichen und

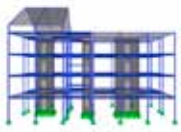
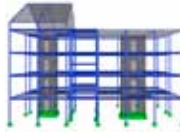

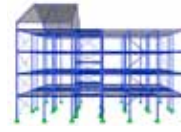
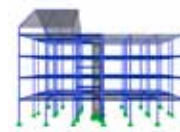
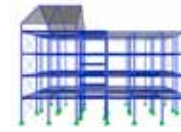
Fachwerkstäbe im inneren des Skelettes. Die Innenraumflexibilität und die Freiheit bei der Fassadengestaltung erfahren dadurch ein gewisses Maß an Einschränkungen. Die Riegel in Längs- und Querrichtung werden gelenkig an die durchlaufenden Stützen angeschlossen. Der Montageaufwand vergrößert sich infolge der zusätzlichen Aussteifungen, was für die Bauzeit und die Erstellungskosten zu berücksichtigen ist. Die aufwendige Gründung des Stahlbetonkerns entfällt.

### Rahmensystem |



Die Aussteifung des Systems erfolgt in Querrichtung mittels Stockwerksrahmen, die in Längsrichtung gelenkig miteinander verbunden werden. Die notwendigen vertikalen Aussteifungen in Längsrichtung können mit Hilfe von Zugbändern ausgebildet werden. Die biegesteifen Anschlüsse der Riegel und Stützen weisen einen höheren Herstellungsaufwand auf gegenüber den gelenkigen Verbindungen. Das System weist die größte Innenraumflexibilität auf. Gleichzeitig ist es das mit den größten Stützenquerschnitten. Bei der Variante mit Fahrstuhlschacht im Erschließungstragwerk kann auch im Fassadenbereich gänzlich auf Aussteifungen verzichtet werden.



System	Kern I	Kern II	Gelenk I	Gelenk II	Rahmen I	Rahmen II
						
Innenraumflexibilität	+	+	++	++	+++	+++
Gestaltungsfreiheit Fassade	+++	+++	++	++	+++	++
Aussteifungsaufwand	+++	+++	++	+	+++	++
Wirtschaftlichkeit der Anschlüsse Stahl-Stahl	+++	+++	++	++	+	+
Gründungsaufwand	+	+	++	+++	++	+++
maximale Profilgrößen Aussenstützen	HEA 160	HEA 160	HEB 160	HEB 160	HEB 160	HEB 160
maximale Profilgröße Innenstützen	HEA 160	HEA 160	HEA 220	HEB 220	HEB 220	HEM 200
Stahleinsatz prozentual*)	76 %	77 %	88 %	92 %	97 %	100 %
+++ einschränkungsfrei bzw. geringer Aufwand ++ eingeschränkt bzw. mittlerer Aufwand + größere Einschränkungen bzw. höherer Aufwand *) das System mit dem höchsten Stahleinsatz = 100 %						

2.2

Tab. 2.2.1: Übersicht Leistungsfähigkeit der verschiedenen Systeme

Für jede Systemvariante werden im Folgenden jeweils zwei **Teilsysteme** vorgestellt. Mit a wird dabei ein Tragwerk beschrieben, welches nur aus Haus 2 und dem Erschließungstragwerk besteht

und b kennzeichnet ein eigenständiges Tagwerk welches aus Haus 1 und dem Erschließungstragwerk besteht (s. Abb. 2.2.1).

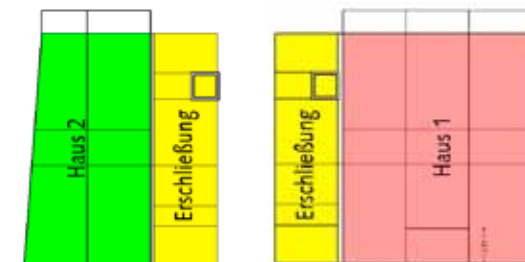


Abb. 2.2.1: Teilsystem a

b

## 2.2.1 Kernsystem

### Kern I

Grundrissflexibilität	eingeschränkt
Verbände im Fassadenbereich	keine
vertikale Aussteifung	Stahlbetonkern
Trägeranschlüsse in Querrichtung	gelenkig
Längsrichtung	gelenkig
maximale Profilierung Außenstützen	
Haus 1	HEA 160
Haus 2	HEA 160
Innenstützen	
Haus 1	HEA 160
Haus 2	HEA 160
Erschließung	HEA 160
Gewicht Stahl- konstruktion	52,1 t

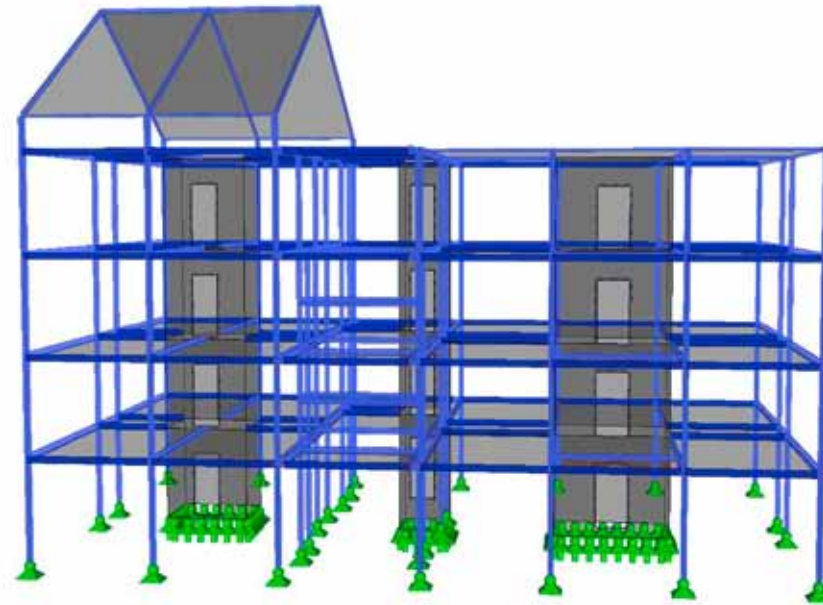


Abb. 2.2.2: Kern I

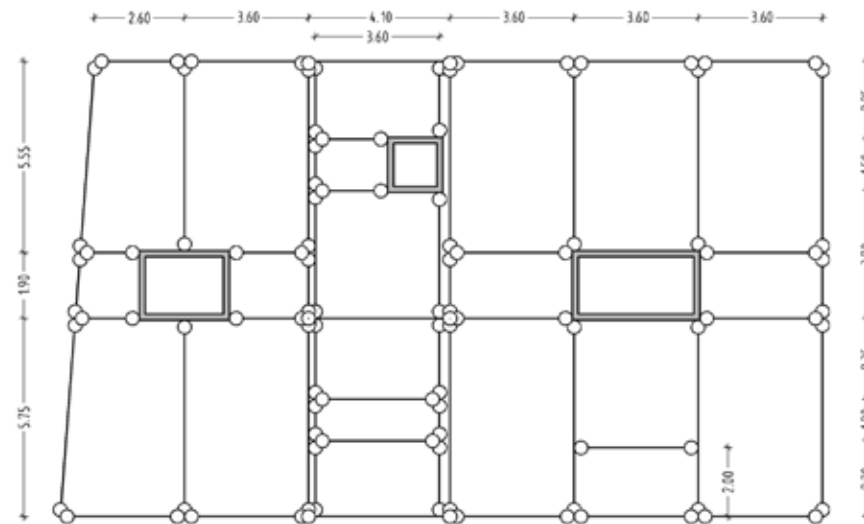


Abb. 2.2.3: Grundriss Kern I [m]

Kern I: Haus 1

Profilierung

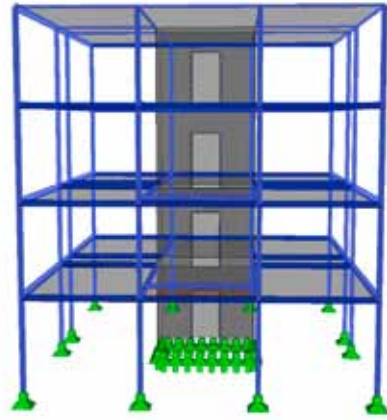


Abb. 2.2.4: Kern I - Haus 1

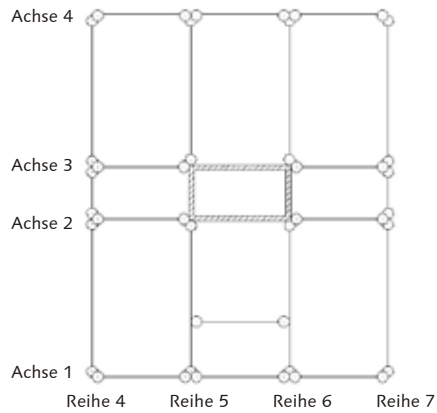
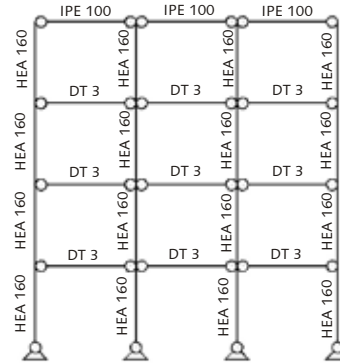
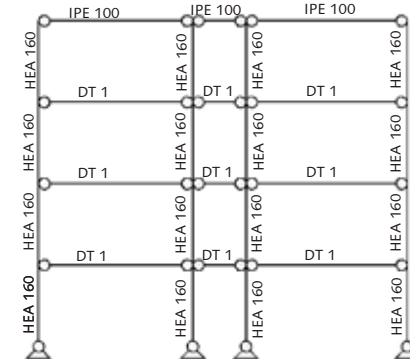


Abb. 2.2.5: Grundriss Kern I - Haus 1

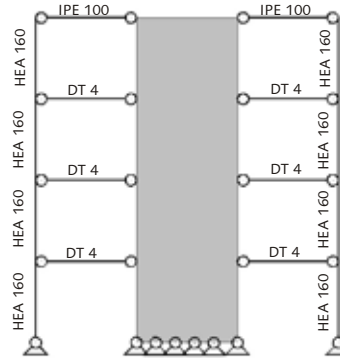
Achse 1 und 4



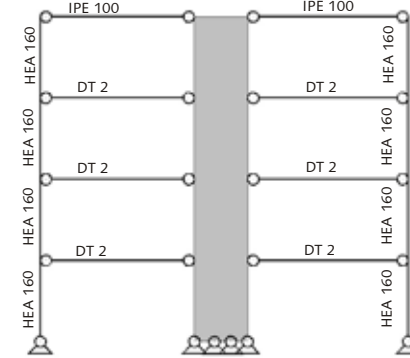
Reihe 4 und 7



Achse 2 und 3



Reihe 5 und 6



Deckenträger

Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Navigation sidebar with a blue button labeled '2.2' and several empty rectangular boxes above and below it.

2.2

### Kern I: Haus 2



Abb. 2.2.6: Kern I - Haus 2

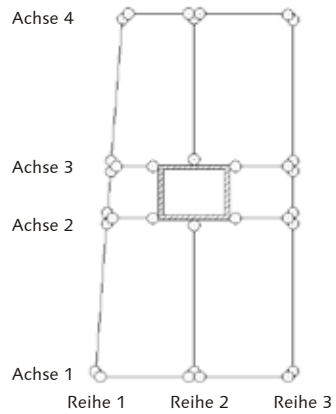
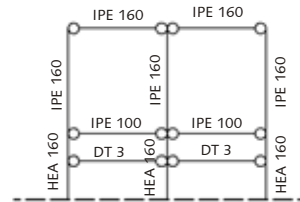


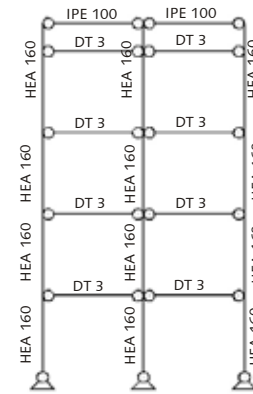
Abb. 2.2.7: Grundriss Kern I - Haus 2

### Profilierung

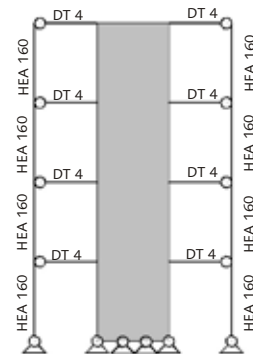
Dach



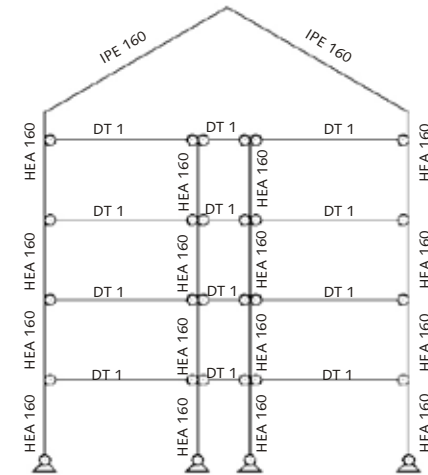
Achse 1 und 4



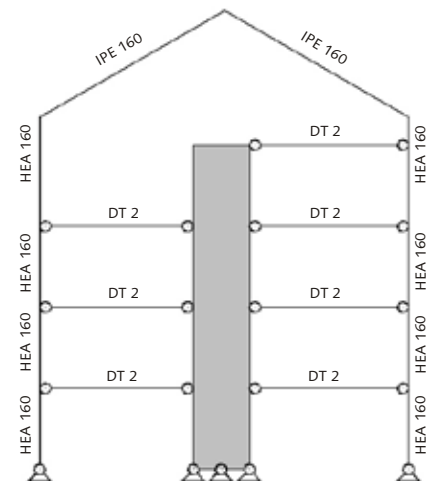
Achse 2 und 3



Reihe 1 und 3



Reihe 2



**Kern I: Erschließung**

**Profilierung**



Abb. 2.2.8: Kern I - Erschließung

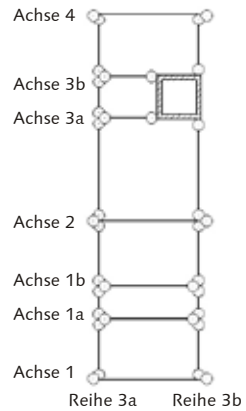
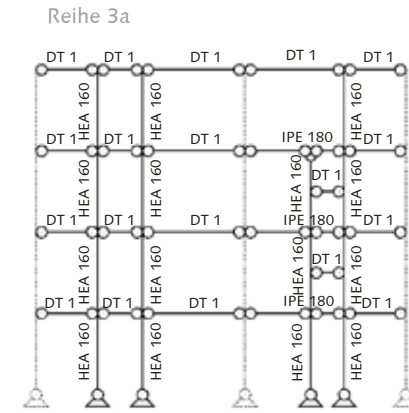
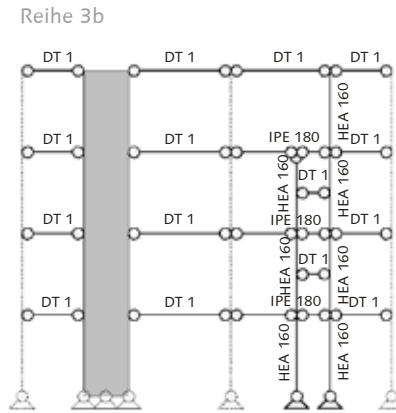


Abb. 2.2.9: Grundriss Kern I - Erschließung



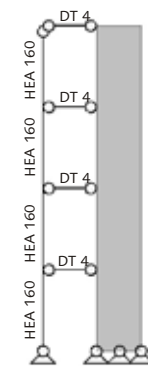
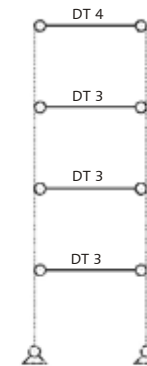
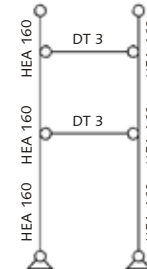
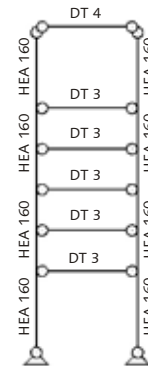
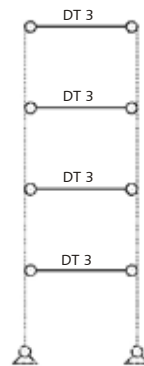
Achse 1 und 4

Achse 1a

Achse 1b

Achse 2

Achse 3a und 3b



Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

2.2

**Kern Ia**

Grundrissflexibilität	eingeschränkt
Verbände im Fassadenbereich	keine
vertikale Aussteifung	Stahlbetonkern
Trägeranschlüsse in Querrichtung	gelenkig
Trägeranschlüsse in Längsrichtung	gelenkig
maximale Profilierung Außenstützen	HEA 160
maximale Profilierung Innenstützen	HEA 160
Gewicht Stahlkonstruktion	31,7 t

**Profilierung**

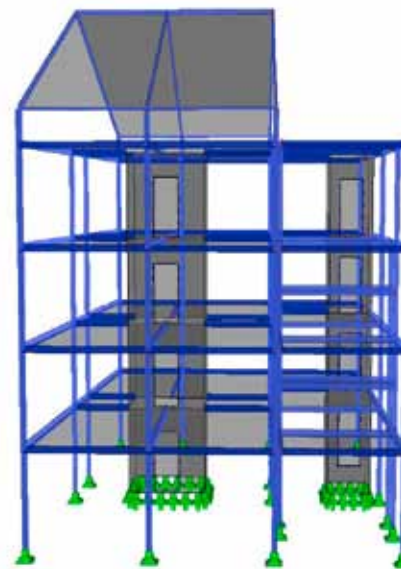
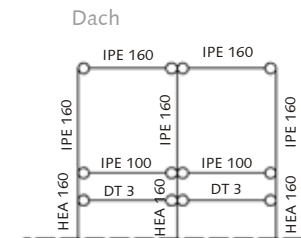
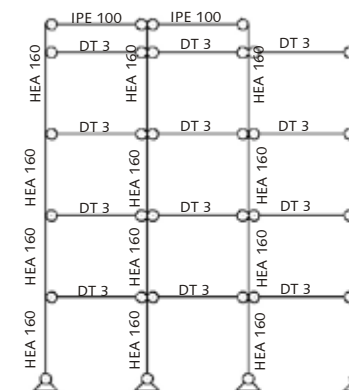


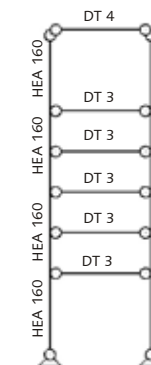
Abb. 2.2.10: Kern Ia



Achse 1 und 4



Achse 1a



Achse 1b

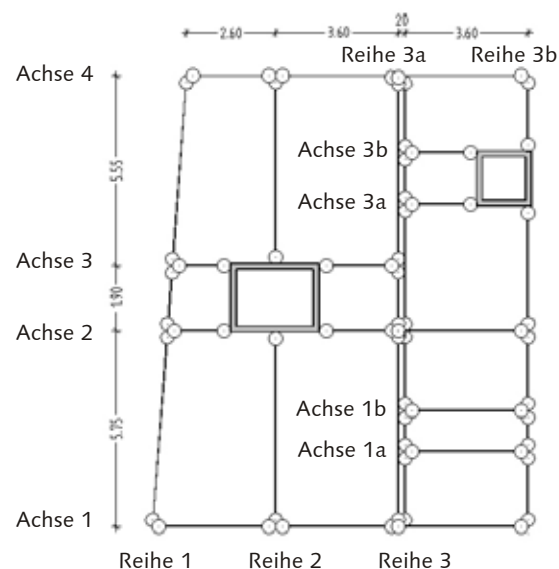
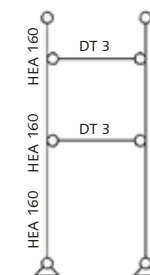
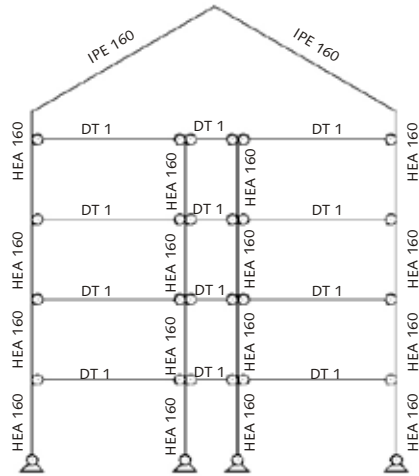


Abb. 2.2.11: Grundriss Kern Ia [m]

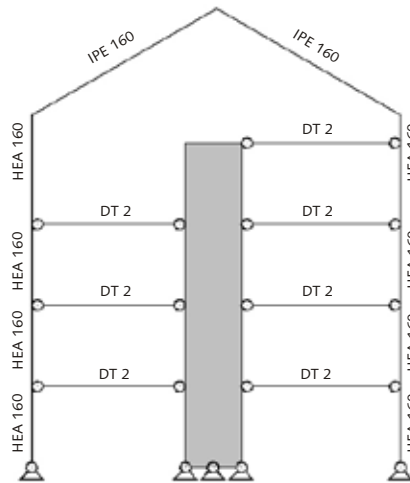
Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Proflierung

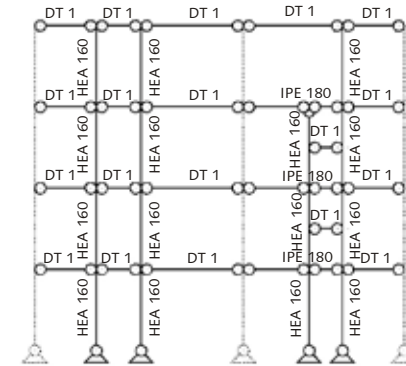
Reihe 1 und 3



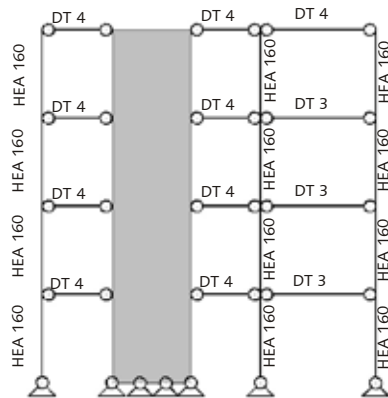
Reihe 2



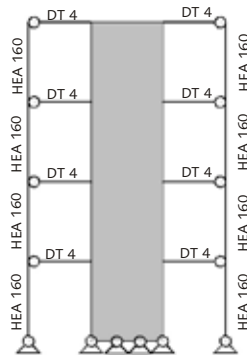
Reihe 3a



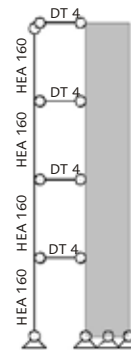
Achse 2



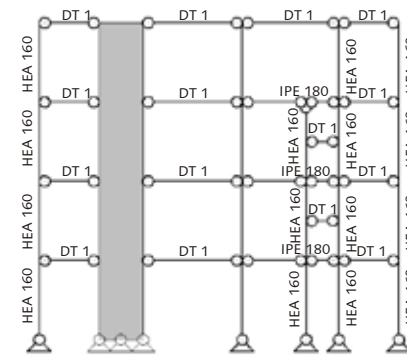
Achse 3



Achse 3a und 3b



Reihe 3b



- 
- 
- 2.2**
- 
-

**Kern Ib**

Grundrissflexibilität	eingeschränkt
Verbände im Fassadenbereich	keine
vertikale Aussteifung	Stahlbetonkern
Trägeranschlüsse in Querrichtung	gelenkig
Trägeranschlüsse in Längsrichtung	gelenkig
maximale Profilierung Außenstützen	HEA 160
maximale Profilierung Innenstützen	HEA 160
Gewicht Stahlkonstruktion	32,5 t

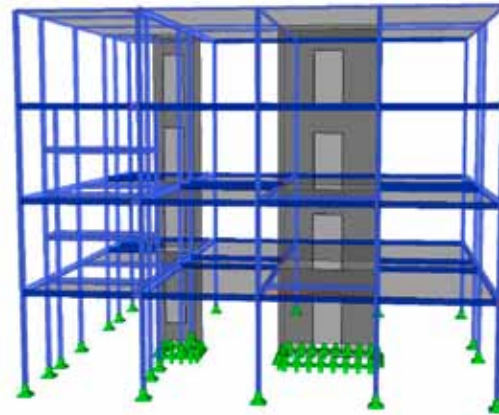


Abb. 2.2.12: Kern Ib

**Profilierung**

Achse 1 und 4

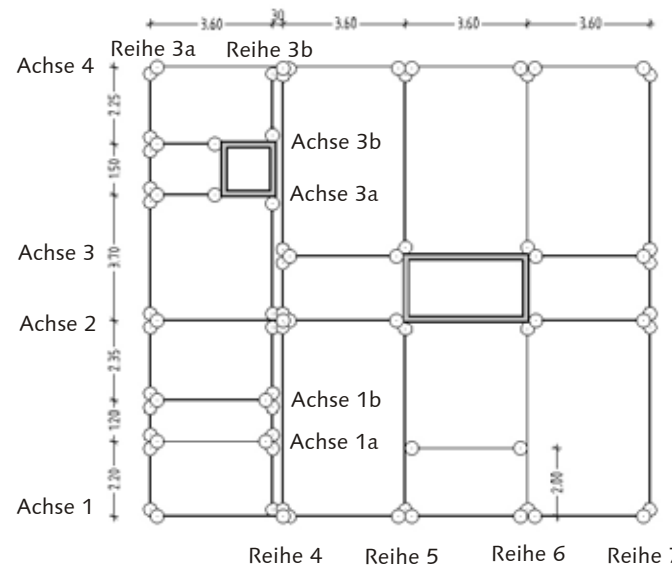
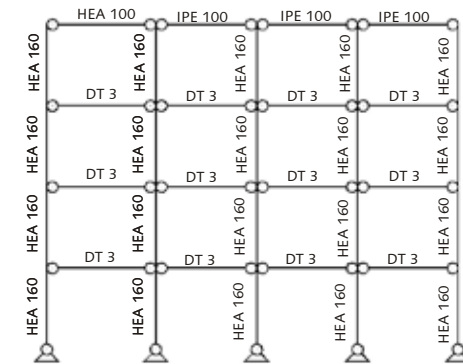
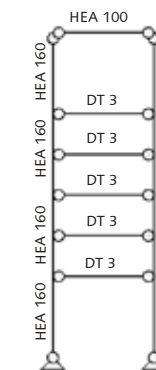
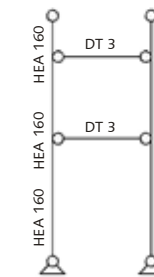


Abb. 2.2.13: Grundriss Kern Ib [m]

Achse 1a



Achse 1b

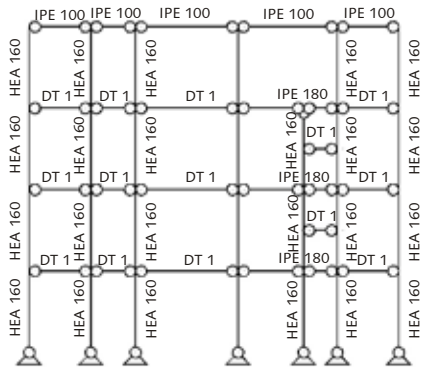
**Deckenträger**

Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

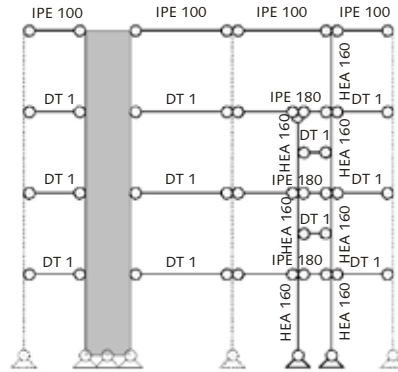


Profilierung

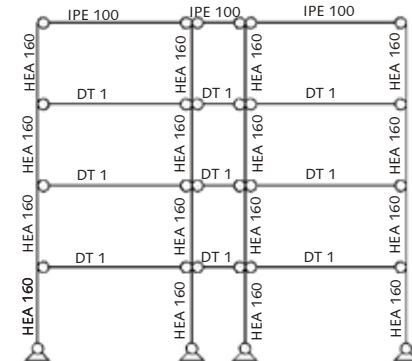
Reihe 3a



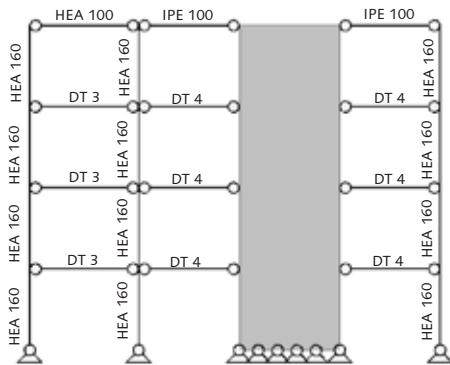
Reihe 3b



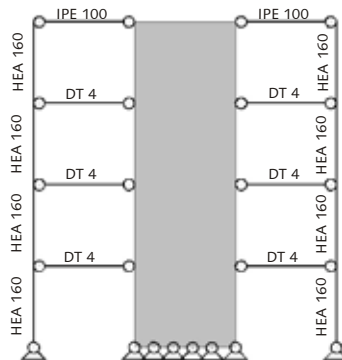
Reihe 4 und 7



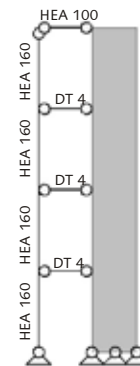
Achse 2



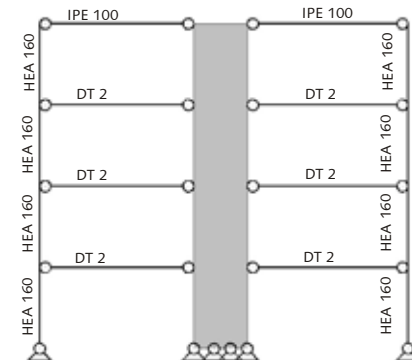
Achse 3



Achse 3a und 3b



Reihe 5 und 6



- [1](#)
- [2](#)
- [3](#)
- [4](#)
- [5](#)
- [6](#)
- [7](#)
- [8](#)
- [9](#)
- [10](#)
- [11](#)
- [12](#)
- [13](#)
- [14](#)
- [15](#)
- [16](#)
- [17](#)
- [18](#)
- [19](#)
- [20](#)
- [21](#)
- [22](#)
- [23](#)
- [24](#)
- [25](#)
- [26](#)
- [27](#)
- [28](#)
- [29](#)
- [30](#)
- [31](#)
- [32](#)
- [33](#)
- [34](#)
- [35](#)
- [36](#)
- [37](#)
- [38](#)
- [39](#)
- [40](#)
- [41](#)
- [42](#)
- [43](#)
- [44](#)
- [45](#)
- [46](#)
- [47](#)
- [48](#)
- [49](#)
- [50](#)

**Kern II**

Grundrissflexibilität	eingeschränkt
Verbände im Fassadenbereich	keine
vertikale Aussteifung	Stahlbetonkern
Trägeranschlüsse in Querrichtung Längsrichtung	gelenkig gelenkig
maximale Profilierung Außenstützen	
Haus 1	HEA 160
Haus 2	HEA 160
Innenstützen	
Haus 1	HEA 160
Haus 2	HEA 160
Erschließung	HEA 160
Gewicht Stahl- konstruktion	52,9 t

**Anmerkung:** Haus 1 und 2 des Systems Kern II sind identisch mit denen des Systems Kern I.

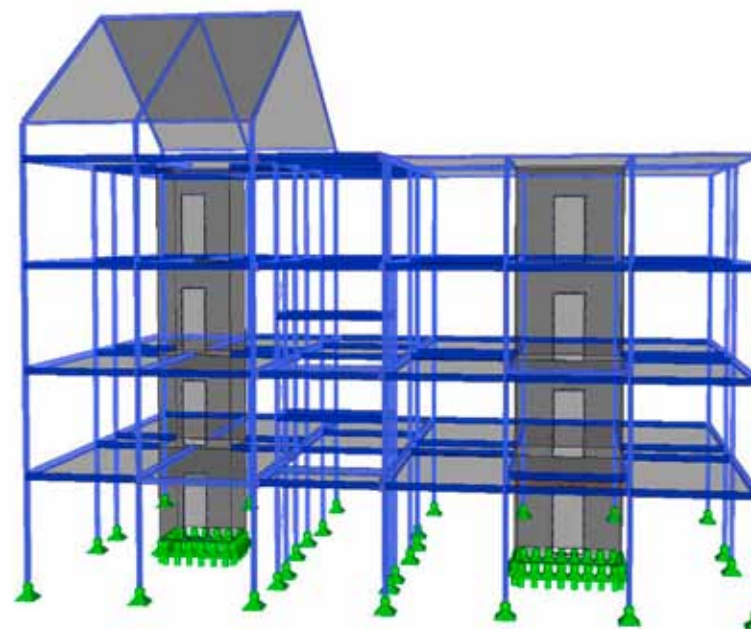


Abb. 2.2.14: Kern II

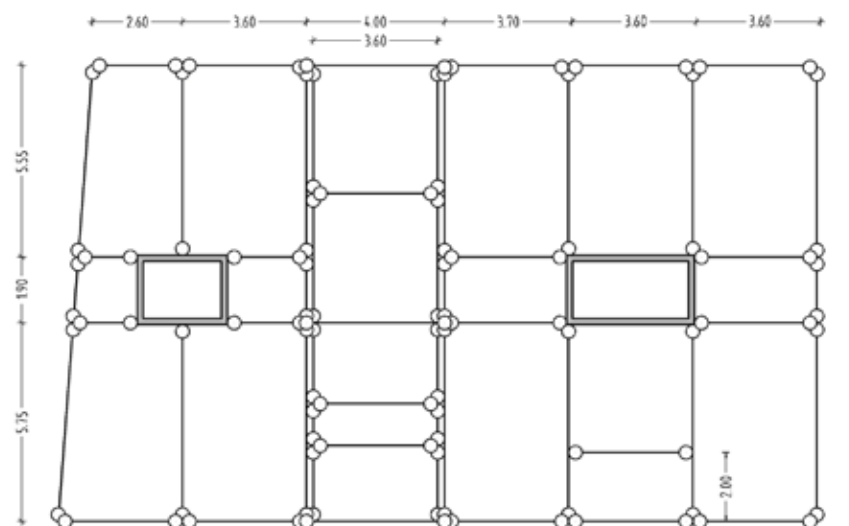


Abb. 2.2.15: Grundriss Kern II [m]

**Kern II: Erschließung**

**Profilierung**

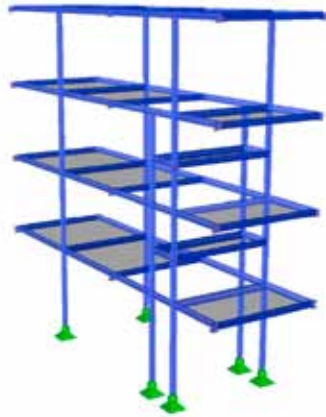


Abb. 2.2.16: Kern II - Erschließung

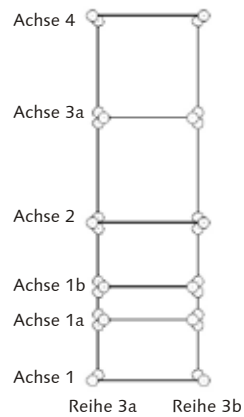
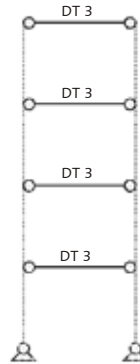
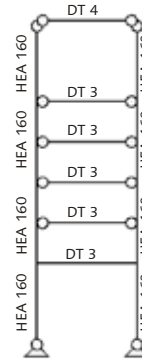


Abb. 2.2.17: Grundriss Kern II - Erschließung

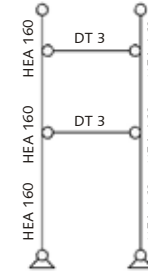
Achse 1 und 4



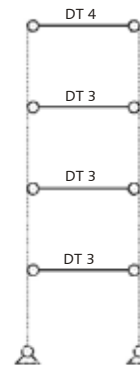
Achse 1a



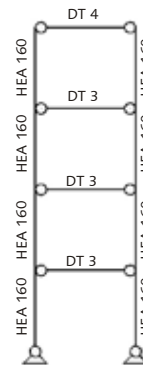
Achse 1b



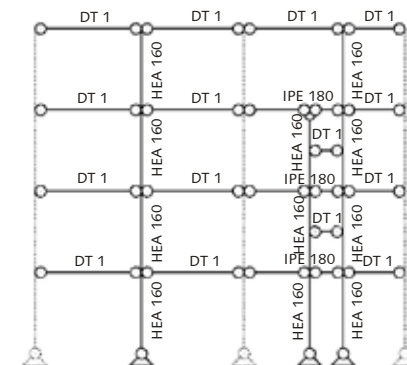
Achse 2



Achse 3a



Reihe 3a und 3b



**Deckenträger**

Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

**Kern IIa**

- Grundrissflexibilität      eingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich      keine
- vertikale Aussteifung      Stahlbetonkern
- Trägeranschlüsse in  
    Querrichtung      gelenkig  
    Längsrichtung      gelenkig
- maximale Profilierung  
Außenstützen      HEA 160  
Innenstützen      HEA 160
- Gewicht Stahl-  
konstruktion      32,3 t

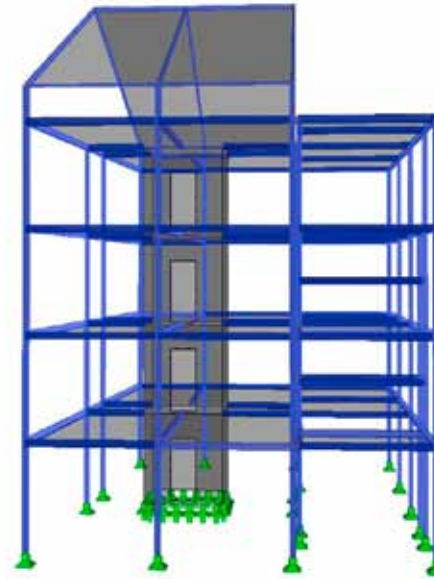
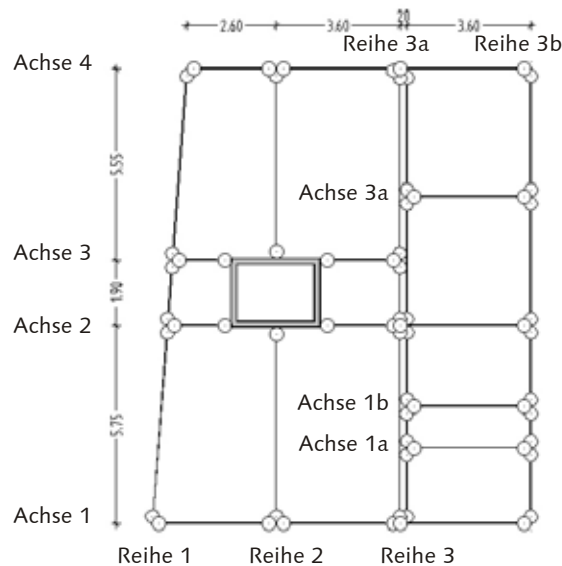
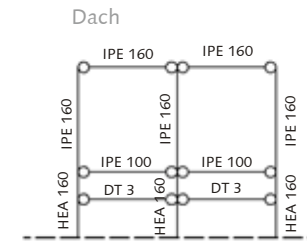


Abb. 2.2.18: Kern IIa

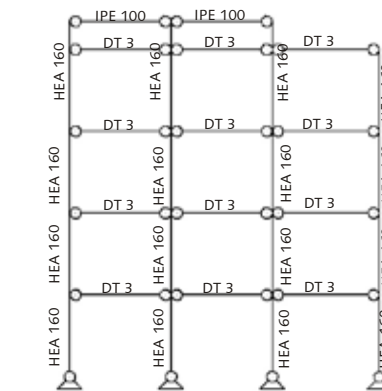
Abb. 2.2.19: Grundriss Kern IIa [m]



**Profilierung**

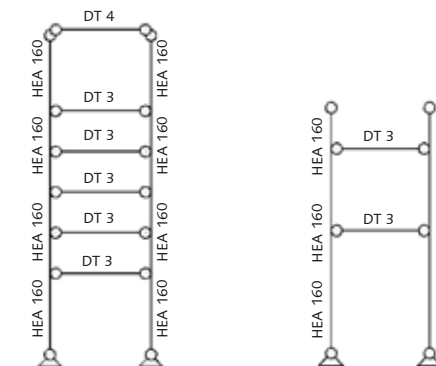


Achse 1 und 4



Achse 1a

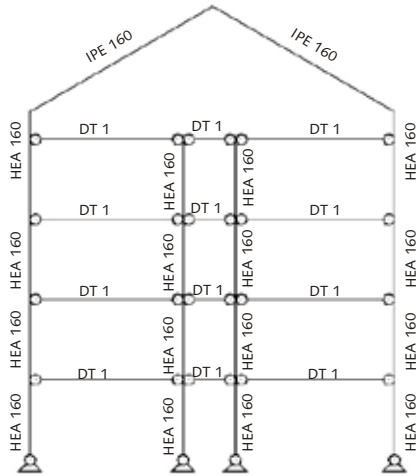
Achse 1b



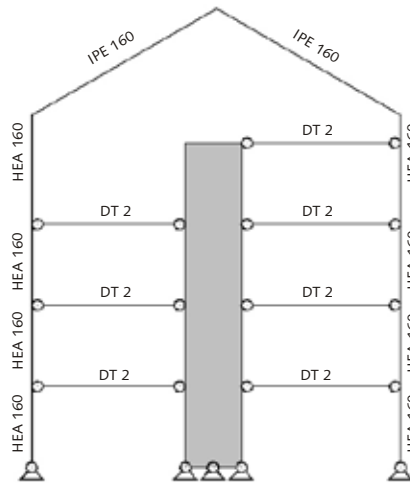
Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Profilierung

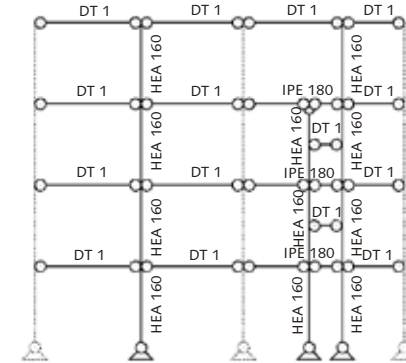
Reihe 1 und 3



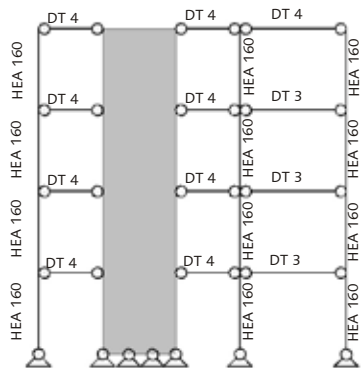
Reihe 2



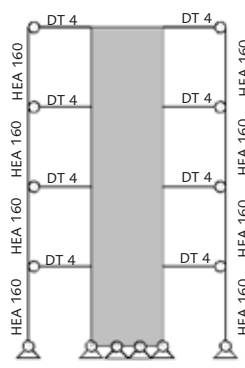
Reihe 3a



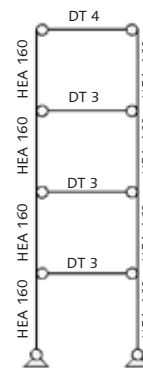
Achse 2



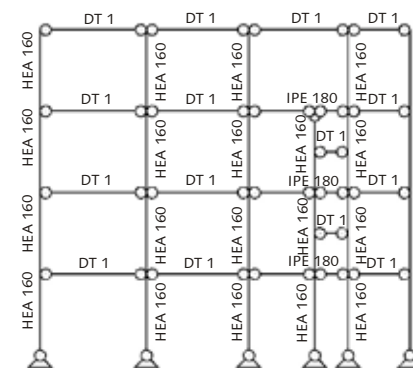
Achse 3



Achse 3a



Reihe 3b



Navigation area with empty rectangular boxes and a blue box containing the number 2.2.

**Kern IIb**

- Grundrissflexibilität eingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich keine
- vertikale Aussteifung Stahlbetonkern
- Trägeranschlüsse in Querrichtung gelenkig
- Trägeranschlüsse in Längsrichtung gelenkig
- maximale Profilierung Außenstützen HEA 160
- maximale Profilierung Innenstützen HEA 160
- Gewicht Stahlkonstruktion 33,0 t

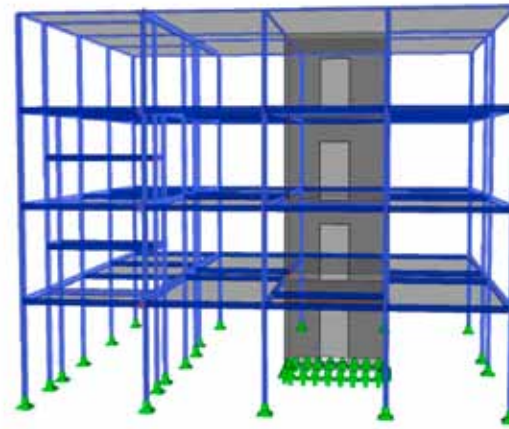


Abb. 2.2.20: Kern IIb

**Profilierung**

Achse 1 und 4

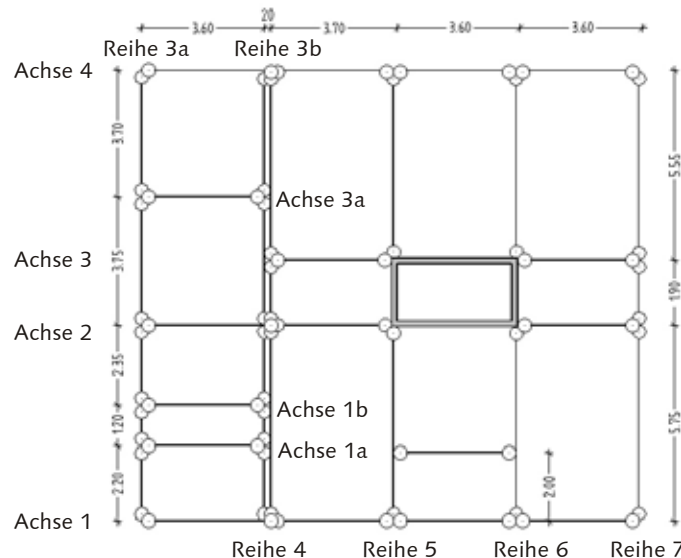
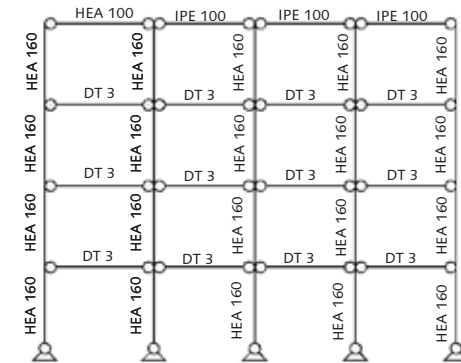
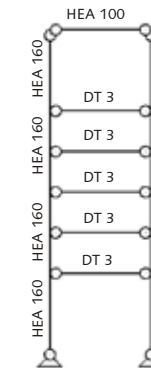


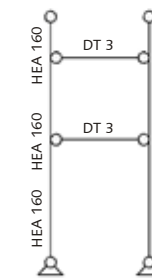
Abb. 2.2.21: Grundriss Kern IIb [m]

Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Achse 1a

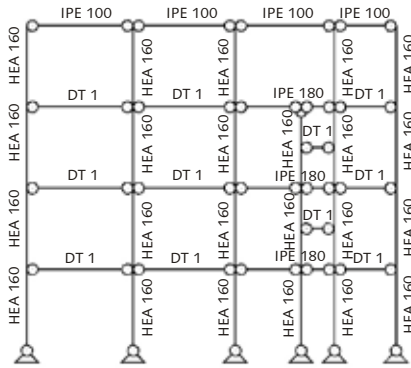


Achse 1b

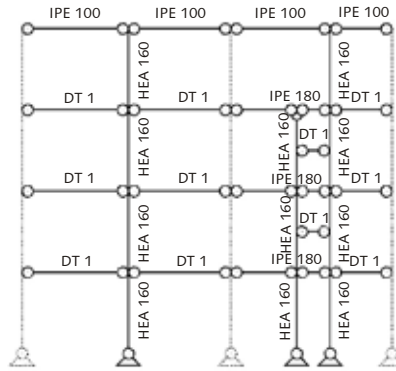


Profilierung

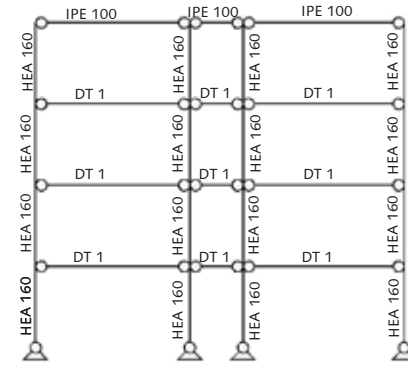
Reihe 3a



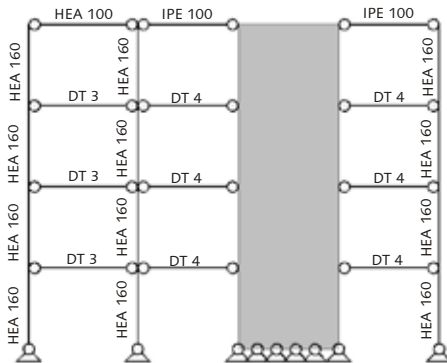
Reihe 3b



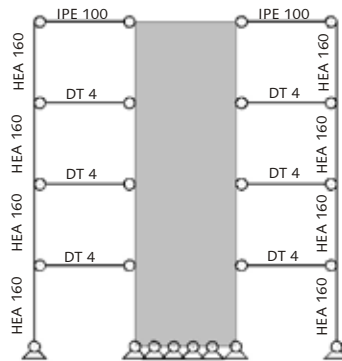
Reihe 4 und 7



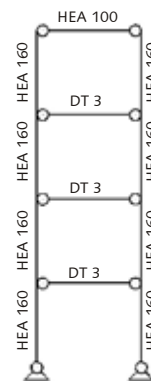
Achse 2



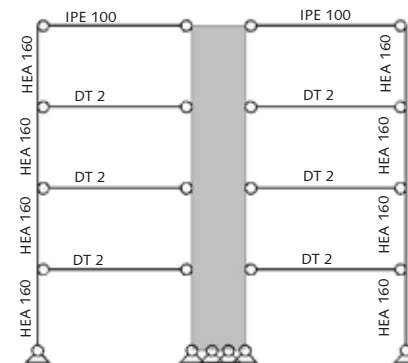
Achse 3



Achse 3a



Reihe 5 und 6



- [1.1](#)
- [1.2](#)
- [1.3](#)
- [1.4](#)
- [1.5](#)
- [1.6](#)
- [1.7](#)
- [1.8](#)
- [1.9](#)
- [1.10](#)
- [1.11](#)
- [1.12](#)
- [1.13](#)
- [1.14](#)
- [1.15](#)
- [1.16](#)
- [1.17](#)
- [1.18](#)
- [1.19](#)
- [1.20](#)
- [1.21](#)
- [1.22](#)
- [1.23](#)
- [1.24](#)
- [1.25](#)
- [1.26](#)
- [1.27](#)
- [1.28](#)
- [1.29](#)
- [1.30](#)
- [1.31](#)
- [1.32](#)
- [1.33](#)
- [1.34](#)
- [1.35](#)
- [1.36](#)
- [1.37](#)
- [1.38](#)
- [1.39](#)
- [1.40](#)
- [1.41](#)
- [1.42](#)
- [1.43](#)
- [1.44](#)
- [1.45](#)
- [1.46](#)
- [1.47](#)
- [1.48](#)
- [1.49](#)
- [1.50](#)
- [1.51](#)
- [1.52](#)
- [1.53](#)
- [1.54](#)
- [1.55](#)
- [1.56](#)
- [1.57](#)
- [1.58](#)
- [1.59](#)
- [1.60](#)
- [1.61](#)
- [1.62](#)
- [1.63](#)
- [1.64](#)
- [1.65](#)
- [1.66](#)
- [1.67](#)
- [1.68](#)
- [1.69](#)
- [1.70](#)
- [1.71](#)
- [1.72](#)
- [1.73](#)
- [1.74](#)
- [1.75](#)
- [1.76](#)
- [1.77](#)
- [1.78](#)
- [1.79](#)
- [1.80](#)
- [1.81](#)
- [1.82](#)
- [1.83](#)
- [1.84](#)
- [1.85](#)
- [1.86](#)
- [1.87](#)
- [1.88](#)
- [1.89](#)
- [1.90](#)
- [1.91](#)
- [1.92](#)
- [1.93](#)
- [1.94](#)
- [1.95](#)
- [1.96](#)
- [1.97](#)
- [1.98](#)
- [1.99](#)
- [2.00](#)
- [2.01](#)
- [2.02](#)
- [2.03](#)
- [2.04](#)
- [2.05](#)
- [2.06](#)
- [2.07](#)
- [2.08](#)
- [2.09](#)
- [2.10](#)
- [2.11](#)
- [2.12](#)
- [2.13](#)
- [2.14](#)
- [2.15](#)
- [2.16](#)
- [2.17](#)
- [2.18](#)
- [2.19](#)
- [2.20](#)
- [2.21](#)
- [2.22](#)
- [2.23](#)
- [2.24](#)
- [2.25](#)
- [2.26](#)
- [2.27](#)
- [2.28](#)
- [2.29](#)
- [2.30](#)
- [2.31](#)
- [2.32](#)
- [2.33](#)
- [2.34](#)
- [2.35](#)
- [2.36](#)
- [2.37](#)
- [2.38](#)
- [2.39](#)
- [2.40](#)
- [2.41](#)
- [2.42](#)
- [2.43](#)
- [2.44](#)
- [2.45](#)
- [2.46](#)
- [2.47](#)
- [2.48](#)
- [2.49](#)
- [2.50](#)
- [2.51](#)
- [2.52](#)
- [2.53](#)
- [2.54](#)
- [2.55](#)
- [2.56](#)
- [2.57](#)
- [2.58](#)
- [2.59](#)
- [2.60](#)
- [2.61](#)
- [2.62](#)
- [2.63](#)
- [2.64](#)
- [2.65](#)
- [2.66](#)
- [2.67](#)
- [2.68](#)
- [2.69](#)
- [2.70](#)
- [2.71](#)
- [2.72](#)
- [2.73](#)
- [2.74](#)
- [2.75](#)
- [2.76](#)
- [2.77](#)
- [2.78](#)
- [2.79](#)
- [2.80](#)
- [2.81](#)
- [2.82](#)
- [2.83](#)
- [2.84](#)
- [2.85](#)
- [2.86](#)
- [2.87](#)
- [2.88](#)
- [2.89](#)
- [2.90](#)
- [2.91](#)
- [2.92](#)
- [2.93](#)
- [2.94](#)
- [2.95](#)
- [2.96](#)
- [2.97](#)
- [2.98](#)
- [2.99](#)
- [3.00](#)

2.2

## 2.2.2 Gelenksystem

### Gelenk I

Grundrissflexibilität geringfügig eingeschränkt

Verbände im Fassadenbereich ja

vertikale Aussteifung Stahlbetonkern  
Zugbänder  
Fachwerkstäbe

Trägeranschlüsse in  
Querrichtung gelenkig  
Längsrichtung gelenkig

maximale Profilierung  
Außenstützen

Haus 1 HEA 160

Haus 2 HEB 160

Innenstützen

Haus 1 HEA 200

Haus 2 HEA 220

Erschließung HEA 160

Gewicht Stahl-  
konstruktion 60,9 t

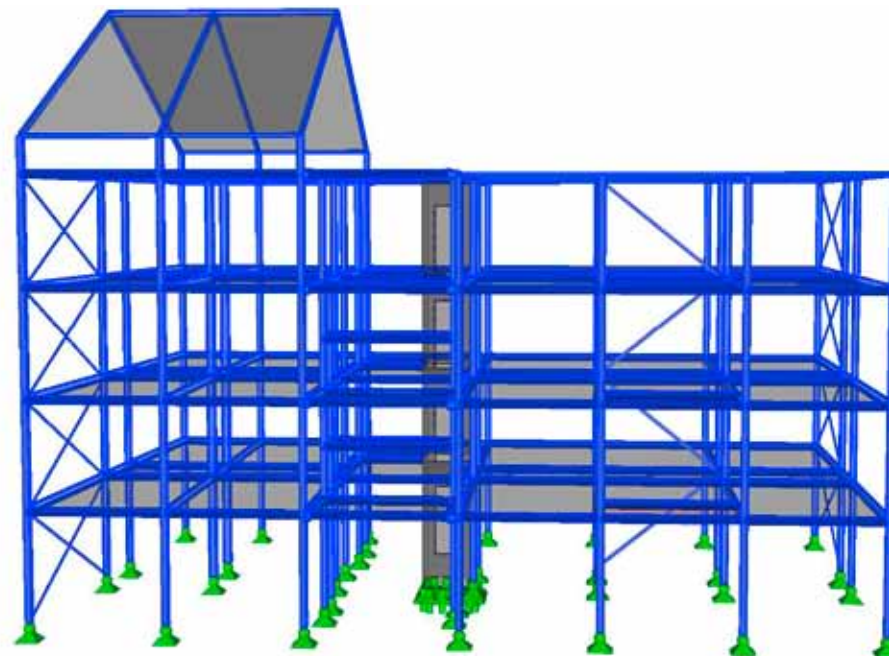
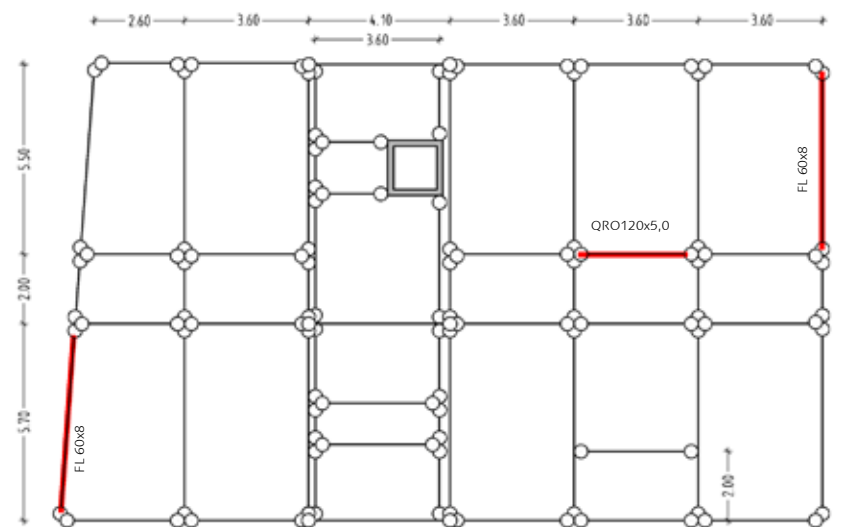


Abb. 2.2.22: Gelenk I



zusätzliche vertikale Aussteifungen

Abb. 2.2.23: Grundriss Gelenk I [m]



Gelenk I: Haus 1



Abb. 2.2.24: Gelenk I - Haus 1

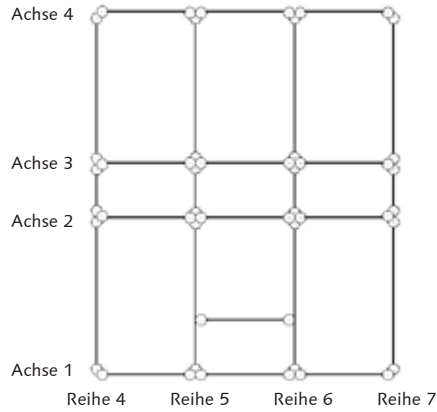
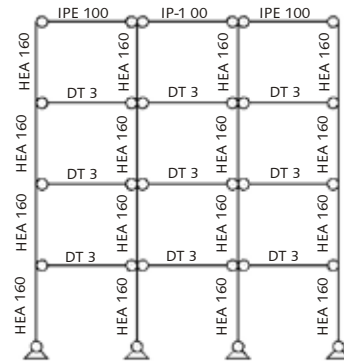


Abb. 2.2.25: Grundriss Gelenk I - Haus 1

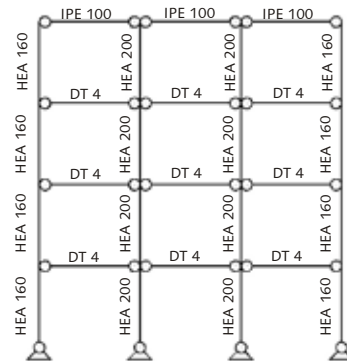
Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	Sfb IPE 180-20/155	
DT 2	Sfb IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Profilierung

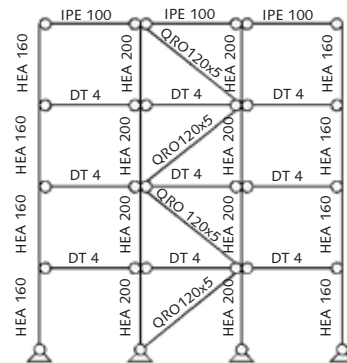
Achse 1 und 4



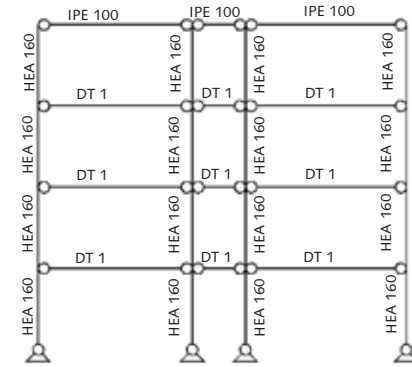
Achse 2



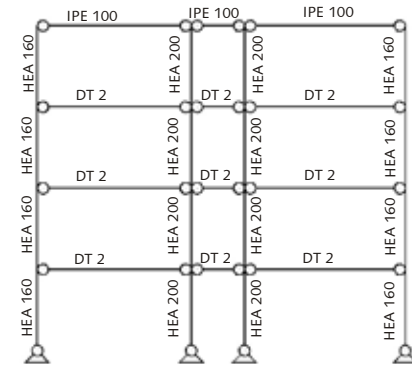
Achse 3



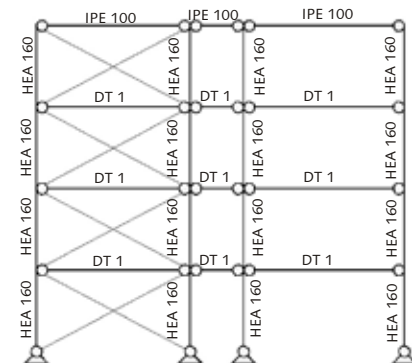
Reihe 4



Reihe 5 und 6



Reihe 7



- [1](#)
- [2.1](#)
- [2.2](#)
- [2.3](#)
- [2.4](#)

2.2

Gelenk I: Haus 2

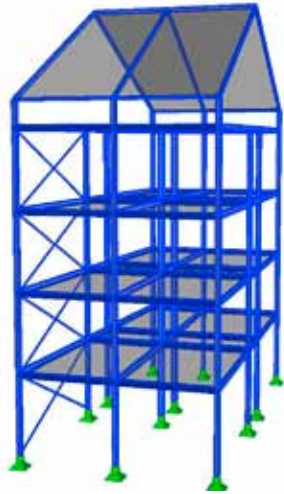


Abb. 2.2.26: Gelenk I - Haus 2

Profilierung

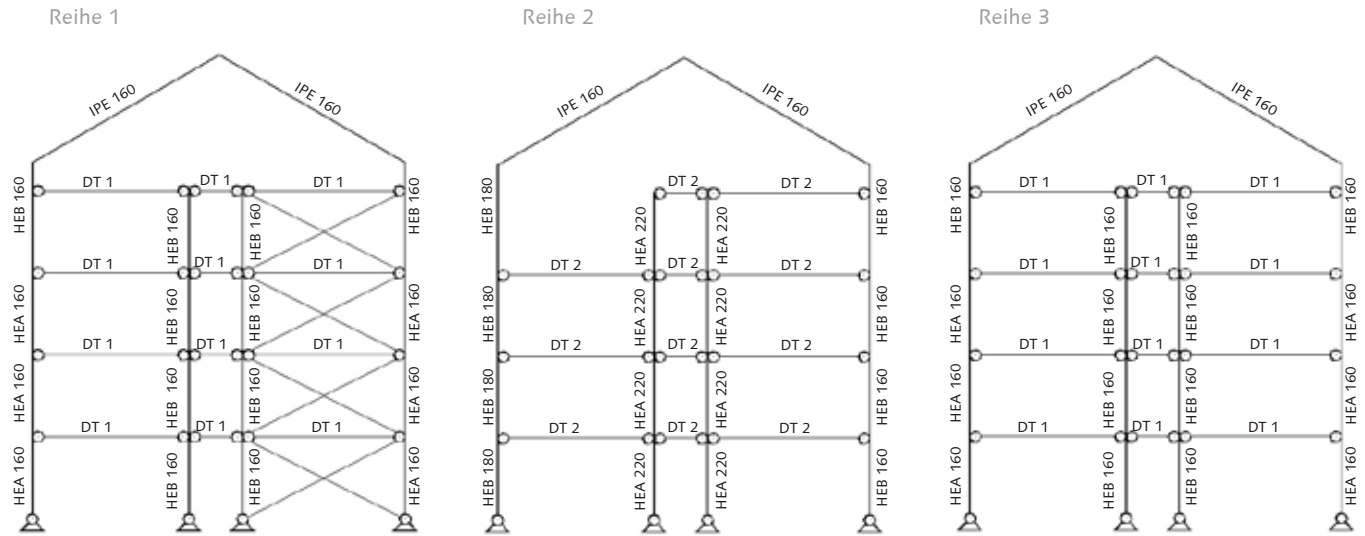
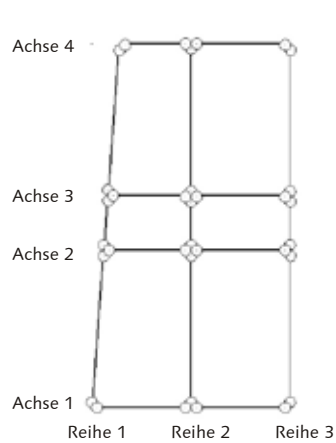
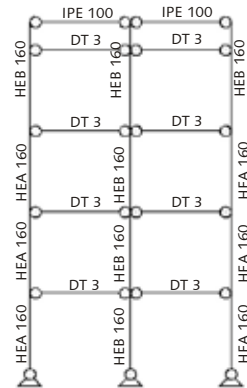


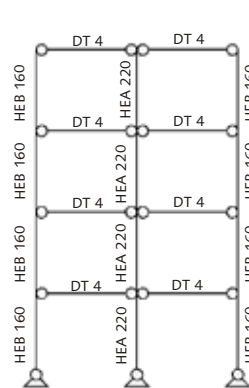
Abb. 2.2.27: Grundriss Gelenk I - Haus 2



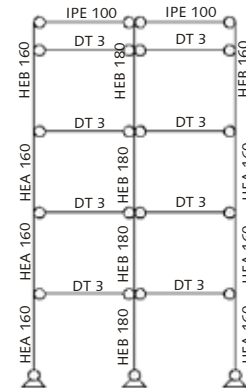
Achse 1 und 4



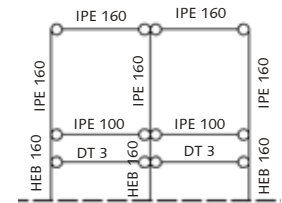
Achse 2 und 3



Achse 1 und 4



Dach



Deckenträger

Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Gelenk I: Erschließung

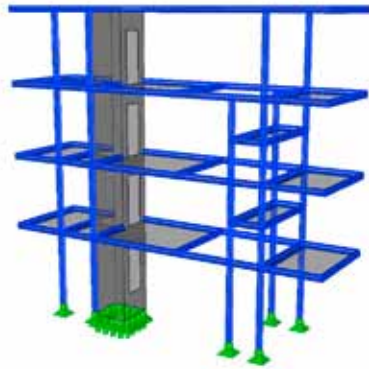


Abb. 2.2.28: Gelenk I - Erschließung

Profilierung

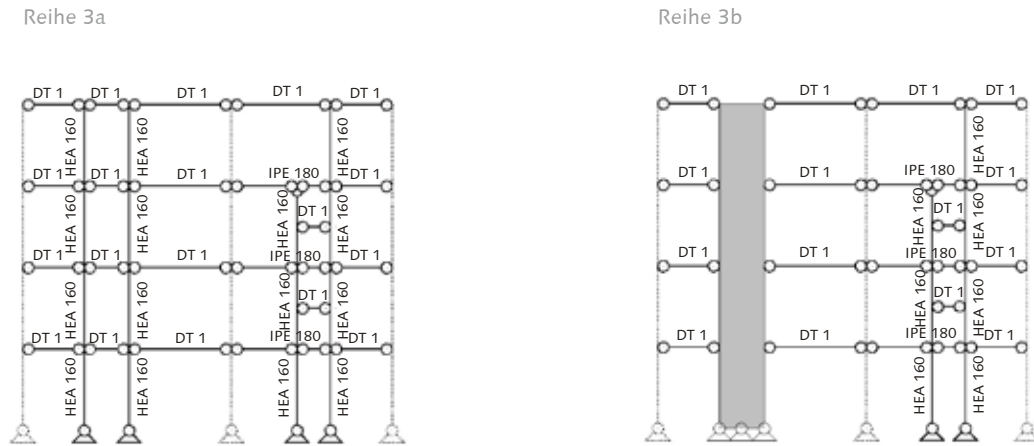
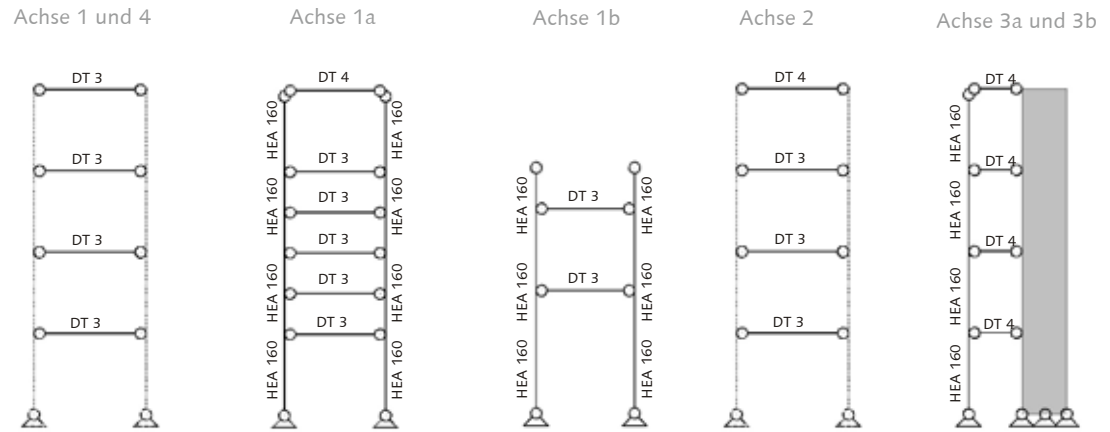
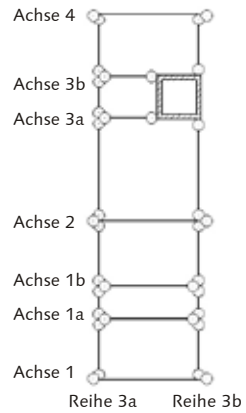


Abb. 2.2.29: Grundriss Gelenk I - Erschließung



2.2

**Gelenk Ia**

- Grundrissflexibilität uneingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich ja
- vertikale Aussteifung Stahlbetonkern  
Zugbänder
- Trägeranschlüsse in  
Querrichtung gelenkig  
Längsrichtung gelenkig
- maximale Profilierung  
Außenstützen HEB 160  
Innenstützen HEA 220
- Gewicht Stahl-  
konstruktion 36,2 t

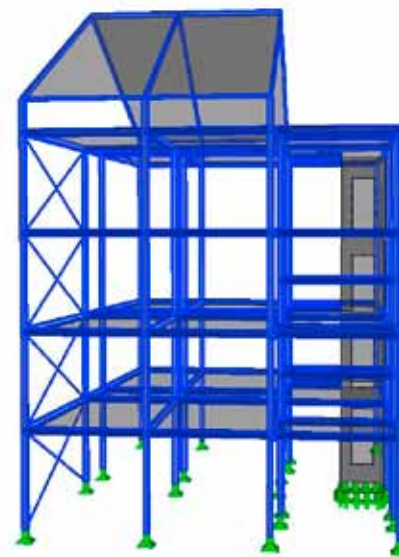
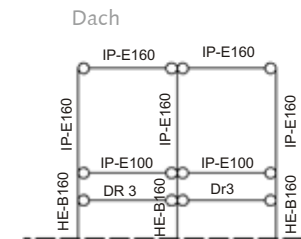
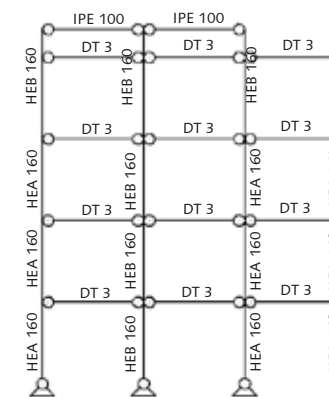


Abb. 2.2.30: Gelenk Ia

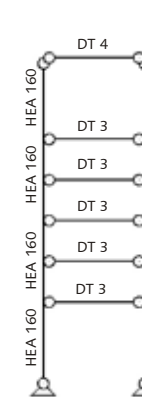
**Profilierung**



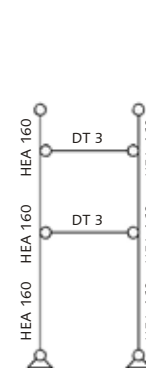
Achse 1



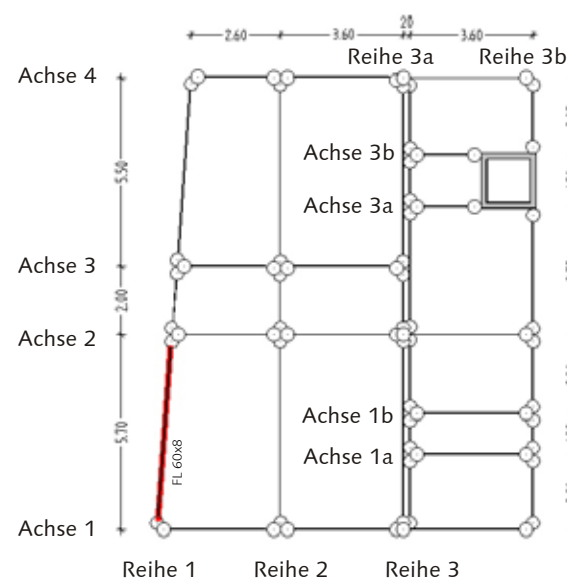
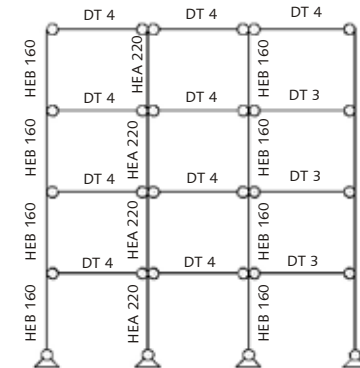
Achse 1a



Achse 1b



Achse 2



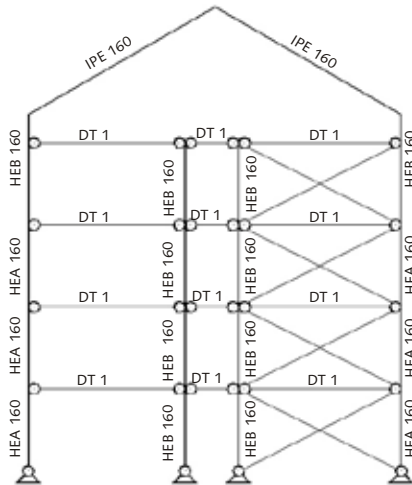
zusätzliche vertikale Aussteifungen

Abb. 2.2.31: Grundriss Gelenk Ia [m]

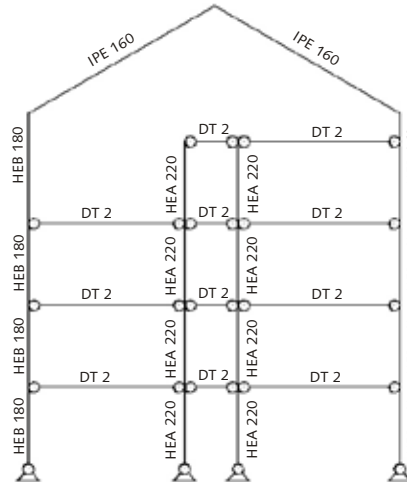
Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Profilierung

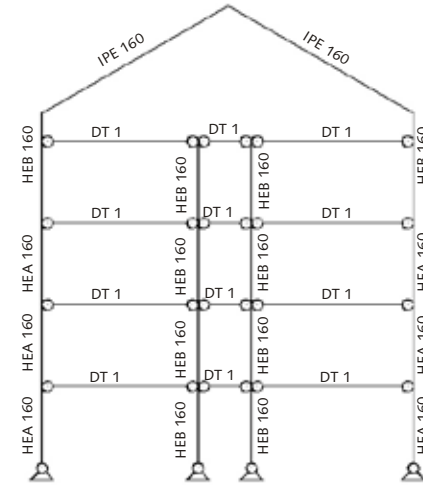
Reihe 1



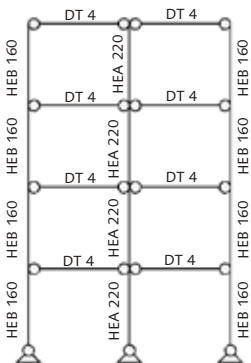
Reihe 2



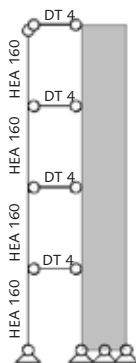
Reihe 3



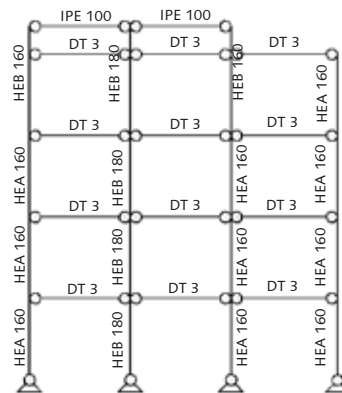
Achse 3



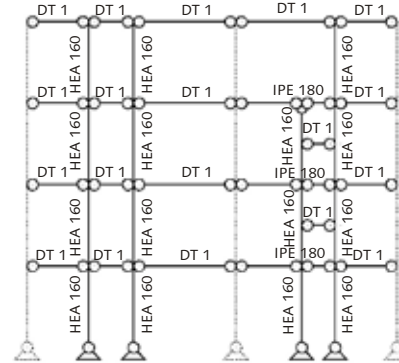
Achse 3a und 3b



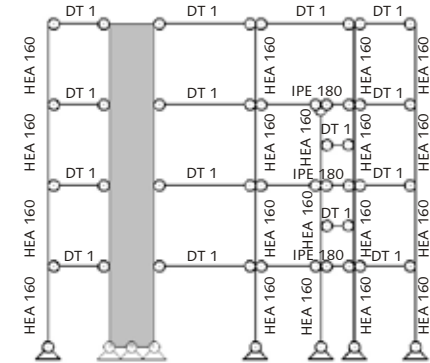
Achse 4



Reihe 3a







Reihe 3b



**Gelenk Ib**

- Grundrissflexibilität geringfügig eingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich ja
- vertikale Aussteifung Stahlbetonkern  
Zugbänder  
Fachwerkstäbe
- Trägeranschlüsse in Querrichtung gelenkig  
Längsrichtung gelenkig
- maximale Profilierung Außenstützen HEB 160  
Innenstützen HEA 200

Gewicht Stahlkonstruktion 37,3 t

Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

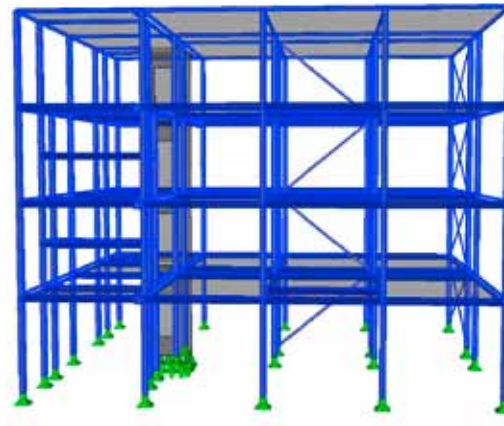
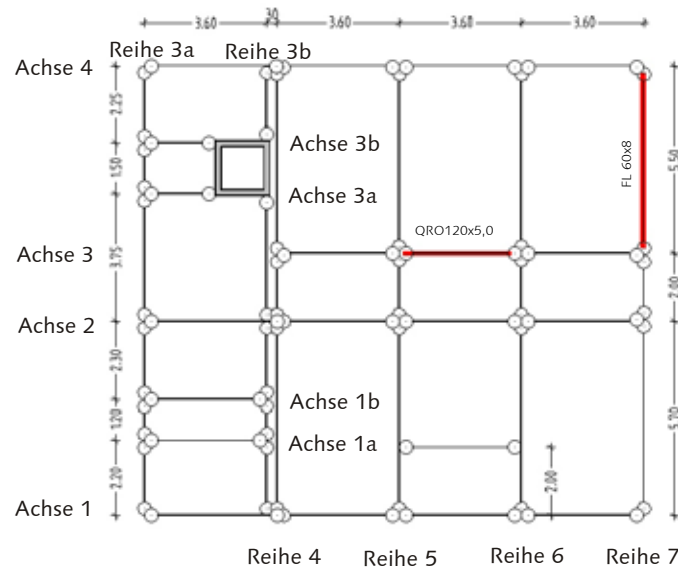


Abb. 2.2.32: Gelenk Ib

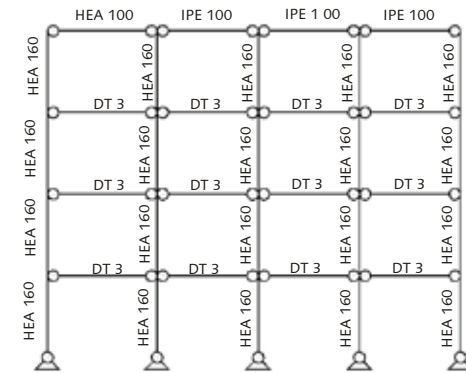


 zusätzliche vertikale Aussteifungen

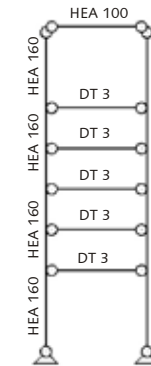
Abb. 2.2.33: Grundriss Gelenk Ib [m]

**Profilierung**

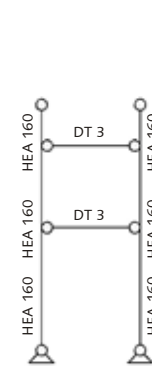
Achse 1 und 4



Achse 1a

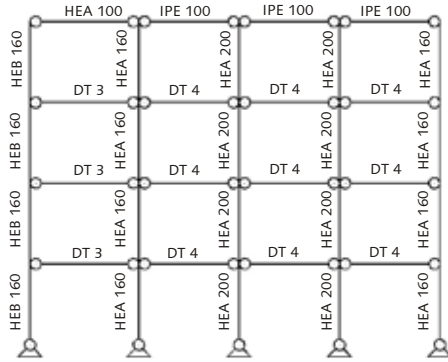


Achse 1b

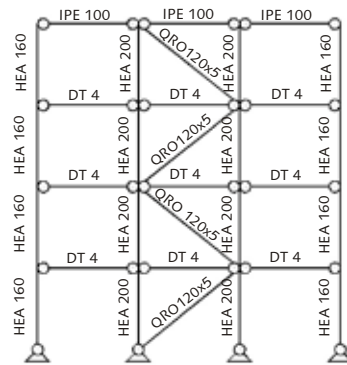


Proflierung

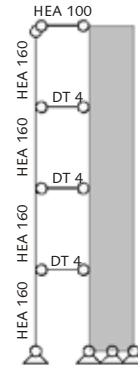
Achse 2



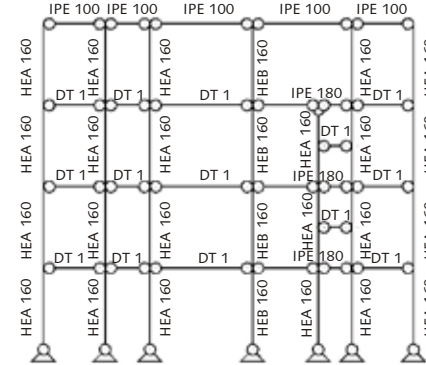
Achse 3



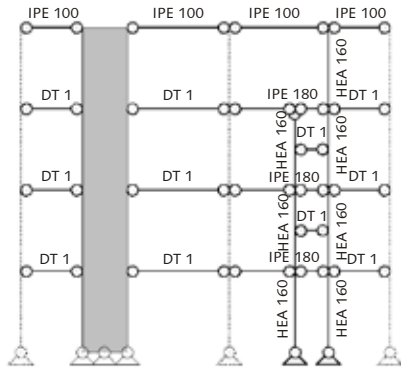
Achse 3a und 3b



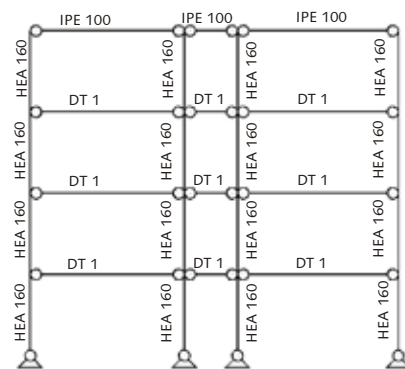
Reihe 3a



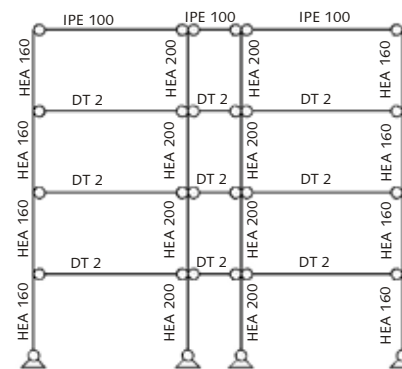
Reihe 3b



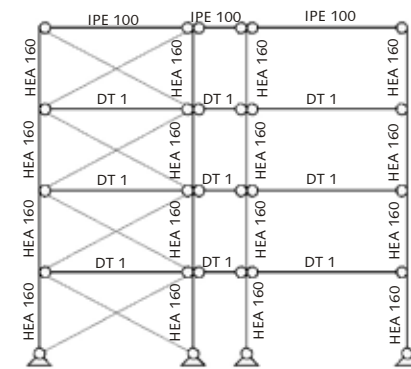
Reihe 4



Reihe 5 und 6



Reihe 7



- [1](#)
- [2](#)
- [3](#)
- [4](#)
- [5](#)
- [6](#)
- [7](#)
- [8](#)
- [9](#)
- [10](#)
- [11](#)
- [12](#)
- [13](#)
- [14](#)
- [15](#)
- [16](#)
- [17](#)
- [18](#)
- [19](#)
- [20](#)
- [21](#)
- [22](#)
- [23](#)
- [24](#)
- [25](#)
- [26](#)
- [27](#)
- [28](#)
- [29](#)
- [30](#)
- [31](#)
- [32](#)
- [33](#)
- [34](#)
- [35](#)
- [36](#)
- [37](#)
- [38](#)
- [39](#)
- [40](#)
- [41](#)
- [42](#)
- [43](#)
- [44](#)
- [45](#)
- [46](#)
- [47](#)
- [48](#)
- [49](#)
- [50](#)
- [51](#)
- [52](#)
- [53](#)
- [54](#)
- [55](#)
- [56](#)
- [57](#)
- [58](#)
- [59](#)
- [60](#)
- [61](#)
- [62](#)
- [63](#)
- [64](#)
- [65](#)
- [66](#)
- [67](#)
- [68](#)
- [69](#)
- [70](#)
- [71](#)
- [72](#)
- [73](#)
- [74](#)
- [75](#)
- [76](#)
- [77](#)
- [78](#)
- [79](#)
- [80](#)
- [81](#)
- [82](#)
- [83](#)
- [84](#)
- [85](#)
- [86](#)
- [87](#)
- [88](#)
- [89](#)
- [90](#)
- [91](#)
- [92](#)
- [93](#)
- [94](#)
- [95](#)
- [96](#)
- [97](#)
- [98](#)
- [99](#)
- [100](#)

## Gelenk II

Grundrissflexibilität	geringfügig eingeschränkt
Verbände im Fassadenbereich	ja
vertikale Aussteifung	Zugbänder Fachwerkstäbe Rahmenwirkung*
Trägeranschlüsse in Querrichtung	gelenkig
Längsrichtung	gelenkig
maximale Profilierung Außenstützen	
Haus 1	HEB 160
Haus 2	HEB 160
Innenstützen	
Haus 1	HEA 200
Haus 2	HEB 220
Erschließung	HEA 160
Gewicht Stahl- konstruktion	63,5 t

\* im Erschließungsbauwerk, Achse 1a, EG

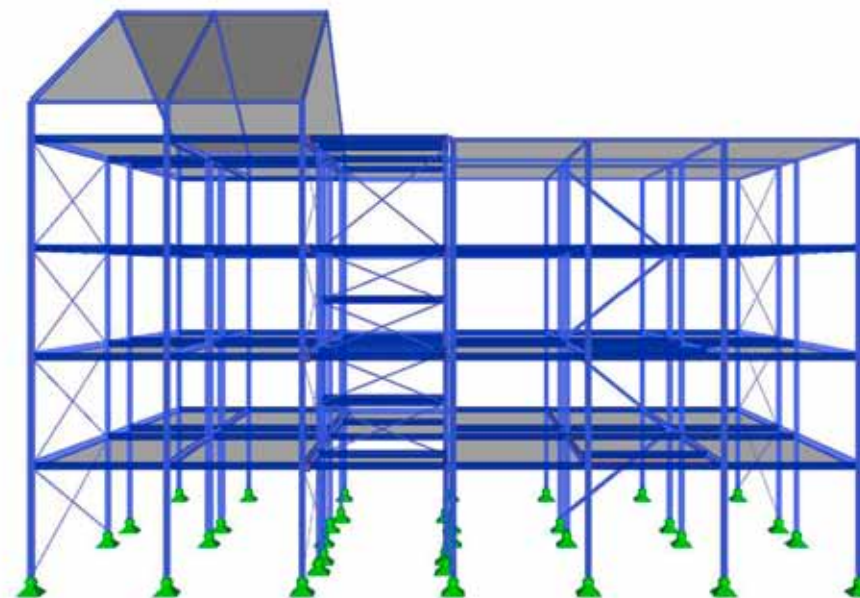
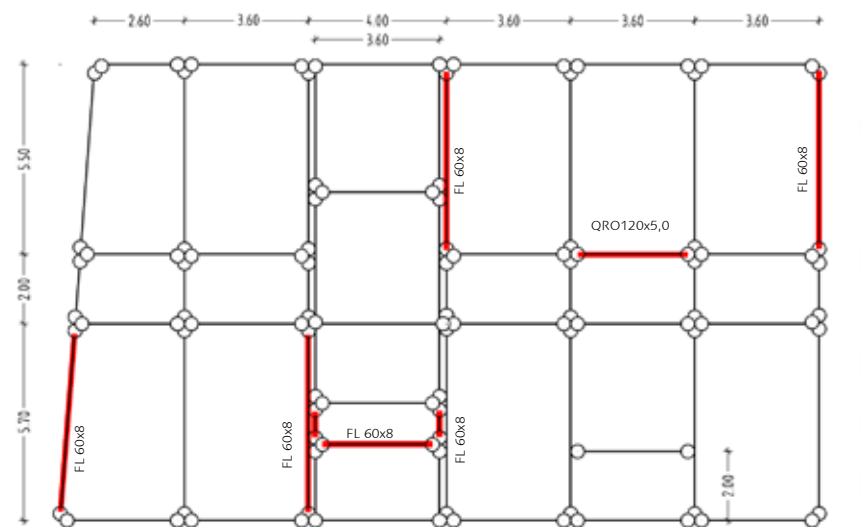


Abb. 2.2.34: Gelenk II



■ zusätzliche vertikale Aussteifungen

Abb. 2.2.35: Grundriss Gelenk II [m]



Gelenk II: Haus 1

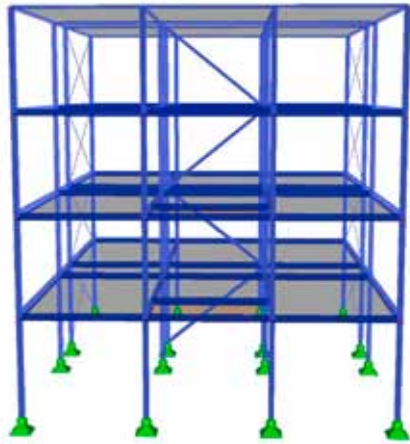


Abb. 2.2.36: Gelenk II - Haus 1

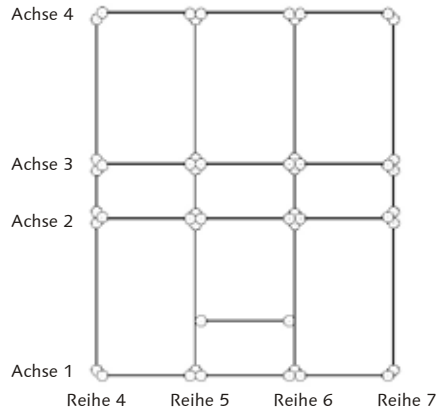
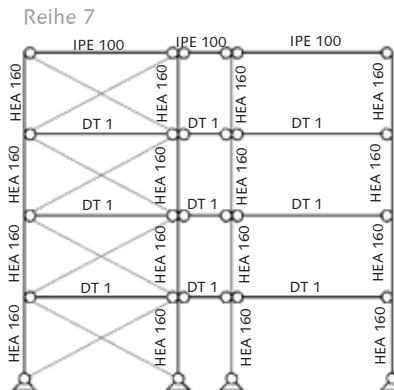
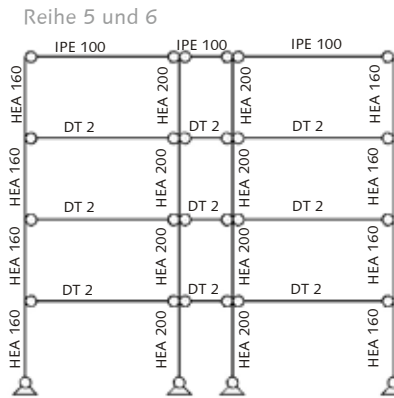
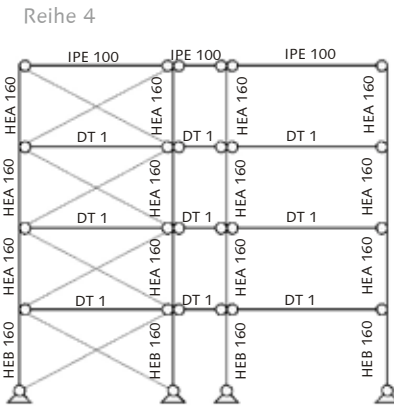
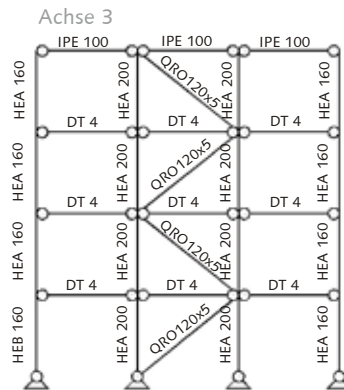
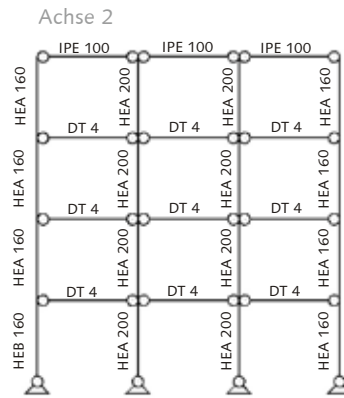
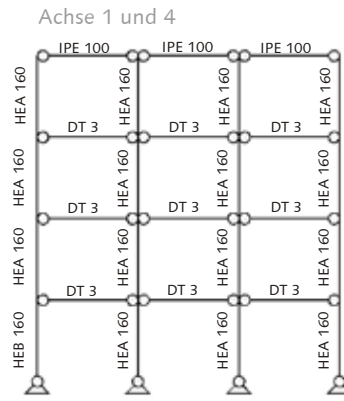


Abb. 2.2.37: Grundriss Gelenk II - Haus 1

Deckenträger

Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Profilierung



- 
- 
- 2.2
- 
-

## Gelenk II: Haus 2

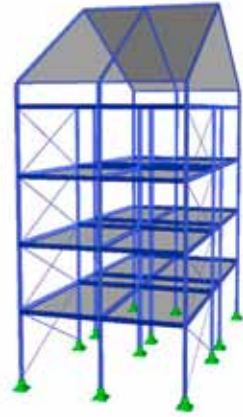


Abb. 2.2.38: Gelenk II - Haus 2

## Proflierung

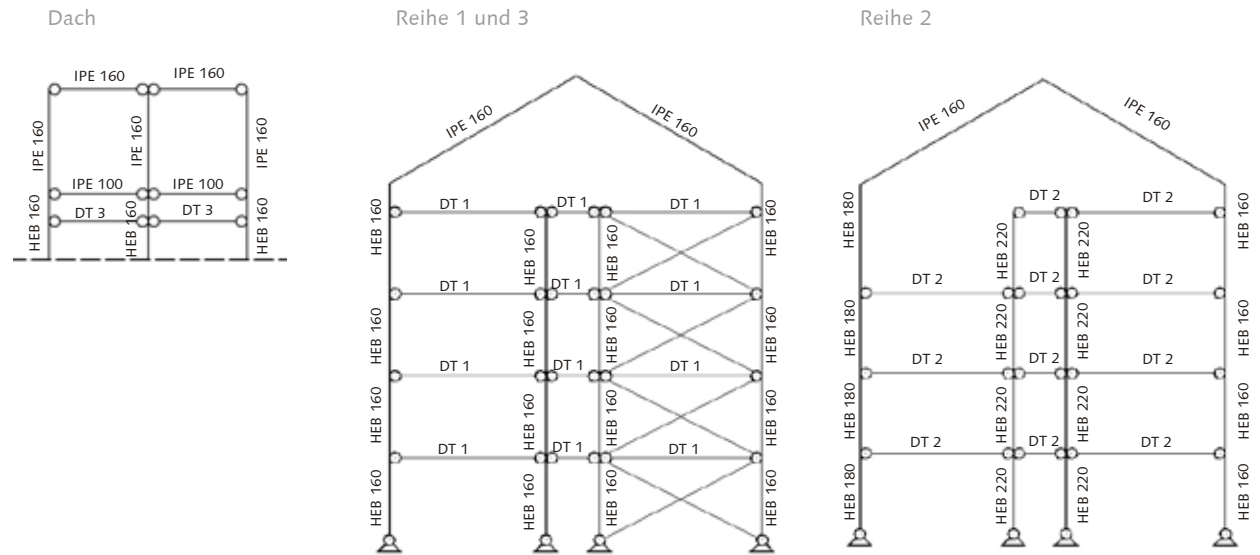
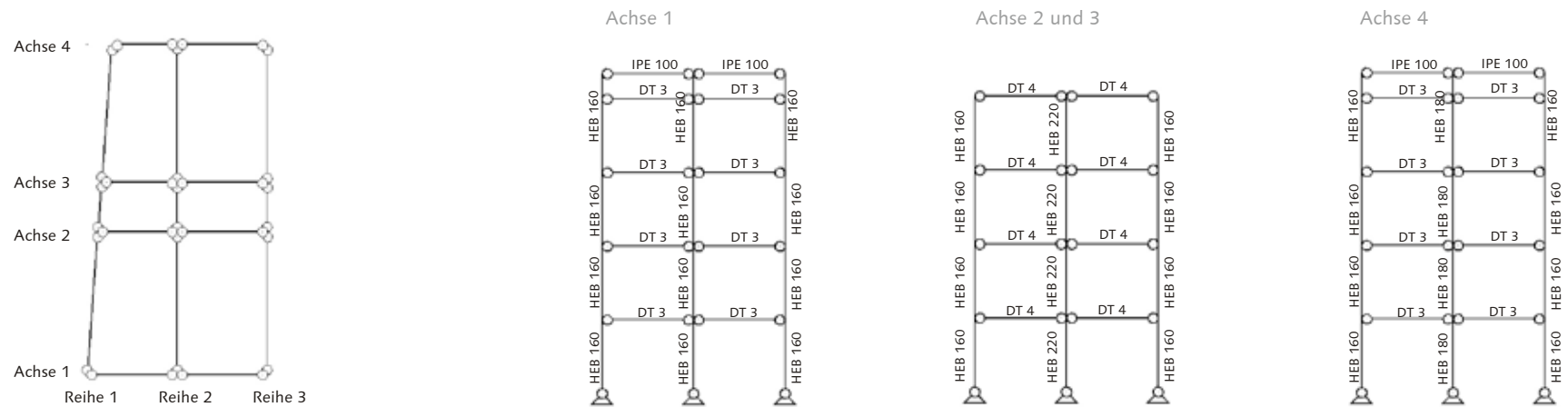


Abb. 2.2.39: Grundriss Gelenk II - Haus 2



Gelenk II: Erschließung

Profilierung

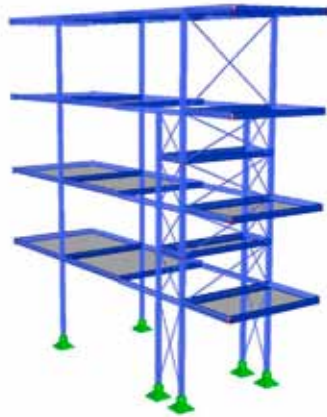
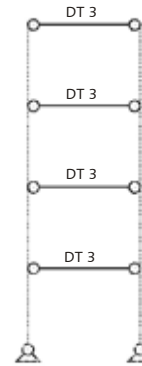


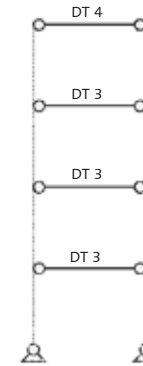
Abb. 2.2.40: Gelenk II - Erschließung

Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Achse 1 und 4



Achse 2



Achse 3a

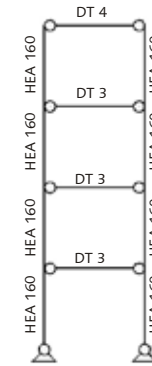
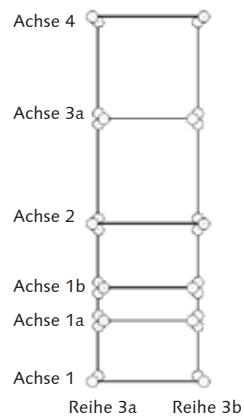
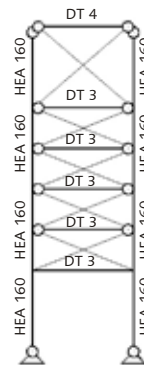


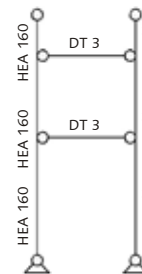
Abb. 2.2.41: Grundriss Gelenk II - Erschließung



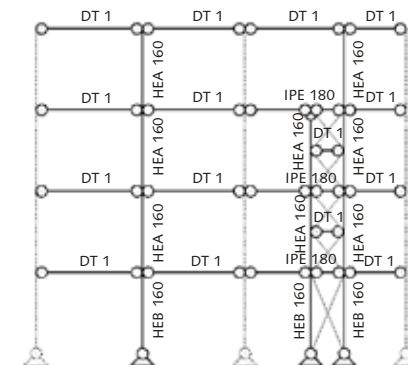
Achse 1a



Achse 1b







Reihe 3a und 3b



**Gelenk IIa**

- Grundrissflexibilität eingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich ja
- vertikale Aussteifung Zugbänder, Fachwerkstäbe, Rahmenwirkung\*
- Trägeranschlüsse in Querrichtung gelenkig
- Trägeranschlüsse in Längsrichtung gelenkig
- maximale Profilierung Außenstützen HEB 160
- maximale Profilierung Innenstützen HEB 220
- Gewicht Stahlkonstruktion 37,8 t

\* im Erschließungsbauwerk, Achse 1a, EG

Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

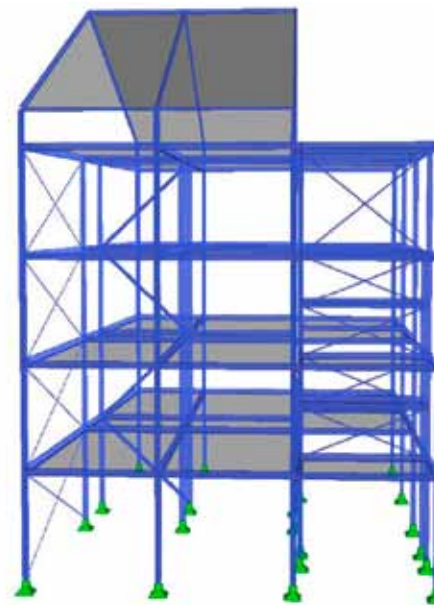


Abb. 2.2.42: Gelenk IIa

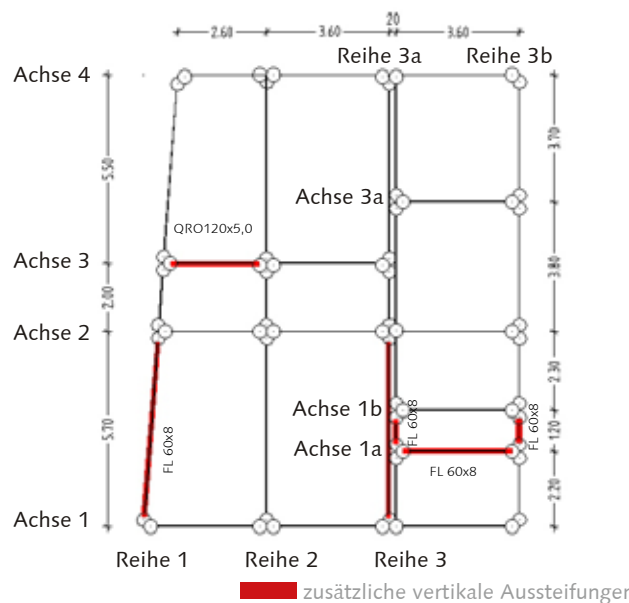
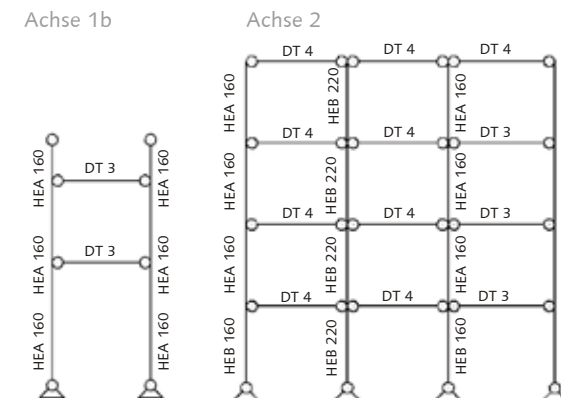
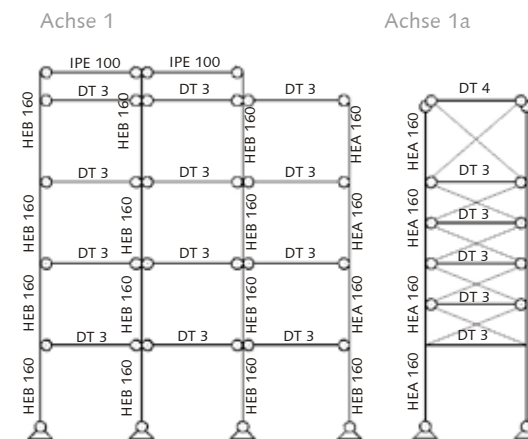
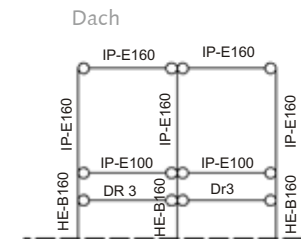


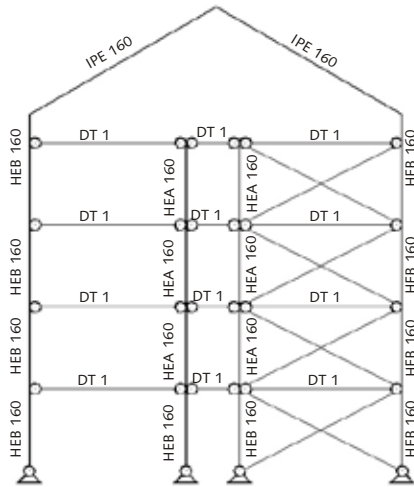
Abb. 2.2.43: Grundriss Gelenk IIa [m]

**Profilierung**

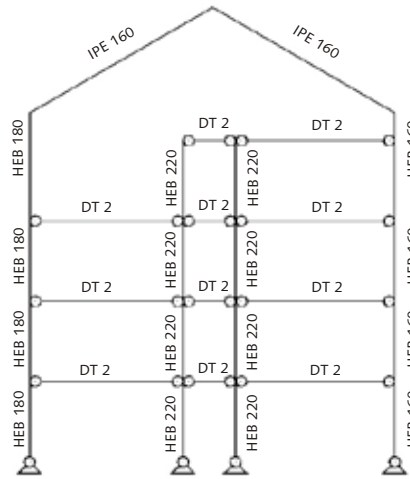


Proflierung

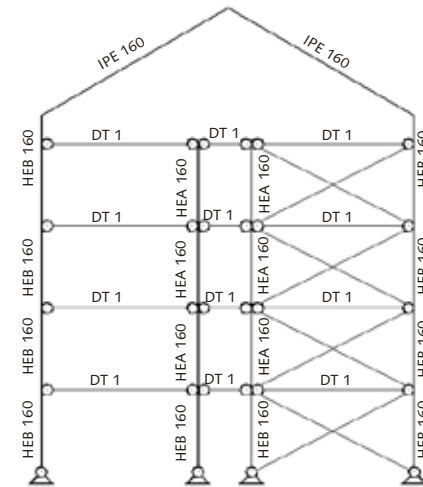
Reihe 1



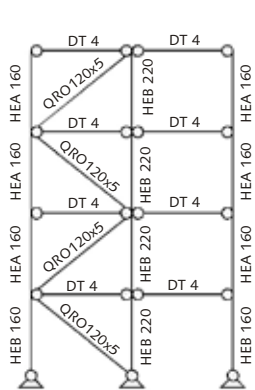
Reihe 2



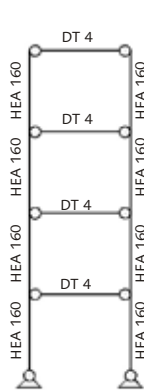
Reihe 3



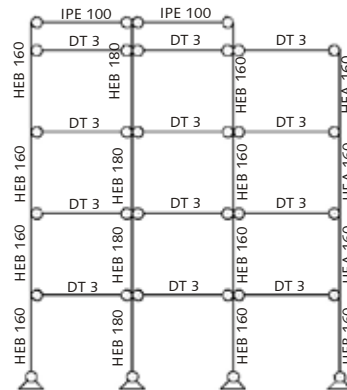
Achse 3



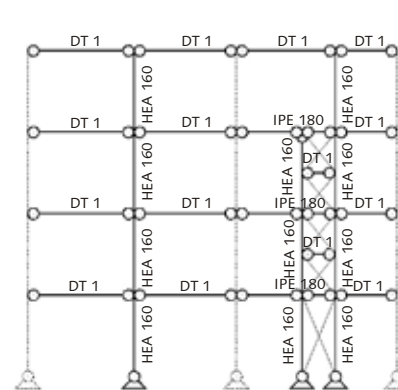
Achse 3a



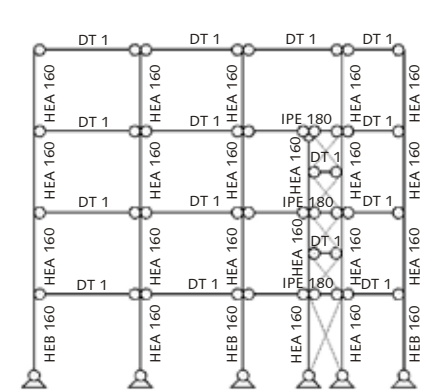
Achse 4



Reihe 3a



Reihe 3b



Navigation area with empty rectangular boxes and a blue box containing the number 2.2.





2.2

## Gelenk IIb

Grundrissflexibilität	geringfügig eingeschränkt
Verbände im Fassadenbereich	ja
vertikale Aussteifung	Zugbänder Fachwerkstäbe Rahmenwirkung*
Trägeranschlüsse in Querrichtung	gelenkig
Längsrichtung	gelenkig
maximale Profilierung Außenstützen	HEB 160
Innenstützen	HEA 200
Gewicht Stahlkonstruktion	38,7 t

\* im Erschließungsbauwerk, Achse 1a, EG

### Deckenträger

Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

## Profilierung

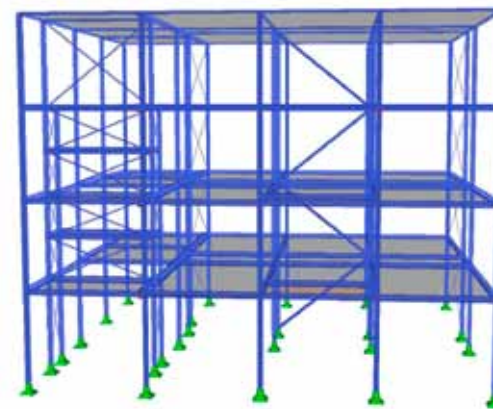


Abb. 2.2.44: Gelenk IIb

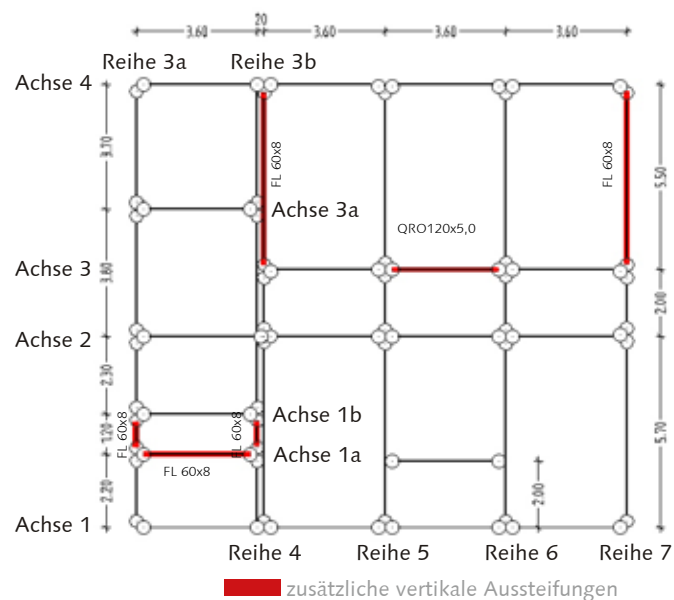
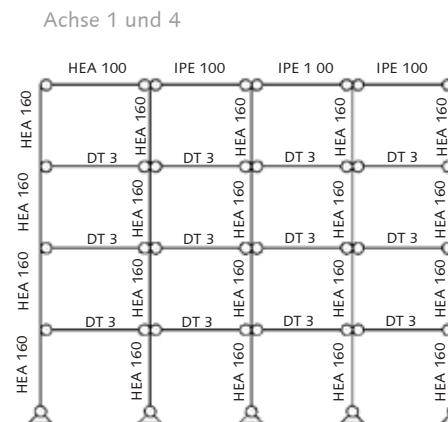
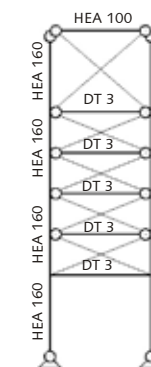
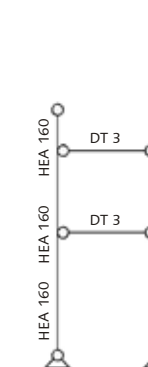


Abb. 2.2.45: Grundriss Gelenk IIb [m]

Achse 1a

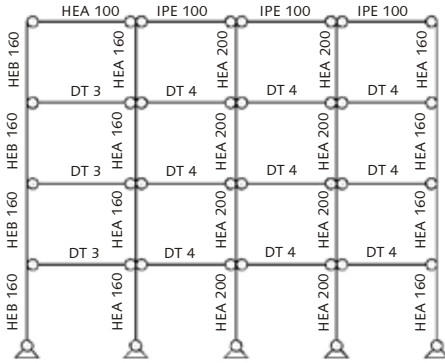


Achse 1b

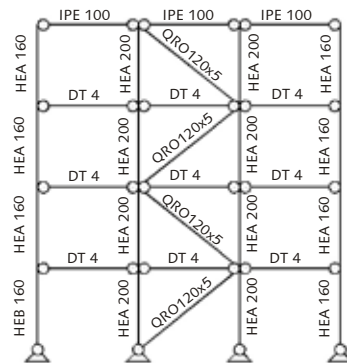


Proflierung

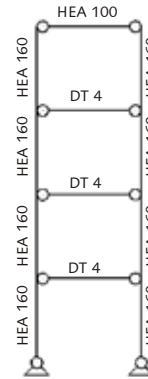
Achse 2



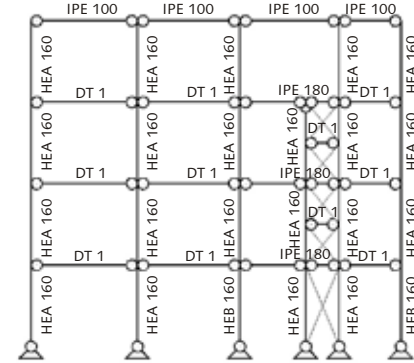
Achse 3



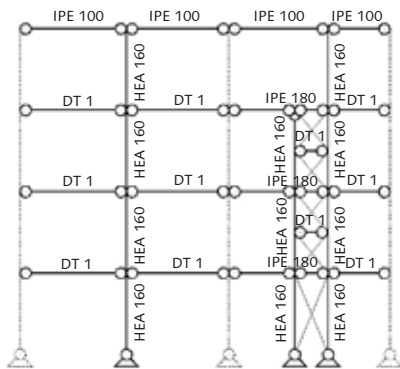
Achse 3a



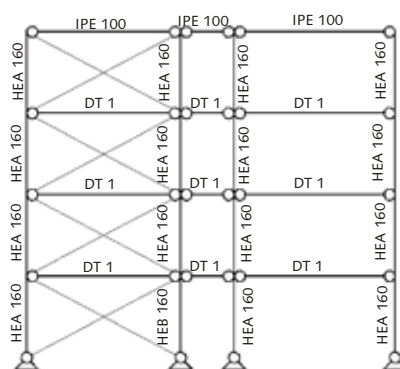
Reihe 3a



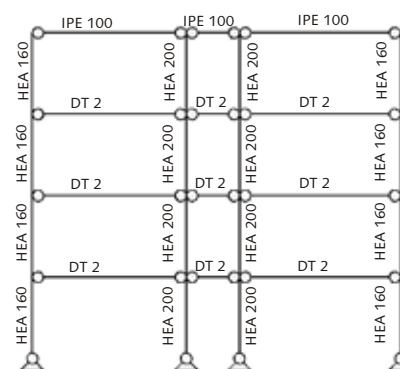
Reihe 3b



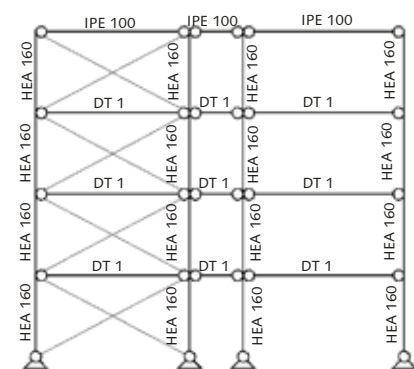
Reihe 4



Reihe 5 und 6



Reihe 7



## 2.2.3 Rahmensystem

### Rahmen I

Grundrissflexibilität uneingeschränkt

Verbände im Fassadenbereich keine

vertikale Aussteifung Stahlbetonkern  
Rahmenwirkung

Riegelanschlüsse in  
Querrichtung biegesteif  
Längsrichtung gelenkig

maximale Profilierung  
Außenstützen

Haus 1 HEA 160

Haus 2 HEB 160





Innenstützen

Haus 1 HEA 200

Haus 2 HEB 220

Erschließung HEA 160

Gewicht Stahl-  
konstruktion 67,1 t

Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

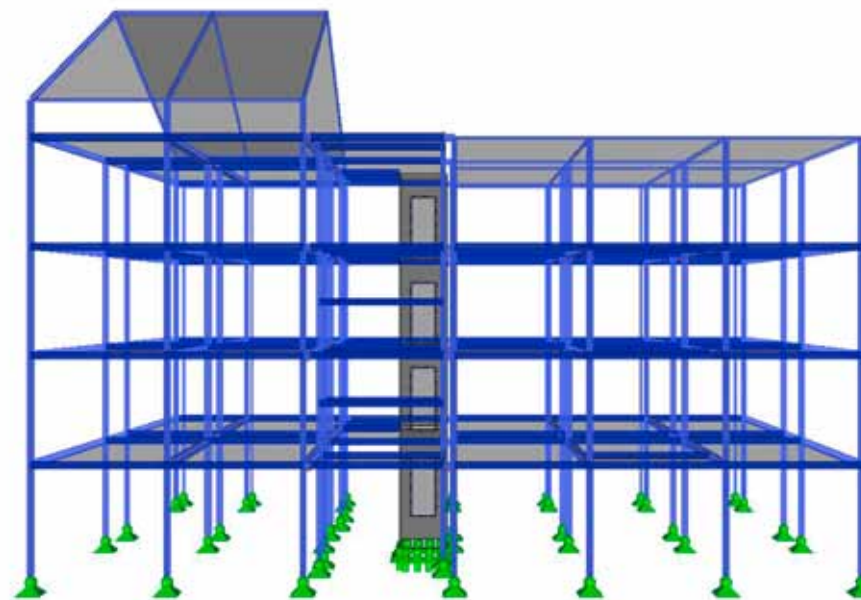


Abb. 2.2.46: Rahmen I

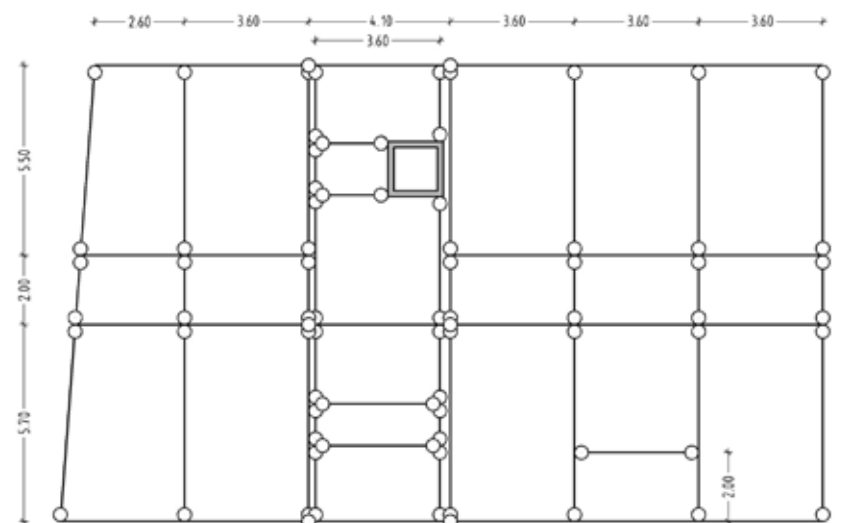


Abb. 2.2.47: Grundriss Rahmen I [m]



Rahmen I: Haus 1

Proflierung

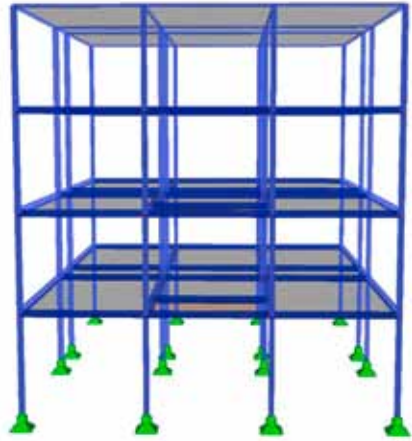
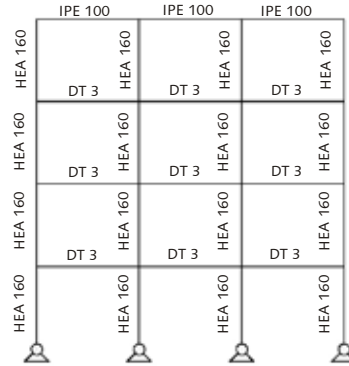
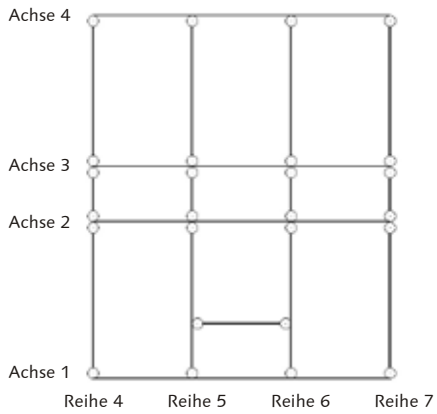
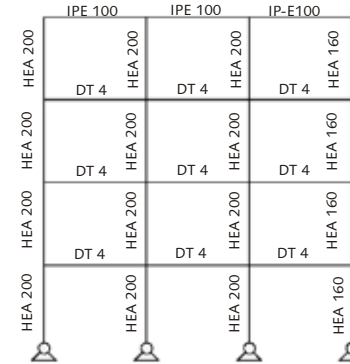


Abb. 2.2.48: Rahmen I - Haus 1

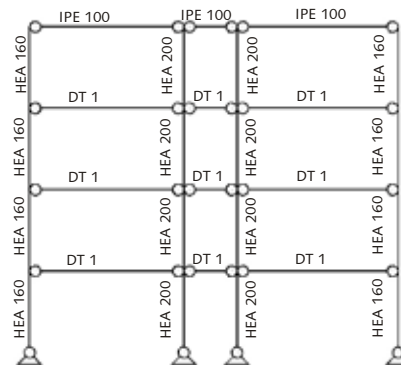
Achse 1 und 4



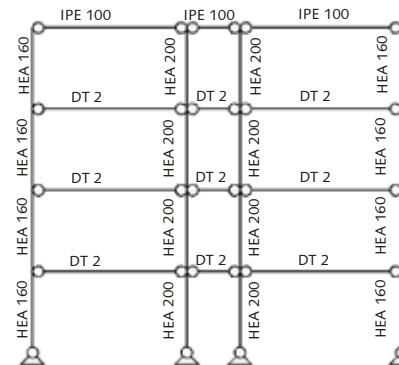
Achse 2 und 3



Reihe 4



Reihe 5 und 6



Reihe 7

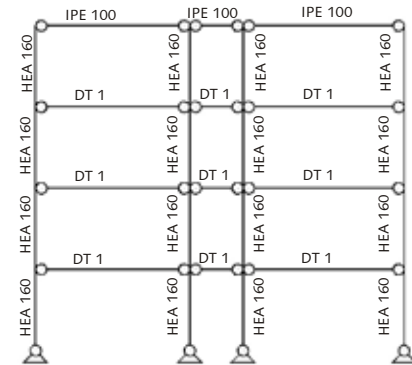


Abb. 2.2.49: Grundriss Rahmen I - Haus 1

2.2

2.2

Rahmen I: Haus 2



Abb. 2.2.50: Rahmen I - Haus 2

Profilierung

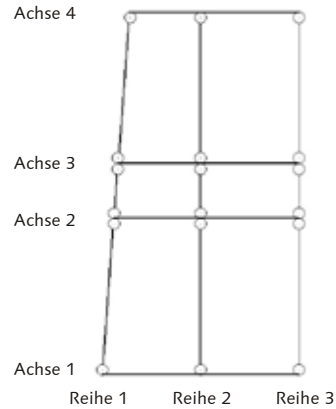
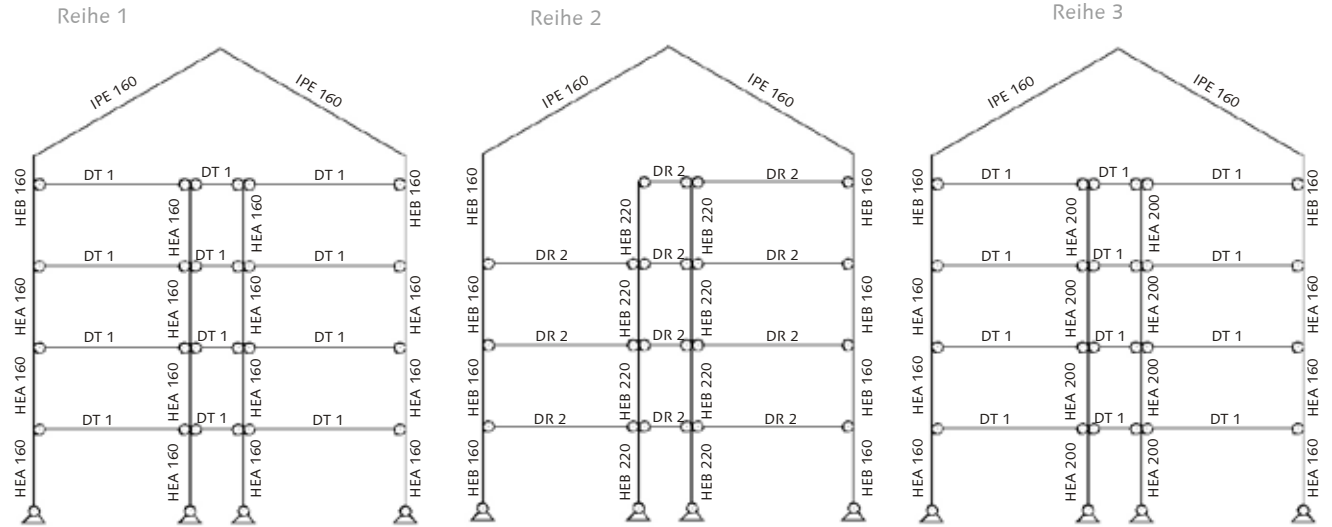
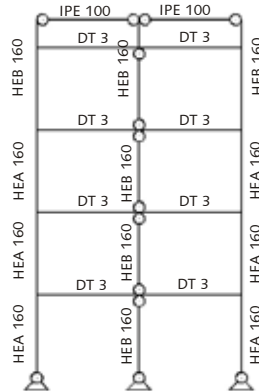
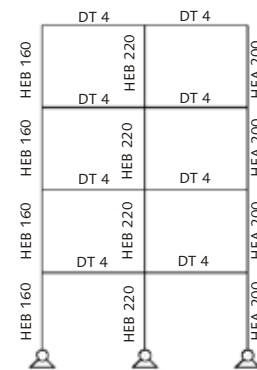


Abb. 2.2.51: Grundriss Rahmen I - Haus 2

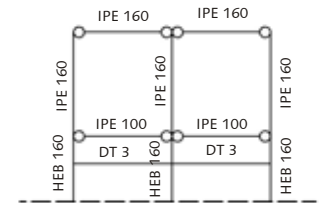
Achse 1 und 4



Achse 2 und 3



Dach



Deckenträger

Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Rahmen I: Erschließung

Profilierung

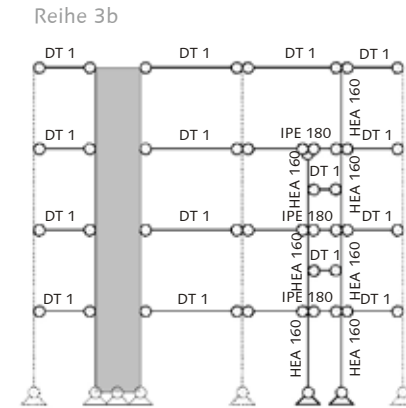
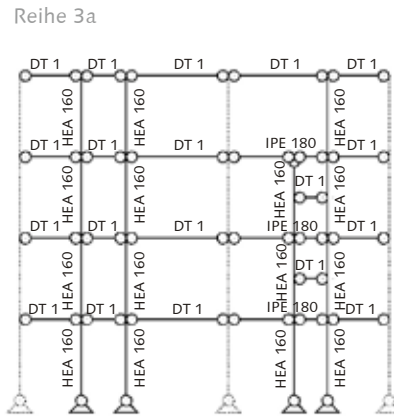
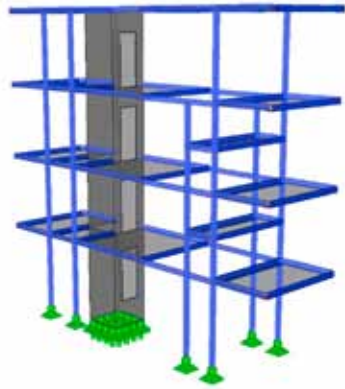
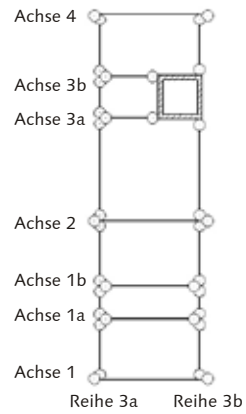
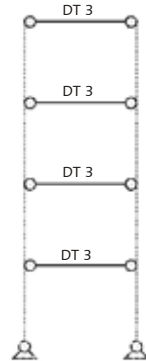


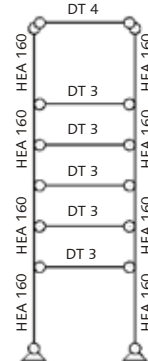
Abb. 2.2.52: Rahmen I - Erschließung



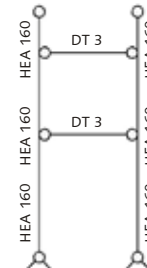
Achse 1 und 4



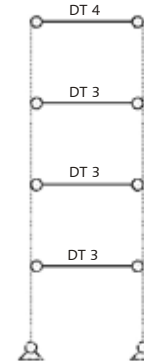
Achse 1a



Achse 1b



Achse 2



Achse 3a und 3b

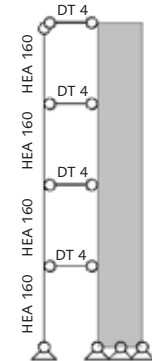


Abb. 2.2.53: Grundriss Rahmen I - Erschließung

Navigation area with empty boxes and a highlighted box containing the number 2.2.

**Rahmen Ia**

- Grundrissflexibilität: uneingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich: keine
- vertikale Aussteifung: Stahlbetonkern, Rahmenwirkung, Zugbänder
- Trägeranschlüsse in Querrichtung: biegesteif
- Trägeranschlüsse in Längsrichtung: gelenkig
- maximale Profilierung Außenstützen: HEA 200
- maximale Profilierung Innenstützen: HEB 220
- Gewicht Stahlkonstruktion: 38,7 t

Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

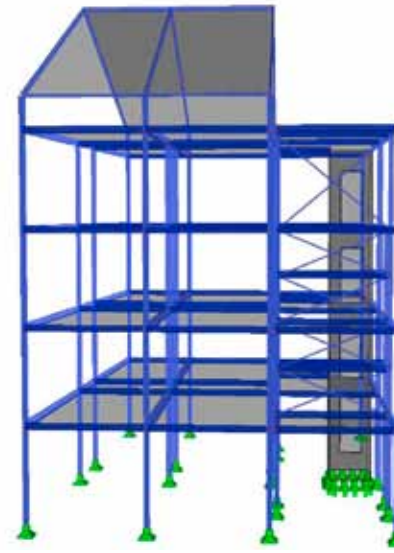
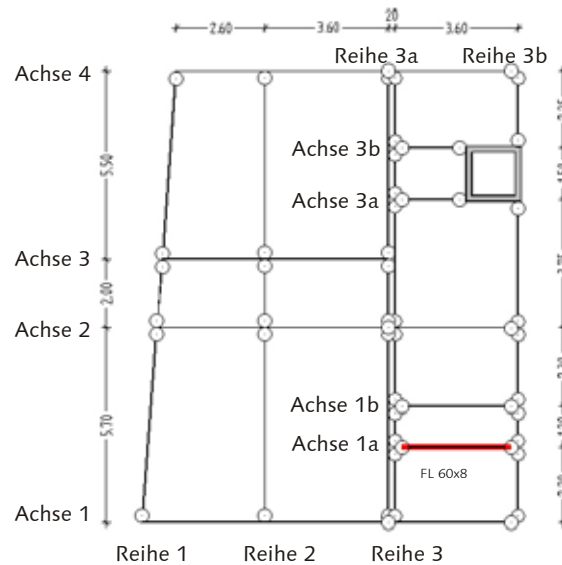


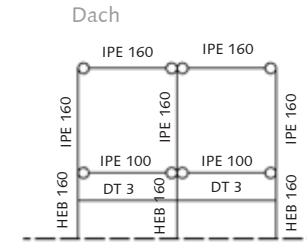
Abb. 2.2.54: Rahmen Ia



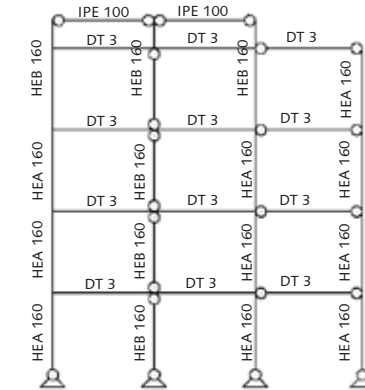
zusätzliche vertikale Aussteifungen

Abb. 2.2.55: Grundriss Rahmen Ia [m]

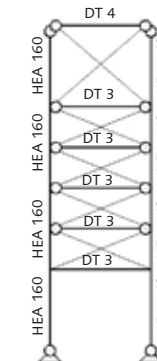
**Profilierung**



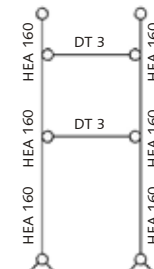
**Achse 1 und 4**



**Achse 1a**

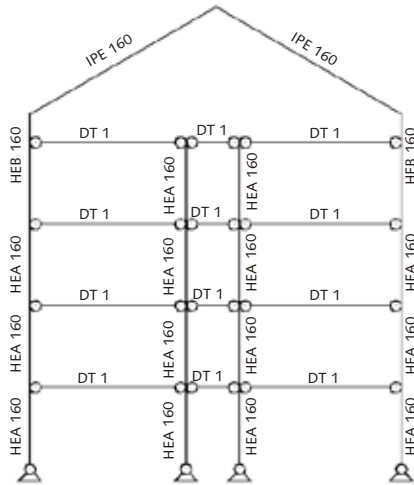


**Achse 1b**

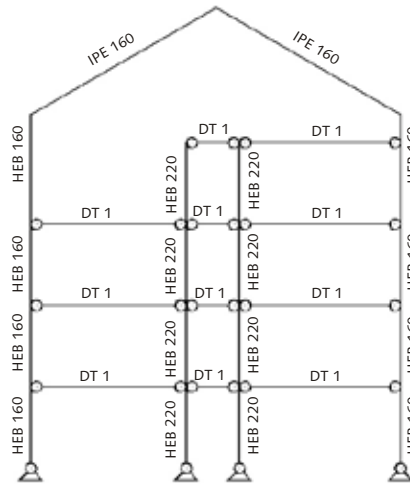


Profilierung

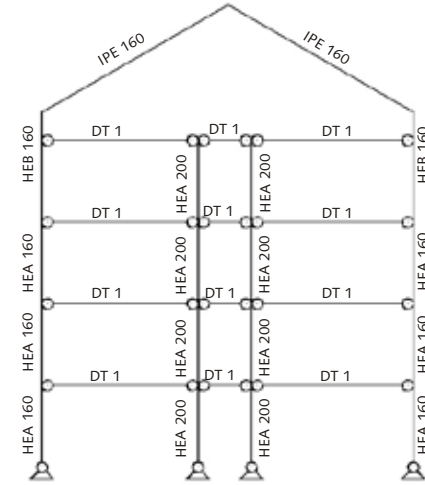
Reihe 1



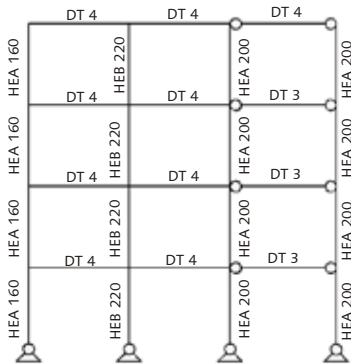
Reihe 2



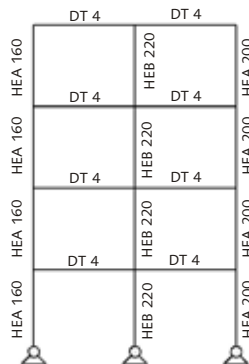
Reihe 3



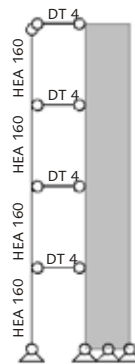
Achse 2



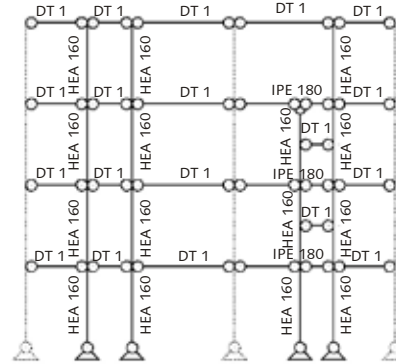
Achse 3



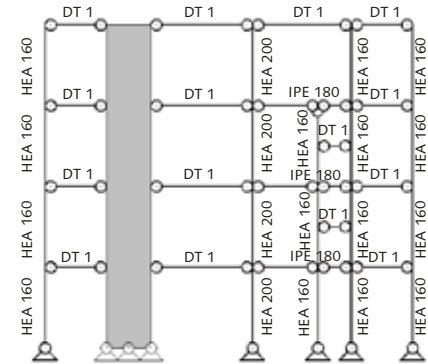
Achse 3a und 3b



Reihe 3a



Reihe 3b



Navigation area with empty boxes and a highlighted box containing the number 2.2.

2.2

2.2

### Rahmen Ib

- Grundrissflexibilität: uneingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich: keine
- vertikale Aussteifung: Stahlbetonkern  
Rahmenwirkung
- Trägeranschlüsse in Querrichtung: biegesteif  
in Längsrichtung: gelenkig
- maximale Profilierung Außenstützen: HEA 200  
Innenstützen: HEA 220
- Gewicht Stahlkonstruktion: 41,5 t

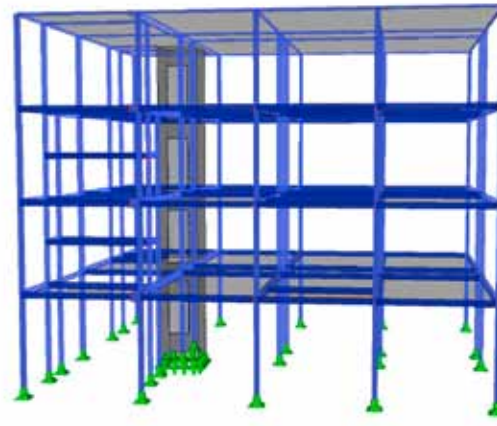


Abb. 2.2.56: Rahmen Ib

### Profilierung

Achse 1 und 4

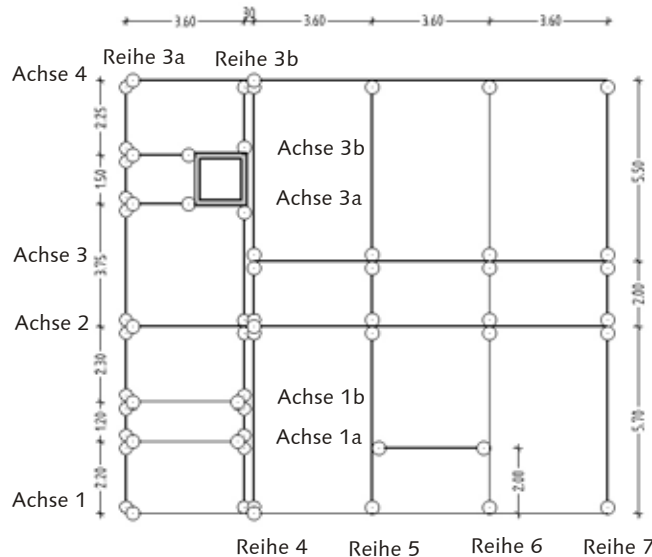
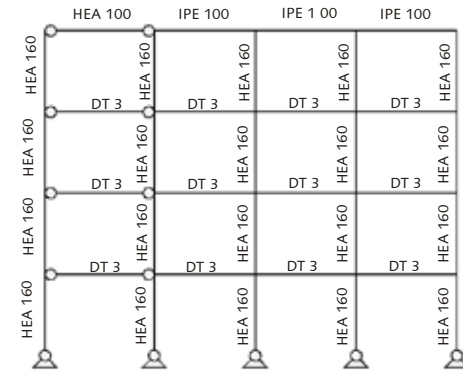
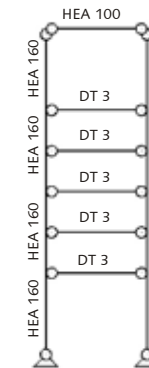
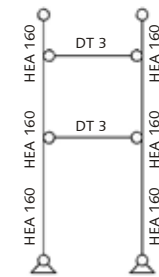


Abb. 2.2.57: Grundriss Rahmen Ib [m]

Achse 1a



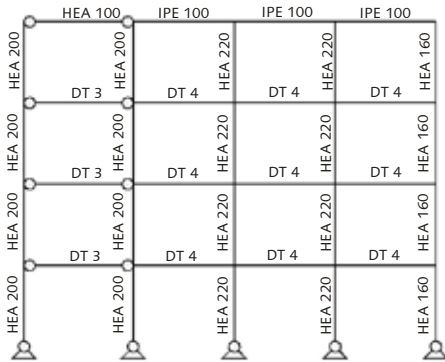
Achse 1b



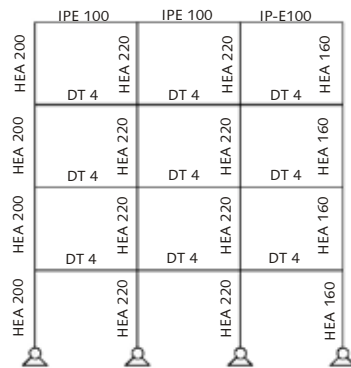
Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Proflierung

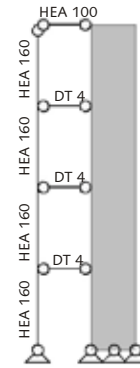
Achse 2



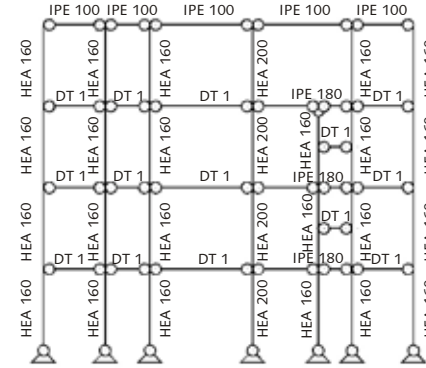
Achse 3



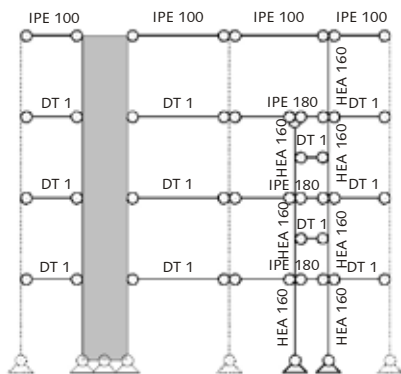
Achse 3a und 3b



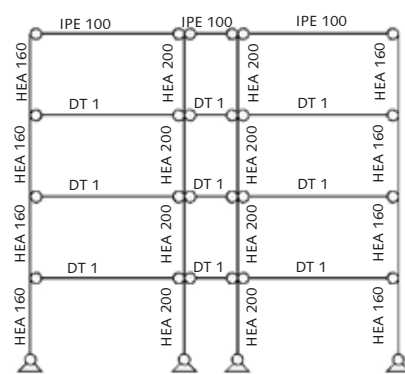
Reihe 3a



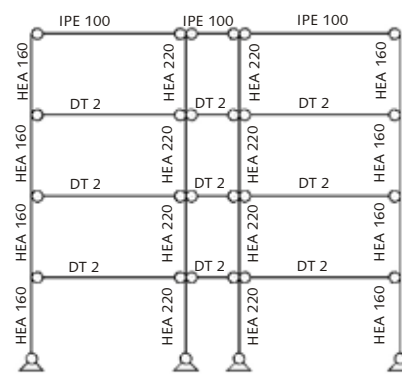
Reihe 3b



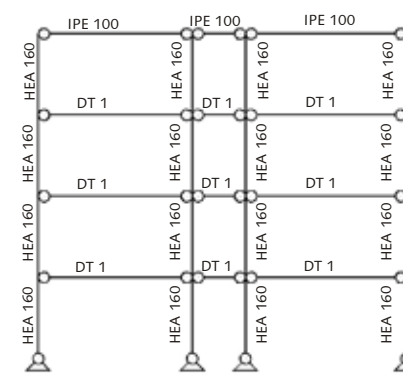
Reihe 4



Reihe 5 und 6



Reihe 7



Navigation sidebar with empty boxes and a highlighted box containing the number 2.2.

## Rahmen II

Grundrissflexibilität	uneingeschränkt
Verbände im Fassadenbereich	ja
vertikale Aussteifung	Rahmenwirkung Zugbänder
Trägeranschlüsse in Querrichtung	biegesteif
Längsrichtung	gelenkig
maximale Profilierung Außenstützen	
Haus 1	HEB 160
Haus 2	HEB 160
Innenstützen	
Haus 1	HEM 200
Haus 2	HEM 200
Erschließung	HEB 160
Gewicht Stahl- konstruktion	69,0 t

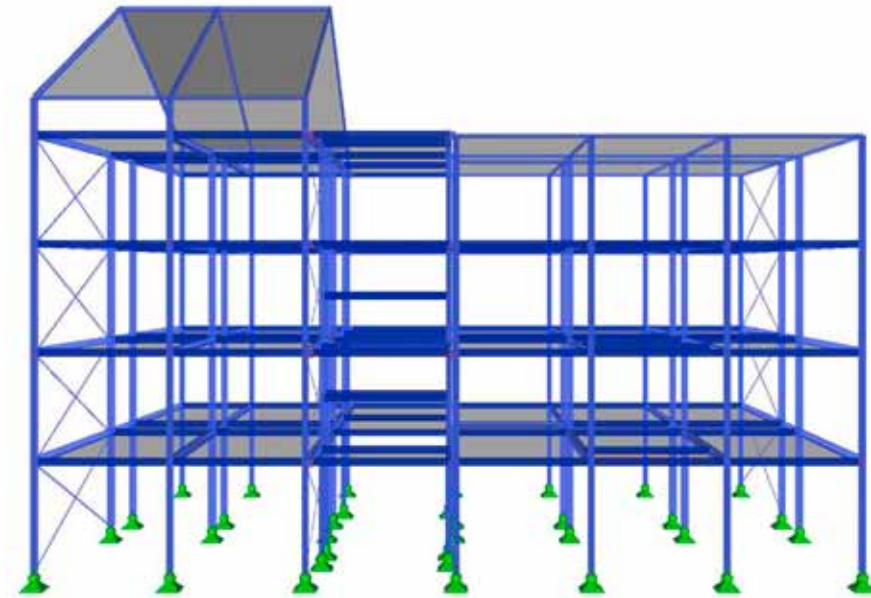
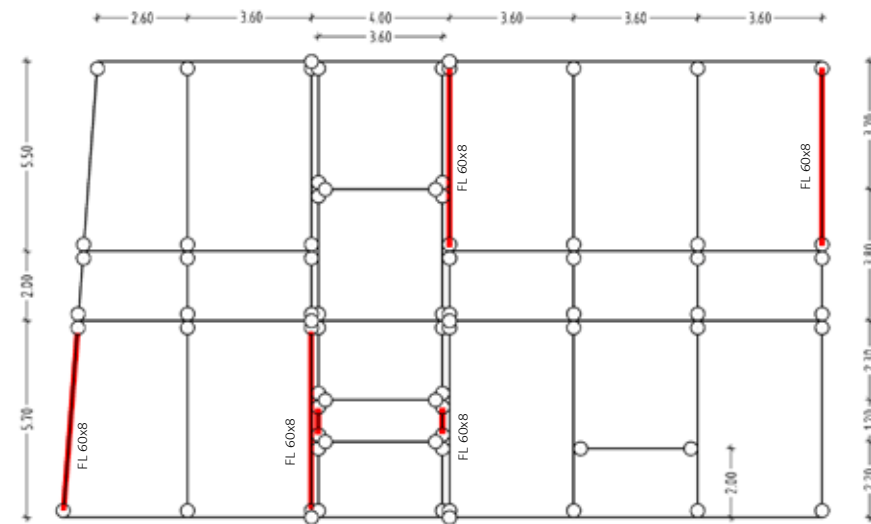


Abb. 2.2.58: Rahmen II



■ zusätzliche vertikale Aussteifungen

Abb. 2.2.59: Grundriss Rahmen II [m]



Rahmen II: Haus 1

Proflierung

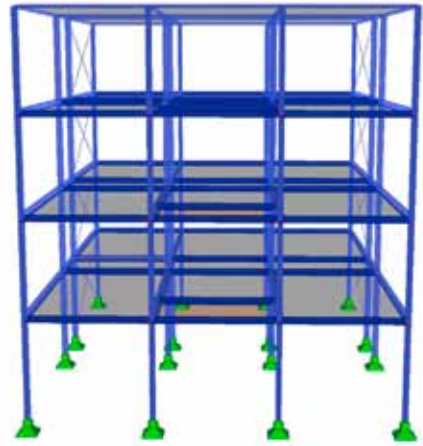


Abb .2.2.60: Rahmen II - Haus 1

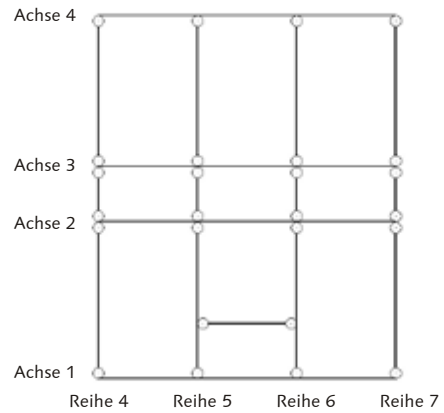
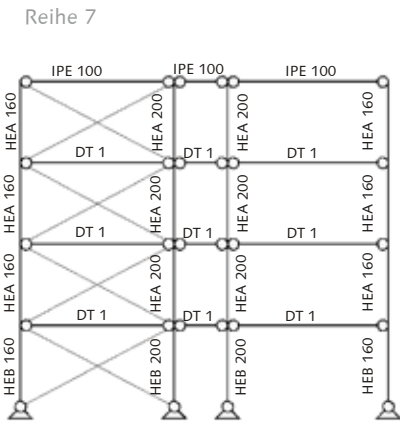
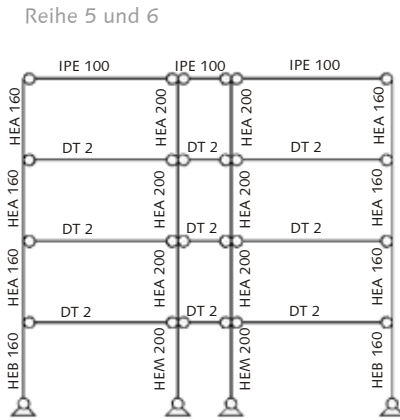
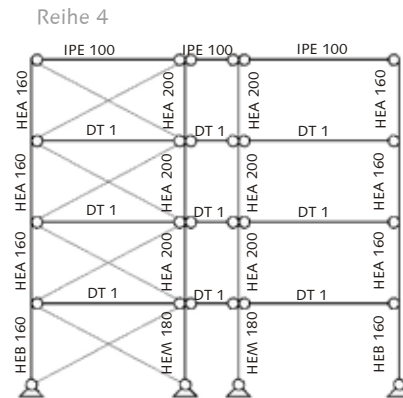
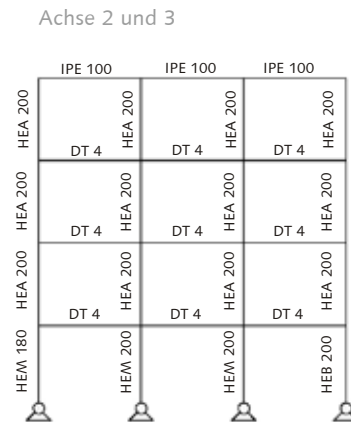
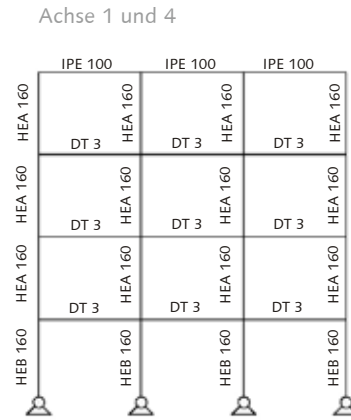


Abb. 2.2.61: Grundriss Rahmen II - Haus 1



Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	Sfb IPE 180-20/155	
DT 2	Sfb IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Navigation area with empty boxes and a highlighted box containing the number 2.2.

Rahmen II: Haus 2

Profilierung

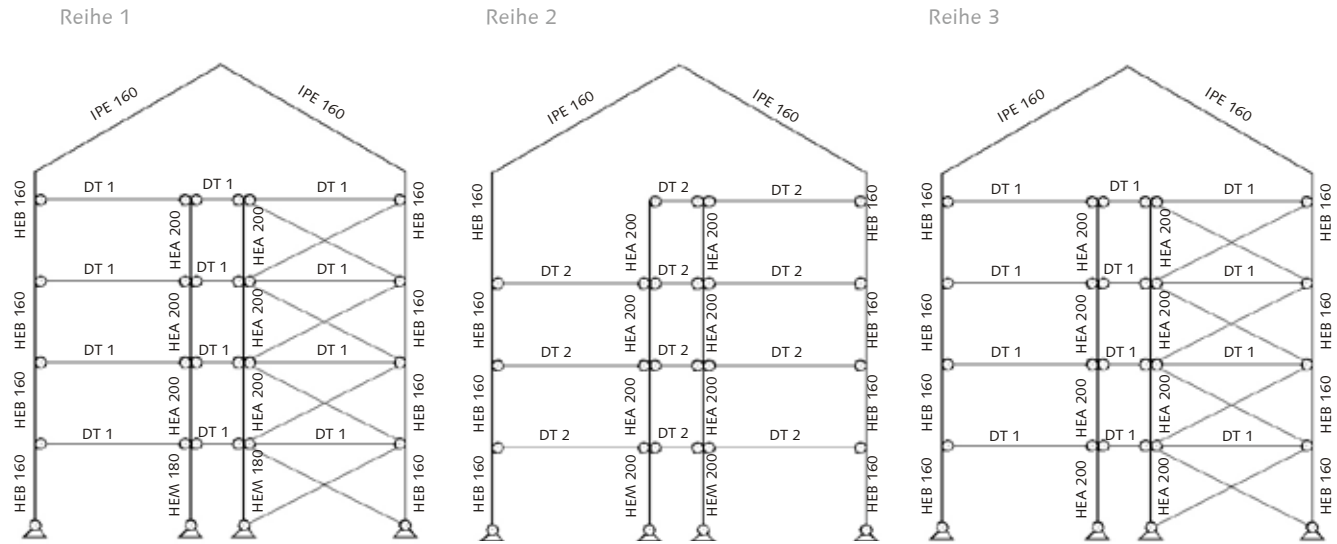
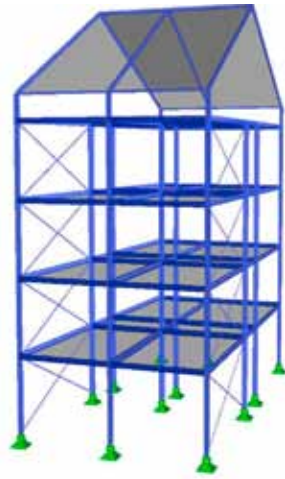
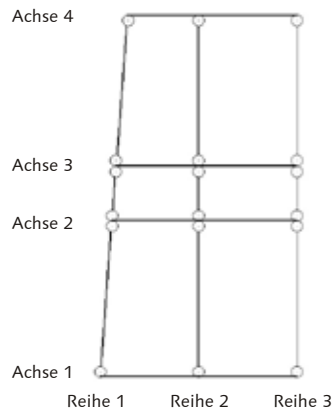
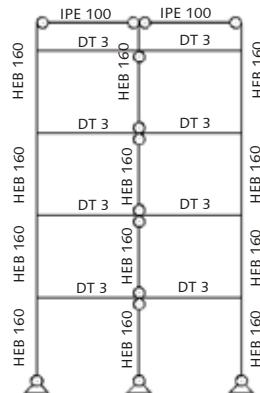


Abb. 2.2.62: Rahmen II - Haus 2

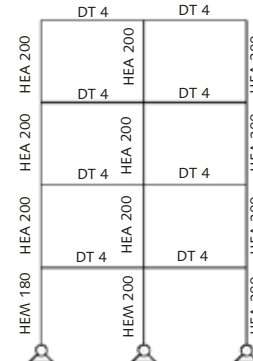
Abb. 2.2.63: Grundriss Rahmen II - Haus 2



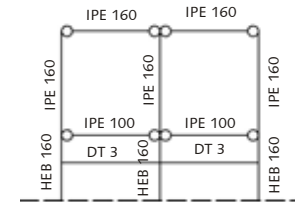
Achse 1 und 4



Achse 2 und 3



Dach



Deckenträger

Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

Rahmen II: Erschließung

Profilierung

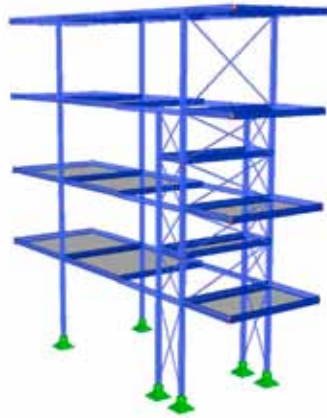
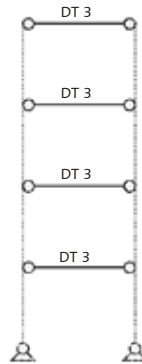
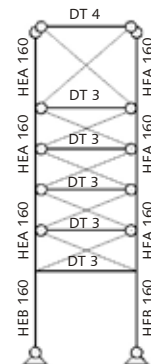


Abb. 2.2.64: Rahmen II - Erschließung

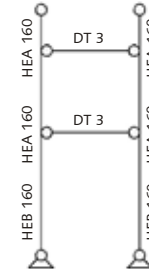
Achse 1 und 4



Achse 1a



Achse 1b



Achse 2

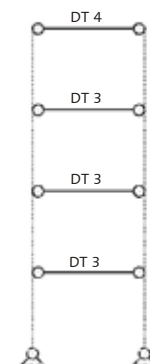
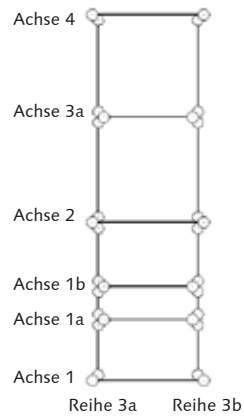
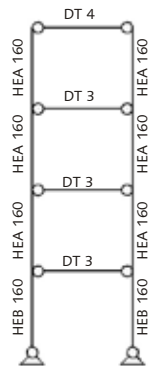


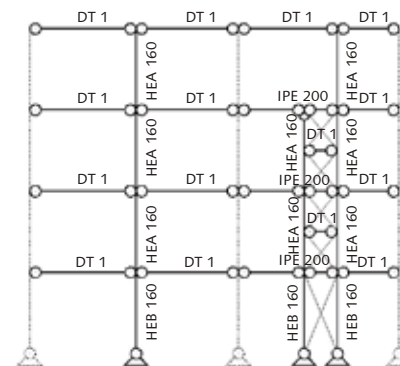
Abb. 2.2.65: Grundriss Rahmen II - Erschließung



Achse 3a



Reihe 3a und 3b







- 
- 
- 2.2
- 
-

**Rahmen IIa**

- Grundrissflexibilität: uneingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich: ja
- vertikale Aussteifung: Rahmenwirkung  
Zugbänder
- Trägeranschlüsse in Querrichtung: biegesteif  
in Längsrichtung: gelenkig
- maximale Profilierung Außenstützen: HEM 180  
Innenstützen: HEM 220
- Gewicht Stahlkonstruktion: 41,9 t

2.2

Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

\* S 460

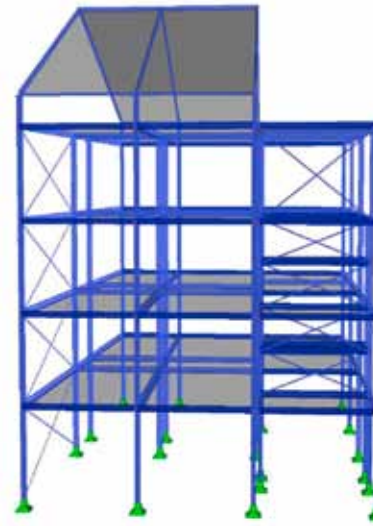
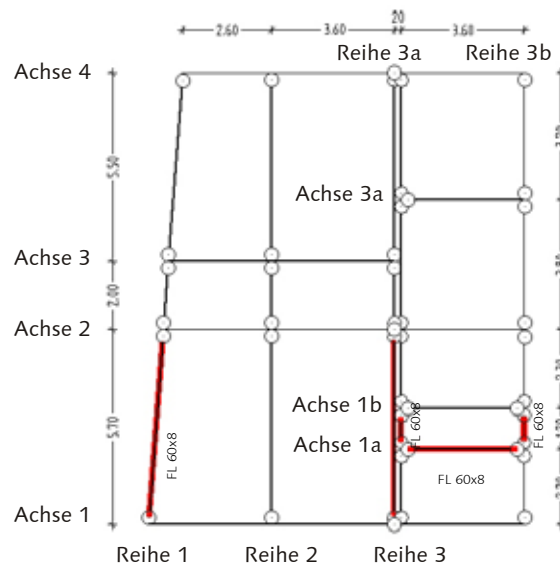


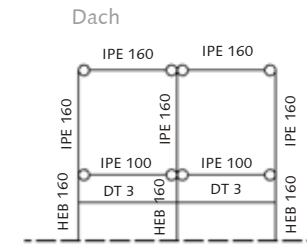
Abb. 2.2.66: Rahmen IIa



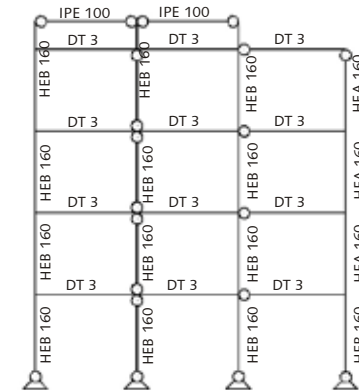
 zusätzliche vertikale Aussteifungen

Abb. 2.2.67: Grundriss Rahmen IIa [m]

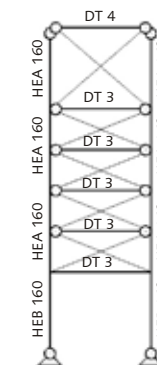
**Profilierung**



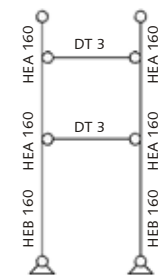
Achse 1 und 4



Achse 1a

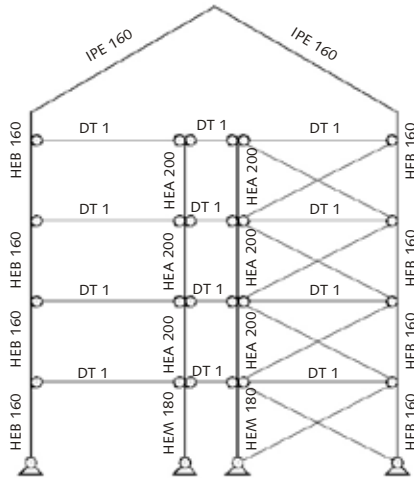


Achse 1b

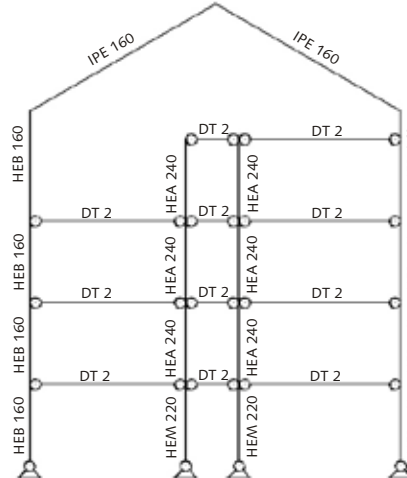


Proflierung

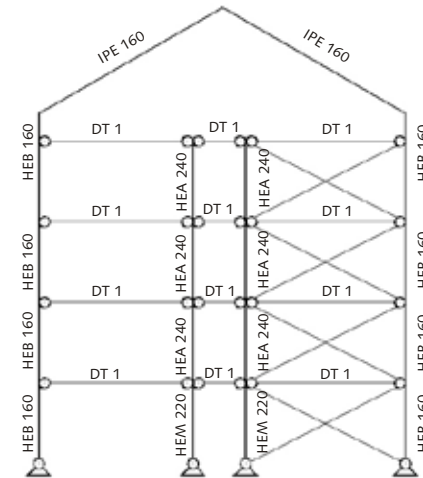
Reihe 1



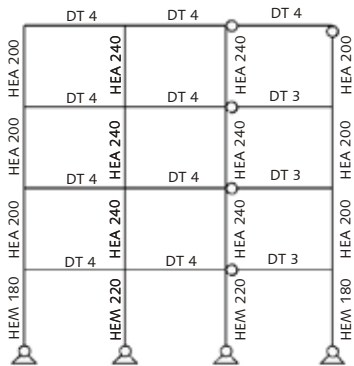
Reihe 2



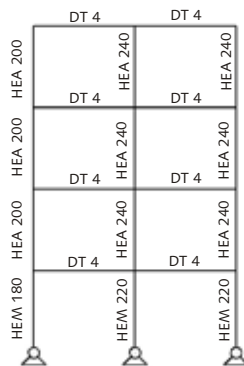
Reihe 3



Achse 2



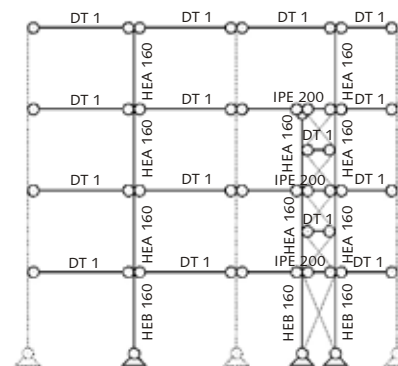
Achse 3



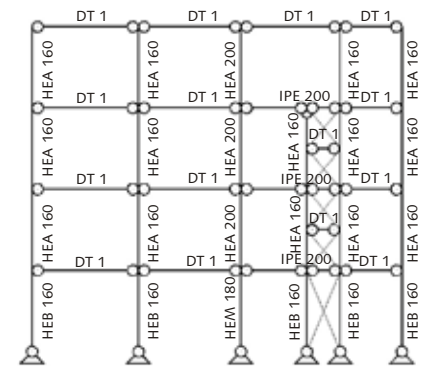
Achse 3a



Reihe 3a







Reihe 3b



**Rahmen IIb**

- Grundrissflexibilität uneingeschränkt
- Verbände im Fassadenbereich ja
- vertikale Aussteifung Rahmenwirkung  
Zugbänder
- Trägeranschlüsse in Querrichtung biegesteif  
Längsrichtung gelenkig
- maximale Profilierung Außenstützen HEB 200  
Innenstützen HEM 200
- Gewicht Stahlkonstruktion 42,4 t

Deckenträger		
Nr.	Bezeichnung	
DT 1	SfB IPE 180-20/155	
DT 2	SfB IPE 180-20/210	
DT 3	U-Schweißprofil	
DT 4	I-Schweißprofil	

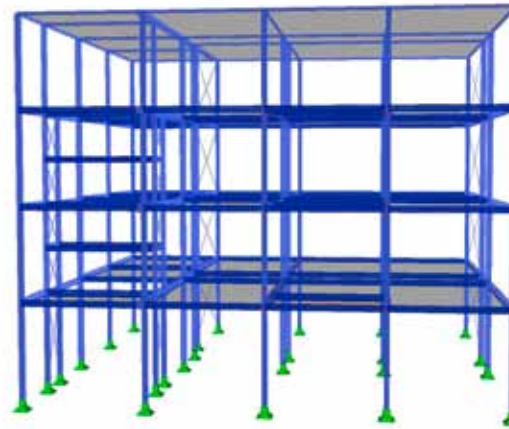
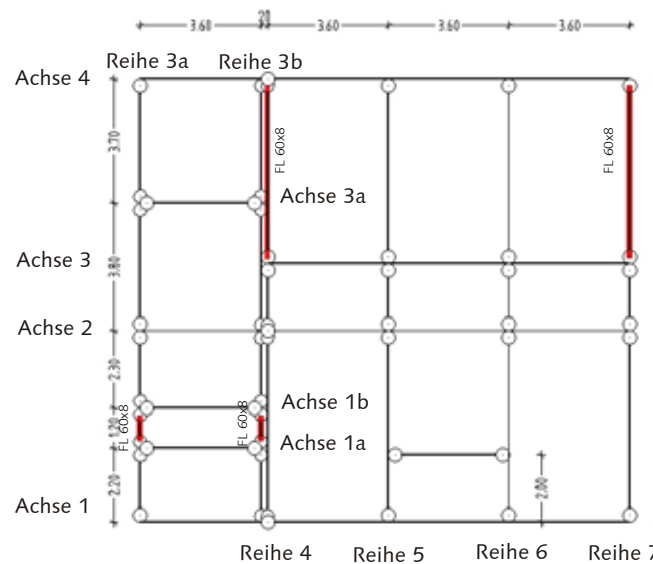


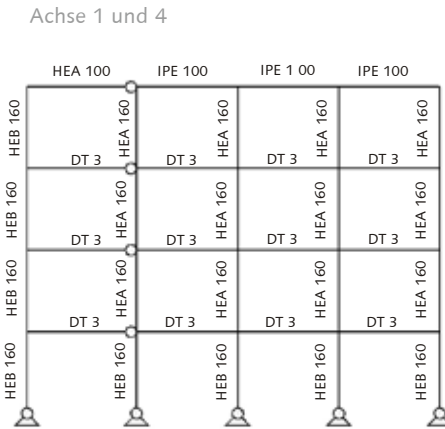
Abb. 2.2.68: Rahmen IIb



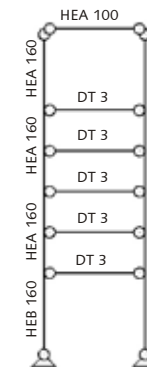
 zusätzliche vertikale Aussteifungen

Abb. 2.2.69: Grundriss Rahmen IIb [m]

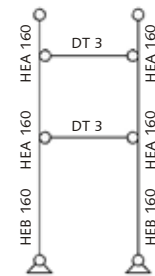
**Profilierung**



Achse 1a

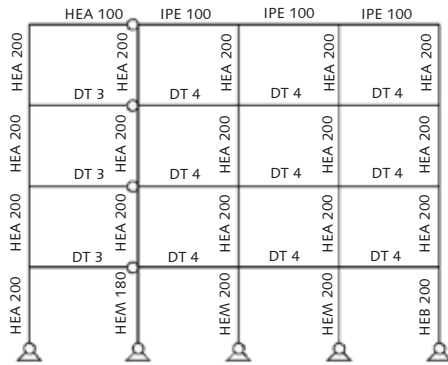


Achse 1b

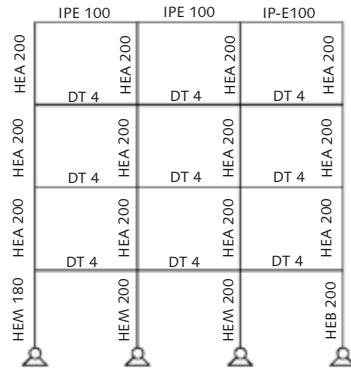


Proflierung

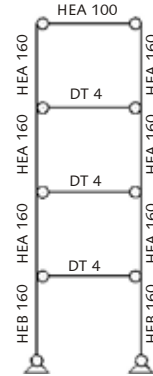
Achse 2



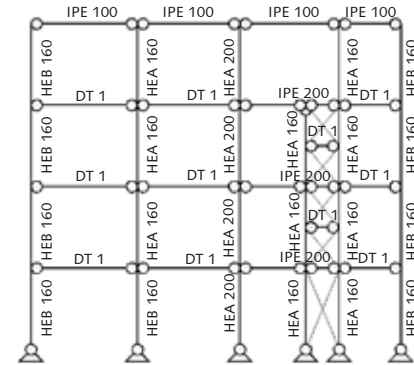
Achse 3



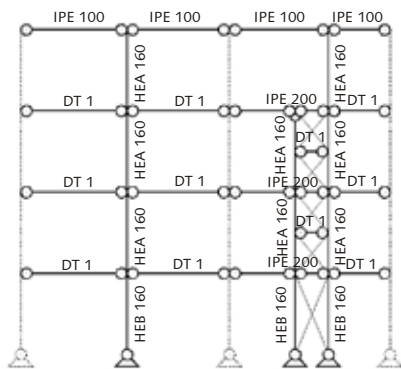
Achse 3a



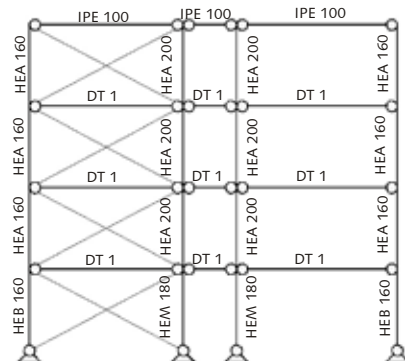
Reihe 3a



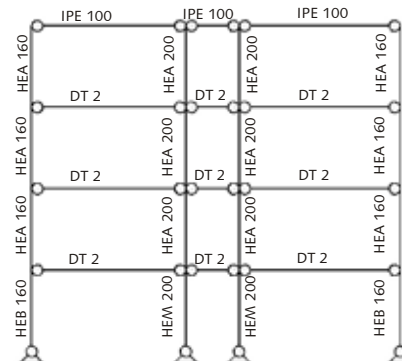
Reihe 3b



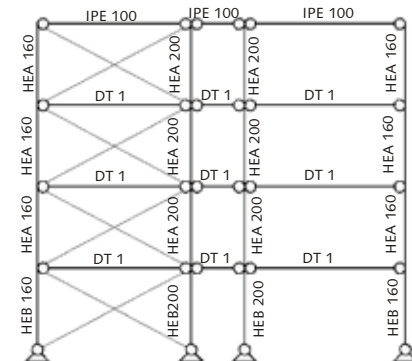
Reihe 4



Reihe 5 und 6



Reihe 7



Navigation area with empty rectangular boxes and a blue box containing the number 2.2.

## 2.2.4 Balkonsystem

Das aufgezeigte Tragsystem für die Balkone ist für jede Systemvariante einsetzbar.

In Querrichtung werden die Riegel und Stützen stets gelenkig angeschlossen. In Längsrichtung werden die Balkonträger biegesteif an das Primärtragwerk und gelenkig an die Stützen der Balkonkonstruktion angeschlossen.

Die Stützen sind mit einer Profilierung von HEA 100 sehr filigran, was sich positiv auf die Ästhetik des sichtbaren Tragwerks auswirkt (s. Abb. 2.2.73).

Das Balkontragwerk befindet sich außerhalb der thermischen Hülle. Aus diesem Grund muss an den Anschlussstellen zum Primärtragwerk der Gebäude eine thermische Entkopplung vorgesehen werden (s. Kapitel 2.4 Anschlussdetails). Dem Korrosionsschutz ist erhöhte Beachtung zu schenken.

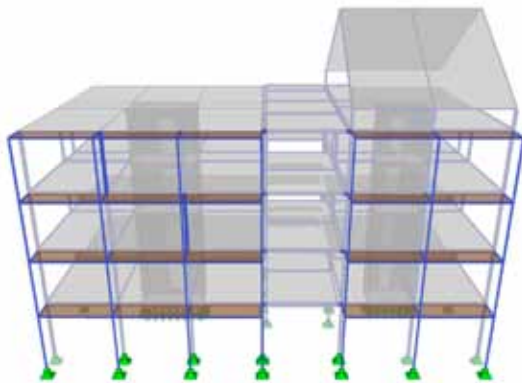


Abb. 2.2.70: Balkonsystem

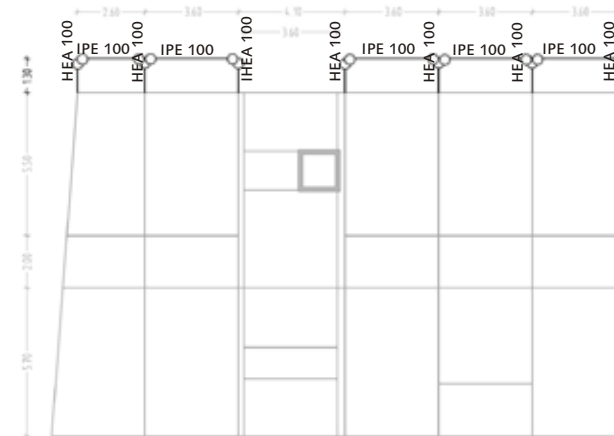


Abb. 2.2.71: Balkonsystem im Grundriss [m]

### Profilierung

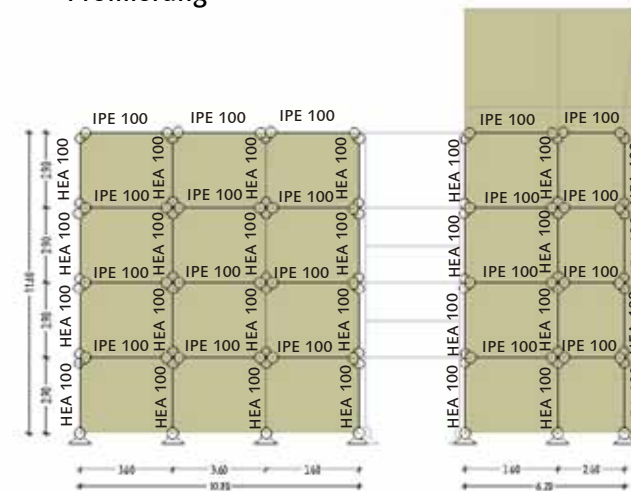


Abb. 2.2.72: Balkonsystem im Aufriss [m]





Abb. 2.2.73: Hofansicht Balkon

## 2.3 Deckensysteme

Deckensysteme im Stahlgeschossbau bestehen aus Deckenplatten in verschiedensten Ausführungen und Deckenträgern.

Als tragendes Bauteil übernimmt die Deckenplatte folgende Funktionen:

- Abtrag der vertikalen Lasten
- Abtrag der horizontalen Lasten
- Brandschutz
- Schallschutz
- Wärmeschutz
- Feuchteschutz

Zur Erfüllung all dieser Aufgaben ist meist ein mehrschichtiger Aufbau notwendig. Dieser bestimmt nicht nur die Bauhöhe der Geschossdecke, sondern darüber hinaus auch die Gesamthöhe des Gebäudes und hat damit einen direkten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Prinzipiell wird unterschieden zwischen Deckensystemen, bei denen die Deckenplatte auf die Obergurte der Stahlträger aufgelegt wird und Systemen, bei denen die Deckenriegel fast vollständig in die Plattenebene integriert werden (s. Abb. 2.3.1). Eine weitere Unterscheidung kann hinsichtlich des Vorfertigungsgrades der Deckenplatten getroffen werden. Die Vorteile einer größtmöglichen Vorfertigung im Werk sind:

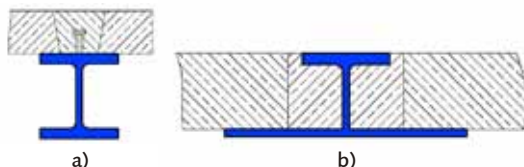


Abb. 2.3.1 a) aufgelegte Decke;  
b) eingeschobene Decke

- eine gleichbleibend hohe Fertigungsqualität
- keine jahreszeitlichen und witterungsbedingten Unterbrechungen der Bauarbeiten
- eine minimale Staub und Lärmemission
- Vermeidung von Nassprozessen

### 2.3.1 Slim-Floor-Bauweise

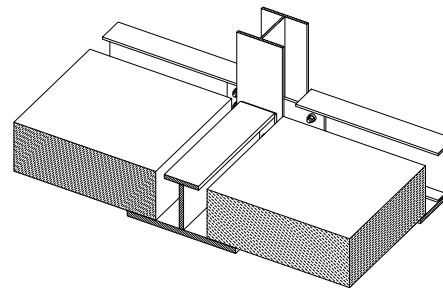


Abb. 2.3.2 Konstruktionsprinzip Slim-Floor

Die Slim-Floor-Bauweise stellt eine Stahlskelettbauweise dar, bei der die Stahlträger in die Deckenkonstruktion integriert sind. Diese kann aus verschiedenen Baustoffen bestehen. Grundsätzlich werden zwei Ausführungsarten unterschieden:

- die Ausführung mit Ortbeton
- die Ausführung in Trockenbauweise

Bei der Ausführung mit Ortbeton kann ganz konventionell mit einer Schalung gearbeitet werden. Gebräuchlicher sind Anwendungen u.A. mit Filigranplatten, Holorib- oder Trapezblechen, bei denen die Schalungsarbeiten entweder ganz oder zum großen Teil entfallen können.

Der Trockenbau arbeitet mit vorgefertigte Beton-elementen, meistens vorgespannte Betonhohldie-

len. Die Hohldielen werden auf die verbreiterten Untergurte der Stahlträger aufgelegt. Bis auf den Fugenverguss und einen evtl. Estrich oder Aufbeton entfallen die Betonierarbeiten auf der Baustelle.

Typisch für die Slim-Floor-Bauweise ist die unsymmetrische Form der Deckenträger. Die drei gebräuchlichsten Träger (s. Abb. 2.3.3) sind:

- SFB-Träger, bei denen ein Blech unter den Untergurt eines HE- oder IPE-Profils geschweißt wird
- IFB-Träger, bestehend aus einem halbierten IPE- oder HE-Profil, an dessen Steg ein Untergurtblech angeschweißt wird
- THQ-Träger - auch Hut-Profil genannt -, ein aus Blechen zusammengesetzter Querschnitt

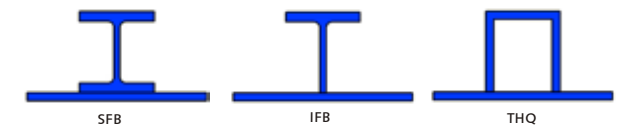


Abb. 2.3.3 Querschnitte Deckenträger

Zur Aufnahme der Betonfertigteile kragen die Bleche um mindestens 100 mm auf beiden Seiten aus. Um die Hohldielen zu einer Deckenscheibe zu verbinden, könnte entweder ein bewehrter Aufbeton angeordnet oder Bewehrungsstäbe durch die Trägerstege verlegt werden. Mit diesen Maßnahmen wird ein Zusammenwirken der Fertigteile sichergestellt.

Der Lastabtrag erfolgt entweder ohne Verbundwirkung oder mit Verbundwirkung. Ein Verbund mit dem Stahlträger kann nur dann hergestellt werden, wenn der Beton über dem Träger ausreichend dick ist, damit Verbundmittel (z.B. Kopfbolzen) angeordnet werden können. Im Allgemeinen

wird bei Systemen mit Betonhohldielen keine Verbundwirkung angestrebt. Randträger können als SFB/IFB/HTQ -Profile, mit modifizierter Geometrie, ausgeführt werden. Deckenträger längs zur Spannrichtung der Decke werden durch diese nur in einem geringen Maße belastet. Der benötigte Blechüberstand beträgt 30 mm, um ein Durchlaufen des Vergussbetons zu verhindern.

Spannbetonhohldielen sind vorgefertigte, vorgespannte Deckenelemente mit einer einachsigen Lastabtragung. Üblicherweise sind Spannbeton-Fertigdeckenelemente 1,20 m breit, können aber auch ab 0,3 m in standardisierten Breiten geliefert werden. In der Regel betragen die Deckendicken, je nach erwünschter Spannweite und der geforderten Feuerwiderstandsklasse, zwischen 15 und 40 cm. Infolge der Hohlräume im Inneren der Elemente weisen Spannbetonhohldielen gegenüber Massivplatten eine Material- und Gewichtsersparnis von bis zu 40 % auf.

Die Slim-Floor-Bauweise mit Spannbetonhohldielen weist folgende Vorteile auf:

- hoher Vorfertigungsgrad
- Trockenbauweise - kurze Bauzeiten
- Gewichtsersparnis mit positiver Auswirkung auf:
  - Tragglieder
  - Fundamente
  - Transport
  - Montage
- große, unterzugsfreie Spannweiten mit hoher Innenraumflexibilität

### 2.3.2 Deckensystem Musterhaus

Für die Deckenkonstruktion des Musterhauses wurde eine Slim-Floor-Decke mit eingeschobenen Spannbetonhohldielen gewählt. Die Decke spannt einachsig in Längsrichtung und liegt auf den geschweißten Deckenträgern auf (s. Abb. 2.3.4). Die Deckenhöhe von 18 cm ergibt sich aus der maximal notwendigen Spannweite von 5,7 m und den Brandschutzanforderungen (siehe dazu Kapitel 6: Brandschutz). Die zulässigen Spannweiten, Belastungen und die Einordnung in die Feuerwiderstandsklassen sind den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des jeweiligen Herstellers zu entnehmen. Zur Erzielung der Scheibenwirkung der Fertigteile sind eine Fugenbewehrung und ein Ringanker vorzusehen. Die Fugen werden anschließend mit

einem Fugenverguss profilbündig vergossen. Zur Steigerung der Deckenstabilität werden gegenüberliegende Platten durch eine Anschlussbewehrung verbunden. Die Anschlussbewehrung wird in Spannrichtung der Platten durch die Träger geführt. Verankert werden die Bewehrungsstäbe in den Fugen oder in den offenen Hohlräumen der Platten. Zur Verbesserung des Gesamttragverhaltens der Konstruktion wird ein mindestens 5 cm dicker Aufbeton empfohlen, welcher die Übertragung der horizontalen Kräfte durch Scheibenwirkung sicherstellt. Im Musterhaus wird diese Empfehlung durch eine 7 cm dicke Estrichschicht umgesetzt.

Zum Ausgleich der nicht vollflächigen Auflagerung aufgrund von Unebenheiten infolge der Trägerkrümmung, wird die Lagerung auf einem 10 mm dicken Elastomer empfohlen.

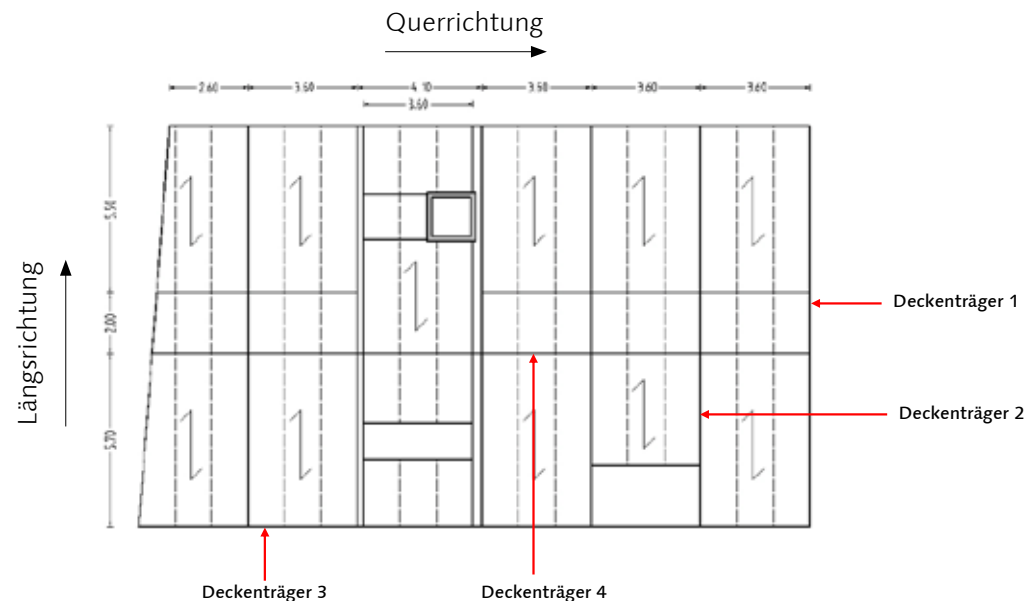


Abb. 2.3.4 Deckensystem Musterhaus [m]



### 2.3.3 Deckenträger Musterhaus

Im Musterhaus kommen vier verschiedene Slim-Floor-Deckenträger zum Einsatz (s. Tabelle 2.3.1).

Alle Träger sind in ihrer Geometrie den konstruktiven Erfordernissen angepasst. So ist beispielsweise nur an den jeweils unteren Blechen der Träger eine Ausklinkung notwendig. Die oberen Gurte können zwischen die Stützengurte eingeschoben werden.

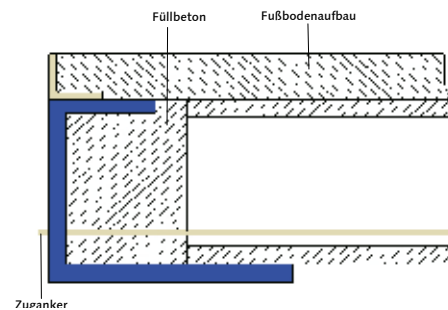
Deckenträger 1 und 2 sind in Spannrichtung der Deckenplatten angeordnet und dienen als konstruktives Auflager für die Fertigteile. Die Querschnitte bestehen aus einem IPE 180 Profil mit einem 20 mm dicken untergeschweißtem Blech. Die Auflagertiefe beträgt jeweils 30 mm um ein Durchlaufen des Fugenvergusses zu verhindern.

Die Deckenträger 3 und 4 sind quer zur Spannrichtung der Fertigteile angeordnet. Sie erfüllen die Funktion des statisch notwendigen Auflagers und haben die Aufgabe, die Lasten der Decke aufzunehmen und an die Stützen weiterzuleiten. Zur Sicherstellung der Krafteinleitung beträgt die Auflagertiefe 100 mm. Die Querschnitte bestehen aus einem jeweils modifiziertem U-Schweißprofil und einem I-Schweißprofil.

Die Deckenträger 3 und 4 werden unsymmetrisch belastet: der Deckenträger 3 aufgrund seiner Randlage und der Mittelträger 4 infolge der unterschiedlichen Deckenspannweiten.

Um die Torsion der Randträger zu behindern, sind mehrere Zuganker (s. Abb. 2.3.5) vorzusehen. Bei der Montage ist eine temporäre Unterstützung notwendig

Abb. 2.3.5 Konstruktionsprinzip Randträger



Die Randträger befinden sich in der Wandebene. Alternativ zu den geschweißten Slim-Floor-Deckenträgern ist es möglich an dieser Stelle herkömmliche Unterzüge zu verwenden (s. Abb. 2.3.6).

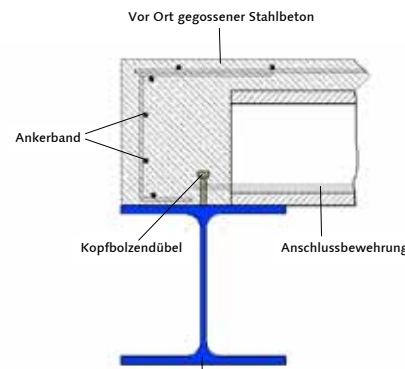


Abb. 2.3.6 alternativer Randträger

Im Mittelfeld kann der ungünstigen Beanspruchungssituation mit Hilfe einer Anschlussbewehrung und einer ausreichend dicken Aufbeton- oder Estrichschicht entgegengewirkt werden (s. Abb. 2.3.7 und 2.3.8).

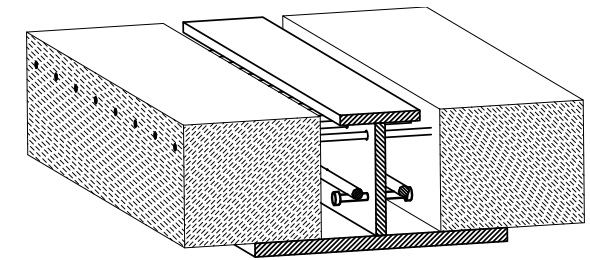


Abb. 2.3.7 Mittelträger mit Decke, Bewehrung und Kopfbolzen

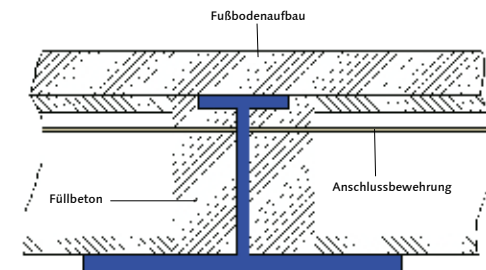
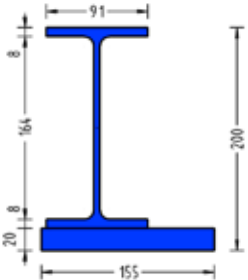
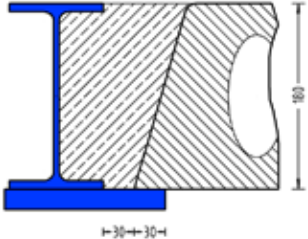
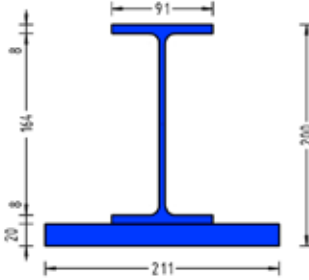
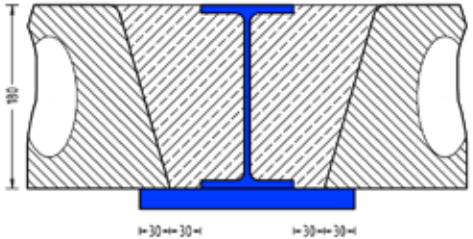
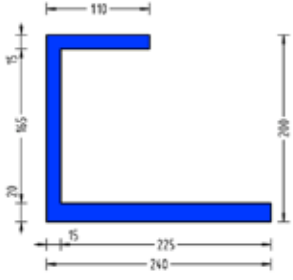
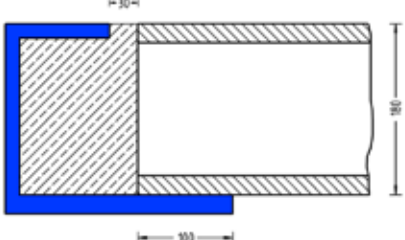
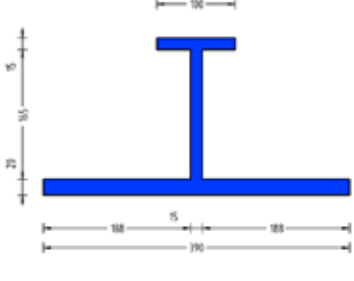
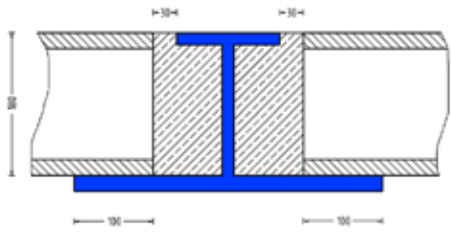


Abb. 2.3.8 Konstruktionsprinzip Mittelträger

<p><b>Deckenträger 1</b></p> <p>SFB IPE180-20/155 (unsymmetrisch)            Art: konstruktives Auflager im Randbereich in Längsrichtung            Auflagertiefe: 30 mm            Stahlgüte: S355            Anschlussart: gelenkig</p>	 <p>[mm]</p>	 <p>[mm]</p>
<p><b>Deckenträger 2</b></p> <p>SFB IPE180-20/210            Art: konstruktives Auflager in Längsrichtung            Auflagertiefe: 30 mm            Stahlgüte: S355            Anschlussart: gelenkig</p>	 <p>[mm]</p>	 <p>[mm]</p>
<p><b>Deckenträger 3</b></p> <p>U-Schweißprofil            Art: statisches Auflager im Randbereich in Querrichtung            Auflagertiefe: 100 mm            Stahlgüte: S355            Anschlussart: gelenkig / biegesteif</p>	 <p>[mm]</p>	 <p>[mm]</p>
<p><b>Deckenträger 4</b></p> <p>I-Schweißprofil            Art: statisches Auflager in Querrichtung            Auflagertiefe: 100 mm            Stahlgüte: S355 alternativ S460            Anschlussart: gelenkig / biegesteif</p>	 <p>[mm]</p>	 <p>[mm]</p>

Tab. 2.3.1: Deckenträger Musterhaus

### 2.3.4 Versorgungsschächte

Die Versorgungsschächte bei den Systemen mit Kern befinden sich im bzw. am Stahlbetonkern. Bei Gelenk- und Rahmensystemen werden die Schächte wie bei der Schachtvariante 1 in das Stahltragwerk integriert oder die notwendige Deckenöffnung wird wie bei der Schachtvariante 2 mit Hilfe eines Stahlwechselfs hergestellt. Das Konstruktionsprinzip eines Stahlwechselfs ist in Abb. 2.3.14 dargestellt. Die Schächte befinden sich jeweils in der dienenden Zone (s. Abb. 2.3.9). Die Integration des Schachtes 1 in das Stahltragwerk erfolgt durch die Auflösung des im Allgemeinen an dieser Stelle vorgesehenen Profils durch zwei U 180 Profile mit untergeschweißtem Blech (s. Abb. 2.3.10 bis 2.3.12).

Der Einfluss auf das statische System ist vernachlässigbar.

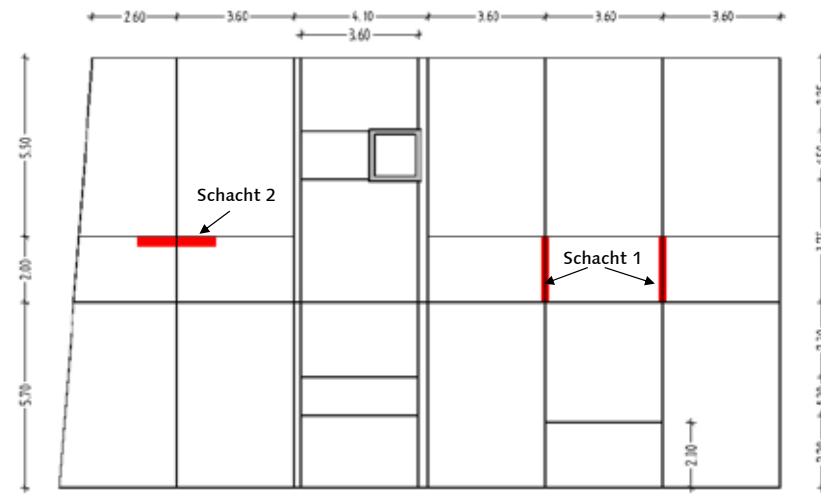


Abb. 2.3.9: Positionierung Versorgungsschächte im Grundriss [m]

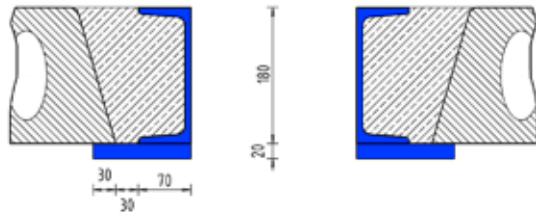


Abb. 2.3.10: U 180-Profil mit untergeschweißtem Blech [mm]

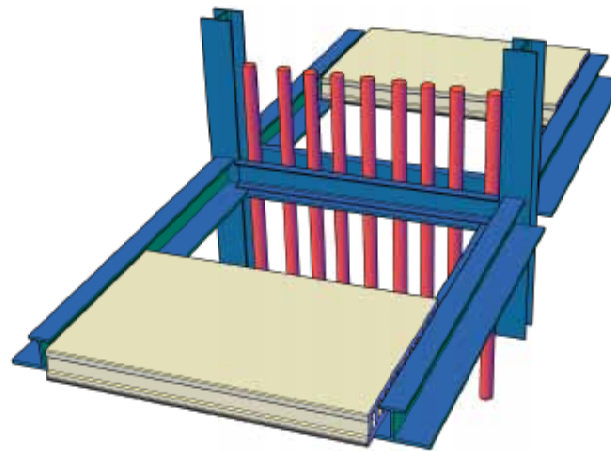


Abb. 2.3.11: Versorgungsschacht 1

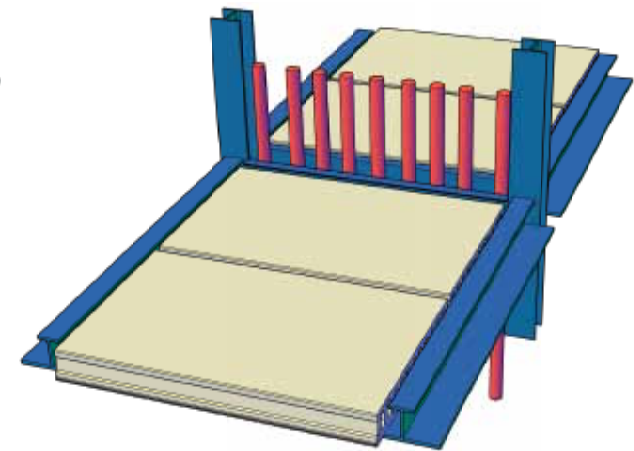


Abb. 2.3.12: Versorgungsschacht 1 mit Massivdecke

Der Stahlwechsel (s. Abb. 2.3.13 und 2.3.14) für Schacht 2 wird von den Deckenelementherstellern statisch bemessen und von diesen im Werk passgenau hergestellt. Der Einbau erfolgt während der Verlegung der Deckenplatten gemäß dem Verlegeplan (s. Abb. 2.3.15). Anschließend wird die gekürzte Platte - auch Passplatte genannt, wie in Abb. 2.3.16 dargestellt, eingesetzt.

Die Vorteile dieser Lösungen sind:

- geringer Platzbedarf
- minimierte horizontale Leitungsführung

Alle notwendigen Medien können zentral und über alle Geschosse geführt werden.

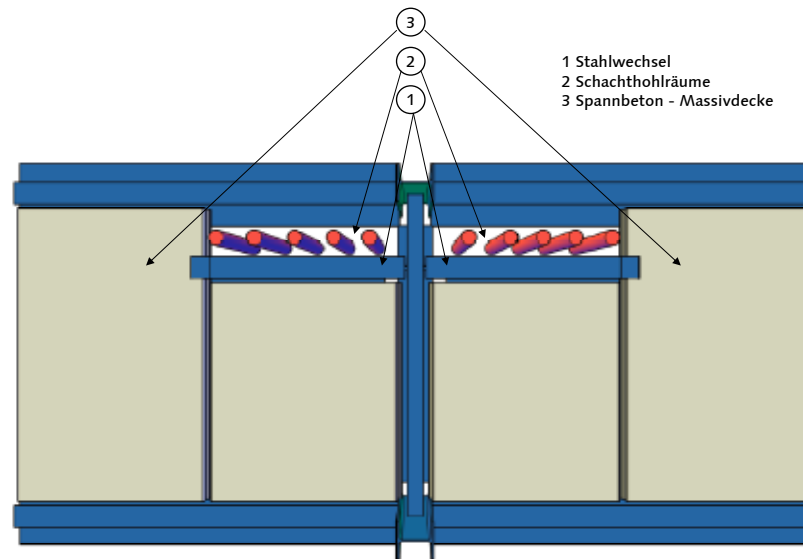


Abb. 2.3.13: Versorgungsschacht 2

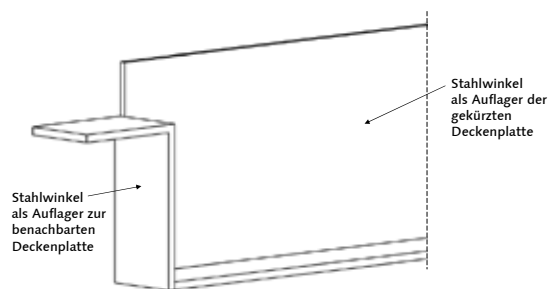


Abb. 2.3.14: Konstruktionsprinzip Stahlwechsel

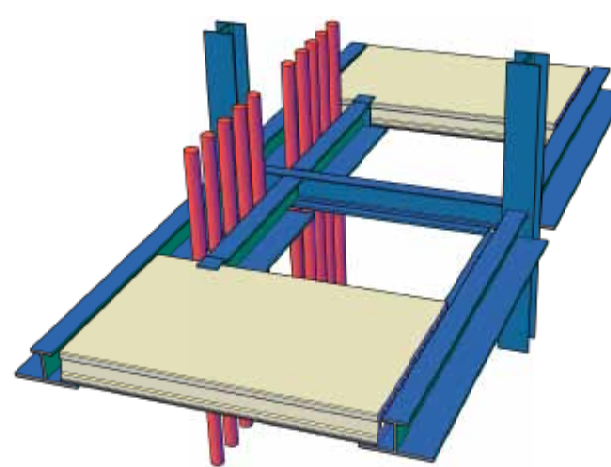


Abb. 2.3.15: Einbau Stahlwechsel

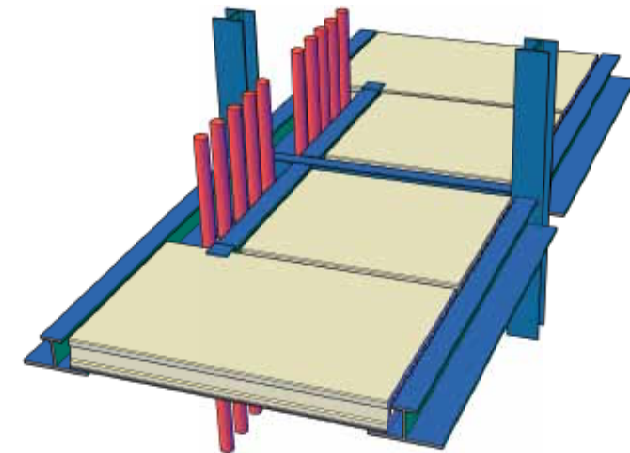


Abb. 2.3.16: Einbau Passplatte

### 2.3.5 Treppenaug

Wird eine Aussparung in der Decke für das innen liegende Treppenaug der Maisonettewohnung vorgesehen, ist dort ebenfalls wie bei der Schachtvariante 2 ein Stahlwechsel notwendig (s. Abb. 2.3.17 bis 2.3.19). Bedingt durch die zentrale Lage des Treppenauges wird auf den dort sonst üblicher Weise vorgesehenen Deckennebenträger verzichtet.

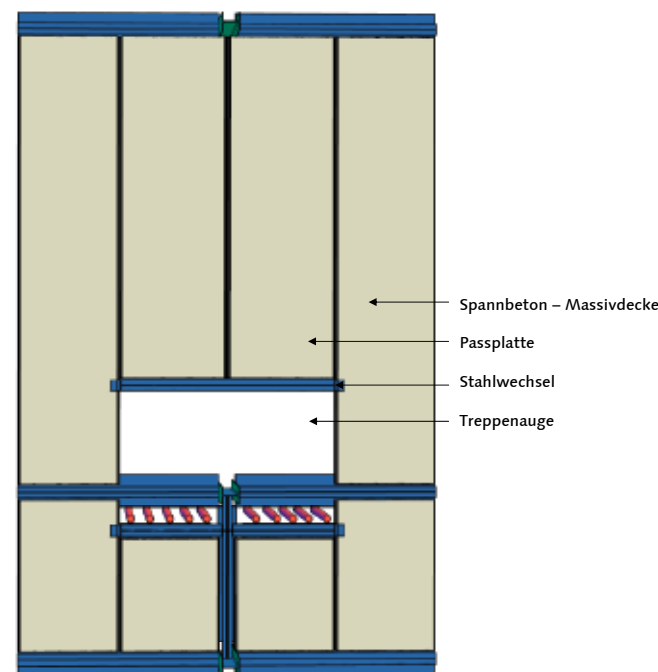


Abb. 2.3.17: Draufsicht Treppenaug

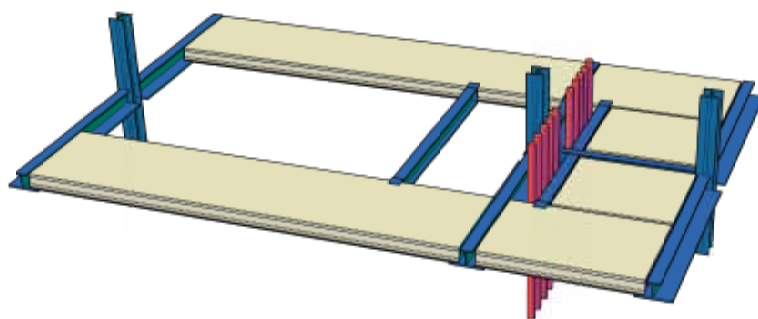


Abb. 2.3.18: Stahlwechsel Treppenaug

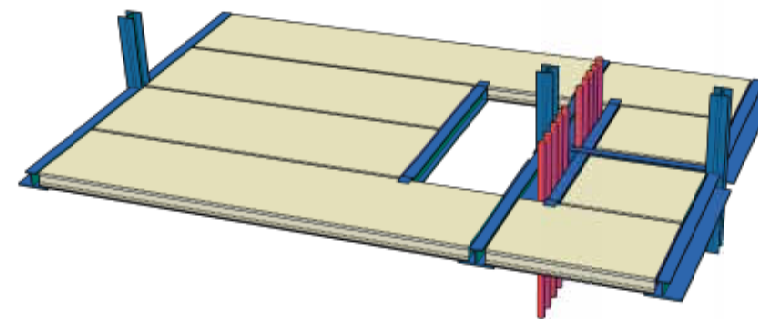


Abb. 2.3.19: Stahlwechsel Treppenaug mit Passplatte



### 2.3.6 Ringanker

Ein Ringanker wird benötigt, um für das aus Fertigteilen hergestellte Deckenfeld eine Scheibenwirkung zu erzielen. Der Ringanker hält die einzelnen Deckenelemente zusammen, so dass in den Fugen Schubspannungen aufgenommen werden können. Im Deckenfeld kann sich ein Druckbogen entwickeln (s. Abb. 2.3.20). Der Abtrag der Windkräfte über die Decken an die stabilisierenden Elemente wird so sichergestellt.

Für die Konstruktion von Scheiben aus Spannbeton-Fertigteilen sind neben der DIN 1045-1 die Bestimmungen der jeweils gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu beachten.

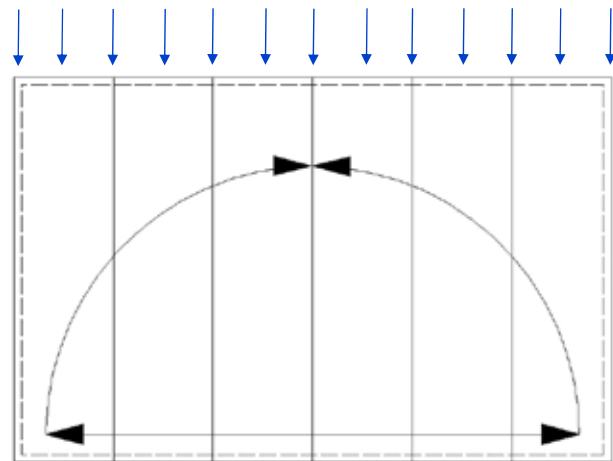


Abb. 2.3.20 Kräfteverlauf infolge Druckbogen und Zugband

Ein Ringanker ist in jeder Deckenebene anzuordnen. Die Bewehrung quer zur Spannrichtung der Decken im Bereich der Plattenenden wirkt als Zugband. Verankert werden die Bewehrungsstäbe in den außen liegenden Elementen (s. Abb. 2.3.21) wodurch die innen liegenden Elemente eingefasst sind.

Auf die Ausbildung von Zugpfosten kann im Allgemeinen verzichtet werden, wenn die kürzere Seite der Deckenscheiben kleiner als 10 m ist und für die Scheibe das Verhältnis Länge/Breite  $< 1,5$  eingehalten wird.

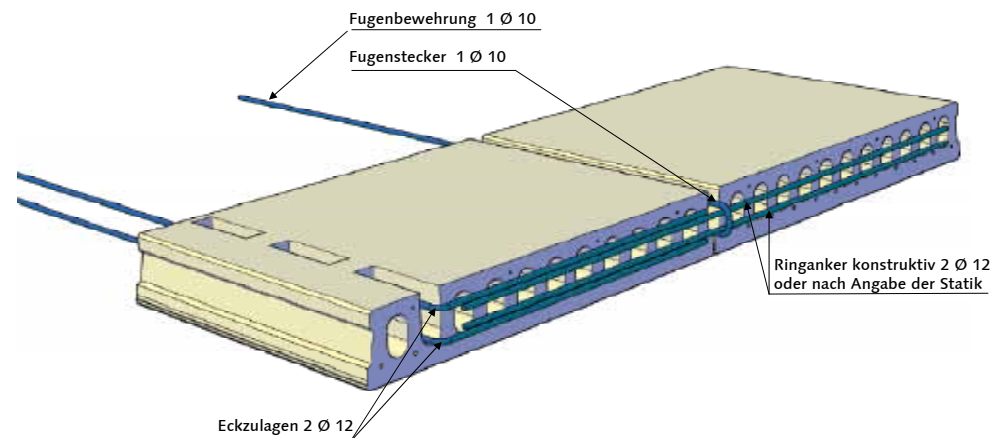


Abb. 2.3.21 Anordnung Ringanker

## 2.4 Anschlussdetails

Übliche Verbindungen im Stahlbau sind Schweiß- und Schraubenverbindungen. Schweißverbindungen sind unlösbar und werden überwiegend in der Werkstatt hergestellt. Schraubenverbindungen hingegen sind lösbar und dienen dazu, transportfähige Einzelbauteile auf der Baustelle zu einem Gesamttragwerk zusammenzufügen. Hier vorgesehen sind geschraubte Verbindungen in folgenden Ausführungsvarianten:

- gelenkig, mittels
  - Anschlussblech,
  - Stirnplatte,
- biegesteif, mittels
  - Stirnplatte.

### 2.4

#### 2.4.1 Stahl – Stahl

Die Stützen und Deckenträger des Musterhauses sind je nach Tragwerkssystem sowohl gelenkig als auch biegesteif miteinander zu verbinden.

Die Hauptdeckenträger DT 3 und DT 4 werden immer mit Hilfe einer Stirnplatte angeschlossen, die sich je nach Ausführungsvariante in den Abmessungen unterscheidet (s. Abb. 2.4.1 und 2.4.2).

Eine Übersicht über die dargestellten Anschlüsse liefern Tabelle 2.4.1 und Abb. 2.4.3 bis 2.4.5.

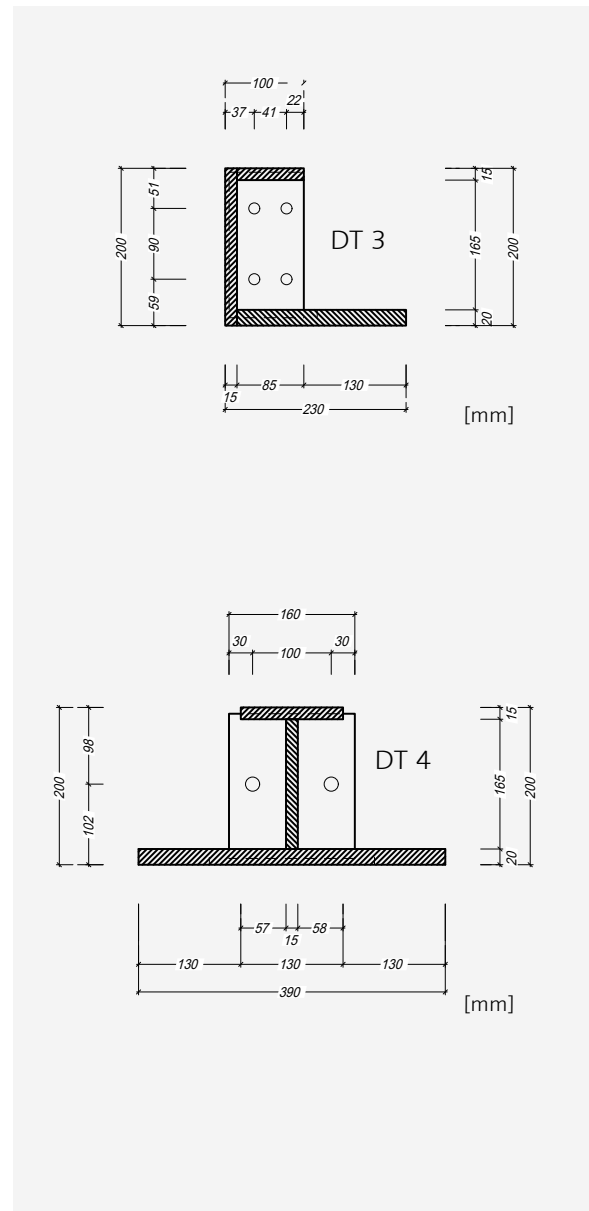


Abb. 2.4.1: Ansicht der gelenkigen Anschlussvariante

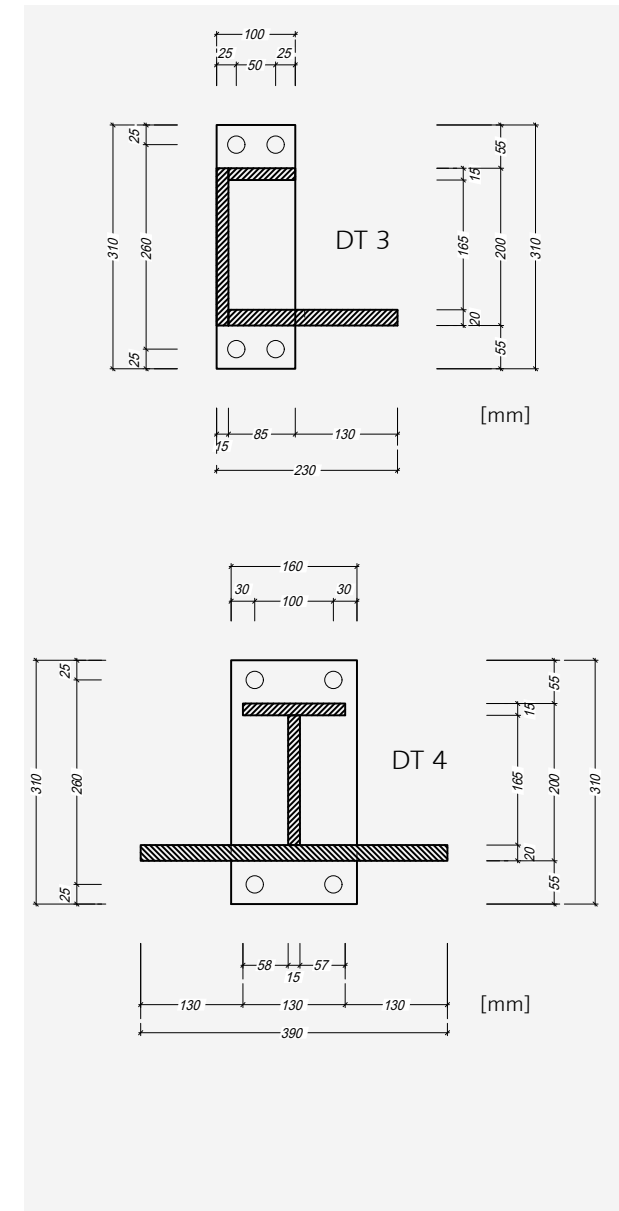


Abb. 2.4.2: Ansicht der biegesteifen Anschlussvariante

Nr.	Anschlussart	
	gelenkig	biegesteif
1)	x	x
2)	x	x
3)	x	x
4)	x	x
5)	x	x
6)	x	x
7)	x	x
8)	x	x
9)		x
10)		x
11)		x
12)		x
13)	x	

Tab. 2.4.1: Übersicht Anschlussdetails

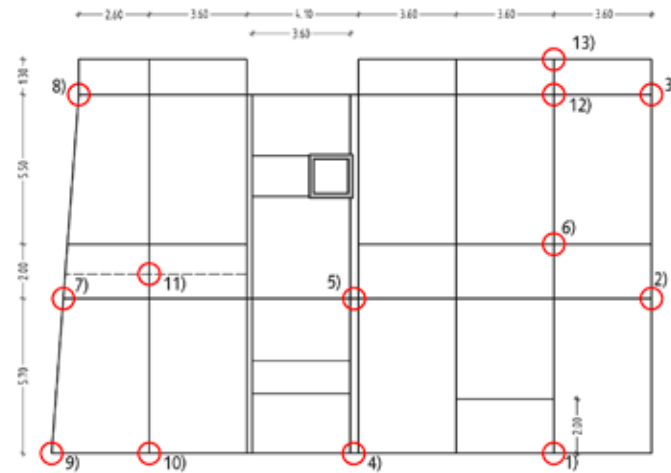


Abb. 2.4.3: Position Anschlussdetails im Grundriss [m]

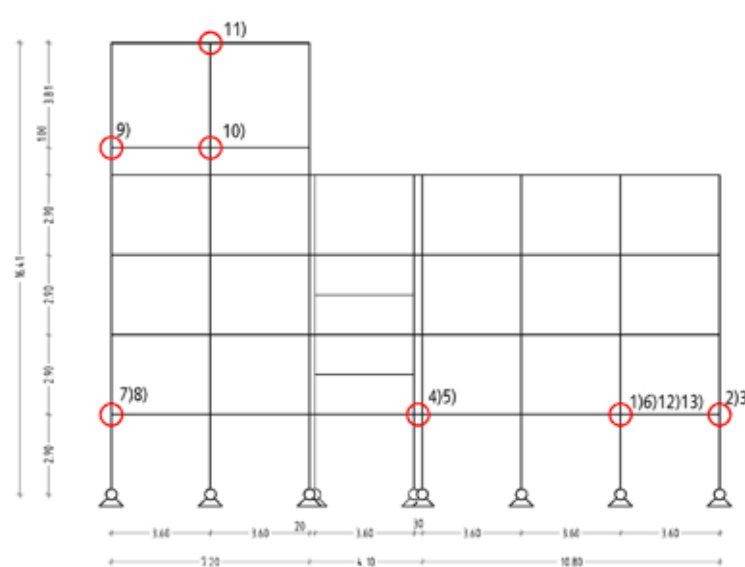


Abb. 2.4.4: Position Anschlussdetails im Aufriss in Querrichtung [m]

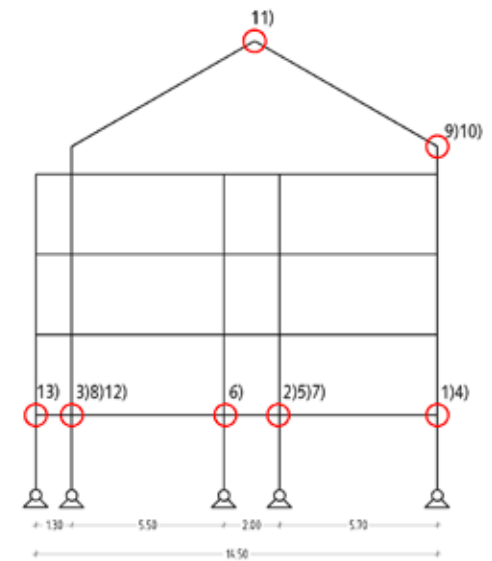


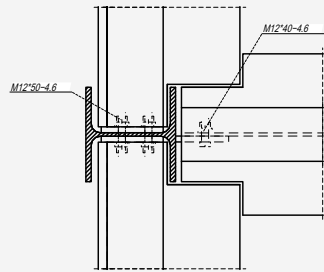
Abb. 2.4.5: Position Anschlussdetails im Aufriss in Längsrichtung [m]

Empty rectangular boxes for notes, with a blue box containing the number 2.4 at the bottom.

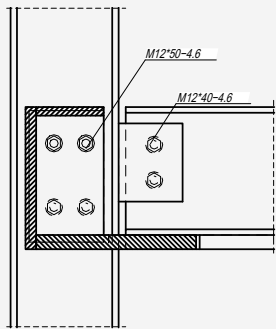
Blank rectangular boxes for identification or notes.

2.4

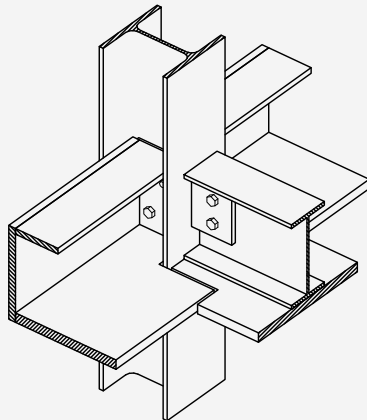
Draufsicht



Ansicht



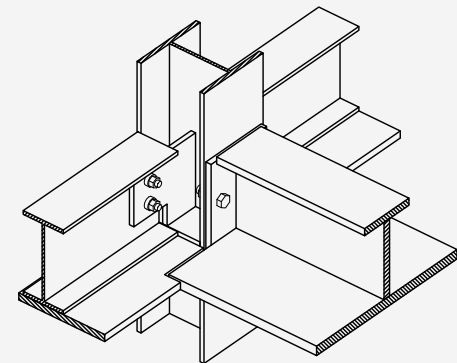
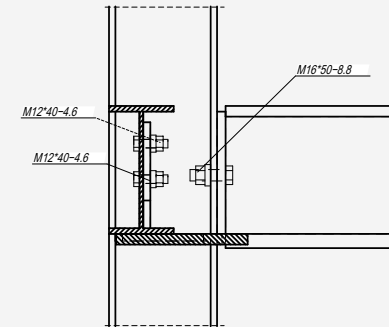
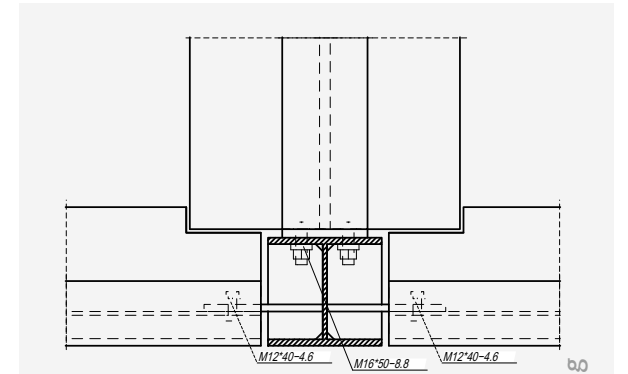
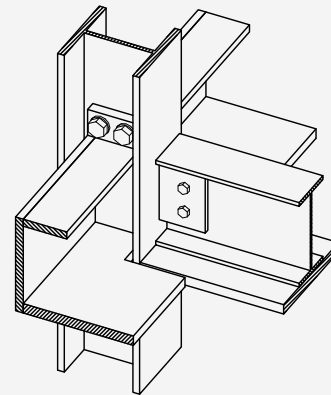
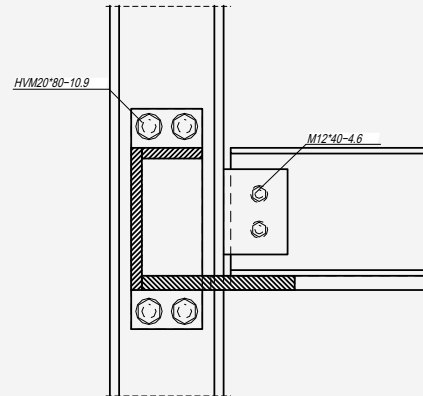
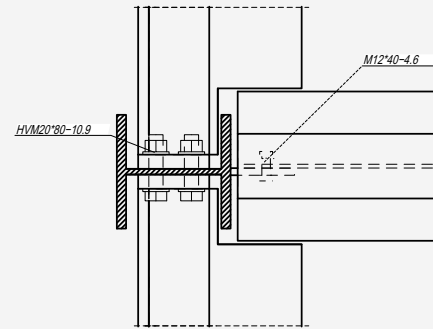
Isometrie



g  
e  
l  
e  
n  
k  
i  
g

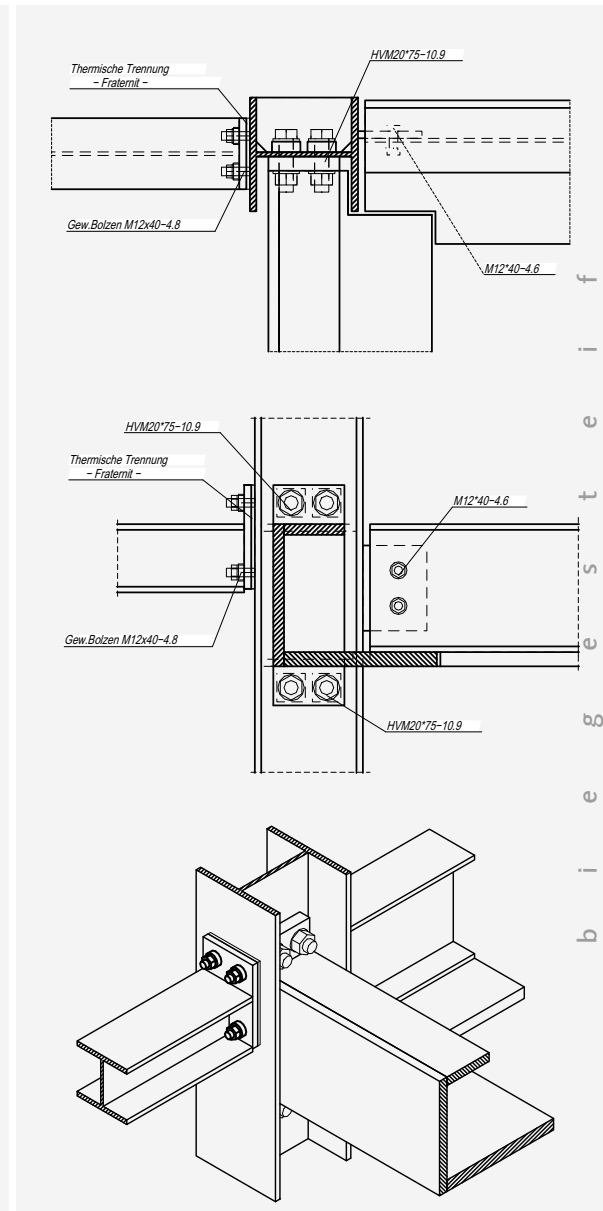
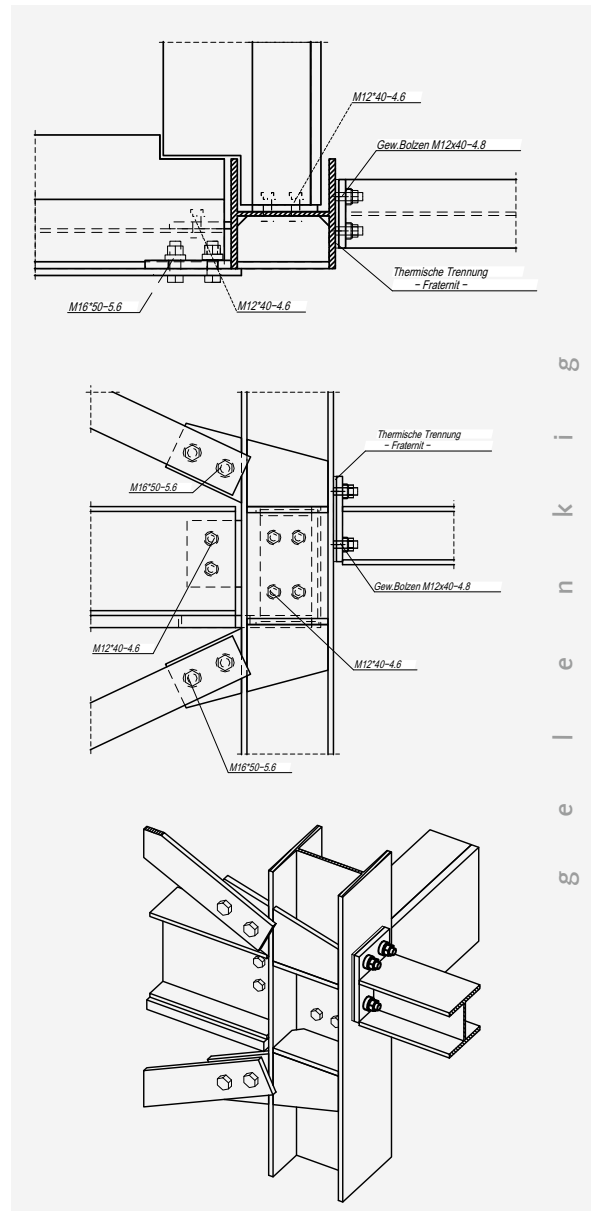
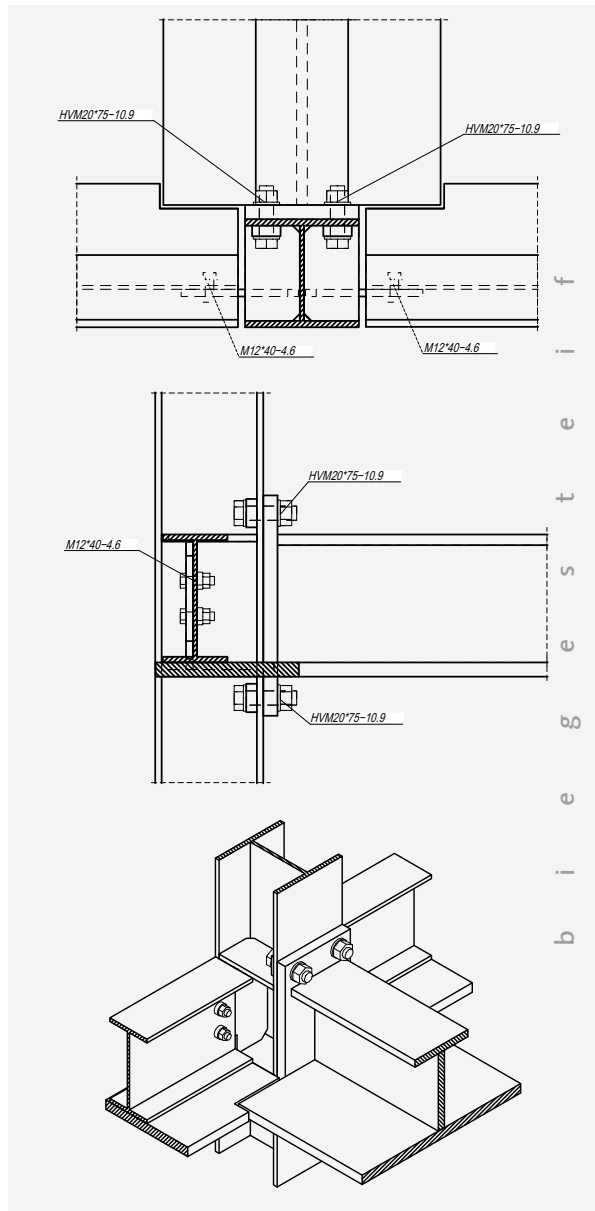
b  
i  
e  
g  
e  
s  
t  
e  
i  
f

Abb. 2.4.6: Anschluss 1



b  
e  
l  
e  
n  
k  
i  
g

Abb. 2.4.7: Anschluss 2



Draufsicht

Seitenansicht

Isometrie

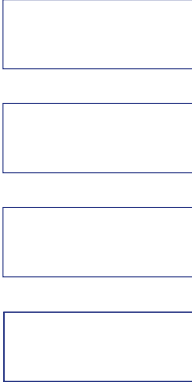
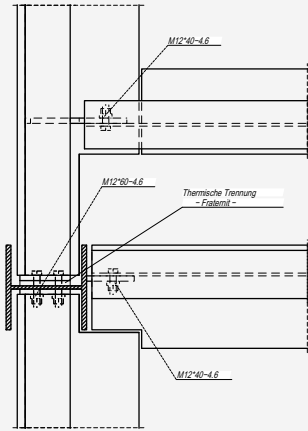
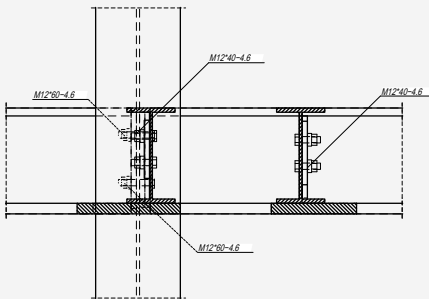


Abb. 2.4.8: Anschluss 3

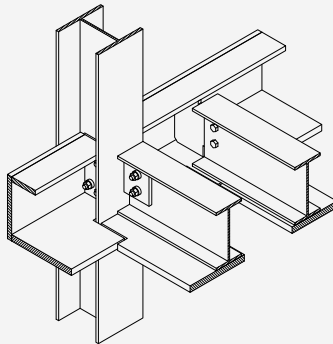
Draufsicht



Ansicht

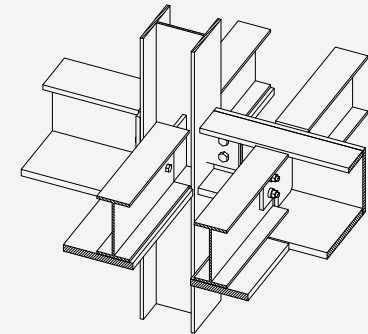
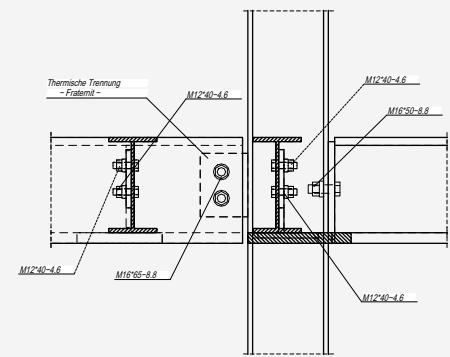
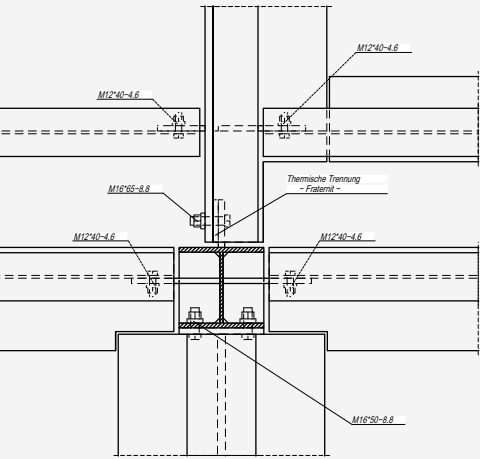
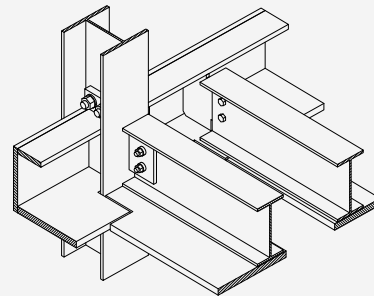
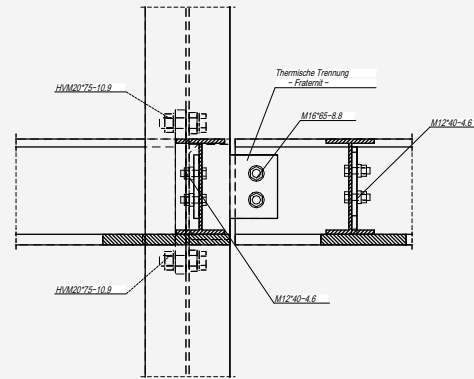
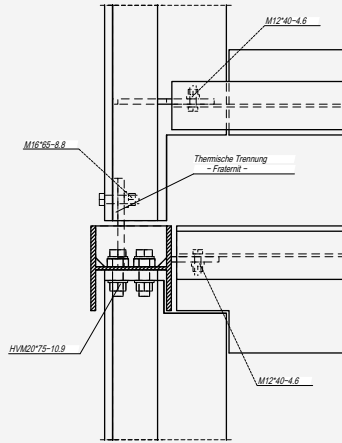


Isometrie



g  
e  
i  
e  
n  
k  
i  
g

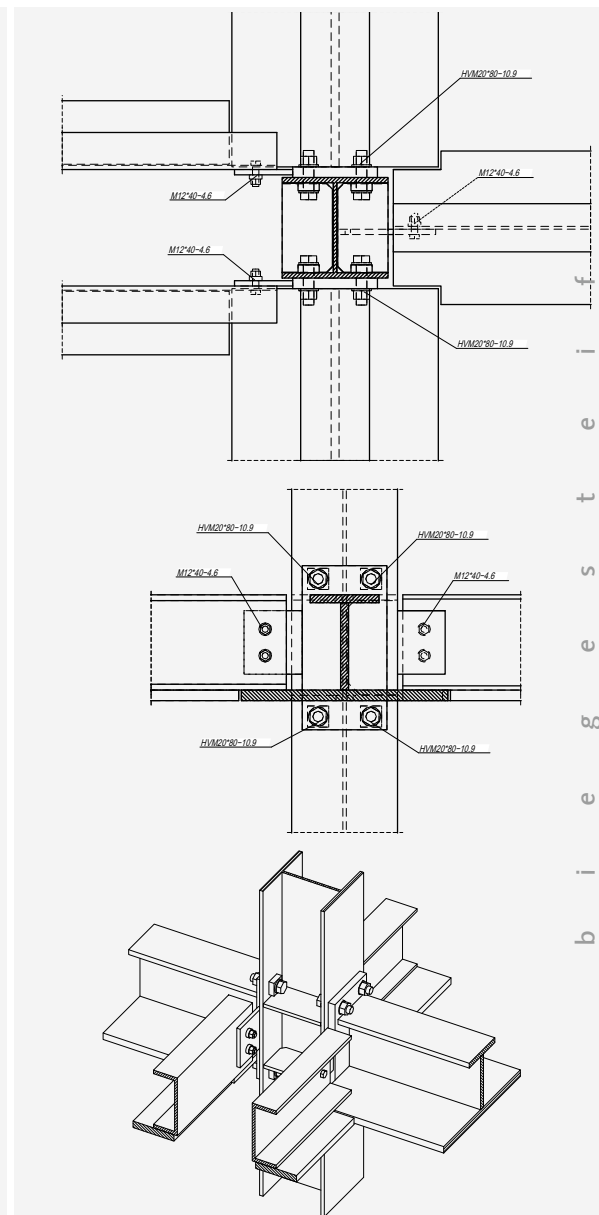
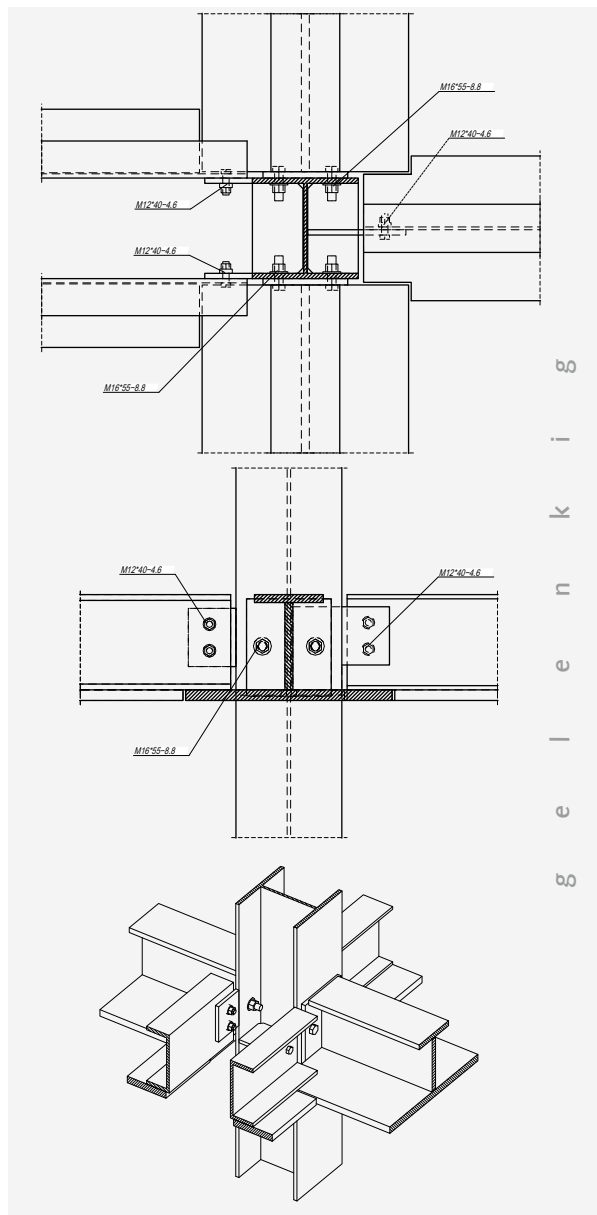
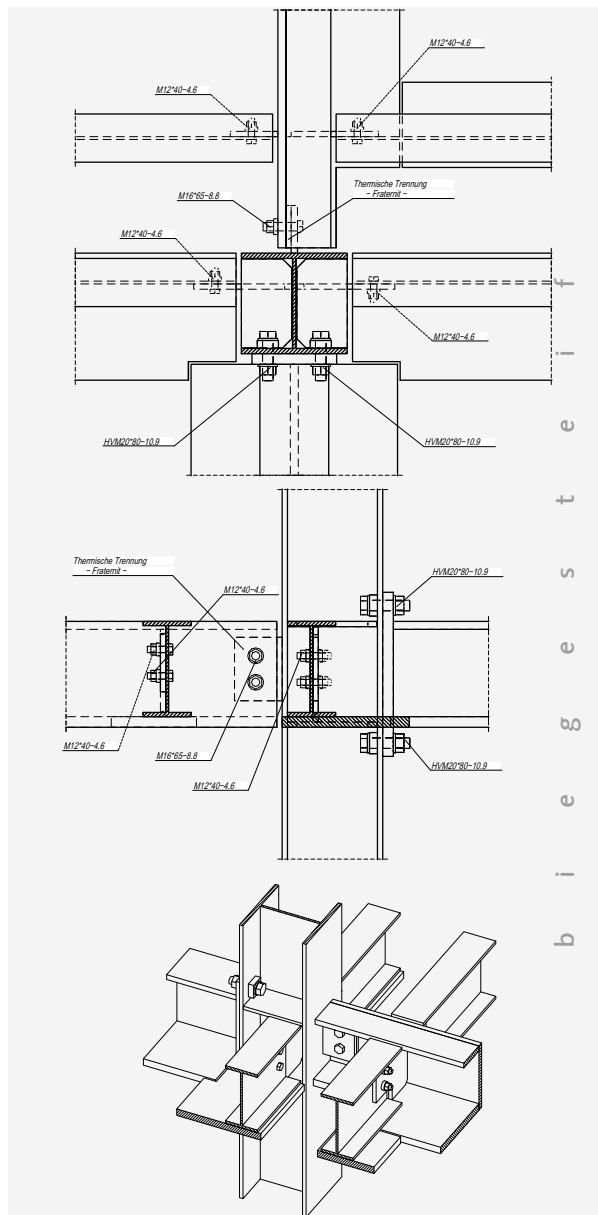
b  
i  
e  
g  
e  
s  
t  
e  
i  
f



b  
e  
i  
e  
n  
k  
i  
g

Abb. 2.4.9: Anschluss 4

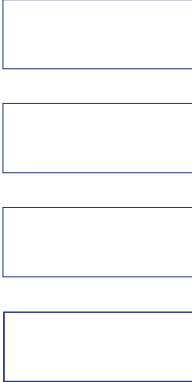
Abb. 2.4.10: Anschluss 5



Draufsicht

Ansicht

Isometrie



2.4

Abb. 2.4.11: Anschluss 6


Draufsicht

Ansicht

Isometrie

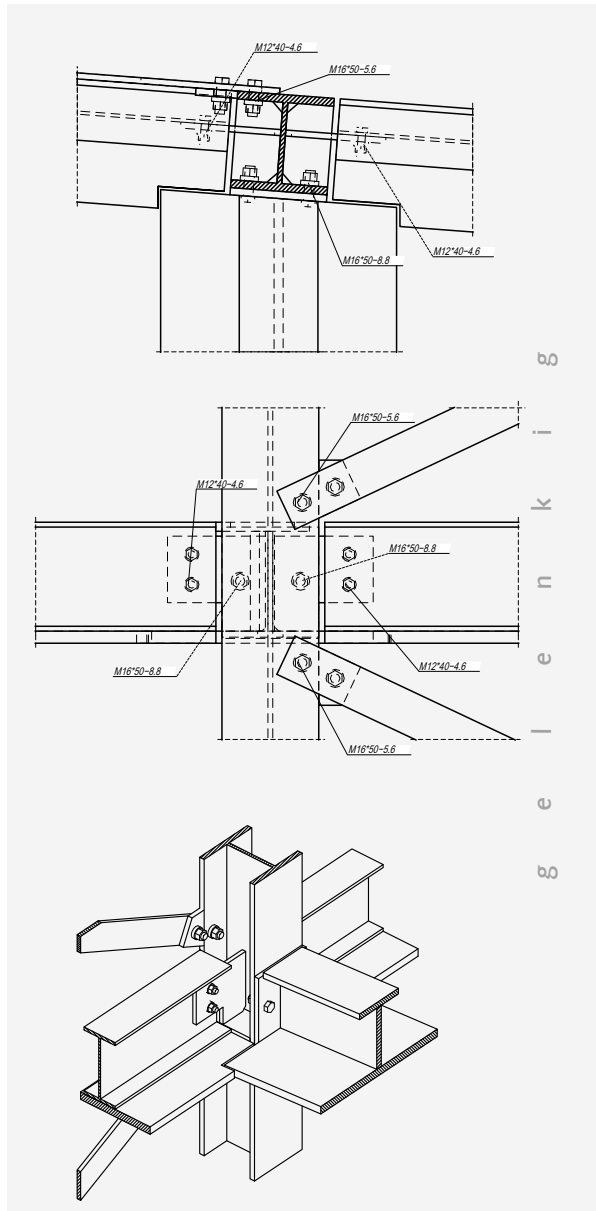


Abb. 2.4.12: Anschluss 7

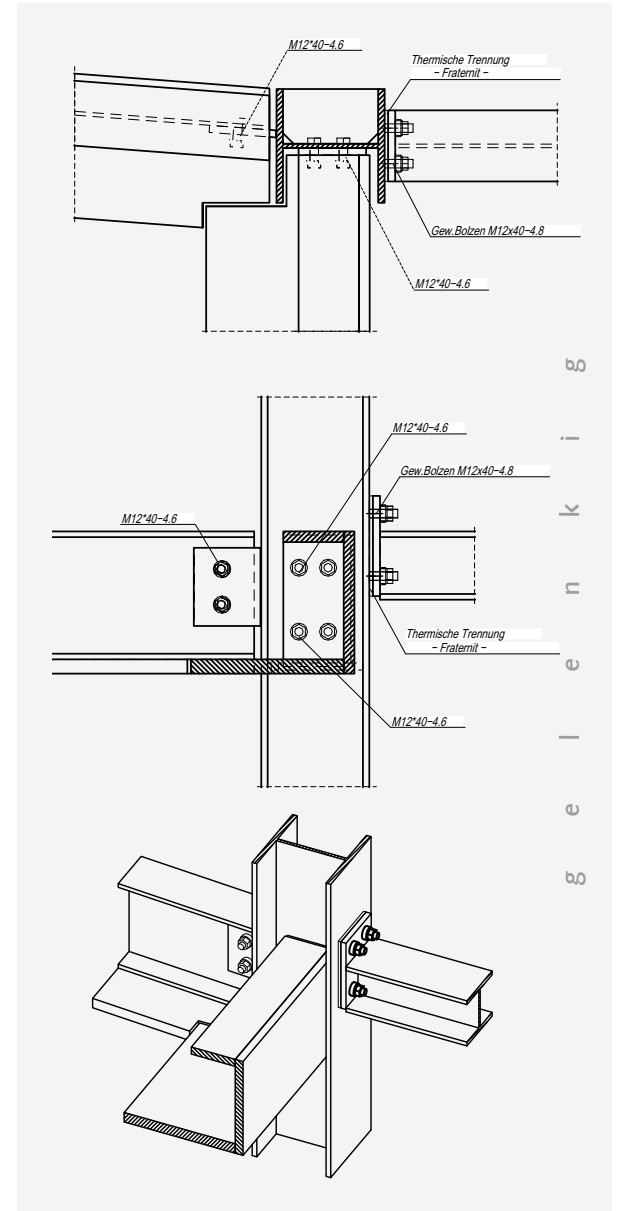
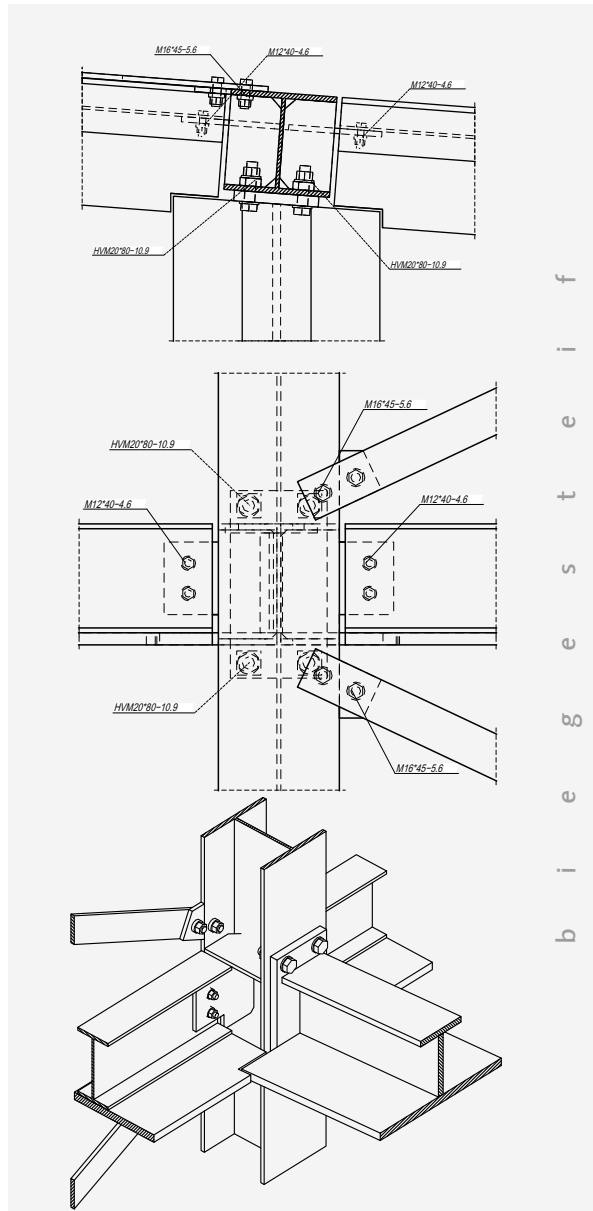


Abb. 2.4.13: Anschluss 8



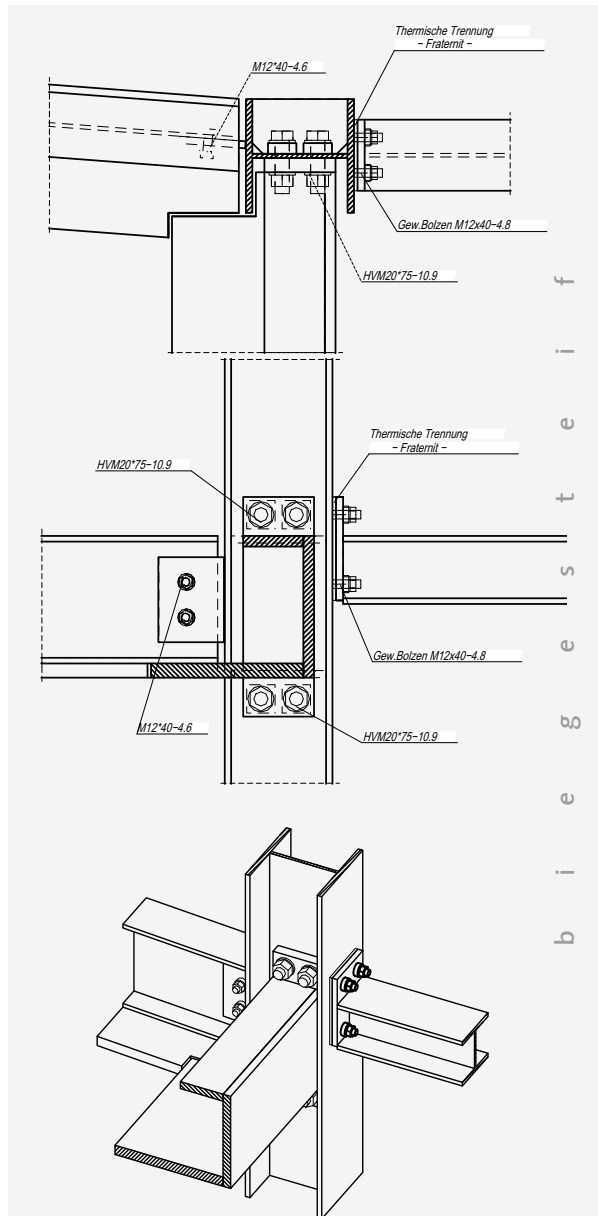


Abb. 2.4.14: Anschluss 12

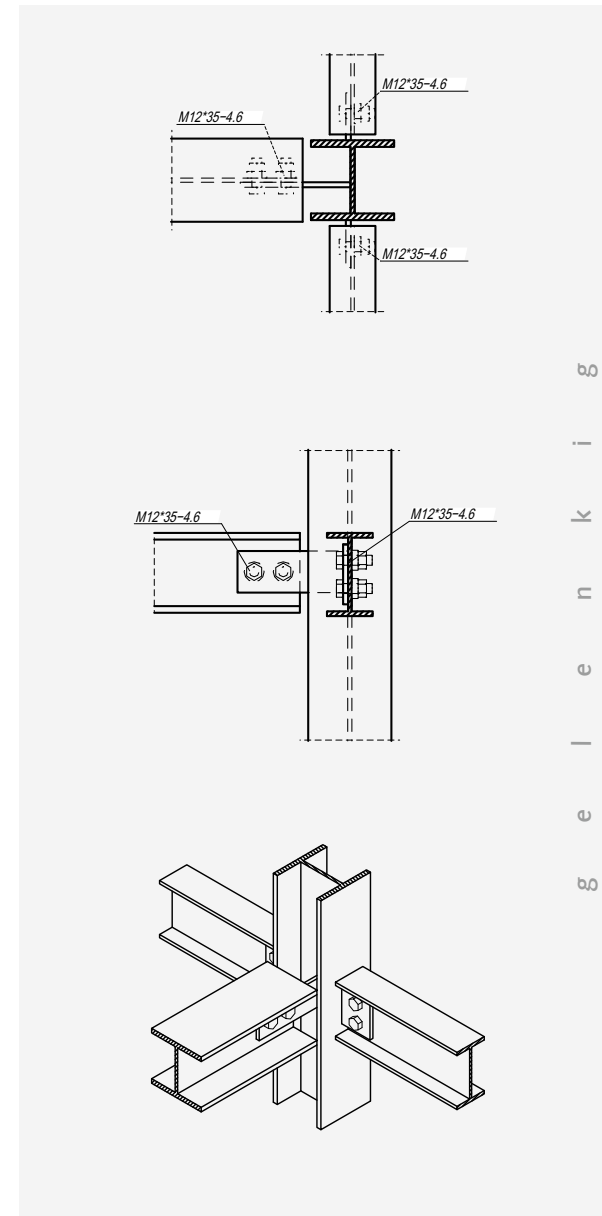
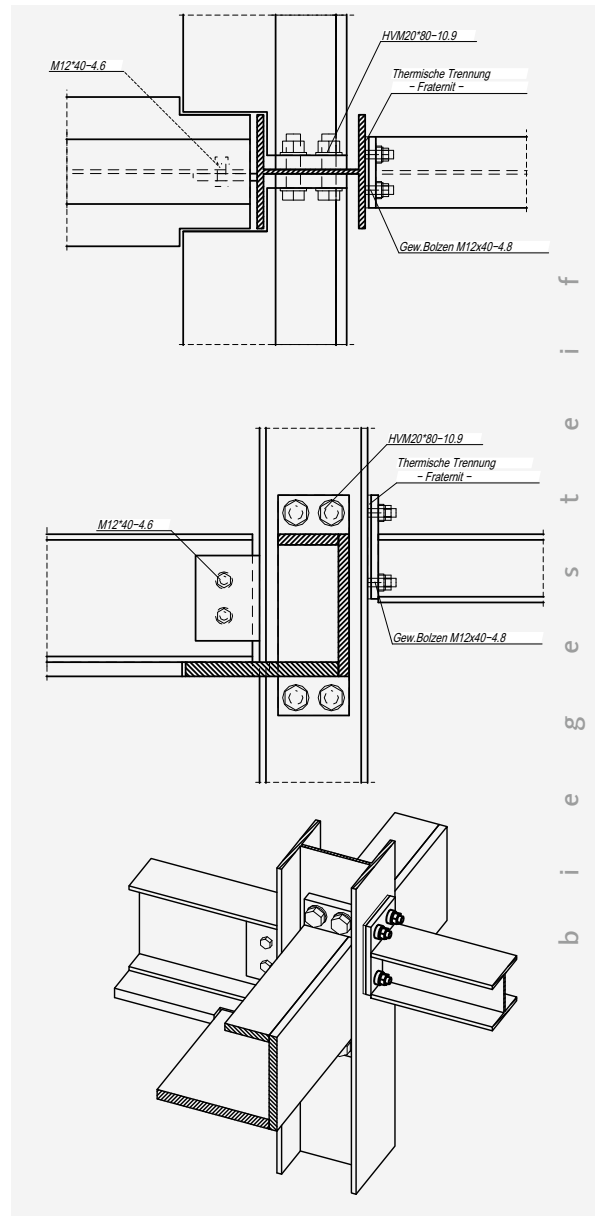


Abb. 2.4.15: Anschluss 13

b  
i  
e  
g  
e  
s  
t  
e  
i  
f

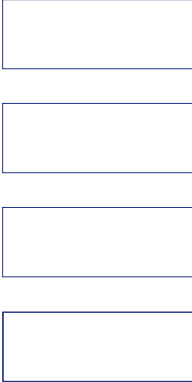
b  
i  
e  
g  
e  
s  
t  
e  
i  
f

b  
i  
e  
g  
e  
s  
t  
e  
i  
f

Draufsicht

Ansicht

Isometrie



2.4

**Sparrendach** | Die Profilierung und Anschlussausbildung des Sparrendaches sind bei allen Systemvarianten gleich.

In Querrichtung werden die Drempel- und Firstträger stets gelenkig an die Sparren befestigt (s. Abb. 2.4.16). In Längsrichtung werden die Sparren im First- und Drempelbereich biegesteif angeschlossen und bilden einen Rahmen (s. Abb. 2.4.17). Dieser spannt über die gesamte Gebäudetiefe, so dass großflächige Verglasungen im Giebelbereich frei umsetzbar sind.

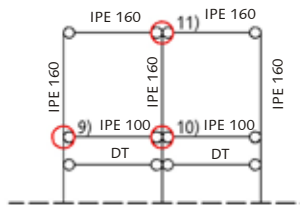


Abb. 2.4.16: Ausschnitt Aufriss in Querrichtung

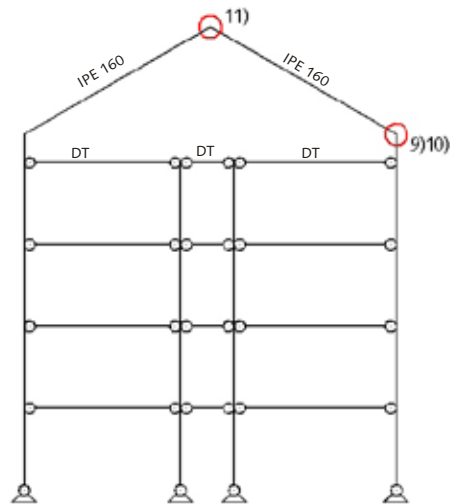
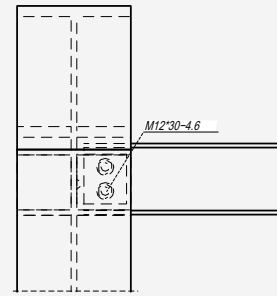
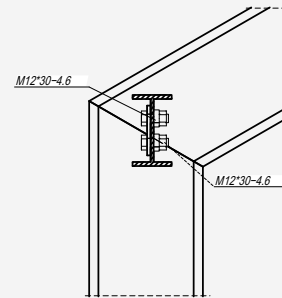


Abb. 2.4.17: Aufriss in Längsrichtung

Ansicht 1



Ansicht 2



Isometrie

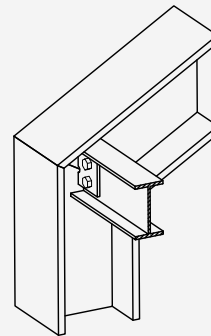


Abb. 2.4.18: Anschluss 9

b i e s t e i f

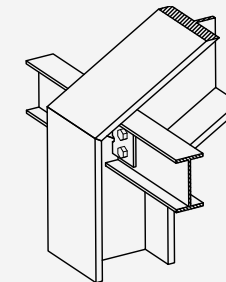
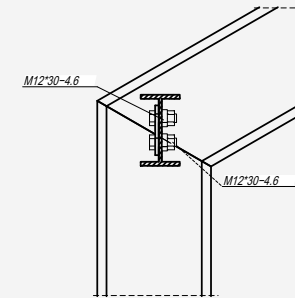
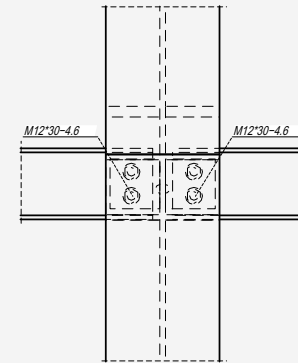


Abb. 2.4.19: Anschluss 10

b i e s t e i f

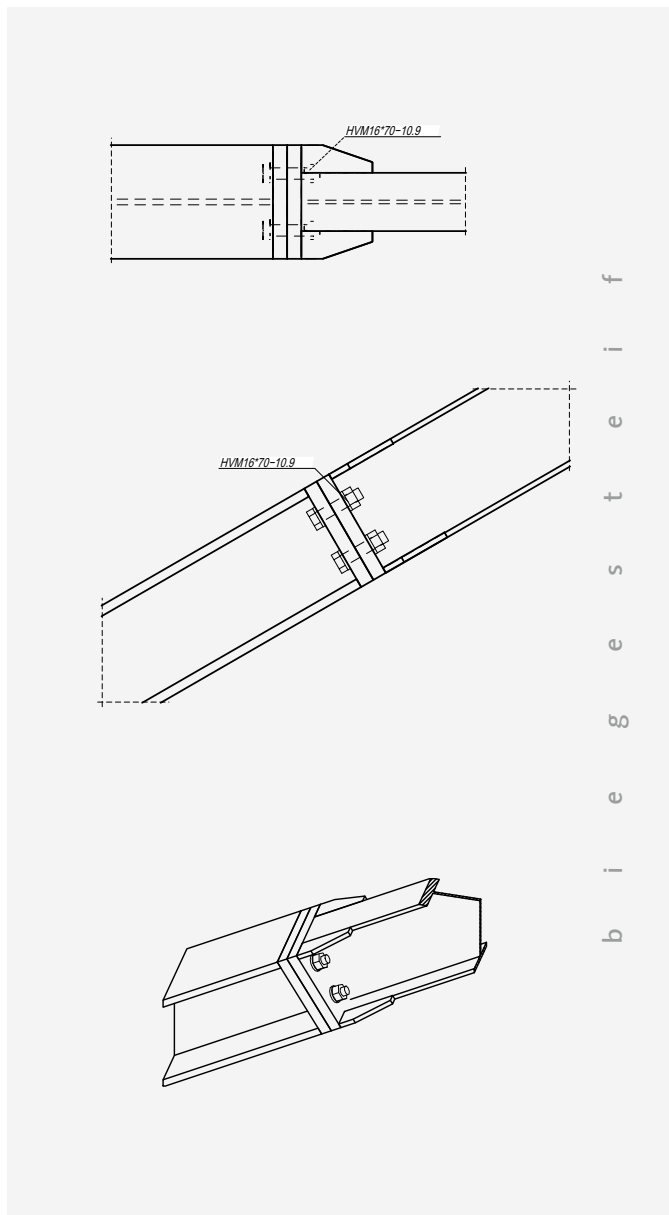


Abb. 2.4.20: Sparrenstoß

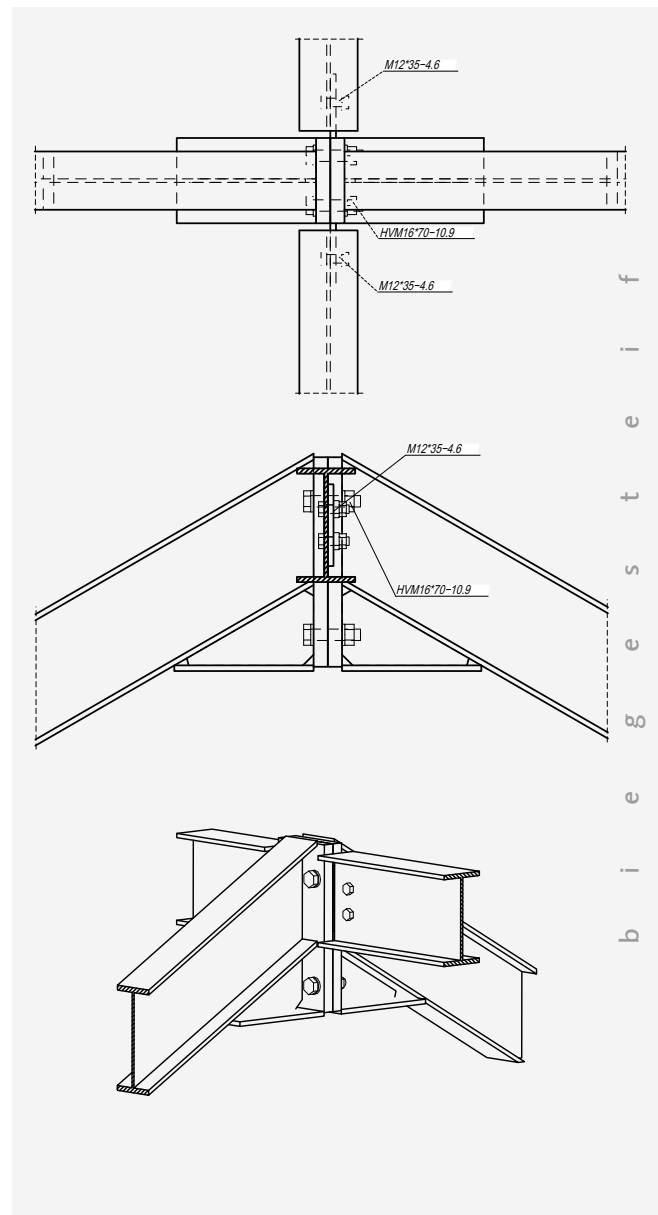


Abb. 2.4.21: Anschluss 11

Draufsicht

Ansicht

Isometrie





2.4

## 2.4.2 Stahl - Stahlbetonkern

### Anschluss Deckenträger - Stahlbetonkern |

Stahlkonstruktionen können an Stahlbetonbauteilen mit Hilfe von Dübeln oder einbetonierten Ankerplatten (s. Abb. 2.4.22) befestigt werden. Letztere sind dann anzuwenden, wenn hohe Lasten sicher in das Stahlbetonbauteil einzutragen sind. Die Verankerung der Stahleinbauplatten im Beton kann je nach Beanspruchung über angeschweißte Kopfbolzen, Schubwinkel, -knaggen und Anschlussbewehrung erfolgen.

Die Anwendungsbereiche und Tragfähigkeiten sind in den jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. Der Beton muss mindestens die Betonfestigkeitsklasse C 20/25 nach DIN 1045-1 aufweisen.

Die Bemessung der Ankerplatten ist von einer Vielzahl von Einflüssen und Randbedingungen abhängig, so dass die Ermittlung der Tragfähigkeit relativ aufwändig ist. Als Planungsunterstützung stellen jedoch Fachfirmen Bemessungsprogramme zur Verfügung.

Die Ankerplatten werden in das Stahlbetonbauteil einbetoniert. Ausführungsbedingte Maßtoleranzen zwischen dem Massivbau und dem Stahlbau sind durch die Verwendung von Anschweißplatten und Futterblechen ausgleichbar.

Schnitt horizontal

Schnitt vertikal

Isometrie

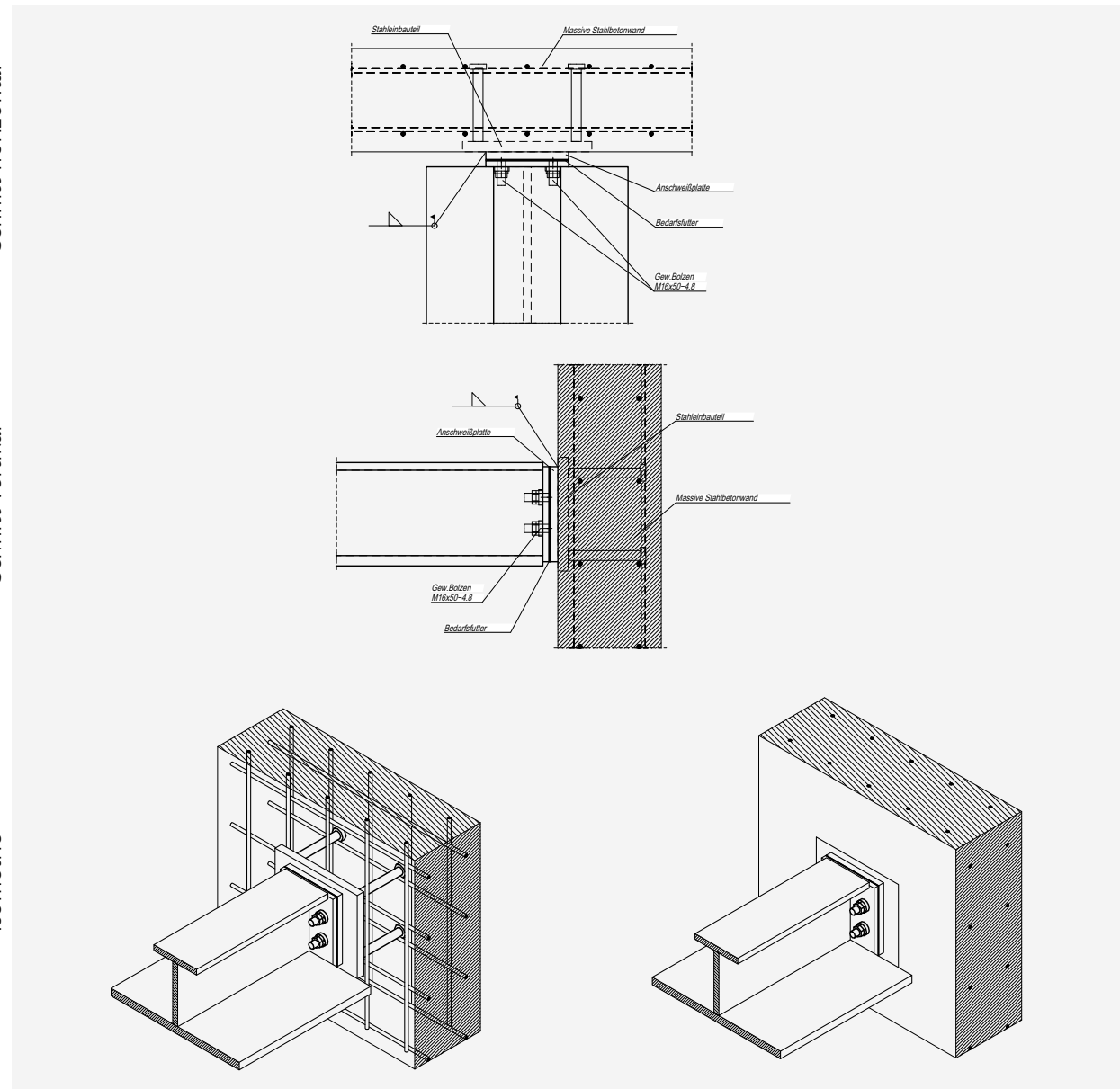


Abb. 2.4.22: Anschluss DT 4

**Anschluss Massivdecke - Stahlbetonkern |** Der dargestellte Anschluss zeigt eine Ausführungsmöglichkeit für die Ausbildung eines Deckenaufagers am Stahlbetonkern. An die Ankerplatten wird ein für die Beanspruchung bemessenes Winkelprofil mittels Lochschweißung auf der Baustelle befestigt. Diese Anschlussausführung ermöglicht einen horizontalen und vertikalen Toleranzausgleich, setzt aber eine ebene Oberfläche des Stahlbetonteils, z. B. die eines Fertigteils, voraus.

Abbildung 2.4.23 zeigt beispielhaft die Verankerung eines Stahlleinbauteils über eine Schubknagge und Bewehrung im Stahlbetonbauteil. Die Bewehrungsführung und -länge ist von der Beanspruchung und dem Verankerungsbereich abhängig.

Die Deckenebenträger (DT 2) können direkt an den Auflagerwinkel mit einem Fahnenblech angeschlossen werden (s. Abb. 2.4.24).

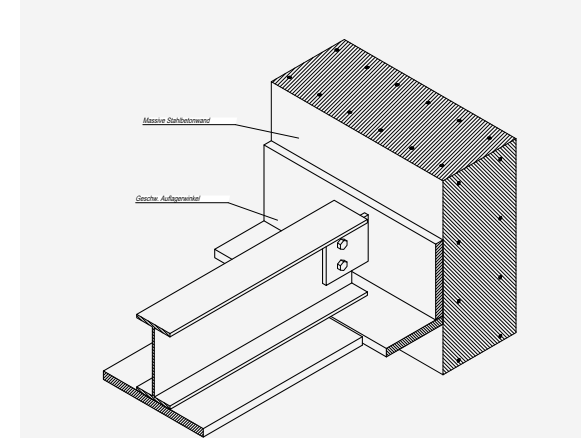
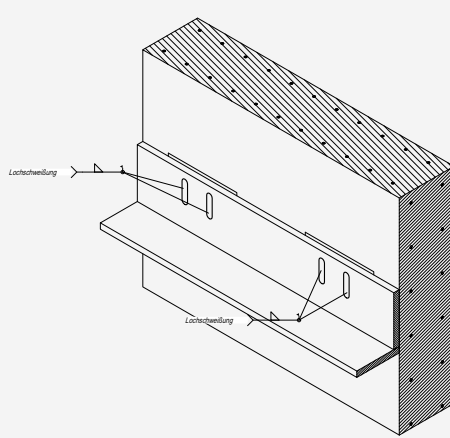
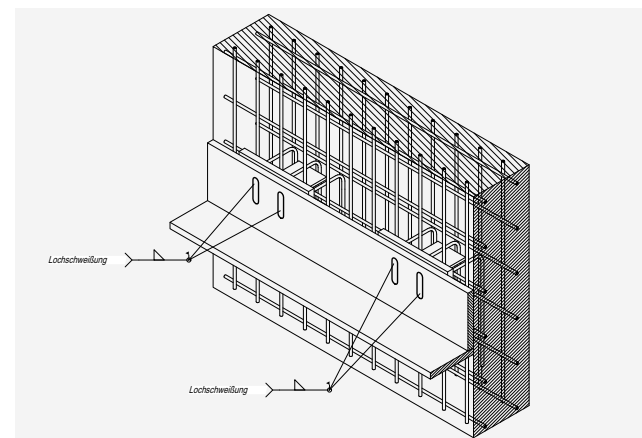
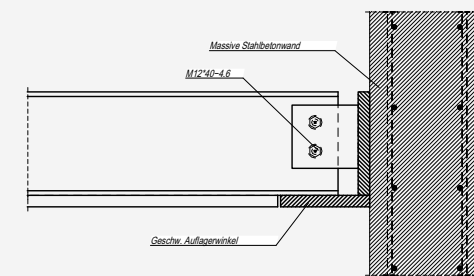
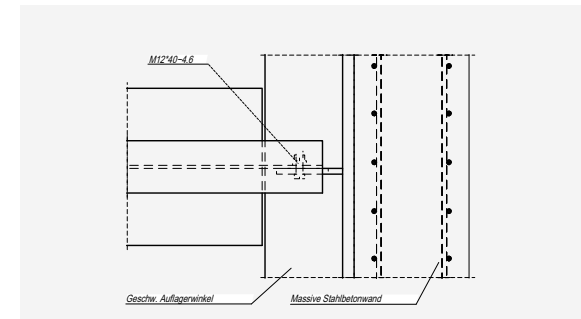
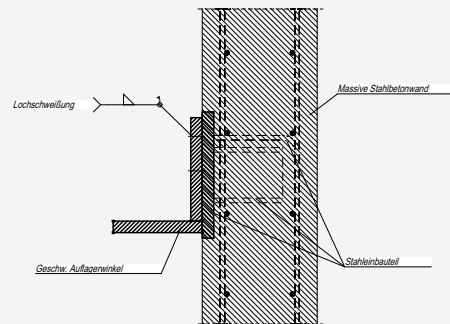
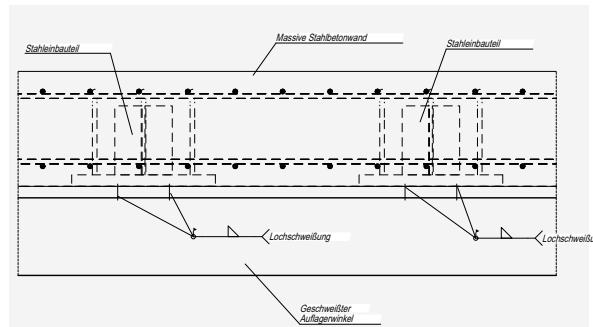


Abb. 2.4.23: Anschluss Massivdecke

Abb. 2.4.24: Anschluss DT 2

Schnitt horizontal

Schnitt vertikal

Isometrie

Four empty rectangular boxes for notes or annotations.

### 2.4.3 Stützenfuß

Bei einer typischen Ausbildung eines gelenkigen Stützenfußes wird an die Stütze mit I-förmigen Querschnitt eine Fußplatte angeschweißt und über ein Mörtelbett auf dem Fundament abgesetzt.

Sind nur kleine Druckkräfte zu übertragen, werden bündige Fußplatten verwendet. Zur besseren Lastverteilung bei größeren Druckkräften werden die Fußplatten mit seitlichen Überständen ausgeführt.

Sollen die Stützen auf eine bestehende Kellerwand aufgesetzt werden, ist stets darauf zu achten, dass die Wände eine entsprechende Lastverteilung gewährleisten.

Im vorliegenden Beispiel (s. Abb. 2.4.25) wird eine Ankerplatte in die Kellerwand einbetoniert. Die Kopfbolzen dienen zur Aufnahme der Torsion aus der Gesamtverformung des Tragwerkes und die Schubknagge ermöglicht die Aufnahme der horizontalen Kräfte.

Um die unterschiedlichen Maßtoleranzen zwischen Stahlbau und Massivbau auszugleichen, wird ein Futterblech auf die Ankerplatte aufgeschweißt.

An die Stütze wird eine Fußplatte geschweißt, die mit vier Schrauben an das Futterblech angeschlossen wird.

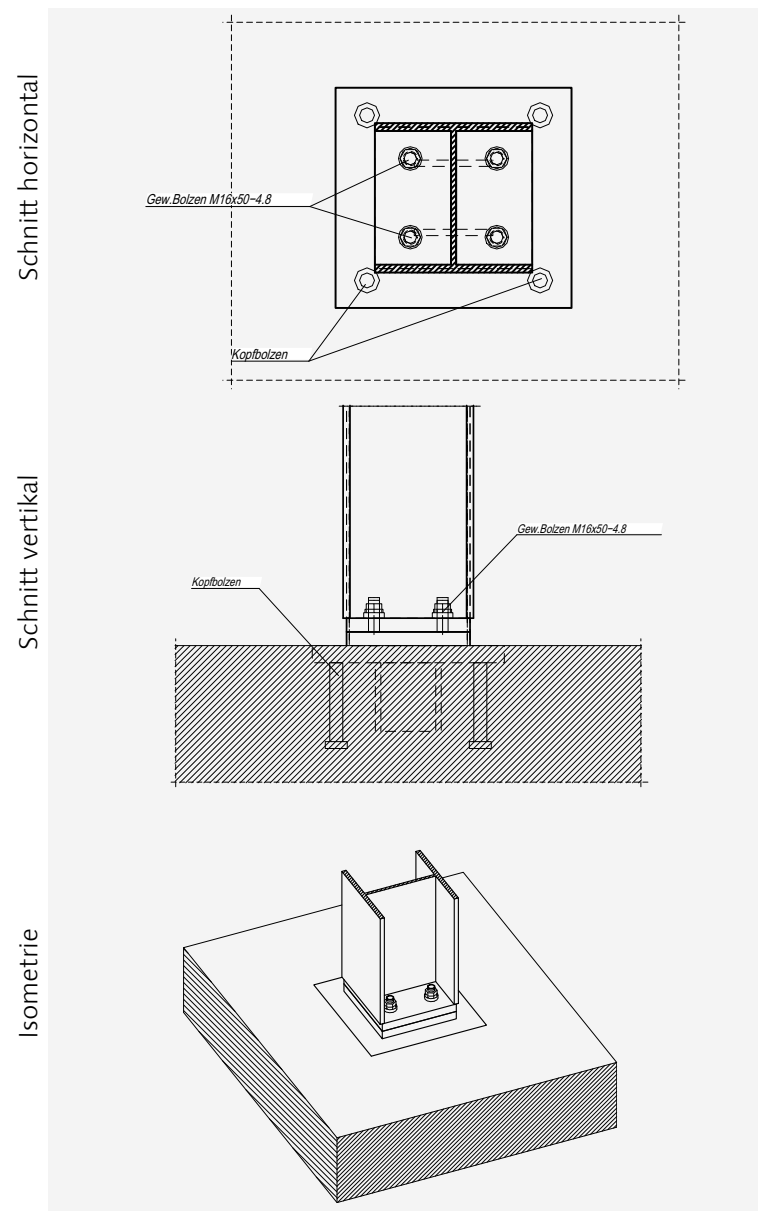


Abb. 2.4.25: Fußpunktausbildung

#### 2.4.4 Gründung

Die Auswahl einer geeigneten Gründung ist abhängig von:

- dem baulichen Umfeld, wie
  - Bodenverhältnissen und dessen Belastbarkeit
  - der Nachbarbebauung und deren Gründung
- dem Gebäude selbst, d. h.
  - der Geometrie und Ausführung (Materialien)
  - dem gewählten statischen System
- der anzusetzenden Belastung am Gebäude (Schnee + Wind,...)

Ist für ein Gebäude kein Kellergeschoss vorgesehen, bieten sich zur Gründung der Stahlstützen Streifen- oder Einzelfundamente an. Streifenfundamente sind zur Gründung enger Stützenreihen zu bevorzugen. Je nach Konstruktionsart und Belastung ist eine Ausführung als bewehrtes oder unbewehrtes Streifenfundament möglich.

Unbewehrte Streifenfundamente können im Allgemeinen bei:

- guten Baugrundverhältnissen und
  - gleichmäßigen Belastungen
- eingesetzt werden. Die benötigte Fundamentbreite richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit, den einzutragenden Lasten und der Betonfestigkeitsklasse.

Bewehrte Streifenfundamente, vor Ort gegossen oder als Fertigteil, gelangen zur Ausführung wenn nur verhältnismäßig kleine Fundamente ausgebildet werden können z. B. aufgrund von Nachbarbebauungen oder bei ungünstiger Baugrundbeschaffenheit.

Einzelfundamente dienen zur Übertragung punktförmiger Lasten in den Boden. Für sie gelten die gleichen Grundsätze wie für die Streifenfundamente.

Zur Gewährleistung der Frostfreiheit bei nicht unterkellerten Gebäuden sind im Bereich der umlaufenden Außenwände bis in eine Tiefe von mindestens 80 cm Frostschrüzen vorzusehen. Ausgeführt werden diese als Stahlbetonfertigteile, ähnlich den Streifenfundamenten.







## INHALT

**3 Bauklimatik****3.1 Wärmeschutz**

- 3.1.1 Mindestwärmeschutz im Winter
- 3.1.2 Energetische Standards
- 3.1.3 EnEV-Berechnungen am Beispiel des Musterhauses
- 3.1.4 Wärmebrücken
- 3.1.5 Luftdichtheit
- 3.1.6 Winddichtheit
- 3.1.7 Sommerlicher Wärmeschutz

**3.2 Feuchteschutz**

- 3.2.1 Grundbegriffe
- 3.2.2 Tauwasserschutz
- 3.2.3 Vermeidung von Schimmelbildung
- 3.2.4 Regenschutz

**3.3 Schallschutz**

- 3.3.1 Grundbegriffe
- 3.3.2 Luftschalldämmung
- 3.3.3 Einschalige Bauteile
- 3.3.4 Zweischalige Bauteile
- 3.3.5 Ermittlung des Schalldämm-Maßes für die entwickelten Wandaufbauten
- 3.3.6 Trittschalldämmung
- 3.3.7 Fugen und Schallbrücken

**3.4 Außenwandaufbauten**

### 3.1 Wärmeschutz

Der Wärmeschutz an Gebäuden muss in unseren Breiten auf sehr unterschiedliche klimatische Bedingungen reagieren können. Ziel ist ein ganzjährig angenehmes und gesundes Raumklima.

In der Bauphysik unterteilt sich der Wärmeschutz in zwei Teilbereiche: in den winterlichen und den sommerlichen Wärmeschutz.

Die verschiedenen bauphysikalischen Vorgänge, die beim winterlichen Wärmeschutz eine Rolle spielen, sind sehr komplex und daher thematisch nicht einfach voneinander zu trennen.

Die Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz sind normativ gesetzlich durch den Mindestwärmeschutz und die Energieeinsparverordnung (EnEV) geregelt. Zudem gibt es zahlreiche weiterführende energetische Standards, welche als Zielsetzung angestrebt werden können.

#### 3.1.1 Mindestwärmeschutz im Winter

Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz im Winter sind in der DIN 4108-2 enthalten. Sie beziehen sich auf den Wärmeschutz bei wärmeübertragenden Bauteilen sowie auf den Bereich von Wärmebrücken.

Der Mindestwärmeschutz muss an jeder Stelle eines Bauteils vorhanden sein, so z. B. auch an Stellen, an denen Tragelemente aus Stahl in der Dämmebene bzw. im Bauteil liegen.

Der Mindestwärmeschutz soll einerseits ein hygienisches Raumklima gewährleisten und andererseits die Baukonstruktion vor schädlicher Feuchteinwirkung durch Tauwasser schützen. Dadurch soll auch die Bildung von Schimmelpilzen an

Innenoberflächen von Außenbauteilen – besonders im Bereich von Wärmebrücken – verhindert werden.

Zum Erreichen dieser Anforderungen werden in der DIN 4108-2 konkrete Mindestwerte für den Wärmedurchlasswiderstand  $R$  festgelegt:

- Außenwände und Dächer  $\geq 100 \text{ kg/m}^2$ :  
 $R = 1,2 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Außenwände und Dächer  $< 100 \text{ kg/m}^2$ :  
im Gefachbereich:  $R \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$   
im gesamten Bauteil im  $\emptyset$ :  $R \geq 1,00 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Räume und Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen:  
 $R \geq 0,55 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Wohnungstrennwände, fremde Nutzungen:  
 $R = 0,07 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Treppenraumwände:  
 $R = 0,25$  bzw.  $0,07 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Wohnungstrenndecken / fremde Nutzungen:  
 $R = 0,35$  bzw.  $0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Decken an unbeheizte Keller, Dachräume etc.:  
 $R = 0,9 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Decken an Außenluft: nach unten:  
 $R = 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ ; nach oben:  $1,2 \text{ m}^2\text{K/W}$

#### 3.1.2 Energetische Standards

Beim Neubau von Wohngebäuden besteht die Chance, auf den Energieverbrauch der künftigen Jahre entscheidend Einfluss zu nehmen. Die gültige Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) gibt dabei Mindestanforderungen vor, welche insbesondere die Gebäudehülle sowie die Wärmeversorgung berücksichtigen. Um einen möglichst fortschrittlichen energetischen Standard mit hohem Wohnkomfort zu erreichen und um auch zukünftigen Standards bzw. Energiekostensitua-

tionen zu genügen, wurden bei diesem Projekt alle Wandaufbauten und Konstruktionsdetails so entwickelt, dass sie dem heutigen KfW-Effizienzhaus 55 bzw. 70 (Bezug EnEV 2009) oder dem sog. Passivhausstandard entsprechen können.

**Das KfW-Effizienzhaus 70** | Der Jahres-Primärenergiebedarf darf maximal 70 % des zulässigen Wertes nach EnEV 2009 betragen. Gleichzeitig darf der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogene spezifische Transmissionswärmeverlust  $H_T'$  maximal 85 % der EnEV 2009 erreichen.

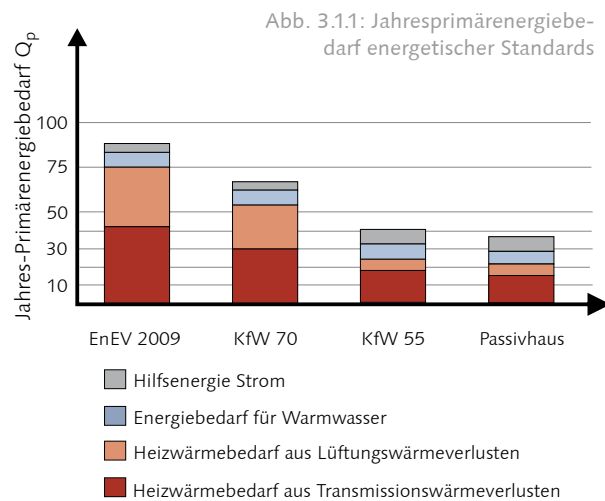
**Das KfW-Effizienzhaus 55** | Das KfW-Effizienzhaus 55 entspricht dem bisherigen Standard KfW 40. Der Jahres-Primärenergiebedarf darf maximal bei 55 % des zulässigen Wertes nach EnEV 2009 liegen. Gleichzeitig muss der spezifische Transmissionswärmeverlust  $H_T'$  den in der EnEV 2009 angegebenen Höchstwert (Anlage 1, Tabelle 1) um mindestens 30 % (d. h.  $H_{T \max}'$  maximal 70 % der EnEV 2009) unterschreiten.

Dieser hohe Standard mit seinem niedrigen Heizenergiebedarf kann meist nur durch den Einsatz von Lüftungsanlagen erreicht werden. Die Dämmstärken sind relativ hoch und auch die Fenster müssen einen sehr guten U-Wert erreichen. Zusätzlich kommen bei der Anlagentechnik meist regenerative Energien zum Einsatz.

**Das Passivhaus** | Passivhäuser weisen sehr hohe Dämmwerte aller Umfassungsflächen (Wände, Fenster, Dach, Keller und Fundamente) auf. Passivhäuser kommen in der Regel ohne herkömmliche Heizanlage aus. Behagliche Raumtemperaturen müssen in erster Linie durch die gut gedämmten Hüllflächen und durch die Qualität



der Fenster gewährleistet werden. Ein entscheidendes Behaglichkeitskriterium ist hierbei die Oberflächentemperatur der Fensterinnenfläche. Diese sollte nicht mehr als 3°C unter der Raumtemperatur liegen. Das erfordert einen U-Wert des Fensters von  $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , wenn die üblichen Auslegungsbedingungen (-10°C außen, 20°C innen) angesetzt werden. Derzeit können nur Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen mit hochgedämmtem Rahmen und thermisch getrenntem Randverbund diesen U-Wert erreichen. Durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung kann die Beheizung des Gebäudes in der Übergangszeit sichergestellt werden. Der Jahresheizwärmebedarf eines Passivhauses soll nach heutiger Konvention nicht mehr als 15 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr betragen, der Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_p$  nicht über 40 kWh/m<sup>2</sup> liegen. Die Luftdichtheit beim BlowerDoor-Test soll folgender Anforderung standhalten: Grenzwert  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ . Dieser Wert sagt aus, dass die Luft im Gebäude im Mittel nicht mehr als 0,6 Mal pro Stunde ausgetauscht werden darf.



Das Balkendiagramm Abb. 3.1.1 vergleicht vereinfacht die energetischen Standards EnEV 2009, KfW-Effizienzhaus 70 und 55 und Passivhaus.

### 3.1.3 EnEV-Berechnungen am Beispiel des Musterhauses

Für einen Neubau schreibt die EnEV 2009 folgende maximal zulässigen Werte für den auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust vor:

Gebäudetyp	max. zul. $H_T$ [W/m²K]
freistehendes Wohngebäude $A_N \leq 350 \text{ m}^2$	0,4
freistehendes Wohngebäude $A_N \geq 350 \text{ m}^2$	0,5
einseitig angebautes Wohngebäude	0,45
alle anderen Wohngebäude	0,65
Erweiterungen und Ausbauten von Wohngebäuden gemäß § 9 Absatz 5	0,65

Tab. 3.1.1: max. zulässige Werte nach EnEV 2009 ( $A_N$ : Nutzfläche nach EnEV)

Eine Novität des EnEV-Nachweises 2009 ist der methodische Ansatz für die Berechnung für Wohngebäude. Der Jahresprimärenergiebedarf des neu zu errichtenden Wohnhauses darf den eines entsprechenden Referenzwohnhauses nicht überschreiten. Die Berechnung mit Hilfe eines

Referenzgebäudes gab es bisher nur für Nichtwohngebäude.

Das Referenzgebäude hat die gleiche Kubatur, die gleiche Gebäudenutzfläche sowie die gleiche Orientierung wie das neu zu planende Gebäude, jedoch mit Mindestvorgaben für Kennwerte. Die Referenzausführung der einzelnen Bauteile ist in Tabelle 3.1.2 dargestellt.

Tab. 3.1.2: Referenzausführung nach EnEV 2009

Bauteil	Referenzausführung
Außenwand, Geschossdecke gegen Außenluft	$U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	$U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
Dach, oberste Geschossdecke, Abseitenwände	$U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
Fenster, Fenstertüren	$U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g = 0,6$
Dachflächenfenster	$U_w = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g = 0,6$
Lichtkuppeln	$U_w = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g = 0,64$
Außentüren	$U = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Wärmebrückenzuschlag für alle Bauteile	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$

Die EnEV-Berechnungen für die Standards KfW-Effizienzhaus 55 und 70 wurden beispielhaft anhand des Musterhauses Haus 1 durchgeführt. Für beide Standards wurden exemplarisch die Bauteilvarianten 1a-d (siehe Anhang, V. 1a-c) gewählt. Die bei der Berechnung angesetzten U-Werte der Bauteile sind in der Tabelle 3.1.3 dargestellt.

Bauteile	U-Werte Musterhaus Haus 1 [W/m <sup>2</sup> K] (Nutzfläche: 546,9 m <sup>2</sup> )	
	KfW-70	KfW-55
Außenwand	0,16	0,16
Fenster	1,3 (g = 0,56)	0,8 (g = 0,45)
Dach	0,15	0,15
Kellerdecke	0,16	0,16

Tab. 3.1.3: U-Werte Musterhaus Haus 1



Die U-Werte der Tabelle können für andere Gebäude ähnlicher Kubatur als Orientierung angenommen werden. Allerdings ist nicht nur die Dämmstärke allein ausschlaggebend zum Erreichen eines hohen energetischen Standards. Vielmehr spielen auch Faktoren wie das A/V<sub>e</sub>-Verhältnis, welches die Kompaktheit eines Gebäudes beschreibt und die Ausrichtung eines Gebäudes (solare Gewinne) eine wichtige Rolle. Zum Erreichen eines hohen energetischen Standards ist es deshalb notwendig, das A/V<sub>e</sub>-Verhältnis klein zu halten. Dies ist durch eine Reduzierung von Vor- und Rücksprünge und Ecken sowie

dem Weglassen von Erkern (Vermeidung von „Kühlrippen“) zu erreichen. Das Verhältnis von Wand- zu Fensterfläche kann ebenfalls entscheidend werden, da selbst hochgedämmte Fenster ( $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) niemals den U-Wert einer hochgedämmten Wand ( $0,1-0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) erreichen können.

#### Musterhaus Haus 1 |

Randbedingungen der EnEV-Berechnung:

- Ost-West-Orientierung des Gebäudes
- Gebäudevolumen  $V_e$ : 1709,1 m<sup>3</sup>
- Gebäudehüllfläche A: 695,8 m<sup>2</sup>
- A/V<sub>e</sub> - Verhältnis: 0,407 1/m
- Nutzfläche A<sub>N</sub>: 546,9 m<sup>2</sup>
- Fensterflächenanteil f: 20,3 %
- U-Werte gemäß Tabelle 3.1.3
- mit Luftdichtheitsprüfung (BlowerDoor-Test)
- Anlagentechnik siehe Kapitel Gebäudetechnik

#### Ergebnisse EnEV-Berechnung KfW-70 |

mit freier Lüftung

spez. Transmissionswärmeverlust: **0,379 W/m<sup>2</sup>K**

- max. zulässig nach EnEV: 0,45 W/m<sup>2</sup>K
- = **84,2 % der EnEV** → erfüllt

Jahresprimärenergiebedarf: **38,8 kWh/m<sup>2</sup>a**

- max. zulässig: 60,2 kWh/m<sup>2</sup>a
- = **64,5 % der EnEV** → erfüllt

(bei Anlagenaufwandszahl  $e_p$ : 0,797)

Jahresheizwärmebedarf: **36,19 kWh/m<sup>2</sup>a**

#### Ergebnisse EnEV-Berechnung KfW-55 |

mit freier Lüftung

spez. Transmissionswärmeverlust: **0,299 W/m<sup>2</sup>K**

- max. zulässig nach EnEV: 0,45 W/m<sup>2</sup>K
- = **66,4 % der EnEV** → erfüllt

Jahresprimärenergiebedarf: **29,9 kWh/m<sup>2</sup>a**

- max. zulässig: 60,2 kWh/m<sup>2</sup>a
- = **49,7 % der EnEV** → erfüllt

(bei Anlagenaufwandszahl  $e_p$ : 0,682)

Jahresheizwärmebedarf: **31,37 kWh/m<sup>2</sup>a**

#### Ergebnisse EnEV-Berechnung KfW-55 |

Lüftungsanlage mit WRG (Wärmerückgewinnung)

spez. Transmissionswärmeverlust: **0,299 W/m<sup>2</sup>K**

- max. zulässig nach EnEV: 0,45 W/m<sup>2</sup>K
- = **66,4 % der EnEV** → erfüllt

Jahresprimärenergiebedarf: **27,1 kWh/m<sup>2</sup>a**

- max. zulässig: 60,2 kWh/m<sup>2</sup>a
- = **45,0 % der EnEV** → erfüllt

(bei Anlagenaufwandszahl  $e_p$ : 0,625)

Jahresheizwärmebedarf: **13,54 kWh/m<sup>2</sup>a**

Aufgrund der hochdämmenden Gebäudehülle des KfW-Energieeffizienzhauses 55 kann für den Passivhausstandard die gleiche Gebäudehülle (gleiche U-Werte) angenommen werden. Die Standards unterscheiden sich lediglich in der Anlagentechnik.

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abb. 3.1.2 und 3.1.3 dargestellt.

**Das Berechnungs-Tool auf der beiliegenden CD kann schon bei der Vorplanung Anhaltspunkte zum Transmissionswärmeverlust und zum Jahresheizwärmebedarf liefern.**

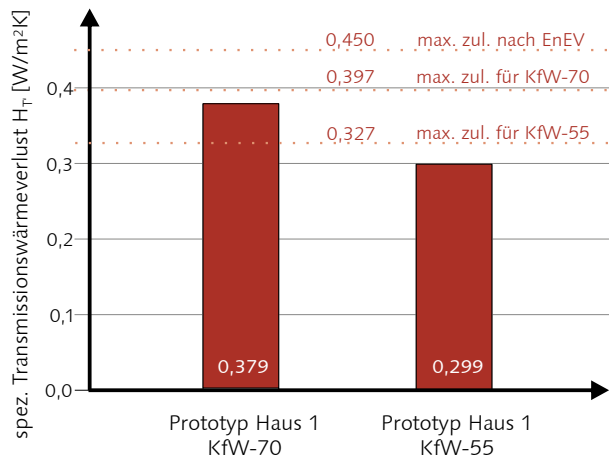
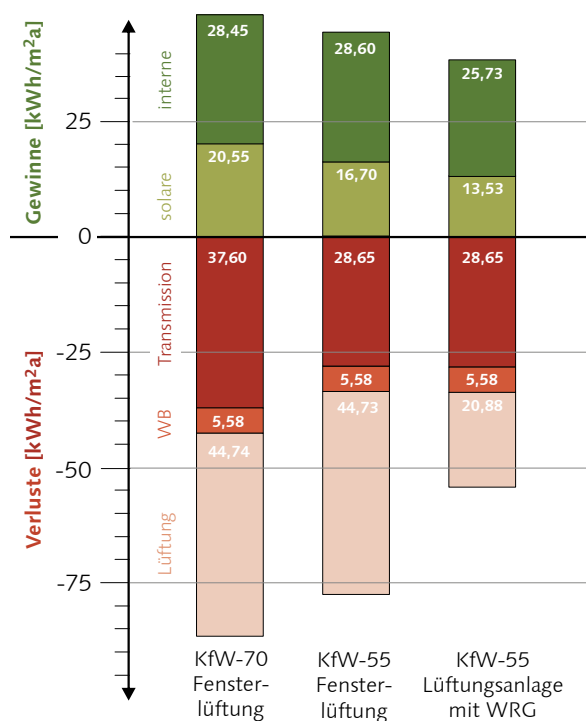


Abb. 3.1.2: spez. Transmissionswärmeverluste im Vergleich

Abb. 3.1.3: Energiebilanz der Standards pro m² im Vergleich



### 3.1.4 Wärmebrücken

Schwachstellen in der Wärmedämmung der Gebäudehülle können den Wärmeschutz und damit den energetischen Standard erheblich reduzieren. Diese örtlich begrenzten Schwachstellen, über die im Vergleich zu den ungestörten Bauteilbereichen zusätzlich Wärme transportiert wird, werden bauphysikalisch als Wärmebrücken bezeichnet. Durch den erhöhten Wärmefluss im Bereich einer Wärmebrücke sinkt dort lokal die innere Oberflächentemperatur des Außenbauteils während der Heizperiode. Diese niedrigere Oberflächentemperatur im Bereich einer Wärmebrücke kann zu Tauwasserausfall bzw. zu Schimmelbildung an Oberflächen oder hinter Verkleidungen führen. Die Vermeidung von Wärmebrücken schützt also gleichermaßen vor Bauschäden, Gesundheitsrisiken und unnötigen Wärmeverlusten.

Wärmebrücken können verschiedene Ursachen haben. Geometrisch bedingte Wärmebrücken entstehen dort, wo die wärmeaufnehmende Innenoberfläche kleiner als die wärmeabgebende Außenoberfläche ist. Ein Beispiel hierfür sind Gebäudeecken und -kanten. Diese Wärmebrücken können natürlich nicht vollständig vermieden werden.

Konstruktionsbedingte Wärmebrücken liegen vor, wenn Stoffe mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit konstruktionsbedingt ein gedämmtes Außenbauteil durchdringen. Dabei zieht sich die Störzone einer Wärmebrücke (Bereich der Temperaturabsenkung) auch noch in das umgebende, ungestörte Bauteil hinein. Dies kann z. B. bei auskragenden Stahlbetonplatten und Durchlaufträgern der Fall sein.

Diese Art der Wärmebrücken sollte vermieden bzw. auf ein Minimum begrenzt werden. Alle Details (siehe Kapitel 3.4) wurden wärmebrückenfrei bzw. -arm ausgebildet, so dass die Innenoberflächentemperatur möglichst deutlich über der kritischen Grenze von 12,6°C liegt. Konvektive Wärmebrücken sind Luftundichtheiten, wie sie z. B. bei beschädigten Dampfsperren oder offenen Fugen auftreten. Sie werden unter dem Begriff Luftdichtheit behandelt.

**Linienförmige Wärmebrücken** | Diese Wärmebrücken entstehen z. B. bei Anschlüssen von Außenwänden an Dach und Boden, Fenster- und Türanschlüssen und an Stößen von Verglasung und Rahmen.

Die Auswirkungen linienförmiger Wärmebrücken werden rechnerisch durch den Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\Psi$  definiert. Er gibt den Wärmestrom je m Länge der Wärmebrücke in W/m an, d. h. diese Wärmebrücken gehen mit ihrer Länge in die Energiebilanz ein.

**Punktförmige Wärmebrücken (Dübel, Schrauben, Halterungen)** | In einigen Fällen werden Dämmschichten auf der Wand von Dübeln, Schrauben und Halterungen durchstoßen. So werden zum Beispiel bei bestimmten Außenwandaufbauten Halterungen nötig, welche die Dämmschicht durchdringen. Dieses gilt vor allem für die Befestigungselemente an Vorhangfassaden aber auch bei Befestigungen für Geländer, Außenleuchten, Briefkästen usw.

Punktförmige Wärmebrücken gehen mit ihrer Anzahl in die Energiebilanz ein. Eine Reduzierung der Wärmebrückenwirkung bei Vorhangfassaden ist z. B. durch die folgenden Konstruktionen möglich:

3.1

- Einsatz von Stegträgern (zwei Gurte sind punktuell durch Steghölzer verbunden)
- Abstandhalter mit Unterlegscheiben aus Holz oder Kunststoff und zweilagiger Dämmschicht

Beim Einsatz von Wärmedämmverbundsystemen können Dübel aus faserverstärkten Kunststoffen verwendet werden, die eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

Eine weitere Variante zur Verringerung der punktuellen Wärmebrücken ist das Versenken des Dübels im Dämmstoff. Das Senkloch wird anschließend verschlossen.

Zur Reduzierung der Wärmebrücken gilt nach DIN 4108-2:

- Vermeidung stark gegliederter Baukörper
- wärmetechnische Entkopplung auskragender Bauteile
- durchgehende Dämmebene

**Wärmebrückenfreiheit** | Ein Gebäude wird dann als wärmebrückenfrei bezeichnet, wenn alle Details so ausgeführt sind, dass der Transmissionswärmeverlust des gesamten Gebäudes unter Berücksichtigung aller Wärmebrücken nicht höher ist, als es die Berechnung allein mit den Außenoberflächen und den U-Werten der Regelbauteile ergibt. Bei üblichen Gebäudegeometrien kann man das Ziel als erreicht betrachten, wenn nur für alle linearen Wärmebrücken  $\Psi \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$  ist. Beispiele der an diesen Anschlüssen auftretenden Wärmeströme und prinzipielle Möglichkeiten zur deren Verringerung oder Vermeidung zeigen die Details im Anhang.

Für alle entwickelten Wandaufbauten des Musterhauses wurde der Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$  berechnet. Alle bauklimatisch relevanten Daten zu den Wandaufbauten sind unter Kapitel 3.4 zu finden.

### 3.1.5 Luftdichtheit

Wie bei den Wärmebrücken steigt mit zunehmendem Dämmstandard der Anteil der Lüftungswärmeverluste am Gesamtwärmeverlust. Die praktisch luftdichte Gebäudehülle muss deshalb sorgfältig ausgeführt werden, denn nur dann können unkontrollierte Lüftungswärmeverluste durch Undichtigkeiten, Zugerscheinungen und auch Tauwasseranfall in der Konstruktion infolge von Durchströmungen vermieden oder zumindest minimiert werden.

Luftdicht Bauen ist auch eine Voraussetzung für den optimalen Schallschutz, denn bereits durch kleinste Öffnungen kann der Schallschutz eines Bauteils drastisch verschlechtert werden.

Das heißt, die luftdichte Hülle darf nicht unterbrochen bzw. beschädigt sein. Im Normalfall befindet sich diese Schicht auf der Innenseite (d.h. auf der warmen Seite) der wärmeumfassenden Flächen. Analog zur wärmedämmenden Gebäudehülle müssen sie das gesamt beheizte Volumen vollständig umschließen.

Bei Massivbauten stellt der Innenputz eine ausreichende Dichtheit her, bei anderen Konstruktionen werden Bahnen (meist gleichzeitig als Dampfbremsen oder -sperrern) erforderlich. Einige plattenförmige Bekleidungen wie Gipskarton-, Gipsfaser- und Faserzementplatten gelten als luftdichte Schicht in der Fläche, wenn die Stöße durch geeignete Maßnahmen abgedichtet wer-

den und auch die Anschlüsse an Nachbarbauteile durch Klebebänder, Bahnenstreifen oder ähnliches luftdicht ausgeführt werden.

Bahnen oder Platten der Luftdichtheitsschicht sollten möglichst großflächig verwendet werden, um Stoßlängen und deren Abdichtung zu minimieren. Die Stöße sind durch geeignete Maßnahmen wie dauerhafte Stoßverklebung oder Spachtelung abzudichten.

Besonderes Augenmerk ist auf Durchdringungen, Überlappungen und auf die Ausführung der Anschlüsse zu legen, da dort häufig Lecks entstehen bzw. von Anfang an vorhanden waren. Grundsätzlich müssen Durchdringungen der Gebäudehülle so weit wie möglich minimiert werden.

Fenster und Türen sind als Außenbauteile ebenfalls Bestandteile der Luftdichtheitsebene: Die Fugen zwischen der Außenseite des Blendrahmens und den umgebenden Bauteilen (Laibung) müssen luftdicht, wärmegeämmt und diffusionsdicht ausgeführt werden. Die Fugen können hierzu entweder luftdicht verfüllt oder mit einem mechanisch gesicherten dauerelastischen Anpressdichtband überdeckt werden bzw. luftdicht abgeklebt werden.

Generelle Ausführungsbeispiele zur Luftdichtheit von Gebäuden sind in der DIN 4108-7 angegeben.

In Abhängigkeit davon, ob ein Gebäude mit oder ohne raumluftechnische Anlagen ausgestattet ist, ergeben sich Anforderungen an den maximal zulässigen Luftwechsel pro Stunde.

Nach EnEV Anhang 4 sowie nach DIN 4108-7 gelten bezogen auf das beheizte oder gekühlte Luftvolumen folgende Grenzwerte:

- ohne raumluftechnische Anlagen:  $3 \text{ h}^{-1}$
- mit raumluftechnischen Anlagen:  $1,5 \text{ h}^{-1}$



### 3.1.6 Winddichtheit

Eine winddichte Schicht befindet sich konstruktiv immer auf der kalten Seite einer Konstruktion und soll verhindern, dass kalte Außenluft in die Wärmedämmschicht oder in Hohlräume eines Bauteils gelangt. Wenn Kaltluft die Dämmstoffe durchströmen kann, setzt dies in der Praxis die Wärmedämmfähigkeit der Konstruktion deutlich herab. Die winddichte Schicht darf nicht mit der Luftdichtheitsschicht verwechselt werden. Winddichte Schichten sollen immer dampfdurchlässig sein, damit Feuchte, die sich ggf. in der Konstruktion gebildet hat, ausdiffundieren kann. Eine Ausnahme bilden wasserdicht ausgeführte Unterdächer, die generell als dampfdicht gelten. Verarbeitungstechnisch lässt sich eine außen angeordnete Winddichtung einfacher einbauen als die innenliegende Luftdichtheitsebene. Winddichte Schichten sind z. B. Unterspannbahnen, Unterdeckbahnen, Unterdachbahnen, winddichte Dämmschichten (wie PUR-Elemente), Holzweichfaserplatten und Bitumenpappen. Die Winddichtigkeit ist bisher nicht genormt und deshalb keine grundsätzliche Forderung, sie wird aber mehr und mehr als allgemeiner Baustandard gefordert.

### 3.1.7 Sommerlicher Wärmeschutz

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erfolgt nach DIN 4108-2. Der sommerliche Wärmeschutz soll verhindern, dass durch die erhöhte Sonneneinstrahlung im Sommer unzumutbare Temperaturbedingungen im Innern eines Gebäudes entstehen.

Wenn Räume im Sommer wegen Überhitzung gekühlt werden müssen, benötigt man deutlich mehr Energie, als für die Beheizung der gleichen Räume im Winter. Es ist daher auch aus energetischer Sicht sinnvoll, den sommerlichen Wärmeschutz so früh wie möglich in die Planung einzubeziehen.

Folgende Faktoren haben einen Einfluss auf die Temperaturbedingungen im Inneren eines Gebäudes:

- Verglasung
  - Flächenanteil
  - Qualität (Energiedurchlassgrad / g-Wert)
  - Orientierung (O, S, W, N)
  - Neigung
- Bauweise
  - Wärmedämmfähigkeit der Außenbauteile
  - Schichtenfolge der Außenbauteile
  - Wärmespeicherfähigkeit innerer Schichten
  - Raumgrößen
- Standort
  - Klima
  - Orientierung des Gebäudes (O, S, W, N)
  - Verschattung durch umgebende Bebauung, Vegetation oder Topografie
- Sonnenschutz
  - Lage/Position (außenliegend / innenliegend / Scheibenzwischenraum)
  - Wirksamkeit ( $F_c$ -Wert)
  - Hinterlüftung
- Lüftung
  - Art
  - Luftwechsel
  - Nutzerverhalten
- interne Wärmequellen
  - Abwärme technischer Geräte
  - Personen im Gebäude
  - Beleuchtung

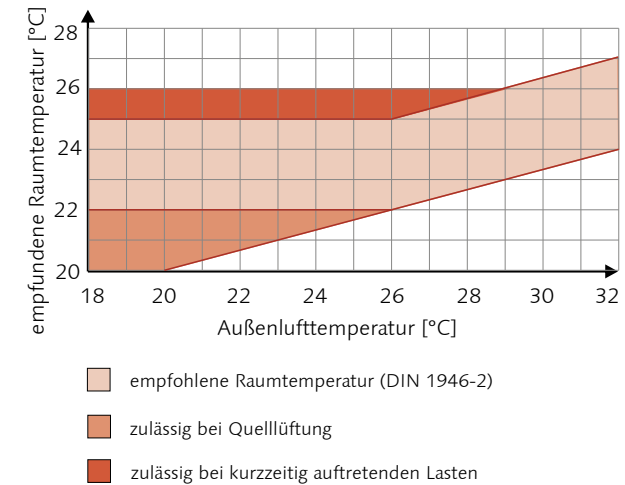


Abb. 3.1.4: Behaglichkeit nach DIN 1946-2

**Speichermassen** | Raumseitige Wärmespeichermassen wirken im Sommer ausgleichend auf das zeitlich schwankende Energieangebot der Sonne und dämpfen Temperaturunterschiede im Raum ab, wodurch die Behaglichkeit im Raum verbessert werden kann. Massive Bauteile können Überhitzungen deutlich reduzieren und Tag-Nacht-Schwankungen besser ausgleichen. Dabei werden je nach Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit der inneren Schichten nur 5 – 10 cm Bauteildicke der dem Raum zugewandten Flächen aktiviert. Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile kann durch  $C_{\text{wirk}}$  angegeben werden:

$$C_{\text{wirk}} = \sum_j (c_j \cdot \rho_j \cdot d_j \cdot A_j) \quad (j: \text{ Schicht } j)$$

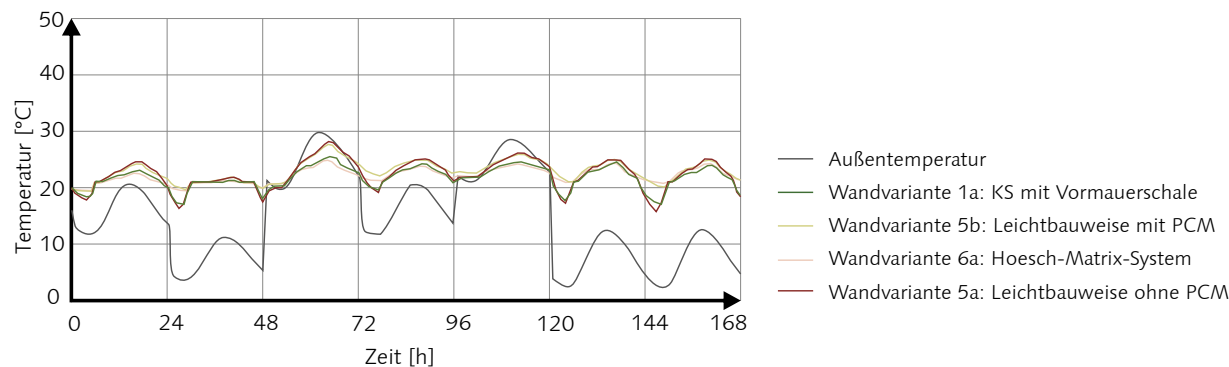
$c_j$ : spez. Wärmekapazität d. Bauteils in Schicht  $j$   
 $\rho_j$ : Rohdichte der Schicht  $j$   
 $d_j$ : wirksame Schichtdicke  
 $A_j$ : wirksame Bauteilfläche

Um die Bedeutung von thermischen Speichermassen bei hochgedämmten Gebäuden zu erfassen, wurde mit Hilfe eines Simulationsprogramms das thermische Verhalten des Musterhauses Haus 2 untersucht. Die Simulation wurde für alle entwickelten Wandaufbauten durchgeführt.

Die Abb. 3.1.5 zeigt beispielhaft das thermische Verhalten für eine Woche im Monat August für die Wandaufbauten in schwererer Bauweise mit KS-Planelementen, in Leichtbauweise, in Leichtbauweise mit PCM-Gipskartonplatten und mit Hoesch-Matrix-System.

Es ist zu erkennen, dass sowohl die Bauweise mit KS-Elementen als auch die Leichtbauweise mit PCM deutlich angenehmere Temperaturen aufweisen.

Abb. 3.1.5: Thermisches Verhalten des Musterhauses Haus 2 mit verschiedenen Wandaufbauten für eine Woche im August



Die genauen Ergebnisse der Simulation sind in Kapitel 3.4 zu finden.

Für die Gewährleistung eines akzeptablen Raumklimas im Sommer ist auch die Einhaltung des Sonneneintragskennwertes  $S_{\max}$  wichtig.

**Sonneneintragskennwert  $S_{\text{zul}}$**  | Durch Einhaltung des maximal zulässigen Sonneneintragskennwertes  $S_{\text{zul}}$  soll sichergestellt werden, dass eine bestimmte Grenzraumtemperatur an nicht mehr als 10% der Aufenthaltszeit überschritten wird.

Der maximal zulässige Sonneneintragskennwert  $S_{\text{zul}}$  ist:

$$S_{\text{zul}} = \sum S_x$$

$S_x$ : Zuschlagswert nach Tabelle 3.1.4

**Sonneneintragskennwert  $S$**  | Die Berechnung des Sonneneintragskennwertes ist in der DIN 4108-2 definiert:

$$S = \frac{\sum (A_W \cdot g_{\text{total}})}{A_G}$$

$A_W$ : Fensterfläche in  $\text{m}^2$

$g_{\text{total}}$ : Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasung einschließlich Sonnenschutz

$A_G$ : Nettogrundfläche des Raums in  $\text{m}^2$

(Summation über alle Fenster und Oberlichter im Raum)

Der Nachweis ist erfüllt wenn:

$$S \leq S_{\text{zul}}$$

Meist sind für die Einhaltung von  $S_{\text{zul}}$  Maßnahmen zur Kühlung notwendig. Dabei sollte nach Möglichkeit auf den Einsatz einer aufwändigen und energieintensiven Kühltechnik verzichtet werden. Sonnenschutzsysteme sind ein wirksames Mittel, damit  $S_{\text{zul}}$  nicht überschritten wird.





Gebäuelage bzw. Bauart, Fensterneigung und Orientierung	$S_x$
<b>Klimaregion</b>	
Gebäude in Klimaregion A (sommerkühl)	0,04
Gebäude in Klimaregion B (gemäßigt)	0,03
Gebäude in Klimaregion C (sommerheiß)	0,015
<b>Bauart</b>	
leichte Bauart: ohne Nachweis von $C_{\text{wirk}}/A_G$	$0,06 \cdot f_{\text{gew}}$
mittlere Bauart: $50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K}) \leq C_{\text{wirk}}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$	$0,10 \cdot f_{\text{gew}}$
schwere Bauart: $C_{\text{wirk}}/A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$	$0,115 \cdot f_{\text{gew}}$
<b>Erhöhte Nachtlüftung während der zweiten Nachthälfte mit <math>n \geq 1,5 \text{ h}^{-1}</math></b>	
bei mittlerer und leichter Bauart	+ 0,02
bei schwerer Bauart	+ 0,03
<b>Sonnenschutzverglasung</b>	
$g \leq 0,4$	+ 0,03
<b>Fensterneigung</b>	
$0^\circ \leq \text{Neigung} \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen)	- $0,12 \cdot f_{\text{neig}}$
<b>Orientierung</b>	
Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind	+ $0,12 \cdot f_{\text{nord}}$

Tab. 3.1.4: Zuschlagswerte zur Ermittlung des maximal zulässigen Sonneneintragskennwerts

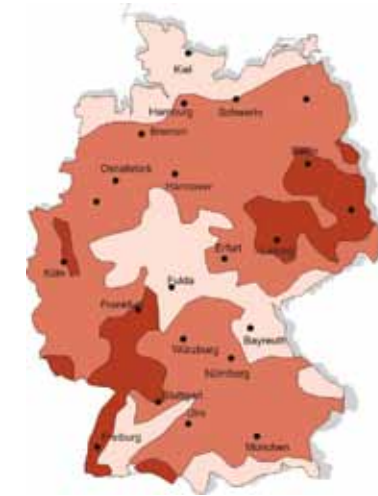


Abb. 3.1.6: Klimaregionen nach DIN 4108-2

$$f_{\text{gew}} = (A_W + 0,3 \cdot A_{AW} + 0,1 \cdot A_D) / A_G$$

- $A_W$ : Fensterfläche (einschließlich Dachfenster)
- $A_{AW}$ : Außenwandfläche (Außenmaße)
- $A_D$ : wärmeübertragende Dach- und Deckenfläche nach oben und unten gegen Außenluft, Erdreich und unbeheizte Dach- und Kellerräume
- $A_G$ : Nettogrundfläche des Raums

$$f_{\text{neig}} = A_{W,\text{neig}} / A_G$$

- $A_{W,\text{neig}}$ : geneigte Fensterfläche
- $A_G$ : Nettogrundfläche

$$f_{\text{nord}} = A_{W,\text{nord}} / A_{W,\text{gesamt}}$$

- $A_{W,\text{nord}}$ : nord-, nordost-, nordwestorientierte Fensterfläche soweit Neigung  $> 60^\circ$
- $A_{W,\text{gesamt}}$ : gesamte Fensterfläche des Raums

3.1

**Sonnenschutzvorrichtungen** | Sonnenschutzvorrichtungen sollen die direkte solare Einstrahlung aber auch den diffusen und den reflektierten Anteil der Strahlung reduzieren. Gleichzeitig sollen sie jedoch eine maximale Tageslichtausbeute gewährleisten.

	Musterhaus Haus 2			
	h über 25°C	h über 27°C	h über 29°C	Max. Temp [°C]
Variante 1a	332	29	4	29,4
Variante 5a	719	209	42	31,0
innenliegender Sonnenschutz	112	1	0	27,1
innenliegender Sonnenschutz	483	71	2	29,1
außenliegender Sonnenschutz	12	0	0	25,4
außenliegender Sonnenschutz	209	0	0	26,7
Sonnenschutzglas $g = 0,4$	24	0	0	26,1
Sonnenschutzglas $g = 0,4$	298	28	0	28,3

Tab. 3.1.5: Simulation der Raumtemperaturen im Sommer am Beispiel des Musterhauses Haus 1, Stunden über 25°C, 27°C und 29°C

Es gibt vielfältige Ausführungen von Sonnenschutzsystemen, die sich hinsichtlich vieler Faktoren wie z. B. ihrer Lage, Beweglichkeit, Anordnung und usw. unterscheiden.

Um die Wirksamkeit von unterschiedlichen Sonnenschutzmaßnahmen zu prüfen, wurde das thermische Verhalten im Sommer am Beispiel des Musterhauses Haus 2 (Ost-West-Orientierung) simuliert.

Legende Tabelle

- Wandaufbau Variante 1a (KS-Planelement mit Vormauerschale, siehe 3.4 Wandaufbauten)
- Wandaufbau Variante 5a (Leichtbauweise mit Vormauerschale, siehe 3.4 Wandaufbauten)

Vergleichend wurden für die Simulation die schwerere Bauweise mit KS-Planelementen (Variante 1a) und die Leichtbauweise (Variante 5a) unter unterschiedlichen Bedingungen gewählt. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 3.1.5.

Es ist deutlich erkennbar, dass die Leichtbauweise trotz Sonnenschutzmaßnahmen erhöhte Raumtemperaturen aufweist. Die Tabelle verdeutlicht das grundsätzliche Problem eines innenliegenden Sonnenschutzes: Die Wärmestrahlung ist bereits als sogenannte thermische Last im Gebäudeinneren angelangt. Idealerweise müsste die warme Luft zwischen Scheibe und Sonnenschutz technisch abgelüftet werden. Da dies bei Wohnhäusern meist nicht der Fall ist, ist der Wirkungsgrad des innenliegenden Sonnenschutzes im Vergleich zu den anderen Maßnahmen eindeutig geringer.

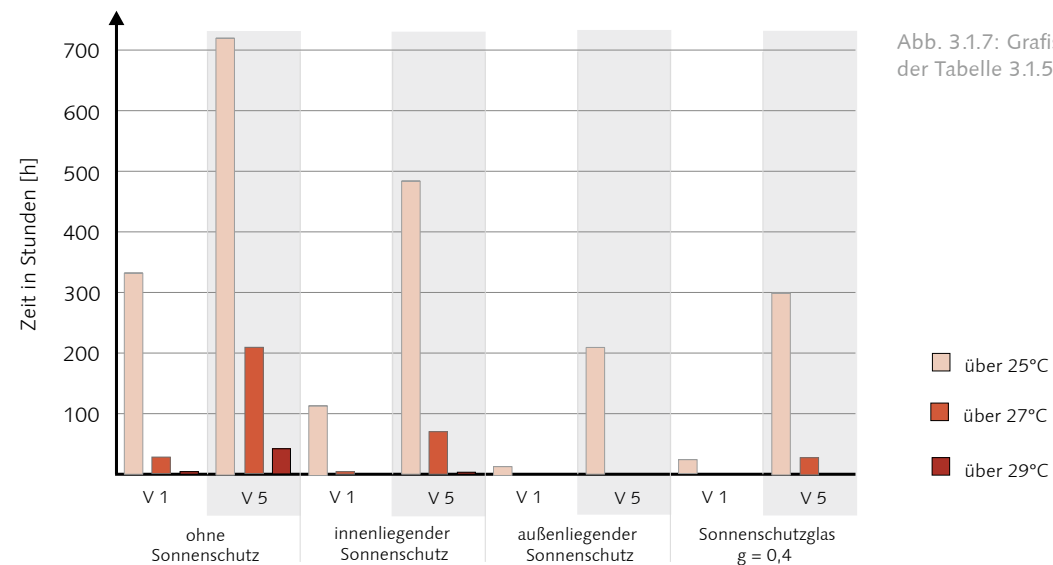


Abb. 3.1.7: Grafische Darstellung der Tabelle 3.1.5



Für das Musterhaus Haus 2 konnte der außenliegende Sonnenschutz die thermische Last am besten reduzieren.

Die höhere Wirksamkeit eines außenliegenden Sonnenschutzes gegenüber eines innenliegenden Sonnenschutzes in Bezug auf die thermische Last

gilt als allgemein bekannt und ist unumstritten. Die Entscheidung über die Lage der Sonnenschutzvorrichtung für ein bestimmtes Objekt kann jedoch nicht pauschalisiert werden. Viele Faktoren können die Wahl beeinflussen. Dazu gehören neben den bauphysikalischen Vorgängen natür-

lich auch die Kosten, ortsgebundene klimatische Verhältnisse oder auch Auflagen hinsichtlich der Fassadengestaltung (Denkmalschutz). Gegebenenfalls können natürlich auch Maßnahmen wie die Verwendung von Sonnenschutzglas und innenliegender bzw. außenliegender Sonnenschutz kombiniert werden.

**$F_c$  - Wert** | Der  $F_c$ -Wert ist ein Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen. Je geringer der Wert ist, umso größer ist die Abminderung der Sonneneinstrahlung durch den Sonnenschutz. So sagt z. B. ein Wert von 0,3 aus, dass noch 30 % der Sonnenenergie in das Gebäude eindringen können.

In DIN 4108-2 sind typische  $F_c$ -Werte für Sonnenschutzvorrichtungen angegeben, die in der Planung verwendet werden können. Sie sind in Tabelle 3.1.6 aufgeführt.

Sonnenschutzvorrichtung	$F_c$
<b>ohne Sonnenschutz</b>	1,0
<b>innenliegend / zwischen den Scheiben:</b>	
weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz	0,75
helle Farben oder geringe Transparenz	0,8
dunkle Farbe oder höhere Transparenz	0,9
<b>außenliegend :</b>	
drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25
Jalousien und Stoffe mit geringer Transparenz	0,25
Jalousien, allgemein	0,4
Rollläden, Fensterläden, feststehende oder drehbare Lamellen	0,3
Vordächer, Loggien	0,5
Markisen, oben und seitlich ventiliert	0,4
Markisen, allgemein	0,5

Tab. 3.1.6: Abminderungsfaktoren  $F_c$  gemäß DIN 4108-2

## 3.2 Feuchteschutz

Feuchteschutz gehört zu den substanziell wichtigsten Themen bauklimatischer Untersuchungen. Die Aufgaben des Feuchteschutzes liegen zum einen in der Vermeidung von Tauwasser in Außenbauteilen sowie auf raumseitigen Oberflächen, zum anderen im Wetterschutz einer Konstruktion und in der Abdichtung erdberührter Bauteile. Durch entsprechende Maßnahmen soll die Schaffung von behaglichen, trockenen Räumen als wichtiges Ziel im Wohnungsbau gewährleistet werden. Räume mit feuchten Bauteilen sind unbehaglich und hygienisch nicht akzeptabel. Doch nicht nur das Raumklima und die Raumhygiene leiden unter erhöhten Feuchtesituationen. Feuchte Bauteile bieten optimale Bedingungen für Pilzbefall und Schimmel, was gesundheitsgefährdend sein kann. Zusätzlich ist ein größerer Aufwand an Heizenergie erforderlich, da Feuchte die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe erhöht und dadurch die Transmissionswärmeverluste größer sind. Zu guter letzt kann es durch Fäulnis, Korrosion oder Gefügesprengungen bei Frost zur Zerstörung des Baustoffs kommen.

Bauteile werden nie zu 100 % trocken. Eine Restfeuchte verbleibt immer. Diese Restfeuchte wird als Sorptionsfeuchte oder praktischer Feuchtegehalt bezeichnet und ist in der DIN 4108-4 angegeben.

Für das rasche Puffern von Luftfeuchteschwankungen, zum Beispiel in einer Wohnung mit stark wechselnder Feuchtebelastung, sorgt die Sorptionsfähigkeit von Oberflächenmaterialien der raumumfassenden Flächen und der Einrichtungsgegenstände. Unter Sorption versteht man das Anlagern von Wassermolekülen an der inneren (Baustoff-)

Oberfläche in Porenräumen. Sie ist abhängig von der relativen Feuchte der umgebenden Luft und von der Porenstruktur des Baustoffs. Die meisten Materialien sind sorptionsfähig; das heißt, bei diesen Stoffen steigt oder sinkt die Materialfeuchte in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte der Umgebung, bis zwischen beiden das hygroskopische Gleichgewicht hergestellt ist. Hygroskopische Stoffe (hydrophil und feinporig mit großer innerer Oberfläche) können wesentlich größere Wassermengen aufnehmen und wieder abgeben als nicht hygroskopische Stoffe (hydrophob oder hydrophil mit geringer innerer Oberfläche). Demnach können hygroskopische Baustoffe wie Lehm, Kalk und Holz an Wand- und Deckenoberflächen als Feuchtepuffer dienen.

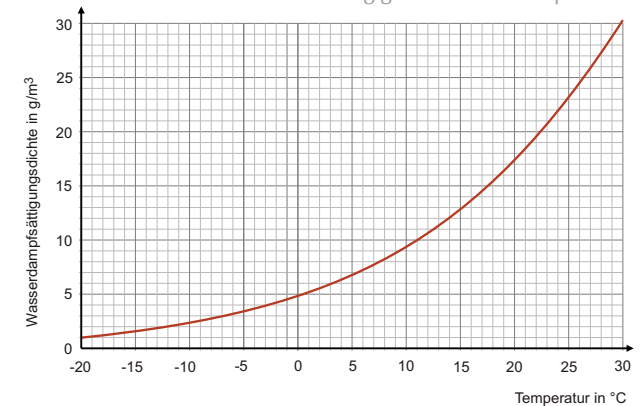
Durch die kapillare Leitfähigkeit kann Feuchte flüssig innerhalb des Bauteils transportiert werden. Die Geschwindigkeit ist hier ebenfalls abhängig von der Porenstruktur des Baustoffs. Dabei wandert das Kapillarwasser immer zur trockenen Seite hin, um dort zu verdunsten. Ein weiterer Transportmechanismus ist die Wasserdampfdiffusion. Sie wird durch Dampfdruckunterschiede zwischen dem Raum- und Außenklima hervorgerufen. Dabei durchdringt Wasserdampf das Außenbauteil und kann bei vorhandenem Temperaturgefälle auch zu Tauwasserbildung im bauteilinneren führen.

### 3.2.1 Grundbegriffe

**Luftfeuchte** | Die Wasseraufnahmefähigkeit der Luft nimmt mit steigender Temperatur stark zu. Das heißt, zu jeder Lufttemperatur gehört ein maximaler Feuchtegehalt, die Sättigungsfeuchte  $c_s$ . So kann zum Beispiel 20°C warme Luft maximal

17,29 g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen, 5°C warme, Luft hingegen nur 6,79 g/m<sup>3</sup>. Die Sättigungsfeuchte liegt bei diesen Konstellationen folglich bei 100 %. In der Bauphysik ist es üblich, die in der Luft enthaltene Wasserdampfmenge durch den Wasserdampfpartialdruck  $p$  anzugeben. Bei vollständiger Sättigung spricht man demzufolge vom Wasserdampfsättigungsdruck  $p_s$ . Die Werte des Wasserdampfsättigungsdruckes  $p_s$  in Abhängigkeit von der Lufttemperatur sind in der DIN 4108-3, Tabelle A.2 zu finden.

Abb. 3.2.1: Maximale Wasseraufnahmefähigkeit der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur



**Tauwasser** | Kühlt sich die Luft bei konstantem Gesamtluftdruck (konstante Feuchtekonzentration) ab, wird ab einer bestimmten Temperatur der Wasserdampfpartialdruck gleich dem zugehörigen Sättigungsdruck und es beginnt Tauwasser auszufallen. Dies gilt sowohl in Luft als auch in porösen Baustoffen.

**Wasserdampfdiffusion** | Unter Wasserdampfdiffusion ist der Feuchte-transport durch Bauteile aufgrund der zuvor beschriebenen unterschied-



lichen Wasserdampfpartialdrücke von Innen- und Außenklima zu verstehen. Der  $\mu$ -Wert (Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl) eines Baustoffes spielt dabei eine entscheidende Rolle. Er gibt den Diffusionswiderstand einer Baustoffschicht in Relation zu einer gleich dicken, ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur an. Der konkrete Wasserdampfdiffusionswiderstand einer Baustoffschicht ergibt sich aus dem  $\mu$ -Wert und der Schichtdicke und wird als wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d = \mu \cdot d$  [m] bezeichnet. Bei mehrschichtigen Bauteilen werden die  $s_d$ -Werte der einzelnen Schichten addiert.

Nach DIN 4108-3 werden Bauteilschichten nach ihrer Diffusionsoffenheit charakterisiert:

- diffusionsoffen, wenn  $s_d \leq 0,5$  m
- diffusionshemmend, wenn  $0,5 < s_d < 1500$  m
- diffusionsdicht, wenn  $s_d \geq 1500$  m

### 3.2.2 Tauwasserschutz

Eine Außenwandkonstruktion kann auf 2 Arten durch Tauwasser gefährdet werden:

- durch Tauwasserbildung auf der inneren Wandoberfläche (siehe auch Vermeidung von Schimmelbildung)
- durch Tauwasserbildung innerhalb des Bauteilquerschnitts

Die Kondensation auf der inneren Oberfläche muss unter allen Umständen vermieden werden was durch die Einhaltung des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 geschieht. Eine ausreichende Wärmedämmung des Bauteils verhindert, dass die Temperatur der raumseitigen Oberfläche unter die Taupunkttemperatur der Raumluft sinkt. Laut DIN 4108-3 ist eine Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen in der Regel unschädlich,

wenn die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

- Die Baustoffe, die mit dem Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht geschädigt werden (z. B. durch Korrosion, Pilzbefall).
- Das während der Tauperiode im Inneren des Bauteiles anfallende Wasser muss während der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgegeben werden können.
- Bei Dach- und Wandkonstruktionen darf eine flächenbezogene Tauwassermasse  $m_{w,T}$  von insgesamt  $1000 \text{ g/m}^2$  grundsätzlich nicht überschritten werden. Dies gilt jedoch nicht für das Auftreten von Tauwasser an Schichten, die kapillar nicht wasseraufnahmefähig sind. Hier darf die flächenbezogene Tauwassermasse  $m_{w,T}$  einen Wert von  $500 \text{ g/m}^2$  nicht überschreiten.
- Bei Holz ist eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehalts um mehr als 5 %, bei Holzwerkstoffen um mehr als 3 % unzulässig.

Raumseitig diffusionshemmende Schichten in Form von Dampfbremsen und -sperrern können eine unkontrollierte Wasserdampfkondensation innerhalb der Konstruktion vermeiden. Sie werden dann eingesetzt, wenn zuviel Tauwasser ausfällt oder wenn dieses während der Verdunstungsperiode nicht vollständig austrocknen kann. Tauwasserbildung innerhalb des Bauteilquerschnitts sowie dessen Vermeidung und dazugehörige Berechnungsformeln sind Gegenstand der DIN 4108-3.

Diffusionshemmende Schichten sind praktisch bei allen wärmegeämmten Dachaufbauten, bei den meisten gedämmten Außenwänden im Holz- und Stahlskelettbau und bei innengedämmten Konstruktionen notwendig, da hier der Wasserdampfdiffusionswiderstand der einzelnen Schichten von

innen nach außen nicht ausreichend abnimmt. Denn im Idealfall sollte der Diffusionswiderstand eines Bauteils von innen nach außen abnehmen, damit eingedrungene Feuchtigkeit nach außen abgeführt werden kann. Deshalb muss in Fällen, bei denen eine diffusionsdichte, nicht hinterlüftete Außenhaut (siehe Wandaufbau Hoesch-Matrix-System) vorliegt, warmseitig der Konstruktion eine absolute Dampfsperre eingebaut werden. Diffusionshemmende Schichten können mit Luftdichtheitsschichten kombiniert werden. Damit eine Dampfbremse auch luftdicht ist, muss auf eine saubere Verklebung der Überlappungen, sowie auch der Randanschlüsse geachtet werden.

### 3.2.3 Vermeidung von Schimmelbildung

Für Bauteile mit Wärmebrücken ist zur Vermeidung von Schimmelbildung an den Innenoberflächen die niedrigste Temperatur der raumseitigen Oberfläche an der Wärmebrücke maßgebend. Hier muss der Temperaturfaktor  $f_{Rsi} \geq 0,7$  sein.

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{si} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} \geq 0,7$$

- $\Theta_{si}$  : Oberflächentemperatur
- $\Theta_i$  : Innenlufttemperatur
- $\Theta_e$  : Außenlufttemperatur

Randbedingungen:

- $\Theta_i = 20^\circ\text{C}$ ,  $F = 50$  % rel. Feuchte
- $\Theta_e = -5^\circ\text{C}$

Das heißt, die Oberflächentemperatur darf an der kältesten Stelle nicht unter  $12,6^\circ\text{C}$  sinken. (Für den rechnerischen Nachweis s. DIN 4108-2)

Die Tauwasserbilanz-Berechnungen nach dem Glaserverfahren wurden für alle entwickelten Wandaufbauten durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3.4 zu finden.

### 3.2.4 Regenschutz

Der Regenschutz ist die Voraussetzung für den Wärmeschutz.

Die klimatischen Bedingungen, denen ein Gebäude ausgesetzt ist, sind je nach geografischer örtlicher Lage sehr unterschiedlich. Die Jahresniederschlagsmengen und die damit verbundenen Schlagregenbeanspruchung finden in der DIN 4108-3 ihre Berücksichtigung und werden in drei Beanspruchungsgruppen eingeteilt:

- I: Jahresniederschlagsmenge < 600 mm; geringe Schlagregenbeanspruchung
- II: Jahresniederschlagsmenge = 600 – 800 mm; mittlere Schlagregenbeanspruchung
- III: Jahresniederschlagsmenge > 800 mm; starke Schlagregenbeanspruchung

Schlagregenschutz kann durch konstruktive Maßnahmen gewährleistet werden. Bei Putzen hängt die Regenbeanspruchung hängt dabei im Wesentlichen vom Wasseraufnahmekoeffizienten  $w$  und von der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke  $s_d$  der äußeren Schicht der Außenwand ab. Die oben erwähnten Beanspruchungsgruppen berücksichtigen diese beiden Faktoren hinsichtlich der Anforderungen an Außenputz, -bekleidungen und -wandaufbauten (siehe Tabelle 3.2.1). Der Schlagregenschutz eines Gebäudes muss auch im Bereich von Fugen und Anschlüssen gewährleistet sein.

Beanspruchungsgruppe I	Beanspruchungsgruppe II	Beanspruchungsgruppe III
Außenputz ohne besondere Anforderungen an den Schlagregenschutz nach DIN 18550-1 auf:	wasserhemmender Außenputz nach DIN 18550-1 auf:	wasserabweisender Außenputz nach DIN 18550-1 bis -5 oder Kunstharzputz nach DIN 18558 auf:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Außenwänden aus Mauerwerk, Wandbauplatten, Beton o.ä.</li> <li>• Holzwohle- und Mehrschicht-Leichtbauplatten nach DIN 1101, ausgeführt nach DIN 1102</li> </ul>		
		Mehrschaliges Verblendmauerwerk nach DIN 1053-1 mit Luftschicht und Wärmedämmung oder mit Kerndämmung (mit Innenputz)
Außenwände mit in Dickbett oder Dünnbett angemörtelten Fliesen oder Platten nach DIN 18515-1		Außenwände mit in Dickbett oder Dünnbett angemörtelten Fliesen oder Platten nach DIN 18515-1 mit wasserabweisendem Ansetzmörtel
Wände mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen nach DIN 18516-1, 18516-3 u. 18516-4		
Wände mit Außendämmung durch ein Wärmedämmputzsystem nach DIN 18550-3 oder durch ein zugelassenes Wärmedämmverbundsystem		
Außenwände in Holzbauart mit Wetterschutz nach DIN 68800-2, Abschnitt 8.2		

Tab. 3.2.1: Schlagregenbeanspruchung nach DIN 4108

Es bestehen jedoch nicht nur Anforderungen an Fassaden hinsichtlich des Niederschlags. Fassaden sind auch großen Temperaturschwankungen, Abgasbelastungen und andauernder UV-Strahlung ausgesetzt. Hier sind natürlich auch alle Dichtstoffe und Fugenmaterialien mit einzubeziehen. Um Wasser oder Immissionen nicht hinter äußere

Abdichtungen gelangen zu lassen, muss diese den Belastungen dauerhaft standhalten und Bewegungen in der Fassade, die durch Temperaturschwankungen verursacht werden, ausgleichen. Eine hohe UV- Alterungsbeständigkeit der äußeren Schale trägt dazu bei, aufwändige Wartungs- und Renovierungsarbeiten zu vermeiden.



### 3.3 Schallschutz

Lärmbelastigungen können das Wohlbefinden des Menschen stark beeinträchtigen. Daher sind schalldämmende Maßnahmen, die heute bautechnisch einfach und wirtschaftlich ausgeführt werden können, unerlässlich.

Die für den Schallschutz zuständige Norm ist die DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“. Sie fixiert die Mindestanforderungen, allerdings sollten bei dem heutigen Stand der Technik wenigstens die Anforderungen an den erhöhten Schallschutz (DIN 4109-2) eingehalten werden.

#### 3.3.1 Grundbegriffe

Ein wichtiges Maß für das Schallempfinden ist der Schalldruckpegel. Er ist ein logarithmisches Maß, da das menschliche Ohr eine große Schallbreite wahrnimmt. Die Verdoppelung des Schalls entspricht somit nicht einer Verdoppelung des Schallpegels, sondern einer Addition von  $10 \cdot \log 2$ . Das bedeutet, dass schon ein Anstieg von nur 3 dB als Verdoppelung der Lautstärkeempfindung wahrgenommen wird.

Der Schallschutz von Bauteilen wird durch verschiedenen Schallbeanspruchungen – Luft- und Körperschallschutz und Flankenübertragung – bestimmt.

Die wichtigsten Kenngrößen hierfür sind:

- Luftschall: erforderl. Schalldämm-Maß  $R'_w$
- Trittschall: erforderl. Normtrittschallpegel  $L'_{n,w}$
- Haustechnische Anlagen:

Installationsschallpegel  $L'_{in}$   
 Armaturengeräuschpegel  $L'_{ap}$   
 max. Schalldruckpegel  $L'_{AF,max}$

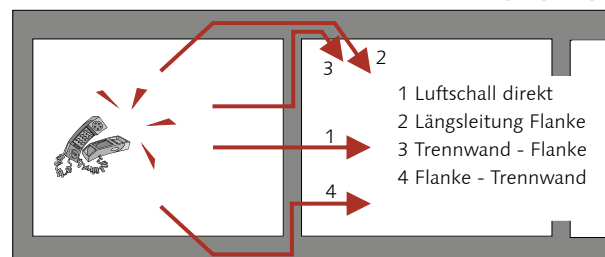
**Luftschallübertragung** | Beim Luftschall treffen die Schallwellen der Luft auf Bauteile und regen diese zu Schwingungen an, die auf der anderen Seite wieder an die Luft weitergegeben werden.

**Körperschallübertragung** | Beim Körperschall werden feste Körper mechanisch angeregt und die Schallwellen pflanzen sich in diesen festen Körpern fort. Eine Form des Körperschalls ist der Trittschall. Er wird zum einen als Körperschall über die Decke und die angrenzenden Bauteile weitergeleitet, zum anderen aber auch nach dem Durchdringen der Deckenkonstruktion als Luftschall in darunter liegende Räume abgestrahlt.

Wenn ein Bauteil durch Luft- oder Körperschall angeregt wird, bewirkt dies in benachbarten Räumen stets eine Luftschallabstrahlung. Aufgabe der Bauakustik ist es, diese durch eine gute Schalldämmung der Bauteile so gering wie möglich zu halten.

**Flankenübertragung / Schalllängsleitung** | Bei der Schallübertragung darf nicht nur der direkte Weg durch trennende Wand- oder Deckenflächen betrachtet werden. Zwischen den einzelnen Räumen pflanzt sich der Schall auch über angrenzende (flankierende) Bauteile fort. Man spricht von Flankenübertragung.

Abb. 3.3.1: Schallübertragungswege



In der Abb. 3.3.1 sind die Luftschallübertragungswege zwischen benachbarten Räumen schematisch dargestellt. Der Einfluss der Flankenübertragung ist je nach Beschaffenheit (einschalig/zweischalig, siehe folgende Seiten) des flankierenden Bauteils unterschiedlich groß.

Da bis zu 50 % der übertragenen Schallenergie auf Flankenwegen in benachbarte Räume gelangen kann, sind bei der Einhaltung des geforderten Schallschutzes unbedingt die konstruktiven Eigenschaften der flankierenden Bauteile und deren Einbindung zu berücksichtigen.

Ein guter Schallschutz ist nur über eine hohe Direktdämmung und eine akustisch einwandfreie Anbindung der Flankenbauteile zu erreichen.

Neben der Flankenschallübertragung ergeben sich oft zusätzliche Schallübertragungswege durch Öffnungen, z. B. bei Rohrdurchführungen, Schächten oder Kanälen. Gemeinsam mit den Flankenwegen bezeichnet man alle diese zusätzlichen Übertragungswege als Nebenwege.

#### 3.3.2 Luftschalldämmung

Die Kenngröße für die Luftschalldämmung ist das bewertete Schalldämm-Maß  $R'_w$  [dB]. Es bildet den Mittelwert des frequenzabhängig steigenden Bauschalldämm-Maßes  $R'$ .

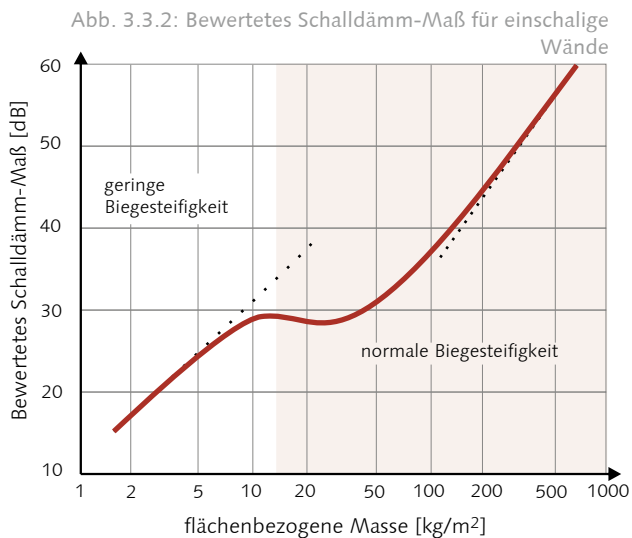
Für den im Bauwesen maßgeblichen Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz gibt  $R'_w$  das Schalldämmvermögen eines Bauteils unter Berücksichtigung der Schallübertragung über flankierende Bauteile an.

Bei Anforderungen an die Schalldämmung wird grundsätzlich zwischen der einschaligen und der zweischaligen Bauweise unterschieden.

### 3.3.3 Einschalige Bauteile

Akustisch gesehen werden Wände dann als einschalig betrachtet, wenn sie bei Schallanregung als Ganzes schwingen. Die Wände können dabei durchaus aus mehreren Schichten bestehen, wenn diese fest miteinander verbunden sind und sich die Schichten schalltechnisch gesehen ähnlich verhalten. Dieses ist z. B. bei verputztem Mauerwerk oder bei Mauerwerk mit vollflächig verklebten Gipskartonplatten der Fall – hier spricht man in der Akustik von einschaligen Wänden.

Bei einschaligen Wänden ist der Schallschutz in erster Linie von der Masse abhängig. Die flächenbezogene Masse  $m'$  (Schichtdicke  $\cdot$  Rohdichte) einer Wand nimmt sowohl mit der Wandstärke als auch mit steigender Rohdichte zu (siehe Abb.3.3.2). Der Schallschutz wird dadurch verbessert.



Allerdings können unterschiedliche Baustoffe bei gleicher flächenbezogener Masse zu voneinander abweichenden Schalldämm-Maßen führen, wenn die Baustoffe Hohlräume – wie z. B. bei Hochlochziegeln – enthalten. Hohlräume und dünne Stege bilden resonanzfähige Systeme, welche – ähnlich wie die Schallbrücken – bis zu 10 dB niedriger bewertete Schalldämm-Maße bewirken können. Wie oben erwähnt, ist das bewertete Schalldämm-Maß dann noch abhängig von den flankierenden Bauteilen, wofür üblicherweise noch ein Abschlag von  $-2$  dB ausgesetzt wird.

DIN 4109 -1 unterscheidet bei den Wandrohdichten für Mauerwerk zwischen der Verwendung von Normalmörtel und Leichtmörtel. Die entsprechenden Werte für die Rohdichte sind in Tabelle 3.3.1 aufgelistet.

Anhand dieser Werte kann das bewertete Schalldämm-Maß  $R'_{w}$  [dB] für einschalige biegesteife Mauerwerke nach der Umrechnung der Wandrohdichte  $[\text{kg}/\text{m}^3]$  in die flächenbezogene Masse  $m'$   $[\text{kg}/\text{m}^2]$  (= Wandrohdichte  $\cdot$  Wandstärke) ermittelt werden.

Ergänzend werden in der DIN auch die Werte für unterschiedliche Wandputze angegeben. Diese Rechenwerte für das bewertete Schalldämm-Maß (Tab. 3.3.1) setzen voraus, dass die Wände ohne Fehlstellen, d. h. vollfugig und rissfrei ausgeführt werden.

Stein-/Platten-rohdichte	Wandrohdichte $[\text{kg}/\text{m}^3]$	
	Normalmörtel	Leichtmörtel
2200	2080	1940
200	1900	1770
1800	1720	1600
1600	1540	1420
1400	1360	1260
1200	1180	1090
1000	1000	950
900	910	860
800	820	770
700	730	680
600	640	590
500	550	500
400	460	410

Tab. 3.3.1: Wandrohdichten nach DIN 4109-1





Einschalige biegesteife Wände	
Flächenbezogene Masse $m'$	Bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$
[kg/m <sup>2</sup> ]	[dB]
85	34
90	35
95	36
105	37
115	38
125	39
135	40
150	41
160	42
175	43
190	44
210	45
230	46
250	47
270	48
295	49

Einschalige biegesteife Wände	
Flächenbezogene Masse $m'$	Bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$
[kg/m <sup>2</sup> ]	[dB]
320	50
350	51
380	52
410	53
450	54
490	55
530	56
580	57
630	58
680	59
740	60
810	61
880	62
960	63
1040	64

Tab. 3.3.2: Bewertetes Schalldämm-Maß für einschalige biegesteife Wände

### 3.3.4 Zweischalige Bauteile

Zweischalige Bauteile wirken schwingungstechnisch wie ein Masse – Feder – Masse – System (Abb. 3.3.3) und sind resonanzfähig. Hier spielen neben dem Flächengewicht auch Art und Dicke der Schalen, der Schalenabstand und das Kernmaterial eine Rolle.

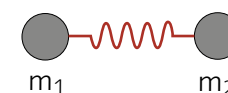


Abb. 3.3.3: Masse-Feder-Masse-System zweischaliger Bauteile

Praktisch gesehen kann die Ausführung dieser Bauteile wie folgt aussehen:

- zwei schwere biegesteife Schalen
- zwei biegeweiche Schalen
- eine schwere biegesteife Schale und eine biegeweiche Vorsatzschale

Die Zwischenschicht kann sowohl aus Luft, aus lose schallschluckenden Einlagen oder aus Dämmschichten im vollflächigen Verbund mit beiden Schalen bestehen. Hier beeinflussen der Schalenabstand, der Strömungswiderstand bzw. die dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht die Schalldämmung. Die dynamische Steifigkeit beschreibt dabei die Federwirkung des zwischen beiden Massen eingeschlossenen Luftpolsters und/oder des Dämmstoffs.

Gute Schalldämmungen werden mit Füllungen hoher Strömungswiderstände bzw. geringer Steifigkeit erreicht, wie sie bei Faserdämmstoffen üblich sind.

Das mit einer doppelschaligen Konstruktion erreichbare bewertete Schalldämm-Maß  $R'_{w}$  ist um so höher, je tiefer die Resonanzfrequenz  $f_0$  (Eigenfrequenz) der Wand ist.

**Resonanzfrequenz (Eigenfrequenz)  $f_0$**  | Die Resonanzfrequenz charakterisiert das Schwingungsverhalten von Masse-Feder-Masse-Systemen. Die Resonanz einer Wand stellt sich dann ein, wenn die Anregefrequenz der Schallquelle mit der Resonanz- bzw. Eigenfrequenz der Wand übereinstimmt. Die Schwingung der angeregten zweischaligen Wand erreicht ihren Maximalwert: Beide Schalen schwingen unter Zusammendrückung der als Feder wirkenden Zwischenschicht mit der größten Amplitude gegeneinander. Das Schalldämm-Maß erreicht dann sein Minimum.

Das nebenstehende Diagramm zeigt für zweischalige Bauteile die Abhängigkeit des Schalldämm-Maßes vom Schalenabstand und von der Frequenz des Schalls. Der Einbruch des Schalldämm-Maßes im Resonanzfrequenzbereich ist deutlich ablesbar. Da beim Schallschutz im Bauwesen hauptsächlich Frequenzen von 100 – 3150 Hz eine Rolle spielen, sollte die Resonanzfrequenz  $f_0$  deshalb möglichst niedrig gehalten werden. Als Anhaltspunkt kann ein Wert von  $f_0 < 85$  Hz angenommen werden (siehe Tabellen 3.3.3 und 3.3.4).

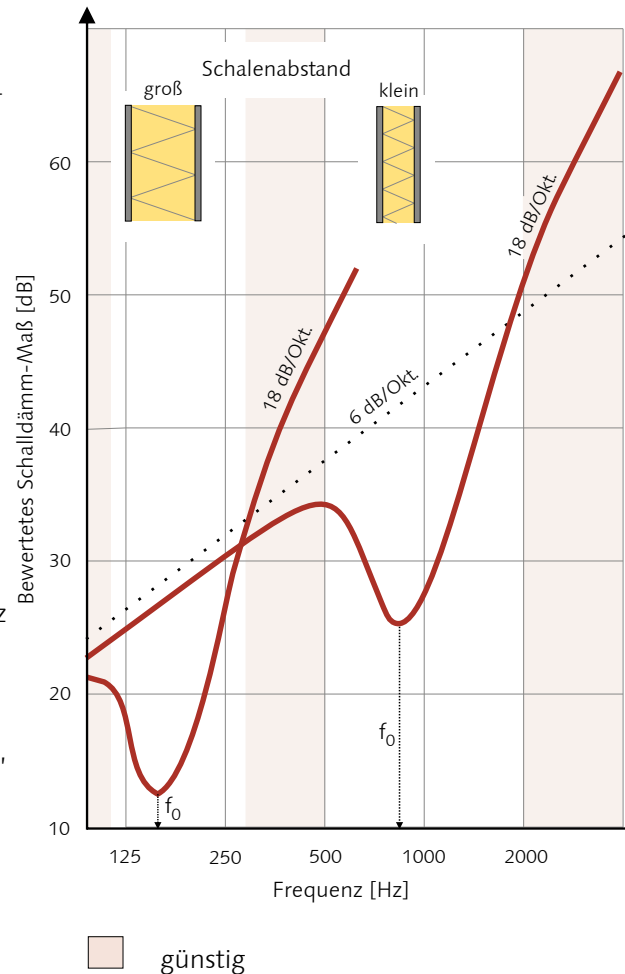


Abb. 3.3.4: Schalldämm-Maß zweischaliger Bauteile

**Grenzfrequenz  $f_g$**  | Die Grenzfrequenz hat ebenfalls Bedeutung bei der Schalldämmung von Bauteilschalen. Im Allgemeinen nimmt die Schalldämmung von Bauteilschalen mit steigender Frequenz des Schalls stetig zu.

Bei schräg auftreffenden Schallwellen ist es jedoch möglich, dass die Spur der Luftschallwelle mit der Biegewelle der Bauteilschale übereinstimmt. Dadurch wird die Bauteilschale stark zur Schwingung angeregt, wodurch das Schalldämm-Maß im betreffenden Frequenzbereich deutlich einbricht. Diesen Einfluss nennt man Koinzidenz- oder Spuranpassungseffekt. Die tiefste Frequenz, bei der dieser Effekt möglich ist, wird Grenzfrequenz genannt.

Die Grenzfrequenz wird wie folgt berechnet:

$$f_g = \frac{C}{d} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E}} \text{ [Hz]}$$

$C$  = 64 nach Literatur (Messungen)

$C$  = 60 nach DIN 4109 (sicher für biegeweich)

$d$ : Bauteildicke [m]

$\rho$ : Rohdichte [ $\text{kg/m}^3$ ]

$E$ : E-Modul (dynamischer) [ $\text{MN/m}^2$ ]

Mit Hilfe der Grenzfrequenz  $f_g$  lassen sich Bauteile (Platten, Einzelschalen) in biegesteife und biege- weiche Schalen unterteilen:

- $f_g < 100$  (200) Hz biegesteif (ausreichend biegesteif)
- $f_g > 2000$  (1500) Hz biegeweich (ausreichend biegeweich)

Die möglichen Ausführungen sind im Folgenden erläutert.



**Zwei schwere biegesteife Schalen** | Zweischalige Wände aus zwei schweren biegesteifen Schalen (Abb. 3.3.5) werden vorzugsweise im Bereich von Gebäudetrennfugen ausgebildet. Sie können aber auch als Wohnungstrennwand im Geschosswohnungsbau oder in Gebäuden mit besonders hohen Anforderungen an die Schalldämmung eingesetzt werden. Eine akustische Kopplung der beiden Schalen durch Mörtelbrücken, durchlaufende Decken oder ähnliches muss unbedingt vermieden werden.

Abb. 3.3.5: Beispiele für zwei schwere biegesteife Schalen



**Zwei biegeweiche Schalen** | Wände aus zwei biegeweichen Schalen ermöglichen bei richtiger Dimensionierung mit geringstmöglicher Masse eine hohe Schalldämmung. Aufgrund der Schichtdicke der Schalen ist hier meist eine Tragkonstruktion erforderlich, welche aber nicht als Schallbrücke zwischen beiden Schalen fungieren darf. Eine besonders hohe Schalldämmung lässt sich z. B. mit getrennten Ständern für jede Wandschale bei Leichtbauwänden erzielen. Profilierte Stahltragkonstruktionen sind aufgrund der besseren elastischen Eigenschaften meist günstiger als Holzkonstruktionen. Ein Beispiel für diesen Wandtyp sind leichte nicht-tragende Innenwände. Ausführungsbeispiele sind in der Abbildung 3.3.6 dargestellt.

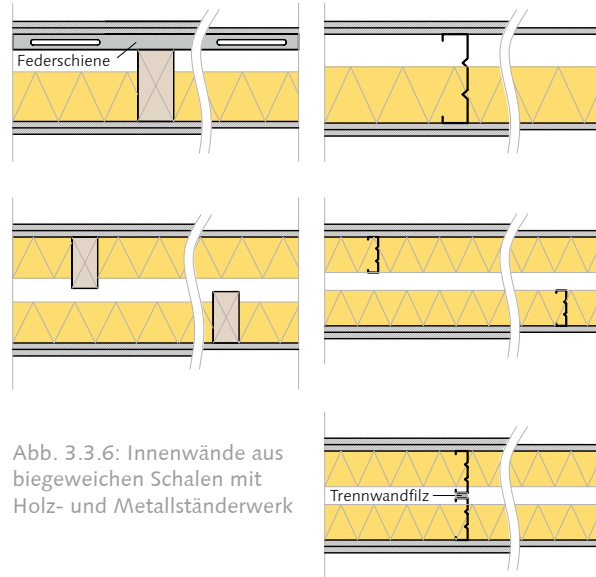


Abb. 3.3.6: Innenwände aus biegeweichen Schalen mit Holz- und Metallständerwerk

Tab. 3.3.3: Anhaltswerte für niedrige Resonanzfrequenzen

Anhaltswerte damit $f_0 < 85$ Hz	
Zwischenraum	2 biegeweiche Schalen
a) Einlage, lose	$m' \cdot d \geq 1$
b) Einlage, vollflächiger Verbund	$\frac{s'}{m'} < 0,14$

- $m'$  flächenbezogene Masse [ $\text{kg/m}^2$ ]
- $d$  Schalenabstand [m]
- $s'$  dyn. Steifigkeit der Einlage [ $\text{MN/m}^3$ ]

damit  $f_0 \downarrow$ :

- für a)  $m' \uparrow, d \uparrow$
- für b)  $m' \uparrow, s' \downarrow$

**Grundregel:** Grenzfrequenz  $\uparrow$ ; Resonanzfrequenz  $\downarrow$

Das Schalldämm-Maß der nebenstehenden Konstruktionen ist abhängig von:

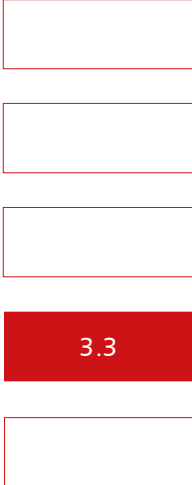
- Anzahl der Beplankung (einlagig/doppellagig)
- Material der Beplankung (dyn. Steifigkeit)
- Befestigung der Beplankung
- Anzahl der Ständer (Achsabstand)
- Art der Ständer (Einfach-/Doppelständer)
- Profil der Ständer (Federständer anstelle von normalen C-Profilen)
- Material der Ständer (dyn. Steifigkeit)
- Schalenabstand
- Dämmstoffstärke
- Material des Dämmstoffs (dyn. Steifigkeit)
- Masse flankierender Bauteile
- Dichtheit der Anschlüsse (Fugen)

Die Schalldämmwirkung kann durch zusätzliche Maßnahmen wie Federschienen oder Trennwandfilze verbessert werden.

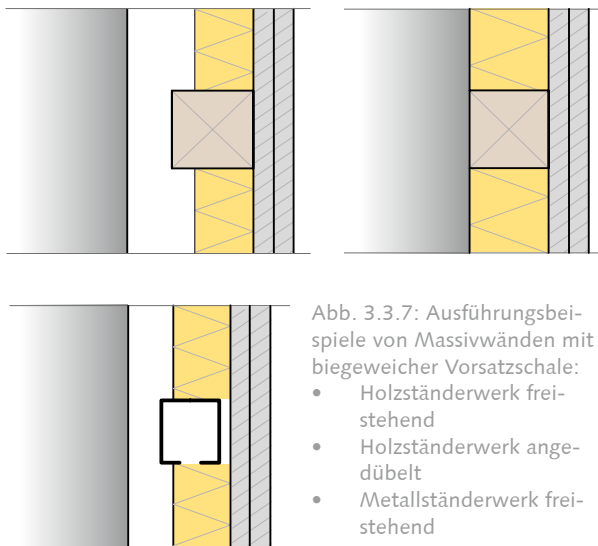
Grundsätzlich gilt:

- je geringer die akustische Kopplung, desto besser ist die Schalldämmung der Wand
- je größer der Schalenabstand, desto niedriger ist die Resonanzfrequenz und desto besser ist die Schalldämmung
- je größer die Dämmstoffstärke und je geringer deren Steifigkeit, desto besser ist das Schalldämm-Maß

Mindestschalenabstände, Mindestdämmschichtstärken in Abhängigkeit von der Anzahl der Beplankungslagen und bewertete Schalldämm-Maße für verschiedene zweischalige, biegeweiche Wände sind in der DIN 4109-1 Tabelle 9 zu finden. Die Werte sind allerdings nur Mindestwerte und garantieren keinen erhöhten schallschutztechnischen Komfort.



**Biegeweiche Vorsatzschalen vor schwerer biegesteifer Schale** | Die biegesteife Schale ist in diesem Fall die tragende Massivwand. Die biegeweichen Vorsatzschalen können z. B. aus Gipskarton-, Faserzement- oder Holzwole-Leichtbauplatten bestehen und werden meist durch Unterkonstruktionen an der Massivwand befestigt. Der entstehende Hohlraum sollte dann mit einem Dämmstoff mit hohem Strömungswiderstand ausgefüllt werden. Gegebenenfalls kann durch eine steifere Dämmschicht die Unterkonstruktion entfallen. Die Dämmschicht darf dabei nur punktuell mit der Massivwand verbunden werden.



Die vorgesetzte biegeweiche Platte darf ebenfalls nicht direkt mit der Massivwand verbunden werden. Als akustisch ungünstig erweist sich außerdem, wenn die Unterkonstruktion mit der Massivwand verdübelt wird, vielmehr sollten diese Ständerkonstruktionen freistehen.

Im Idealfall können biegeweiche Vorsatzschalen eine Verbesserung des Schalldämm-Maßes um einige Dezibel erreichen.

Alle Aussagen gelten gleichermaßen für Außen- wie für Innenwände.

#### Anhaltswerte damit $f_0 < 85$ Hz

Zwischenraum	Biegeweiche Vorsatzschale vor biegesteifer Schale
a) Einlage, lose	$m' \cdot d \geq 0,5$
b) Einlage vollflächiger Verbund	$\frac{s'}{m'} < 0,28$

Tab. 3.3.4: Anhaltswerte für niedrige Resonanzfrequenzen

$m'$  flächenbezogene Masse der Vorsatzschale [kg/m<sup>2</sup>]

$d$  Schalenabstand [m]

$s'$  dyn. Steifigkeit der Einlage [MN/m<sup>3</sup>]

damit  $f_0 \downarrow$ :

- für a)  $m' \uparrow, d \uparrow$
- für b)  $m' \uparrow, s' \downarrow$

**Grundregel:** Grenzfrequenz  $\uparrow$ ; Resonanzfrequenz  $\downarrow$

**Wärmedämmverbundsysteme** | bei extremer Steifigkeit der Dämmung kann es zur Flankenübertragung über die Dämmschicht kommen. Steife Dämmschichten führen zu einer hohen Resonanzfrequenz und damit -wie schon erwähnt- zu einer Verschlechterung der Schalldämmung. Weniger steife Dämmschichten oder speziell vom Hersteller entwickelte akustische entkoppelte WDVS können hier Abhilfe schaffen.

**Fenster** | Maßnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes sind meist auch dem Wärmeschutz zuträglich, da diese Fenster in der Regel einen besseren U-Wert aufweisen. Eine zu geringe Schalldämmung ist meist auf eine zu geringe Dichtigkeit im Bereich der Falze zurückzuführen, was aber bei modernen Fenstern mit doppelten oder dreifachen Gummidichtungsprofilen nicht der Fall sein darf.

Grundsätzlich gilt: Je größer der Scheibenzwischenraum, desto höher ist die Schalldämmung. Außerdem nimmt der Schallschutz mit zunehmender Scheibendicke zu. Er wird besonders bei großen Scheiben verbessert, wenn die Scheiben unterschiedliche Dicken haben. Weitere Verbesserungen ergeben sich, wenn der Scheibenzwischenraum mit anderen Gasen als Luft gefüllt wird (siehe Abb 3.3.8).

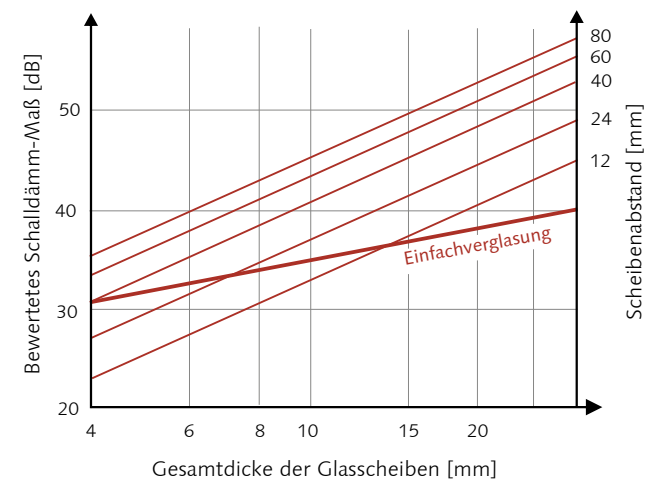


Abb. 3.3.8: Bewertetes Schalldämm-Maß von Fenstern

Richtig gute Werte lassen sich aber nur mit speziellen Schallschutzfenstern erreichen, die ein Schalldämm-Maß bis zu 50 dB haben können.



### 3.3.5 Ermittlung des Schalldämm-Maßes für die entwickelten Wandaufbauten

Die Ermittlung des Schalldämm-Maßes für zweischalige Wände erfordert sehr komplexe Berechnungen, welche nur mit Hilfe spezieller Software realisiert werden können.

Um der gängigen Praxis bezüglich des Schallschutzes gerecht zu werden und um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten, müssten alle entwickelten Wandaufbauten einer Schallschutzmessung unterzogen werden.

Da dieses im Rahmen des Forschungsprojektes nicht möglich war, beschränken sich die Berechnungen auf erste Approximationen. Hierfür wurde folgende Näherungsformel für einschalige Bauteile herangezogen:

für eine flächenbezogene Masse  $m' > 150 \text{ kg/m}^2$  gilt:

$$R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$$

+ 5 dB Zuschlag für weiche faserige Dämmstoffe

Die detaillierten Wandaufbauten der nachfolgend mit ihrem Schalldämm-Maß aufgeführten Varianten sind im Anschluss an dieses Kapitel dargestellt.

Wandaufbau 1a, 1b, 1c:

$$1a) \quad R_w \approx 57 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = \mathbf{62 \text{ dB}}$$

$$1b) \quad R_w \approx 57 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = \mathbf{62 \text{ dB}}$$

$$1c) \quad R_w \approx 58 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = \mathbf{63 \text{ dB}}$$

Wandaufbau 2:

$$R_w \approx 57 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = \mathbf{62 \text{ dB}}$$

Wandaufbau 3:

$$R_w \approx 50 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = \mathbf{55 \text{ dB}}$$

Wandaufbau 4:

$$R_w \approx 50 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = \mathbf{55 \text{ dB}}$$

Wandaufbau 5a, 5b:

$$5a) \quad R_w \approx 47 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = \mathbf{52 \text{ dB}}$$

$$5b) \quad R_w \approx 48 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = \mathbf{53 \text{ dB}}$$

Wandaufbau 6a, 6b:

Das Schalldämm-Maß resultiert aufgrund des geringen Flächengewichts nicht aus der Massenwirkung. Im konkreten Fall sollten hier die Herstellerangaben herangezogen bzw. schallschutztechnische Messungen durchgeführt werden.

Das nebenstehende Diagramm (Abb. 3.3.9) zeigt, dass die massiveren Wandaufbauten aufgrund des hier angewendeten Massegesetzes ein höheres Schalldämm-Maß aufweisen.

Die leichteren Wandaufbauten erreichen ebenfalls gute Werte, liegen aber dennoch bis zu 10 dB darunter. (Zur Erinnerung: Ein Anstieg von nur 3 dB wird als Verdoppelung der Schallintensität wahrgenommen.)

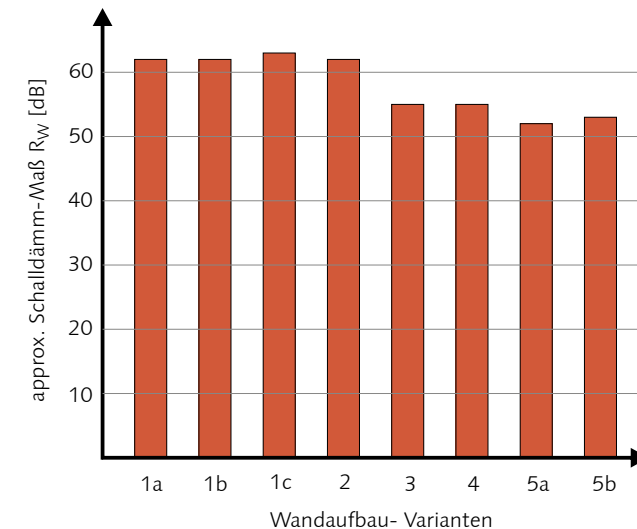




Abb. 3.3.9: Approximiertes Schalldämm-Maß der entwickelten Wandaufbauten

### 3.3.6 Trittschalldämmung

Massivdecken weisen trotz ihrer hohen Flächenmasse eine unzureichende Trittschalldämmung auf. Die Trittschalldämmung dieser Decken kann durch schwimmende Estriche über einer Dämmschicht wesentlich verbessert werden. Estriche übernehmen die Funktion der Lastverteilung und stellen in Verbindung mit der tragenden massiven Deckenplatte ein zweischaliges System (Masse – Feder – Masse) dar. Die Trittschalldämmschicht dient dem Schallschutz und sollte möglichst eine geringe dynamische Steifigkeit aufweisen. Die Trittschalldämmung wird durch den bewerteten Normtrittschallpegel  $L'_{n,W}$  [dB] gekennzeichnet. Dabei gilt: Je niedriger der Normtrittschallpegel, desto besser ist der Trittschallschutz der Decke. Decken mit gutem Trittschallschutz weisen auch einen guten Luftschallschutz auf. Umgekehrt gilt diese Regel jedoch nicht.

**Decken und Treppen** | Bei Decken und Treppen erfolgt die Schallübertragung überwiegend durch Trittschallanregung, bei Decken aber zusätzlich durch Luftschallanregung. Demzufolge gibt es bei Decken und Treppen Anforderungen an den Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,W}$  und bei Decken außerdem Anforderungen an das Schalldämm-Maß  $R'_w$ . Diese sind in Tabelle 3.3.5 zusammengestellt.

 DIN 4109: Mindestanforderungen (teils nicht mehr Stand der Technik)

 DIN 4109-Bbl. 2: Anforderung an den erhöhten Schallschutz

Tab. 3.3.5: Anforderungen an Norm-Trittschallpegel und Schalldämm-Maße

Bauteil	DIN 4109		DIN 4109 Beiblatt 2	
	$R'_w$	$L'_{n,W}$	$R'_w$	$L'_{n,W}$
<b>Geschosshäuser mit Wohnungen und Arbeitsräumen</b>				
Decken unter allgemein genutzten Dachräumen z. B. Trockenböden, Abstellräumen und ihren Zugängen	≥ 53	≥ 53	≥ 55	≤ 46
Wohnungstrenndecken (auch –Treppen) und Decken zwischen fremden Arbeitsräumen und vergleichbaren Nutzungseinheiten	≥ 53	≥ 53	≥ 55	≤ 46
Decken über Kellern, Hausfluren, Treppenräumen unter Aufenthaltsräumen	≥ 52	≥ 53	≥ 55	≤ 46
Decken über Durchfahrten, Einfahrten zu Sammelgaragen	≥ 55	≥ 53	-	≤ 46
Decken unter/über Spiel- oder ähnlichen Gemeinschaftsräumen	≥ 55	≤ 46	-	≤ 46
Decken unter Terrassen und Loggien über Aufenthaltsräumen	-	≥ 53	-	≤ 46
Decken unter Laubengängen	-	≥ 53	-	≤ 46
Decken und Treppen innerhalb von Wohnungen, die sich über zwei Geschosse erstrecken	-	≥ 53	-	≤ 46
Decken unter Bad und WC ohne/mit Bodenentwässerung	≥ 54	≥ 53	≥ 55	≤ 46
Decken unter Hausfluren	-	≥ 53	-	≤ 46
Treppenläufe und -podeste	-	≥ 58	-	≤ 46



### 3.3.7 Fugen und Schallbrücken

Es ist bekannt, dass schon geringe Schallbrücken in einer Konstruktion deren Schalldämm-Maß insgesamt erheblich verringern können. Deshalb muss der schalltechnisch richtigen Ausbildung von Fugen besondere Beachtung geschenkt werden. Der Schallschutz im Fugenbereich wird durch sorgfältiges Abdichten der Fugen erreicht.

Wenn nicht sorgfältig genug gearbeitet wird, entstehen Schallbrücken mit fataler Auswirkung: Eine einzige, massive Schallbrücke kann starke Einbrüche in der Schalldämmkurve und damit sogar um bis zu 10 dB niedrigere bewertete Schalldämm-Maße bewirken.

Beispiele für Schallbrücken sind:

- Ständerwerk: fehlende elastische Zwischenschichten wie Trennfilze, Dämmstreifen oder Federschienen
- fehlende Hohlraumbedämpfung (Lücke in der Dämmschicht)
- starre Verbindungen wie z. B. Dübel oder Mörtelbrücken
- Durchdringungen durch Leitungen, Rohre oder Träger
- Unterbrechung von Vorsatzschalen (Schalter, Steckdosen)
- Undichtigkeiten durch ungedämmte Fugen

**Leitungen und Sanitärtechnik** | Leitungen und Rohre sollten nicht in direktem Kontakt zu Decke und Wänden stehen. Eine zusätzliche schalldämmende Ummantelung der Rohre verhindert eine Schallübertragung.

### 3.4 Außenwandaufbauten

Prinzipiell können sich tragende Stahlkonstruktionen außerhalb der thermischen Hülle im Außenraum, in der Wandkonstruktion oder innerhalb der thermischen Hülle im Inneren des Gebäudes befinden.

Da der angestrebte energetische Standard Dämmschichten von mindestens 20 cm erfordert, ergeben sich je nach Aufbau Außenwandstärken von 35 – 50 cm. Deshalb bietet es sich an, die tragenden Stahlelemente innerhalb der Wandkonstruktion zu führen, so dass es keine sichtbaren Stützen im Innenraum des Gebäudes gibt. Das lässt nicht nur eine flexiblere Grundrissgestaltung zu, sondern ist auch aus schallschutztechnischen Gründen die beste Lösung. Wichtig ist, dass die Stahlkonstruktion so in der Wand geführt wird, dass es nicht zu Wärmebrücken kommt. Dieses wurde bei allen folgenden Wandkonstruktionen berücksichtigt.

Es wurden 6 verschiedene Varianten für den Außenwandaufbau entwickelt. Diese unterscheiden sich beispielsweise hinsichtlich ihrer Masse. Die Varianten 1 bis 4 sind am massivsten und haben das größte Flächengewicht, dann folgen die Leichtbauvarianten 5a und b. Die Variante 6 weist das geringste Gewicht auf und stellt ein industrielles Fassadenelement vor. Alle Varianten werden auf den folgenden Seiten unter bauklimatischen Aspekten ausgewertet und sind somit vergleichbar.

#### Wandaufbau der massiveren Varianten 1-4 von außen nach innen

- KS-Verblender (o. Außenputz/Vorhangfassade)
- Dämmung 040
- Stahlstütze (HEA/B 160)
- 3 x Gipskartonplatte

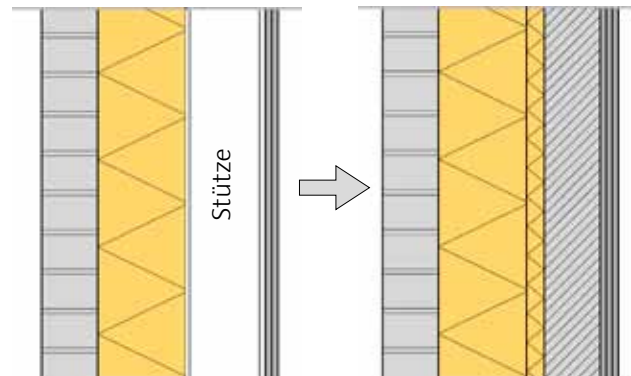


Abb. 3.4.1: Prinzip des massiveren Wandaufbaus

In der Stahlstütze (HEA/B 160) stehen 11,5 cm breite KS-Planelemente. Die Differenz zur Stützenbreite wird durch eine zusätzliche dünne Dämmschicht ausgeglichen. Eine Gipskartonplatte gleicht die Höhe des Flansches aus. Es folgen zwei weitere Gipskartonplatten, da Stahlstützen ohne Brandschutzanstrich von zwei Gipskartonplatten ummantelt sein müssen.

Wahlweise könnte auch das KS-Planelement ausgeklinkt werden, um die Höhe des Flansches auszugleichen. In diesem Fall wären nur noch zwei Gipskartonplatten erforderlich. Anstelle der Gipskartonplatten könnte natürlich auch Innenputz verwendet werden. Um den Wassereintrag in den Neubau so gering wie möglich zu halten und aufgrund der Zeitersparnis fiel die Wahl hier auf Gipskartonplatten.

Für die vertikale und horizontale Elektro- und Kommunikationsleitungsführung für die massiveren Varianten wurde auf das QUADRO Etronic System der Firma QUADRO Bausysteme GmbH zurückgegriffen.

Die Leitungsführung erfolgt in den senkrechten und waagerechten Installationskanälen der QUADRO Etronic Elemente, die über die gesamte Wandhöhe reichen und somit eine flexible Planung erlauben.

Alle Detailzeichnungen sind im Anhang zu finden. Für Details des QUADRO Etronic siehe Anhang, Variante 4





### Wandaufbau Variante 1a: KS mit Vormauerschale

#### Aufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung O40 20 cm
- Dämmung O40 4 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- 3 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

#### Wärmeschutz und Wärmebrücken

- U-Wert im Feld: 0,16 W/(m<sup>2</sup>K)
- Wärmedurchlasswiderstand R: 6,13 (m<sup>2</sup>K)/W
- Flächengewicht: 450 kg/m<sup>2</sup>

#### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$ : 0,0046 W/(mK)  
 Das Bauteil ist quasi wärmebrückenfrei, der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,16 W/(m<sup>2</sup>K).

#### Sommerlicher Wärmeschutz

Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation ohne Sonnenschutz am Beispiel des Musterhauses, Haus 1

Temperatur über 25 °C	Temperatur über 27 °C	Temperatur über 29 °C
332 h/a	29 h/a	4 h/a
Maximaltemperatur: 29,4 °C		

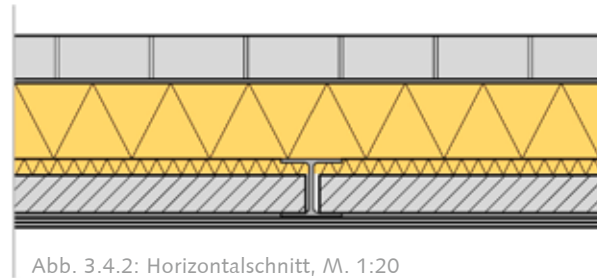


Abb. 3.4.2: Horizontalschnitt, M. 1:20

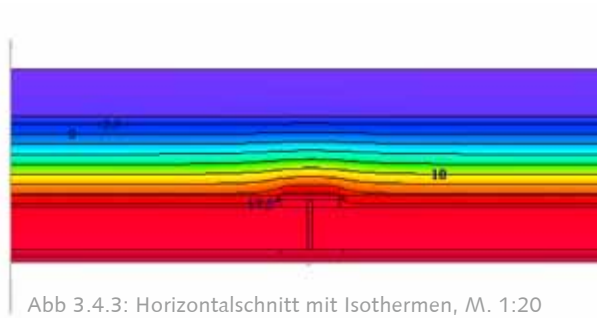


Abb 3.4.3: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

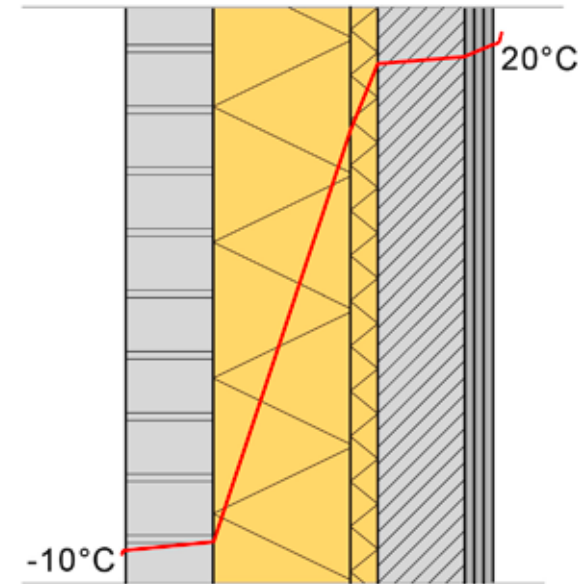


Abb. 3.4.4: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

#### Fazit der dynamischen Simulation

- gutes Temperaturspeichervermögen
- geringe Überhitzung im Sommer
- geringer Kühlungsbedarf

#### Schallschutz

Berechnung über Approximation: siehe Kapitel  
 Schallschutz: Berechnung des Schalldämm-Maßes  
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log 450 \text{ kg/m}^2 - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 57 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 62 \text{ dB}$

#### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,340 kg/m<sup>2</sup>

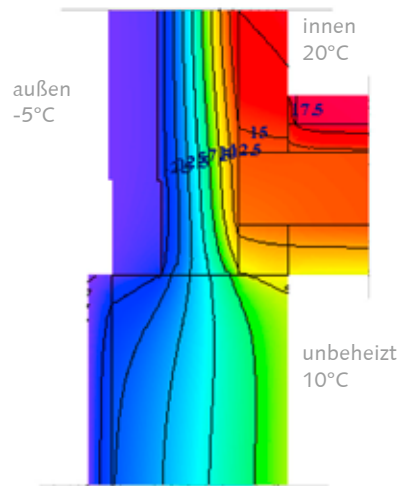
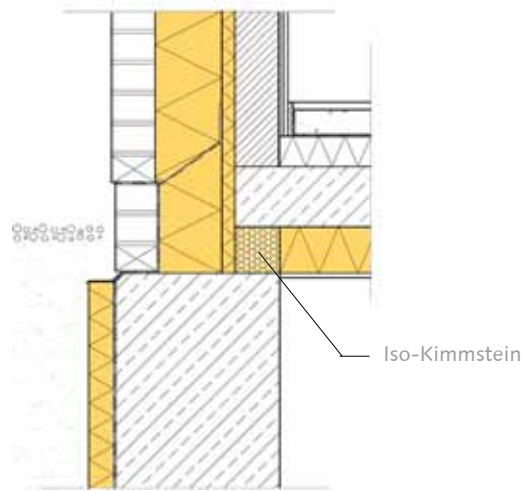
**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 0,620 kg/m<sup>2</sup>

0,340 kg/m<sup>2</sup> < 0,620 kg/m<sup>2</sup>  
 Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.

- 
- 
- 
- 

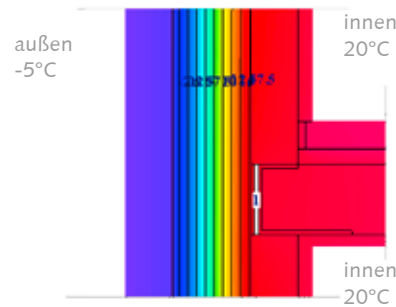
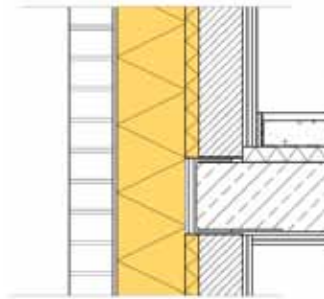
3.4

Abb. 3.4.5/6: Fußpunkt Außenwand an unbeheizten Keller



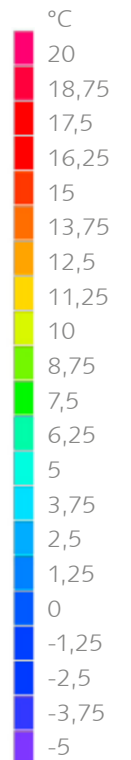
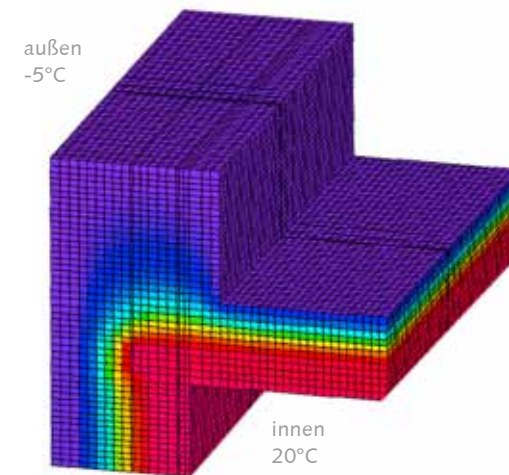
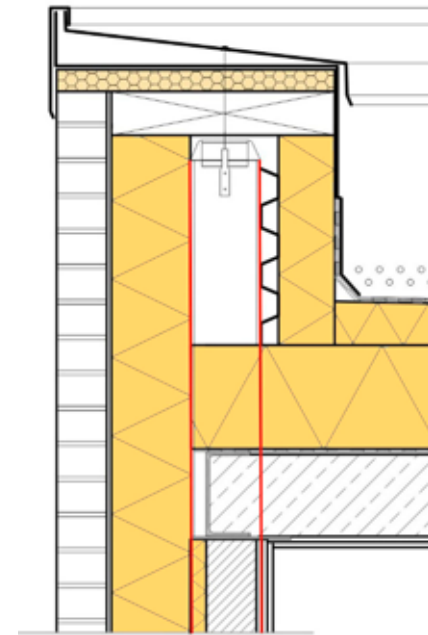
$\Psi = 0,06 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Abb. 3.4.7/8: Einbindung Geschossdecke



$\Psi = 0.0022 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) \rightarrow \text{warmebruckenfrei}$

Abb. 3.4.9/10: Attika mit Durchlaufstutze



(Siehe auch Detailzeichnungen mit Beschreibung im Anhang.)



### Wandaufbau Variante 1b: KS mit Vormauerschale, Lehmbauplatte

#### Aufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung O40 20 cm
- Dämmung O40 4 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- 3 x Lehmbauplatte je 2 cm

#### Wärmeschutz und Wärmebrücken

- U-Wert im Feld: 0,15 W/(m²K)
- Wärmedurchlasswiderstand R: 6,41 (m²K)/W
- Flächengewicht: 446 kg/m²

#### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$ : 0,0046 W/(mK)  
 Das Bauteil ist quasi wärmebrückenfrei, der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,16 W/(m²K).

#### Sommerlicher Wärmeschutz

Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation ohne Sonnenschutz am Beispiel des Musterhauses, Haus 1

Temperatur über 25 °C	Temperatur über 27 °C	Temperatur über 29 °C
540 h/a	76 h/a	8 h/a
Maximaltemperatur: 29,8 °C		

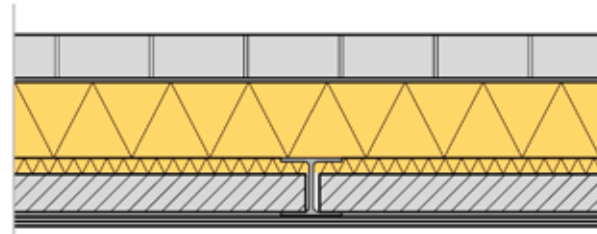


Abb. 3.4.11: Horizontalschnitt, M. 1:20

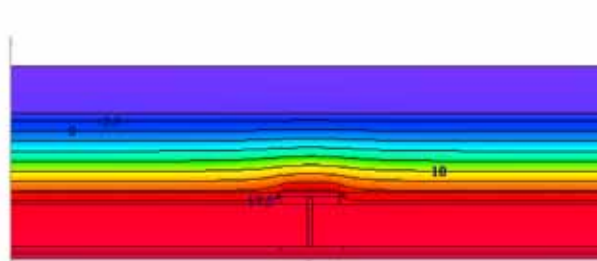


Abb. 3.4.12: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

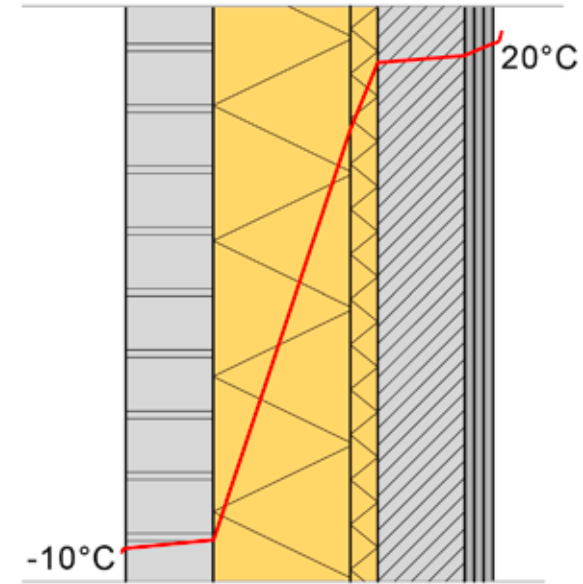


Abb. 3.4.13: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

#### Fazit der dynamischen Simulation

- gutes Temperaturspeichervermögen
- mäßige Überhitzung im Sommer
- mäßiger Kühlungsbedarf

#### Schallschutz

Berechnung über Approximation: siehe Kapitel  
 Schallschutz: Berechnung des Schalldämm-Maßes  
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log 446 \text{ kg/m}^2 - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 57 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 62 \text{ dB}$

#### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,341 kg/m²

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 0,620 kg/m²

0,341 kg/m² < 0,620 kg/m²  
 Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.

## Wandaufbau Variante 1c: KS mit Vormauerschale und PCM

### Aufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung 040 20 cm
- Dämmung 040 4 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- 2 x Gipskartonplatte je 1,25 cm
- 1 x PCM-Gipskartonplatte 1,25 cm

3.4

### Wärmeschutz und Wärmebrücken

- U-Wert im Feld: 0,16 W/(m<sup>2</sup>K)
- Wärmedurchlasswiderstand R: 6,17 (m<sup>2</sup>K)/W
- Flächengewicht: 458 kg/m<sup>2</sup>

### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlust-  
koeffizient  $\Psi$ : 0,0046 W/(mK)

Das Bauteil ist quasi wärmebrückenfrei, der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,16 W/(m<sup>2</sup>K).

### Sommerlicher Wärmeschutz

Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation ohne Sonnenschutz am Beispiel des Musterhauses, Haus 1

Temperatur über 25 °C	Temperatur über 27 °C	Temperatur über 29 °C
308 h/a	16 h/a	0 h/a
Maximaltemperatur: 28,0 °C		

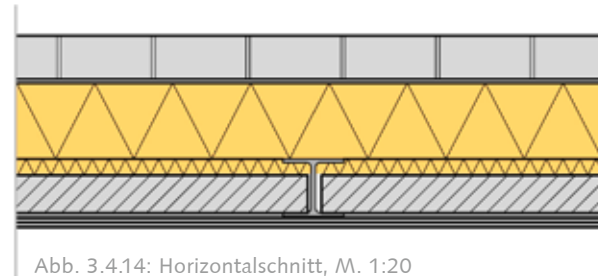


Abb. 3.4.14: Horizontalschnitt, M. 1:20

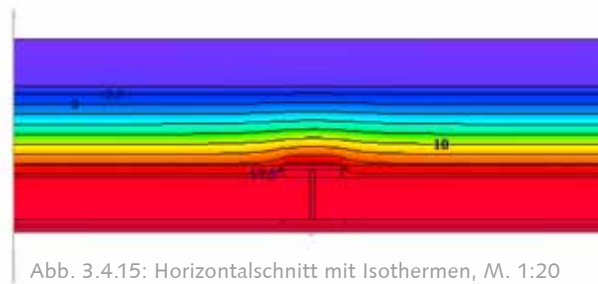


Abb. 3.4.15: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

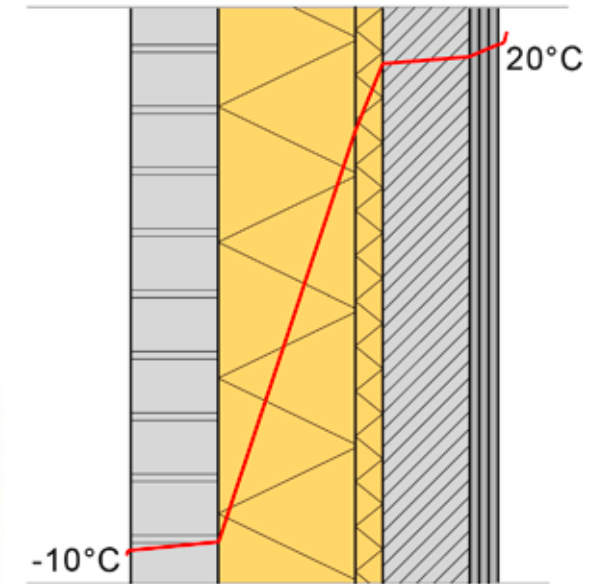


Abb. 3.4.16: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

### Fazit der dynamischen Simulation

- gutes Temperaturspeichervermögen
- geringe Überhitzung im Sommer
- geringer Kühlungsbedarf

### Schallschutz

Berechnung über Approximation: siehe Kapitel Schallschutz: Berechnung des Schalldämm-Maßes  
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log 458 \text{ kg/m}^2 - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 58 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 63 \text{ dB}$

### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,336 kg/m<sup>2</sup>

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 0,617 kg/m<sup>2</sup>

0,336 kg/m<sup>2</sup> < 0,617 kg/m<sup>2</sup>  
 Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.



## Wandaufbau Variante 2: KS mit Vormauerschale, innere Lattung

### Aufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung 040 20 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- Lattung/Konterlattung 4 cm
- 2 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

### Wärmeschutz und Wärmebrücken

- U-Wert: 0,17 W/(m<sup>2</sup>K)
- Wärmedurchlasswiderstand R: 5,51 (m<sup>2</sup>K)/W
- Flächengewicht: 438 kg/m

### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$ : 0,0031 W/(mK)  
 Das Bauteil ist quasi wärmebrückenfrei, der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,17 W/(m<sup>2</sup>K).

### Sommerlicher Wärmeschutz

Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation ohne Sonnenschutz am Beispiel des Musterhauses, Haus 1

Temperatur über 25 °C	Temperatur über 27 °C	Temperatur über 29 °C
690 h/a	164 h/a	68 h/a
Maximaltemperatur: 30,6 °C		

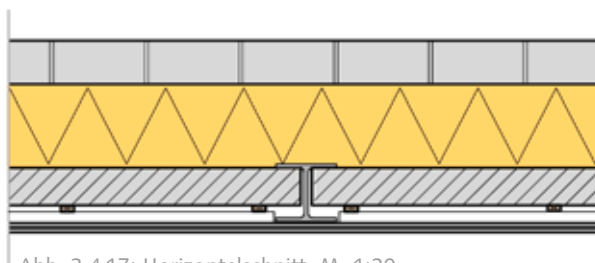


Abb. 3.4.17: Horizontalschnitt, M. 1:20

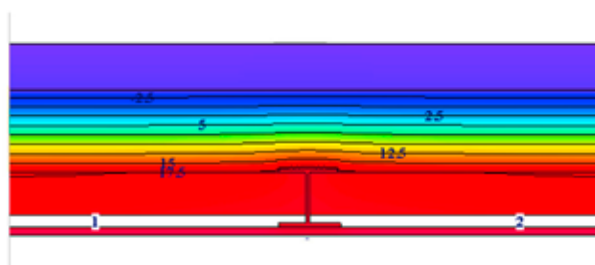


Abb. 3.4.18: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

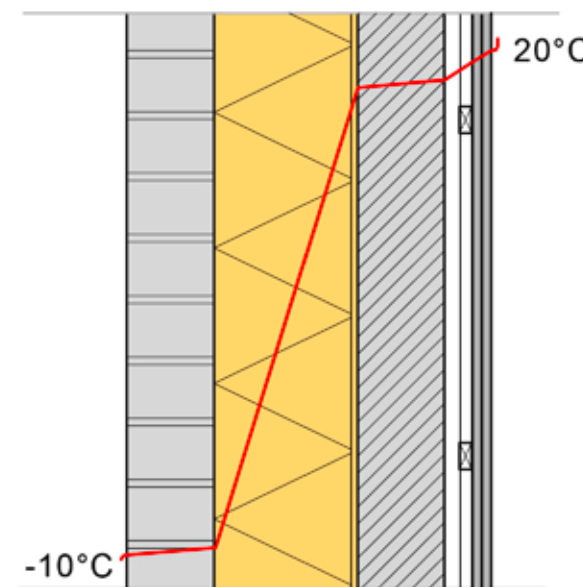


Abb. 3.4.19: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

### Fazit der dynamischen Simulation

- gutes Temperaturspeichervermögen
- mäßige Überhitzung im Sommer
- mäßiger Kühlungsbedarf

### Schallschutz

Berechnung über Approximation: siehe Kapitel  
 Schallschutz: Berechnung des Schalldämm-Maßes  
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log 438 \text{ kg/m}^2 - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 57 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 62 \text{ dB}$

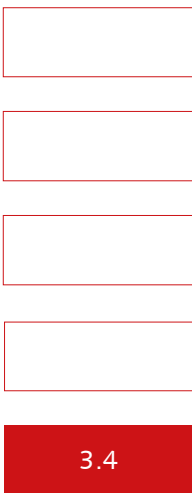
### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,357 kg/m<sup>2</sup>

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 0,634 kg/m<sup>2</sup>

$0,357 \text{ kg/m}^2 < 0,634 \text{ kg/m}^2$   
 Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.



## Wandaufbau Variante 3: KS mit Außenputz

### Aufbau von außen nach innen

- Außenputz 2 cm
- Dämmung 040 20 cm
- Dämmung 040 4 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- 3 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

### Wärmeschutz und Wärmebrücken

U-Wert im Feld: 0,16 W/(m<sup>2</sup>K)  
 Wärmedurchlasswiderstand R: 6,04 (m<sup>2</sup>K)/W  
 Flächengewicht: 279 kg/m<sup>2</sup>

### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlust-  
 koeffizient  $\Psi$ : 0,0049 W/(mK)

Das Bauteil ist quasi wärmebrückenfrei, der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,16 W/(m<sup>2</sup>K).

### Sommerlicher Wärmeschutz

Für dieses Bauteil wurde keine gesonderte dynamische Gebäudesimulation am Beispiel des Musterhauses durchgeführt, da nur die ersten 10 cm (von innen) des Wandaufbaus für das Speicherverhalten der Wand ausschlaggebend sind. Da der innere Wandaufbau mit der Variante 1a identisch ist, sind folglich die gleichen Ergebnisse zu erwarten.



Abb. 3.4.20: Horizontalschnitt, M. 1:20

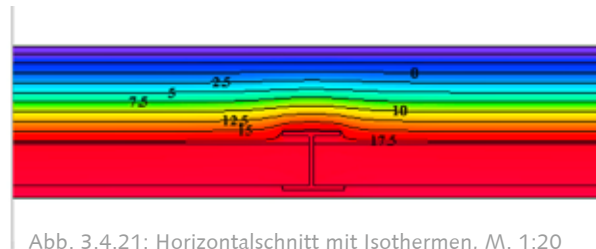


Abb. 3.4.21: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

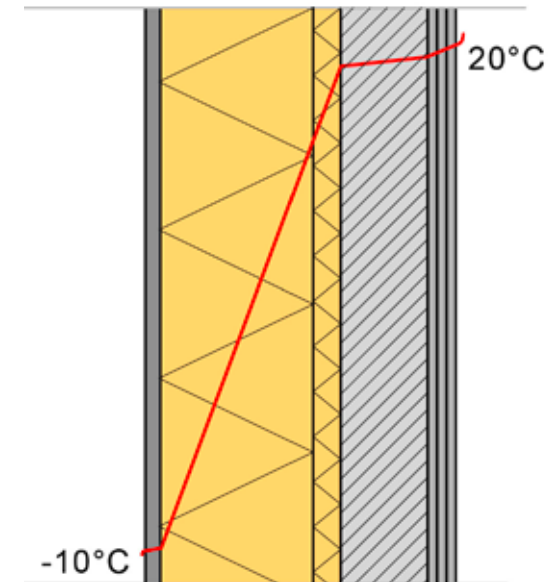


Abb. 3.4.22: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

### Fazit der dynamischen Simulation

siehe Variante 1a

### Schallschutz

Berechnung über Approximation: siehe Kapitel  
 Schallschutz: Berechnung des Schalldämm-Maßes  
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log 279 \text{ kg/m}^2 - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 50 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 55 \text{ dB}$

### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,194 kg/m<sup>2</sup>

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 2,290 kg/m<sup>2</sup>

0,194 kg/m<sup>2</sup> < 2,290 kg/m<sup>2</sup>

Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.



## Wandaufbau Variante 4: KS mit Vorhangfassade

### Aufbau von außen nach innen

- Faserzementplatten 2 cm
- Lattung/Konterlattung 4 cm
- Winddichtpapier
- Dämmung 040 20 cm
- Dämmung 040 4 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- 3 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

### Wärmeschutz und Wärmebrücken

- U-Wert im Feld: 0,16 W/(m<sup>2</sup>K)
- Wärmedurchlasswiderstand R: 6,15 (m<sup>2</sup>K)/W
- Flächengewicht: 277 kg/m<sup>2</sup>

### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlust-  
koeffizient  $\Psi$ : 0,0045 W/(mK)

Das Bauteil ist quasi wärmebrückenfrei, der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,16 W/(m<sup>2</sup>K).

### Sommerlicher Wärmeschutz

Für dieses Bauteil wurde keine gesonderte dynamische Gebäudesimulation am Beispiel des Musterhauses durchgeführt, da nur die ersten 10 cm (von innen) des Wandaufbaus für das Speicherhalten der Wand ausschlaggebend sind. Da der innere Wandaufbau mit der Variante 1a identisch ist, sind folglich die gleichen Ergebnisse zu erwarten.

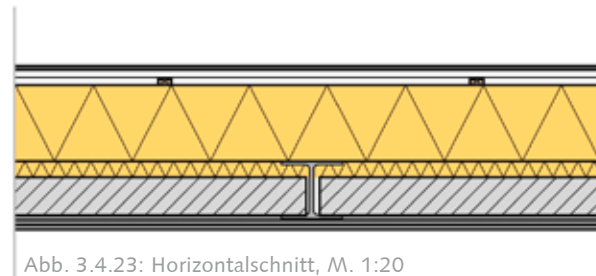


Abb. 3.4.23: Horizontalschnitt, M. 1:20

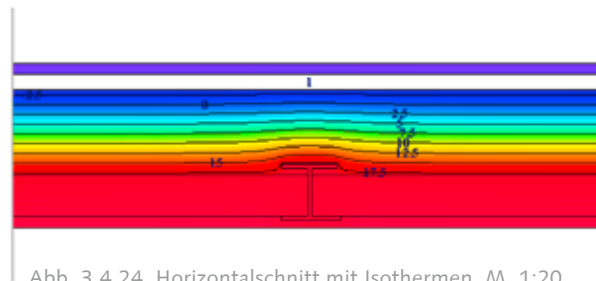


Abb. 3.4.24: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

### Fazit der dynamischen Simulation

- siehe Variante 1a

### Schallschutz

Berechnung über Approximation: siehe Kapitel  
Schallschutz: Berechnung des Schalldämm-Maßes  
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log 277 \text{ kg/m}^2 - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 50 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 55 \text{ dB}$

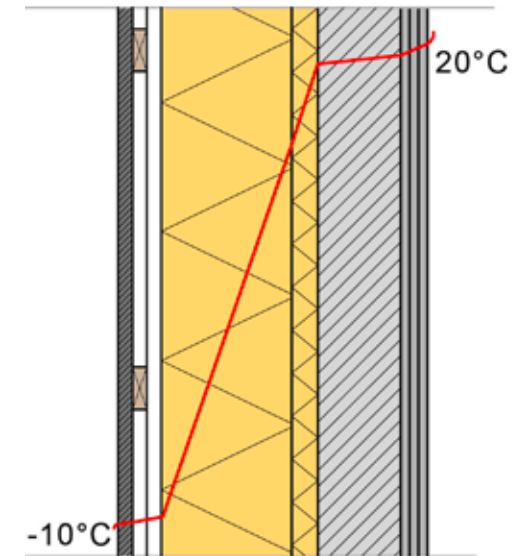


Abb. 3.4.25: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h

außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %

Tauwassermasse: 0,357 kg/m<sup>2</sup>

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h

außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %

Verdunstungsmasse: 0,485 kg/m<sup>2</sup>

0,360 kg/m<sup>2</sup> < 0,485 kg/m<sup>2</sup>

Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.

## Wandaufbau Variante 5a: Leichtbauweise: Vormauerschale

### Aufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung 040 12 cm
- Dämmung 040 16 cm
- Dampfbremse
- 2 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

Die Verblender können natürlich durch Außenputz oder eine Vorhangfassade ersetzt werden.

3.4

### Wärmeschutz und Wärmebrücken

- U-Wert im Feld: 0,14 W/(m<sup>2</sup>K)
- Wärmedurchlasswiderstand R: 7,22 (m<sup>2</sup>K)/W
- Flächengewicht: 232 kg/m<sup>2</sup>

### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$ : 0,0335 W/(mK)

Der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,14 W/(m<sup>2</sup>K).

### Sommerlicher Wärmeschutz

Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation ohne Sonnenschutz am Beispiel des Musterhauses, Haus 1

Temperatur über 25 °C	Temperatur über 27 °C	Temperatur über 29 °C
719 h/a	209 h/a	42 h/a
Maximaltemperatur: 31,0 °C		

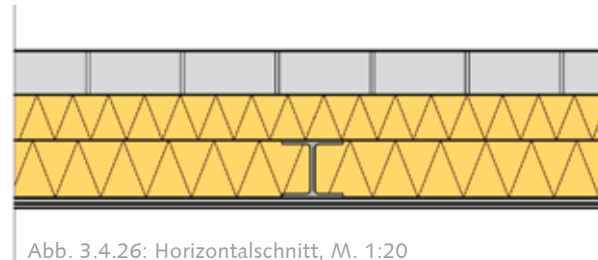


Abb. 3.4.26: Horizontalschnitt, M. 1:20

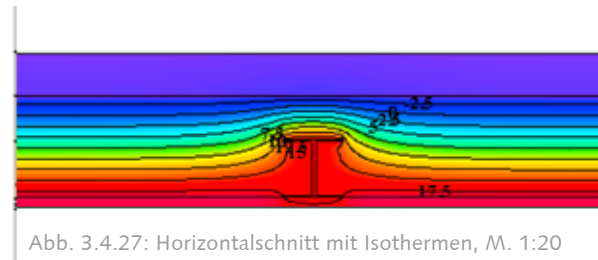


Abb. 3.4.27: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

### Fazit der dynamischen Simulation

- geringes Temperaturspeichervermögen
- häufige Überhitzung im Sommer
- hoher Kühlungsbedarf

### Schallschutz

Berechnung über Approximation: siehe Kapitel  
Schallschutz: Berechnung des Schalldämm-Maßes  
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log 232 \text{ kg/m}^2 - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 47 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 52 \text{ dB}$

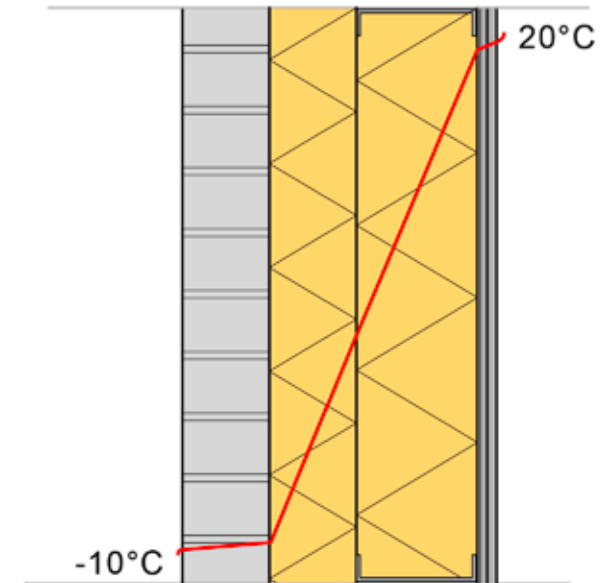


Abb. 3.4.28: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,044 kg/m<sup>2</sup>

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 0,409 kg/m<sup>2</sup>

0,044 kg/m<sup>2</sup> < 0,409 kg/m<sup>2</sup>

Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.

Eine raumseitige Dampfbremse ist unbedingt erforderlich.





### Wandaufbau Variante 5b: Leichtbauweise: Vormauerschale, PCM

#### Aufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung O40 12 cm
- Dämmung O40 16 cm
- Dampfbremse
- 2 x Gipskartonplatte je 1,25 cm
- 1 x PCM-Gipskartonplatte 1,25 cm

Die Verblender können natürlich durch Außenputz oder eine Vorhangsfassade ersetzt werden.

#### Wärmeschutz und Wärmebrücken

- U-Wert im Feld: 0,14 W/(m²K)
- Wärmedurchlasswiderstand R: 7,31 (m²K)/W
- Flächengewicht: 252 kg/m²

#### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$ : 0,0352 W/(mK)  
Der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,15 W/(m²K).

#### Sommerlicher Wärmeschutz

Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation ohne Sonnenschutz am Beispiel des Musterhauses

Temperatur über 25 °C	Temperatur über 27 °C	Temperatur über 29 °C
212 h/a	14 h/a	0 h/a
Maximaltemperatur: 27,9°C		

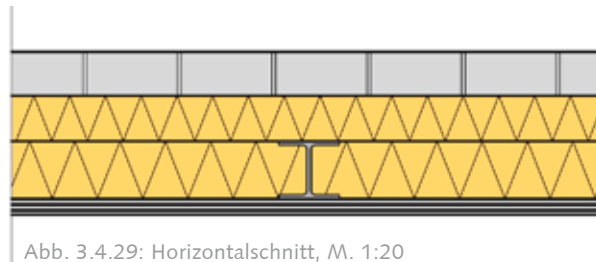


Abb. 3.4.29: Horizontalschnitt, M. 1:20

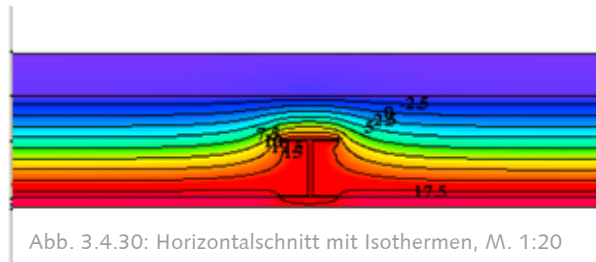


Abb. 3.4.30: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

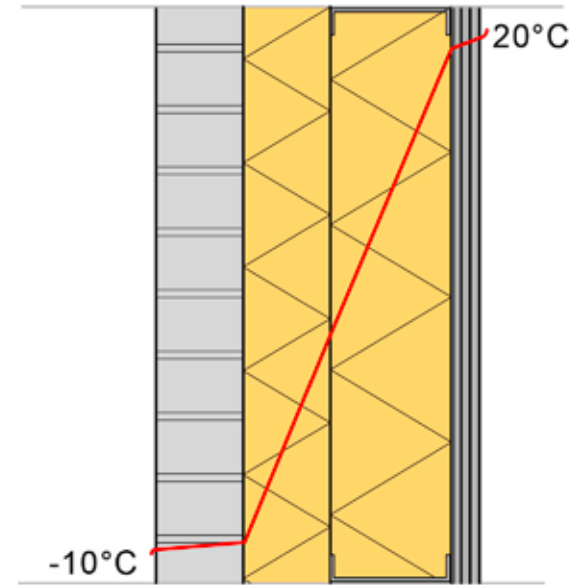


Abb. 3.4.31: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

#### Fazit der dynamischen Simulation

- gutes Temperaturspeichervermögen
- geringe Überhitzung im Sommer
- niedriger Kühlungsbedarf

#### Schallschutz

Berechnung über Approximation: siehe Kapitel  
Schallschutz: Berechnung des Schalldämm-Maßes  
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log m' - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 37,5 \cdot \log 252 \text{ kg/m}^2 - 42 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 48 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$   
 $R_w \approx 53 \text{ dB}$

#### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,043 kg/m²

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 0,409 kg/m²

$0,043 \text{ kg/m}^2 < 0,409 \text{ kg/m}^2$   
 Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.  
 Eine raumseitige Dampfbremse ist unbedingt erforderlich.

## Wandaufbau Variante 6a: Hoesch-Matrix-System

(Unterkonstruktion dafür in extra Dämmebene, siehe auch Anhang)

### Aufbau von außen nach innen

- Hoesch-Matrix-System 12 cm
- Dämmung 040 6 cm
- Dämmung 040 16 cm
- Dampfsperre
- 2 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

3.4

### Wärmeschutz und Wärmebrücken

U-Wert im Feld: 0,12 W/(m<sup>2</sup>K)  
 Wärmedurchlasswiderstand R: 8,59 (m<sup>2</sup>K)/W  
 Flächengewicht: 33 kg/m<sup>2</sup>

### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlust-  
 koeffizient  $\Psi$ : 0,0295 W/(mK)

Der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,13 W/(m<sup>2</sup>K).

### Sommerlicher Wärmeschutz

Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation ohne Sonnenschutz am Beispiel des Musterhauses, Haus 1

Temperatur über 25 °C	Temperatur über 27 °C	Temperatur über 29 °C
644 h/a	150 h/a	24 h/a
Maximaltemperatur: 30,5 °C		

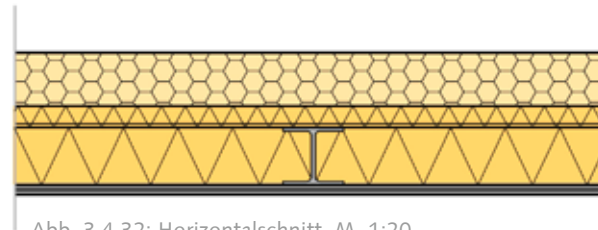


Abb. 3.4.32: Horizontalschnitt, M. 1:20

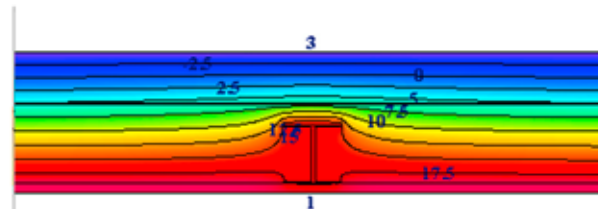


Abb. 3.4.33: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

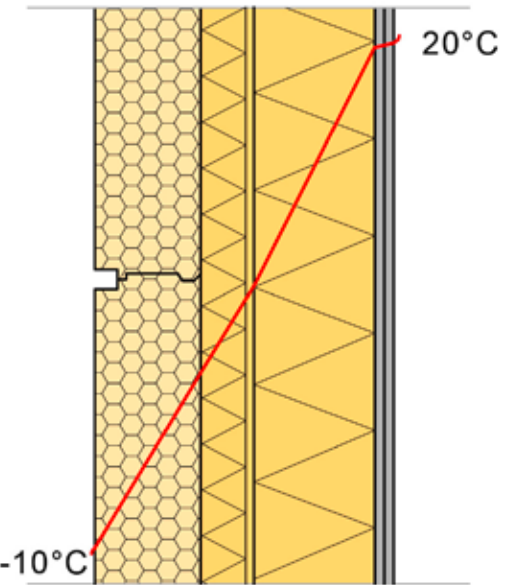


Abb. 3.4.34: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

### Fazit der dynamischen Simulation

- geringes Temperaturspeichervermögen
- mäßige Überhitzung im Sommer
- mäßiger Kühlungsbedarf

### Schallschutz

Das Schalldämm-Maß resultiert aufgrund des geringen Flächengewichts nicht aus der Massene Wirkung. Im konkreten Fall sollten hier die Herstellerangaben herangezogen bzw. schallschutztechnische Messungen durchgeführt werden.

### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,026 kg/m<sup>2</sup>

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 0,03 kg/m<sup>2</sup>

0,026 kg/m<sup>2</sup> < 0,03 kg/m<sup>2</sup>

Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.

Da das Matrix-System aufgrund des Stahlblechs diffusionsdicht ist, muss raumseitig unbedingt eine Dampfsperre angeordnet werden! Diese Konstruktion kann schon bei geringen Undichtigkeiten in der Dampfsperre zu Feuchteschäden führen.



## Wandaufbau Variante 6b: Hoesch-Matrix-System

(Unterkonstruktion dafür in Dämmebene, siehe auch Anhang)

### Aufbau von außen nach innen

- Hoesch-Matrix-System 12 cm
- Dämmung 040 16 cm  
(mit Unterkonstruktion für Matrix-System)
- Dampfsperre
- 2 x Gipskartonplatte 1,25 cm

### Wärmeschutz und Wärmebrücken

U-Wert im Feld: 0,14 W/(m<sup>2</sup>K)  
 Wärmedurchlasswiderstand R: 7,09 (m<sup>2</sup>K)/W  
 Flächengewicht: 32 kg/m<sup>2</sup>

### Wärmebrückenverhalten im Bereich der Stützen

Wärmebrückenverlust-  
 koeffizient  $\Psi$ : 0,0731 W/(mK)  
 Der durchschnittliche U-Wert für diesen Ausschnitt beträgt 0,16 W/(m<sup>2</sup>K).

### Sommerlicher Wärmeschutz

Für dieses Bauteil wurde keine gesonderte dynamische Gebäudesimulation am Beispiel des Musterhauses durchgeführt, da nur die ersten 10 cm (von innen) des Wandaufbaus für das Speicherverhalten der Wand ausschlaggebend sind. Da der innere Wandaufbau mit der Variante 5a identisch ist, sind folglich die gleichen Ergebnisse zu erwarten.

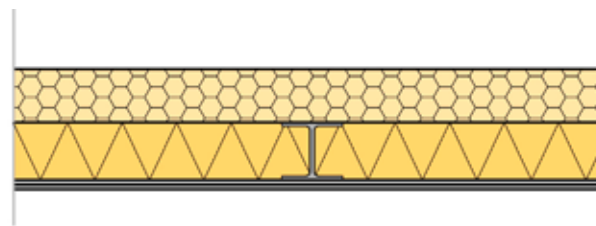


Abb. 3.4.35: Horizontalschnitt, M. 1:20

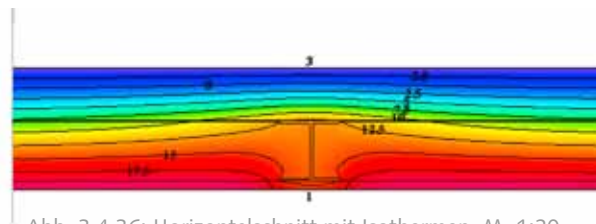


Abb. 3.4.36: Horizontalschnitt mit Isothermen, M. 1:20

### Fazit der dynamischen Simulation

- siehe Variante 6a

### Schallschutz

Das Schalldämm-Maß resultiert aufgrund des geringen Flächengewichts nicht aus der Masswirkung. Im konkreten Fall sollten hier die Herstellerangaben herangezogen bzw. schallschutztechnische Messungen durchgeführt werden.

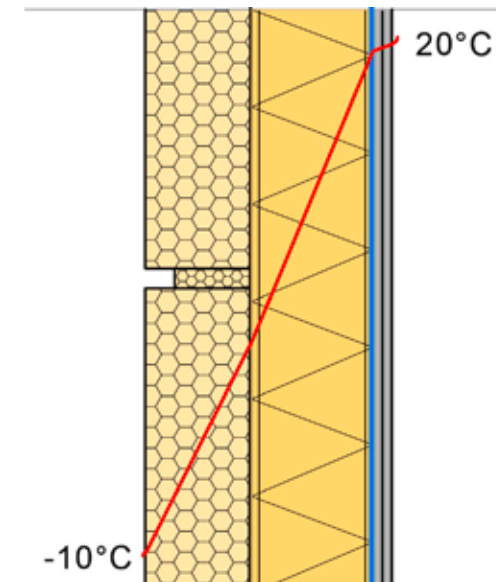


Abb.3.4.37: Vertikalschnitt mit Temperaturgefälle, M. 1:10

### Tauwasserbilanz nach Glaserverfahren

Ausfallendes bzw. verdunstendes Tauwasser ist in einem Bauteil getrennt für zwei Perioden eines Jahres zu berechnen:

**Tauperiode** | Dauer 1440 h  
 außen: -10°C, 80 % / innen: 20°C, 50 %  
 Tauwassermasse: 0,021 kg/m<sup>2</sup>

**Verdunstungsperiode** | Dauer 2160 h  
 außen: 12°C, 70 % / innen: 12°C, 70 %  
 Verdunstungsmasse: 0,03 kg/m<sup>2</sup>

0,026 kg/m<sup>2</sup> < 0,03 kg/m<sup>2</sup>

Es verbleibt kein Tauwasser im Bauteil.

Da das Matrix-System aufgrund des Stahlblechs diffusionsdicht ist, muss raumseitig unbedingt eine Dampfsperre angeordnet werden!

Diese Konstruktion kann schon bei nur geringen Undichtigkeiten in der Dampfsperre zu Feuchtschäden führen.

Übersicht der wichtigsten Eigenschaften der verschiedenen Wandaufbauten										
Kenngrößen	Variante 1a		Variante 1b		Variante 1c		Variante 2		Variante 3	
Wandaufbau										
	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]
	KS-Verblender	11,5	KS-Verblender	11,5	KS-Verblender	11,5	KS-Verblender	11,5	Außenputz	2,0
	Dämmung	20,0	Dämmung	20,0	Dämmung	20,0	Dämmung	20,0	Dämmung	20
	Dämmung	4,0	Dämmung	4,0	Dämmung	4,0	KS-Elemente	11,5	Dämmung	4,0
	KS-Elemente	11,5	KS-Elemente	11,5	KS-Elemente	11,5	Lattung	4,0	KS-Elemente	11,5
	Gipskartonplatte	3,75	Lehmbauplatte	6,0	Gipskartonplatte	2,5	Gipskartonplatte	2,5	Gipskartonplatte	3,75
					PCM-Platte	1,25				
	Wandstärke:	50,75	Wandstärke:	53,0	Wandstärke:	50,75	Wandstärke:	49,5	Wandstärke:	41,25
U-Wert	0,16 W/(m <sup>2</sup> K)		0,15 W/(m <sup>2</sup> K)		0,16 W/(m <sup>2</sup> K)		0,17 W/(m <sup>2</sup> K)		0,16 W/(m <sup>2</sup> K)	
Flächengewicht	450 kg/m <sup>2</sup>		446 kg/m <sup>2</sup>		458 kg/m <sup>2</sup>		438 kg/m <sup>2</sup>		279 kg/m <sup>2</sup>	
Dyn. Simulation Temp.-speichervermögen Überhitzung im Sommer Kühlungsbedarf	gut gering gering		gut mäßig mäßig		gut gering gering		gut mäßig mäßig		gut gering gering	
Wärmebrückenverlust- koeffizient $\Psi$	0,0046 W/mK		0,0046 W/mK		0,0046 W/mK		0,0031 W/mK		0,0049 W/mK	
Approx. Schalldämm-Maß	62 dB		62 dB		63 dB		62 dB		55 dB	
Dampfbremse/-sperre im Feld*	nicht erforderlich		nicht erforderlich		nicht erforderlich		nicht erforderlich		nicht erforderlich	

\*Die Anschlüsse zwischen KS-Planelementen und Primärkonstruktion (Tragwerk) müssen dampf- und luftdicht ausgeführt werden



Übersicht der wichtigsten Eigenschaften der verschiedenen Wandaufbauten										
Kenngrößen	Variante 4		Variante 5a		Variante 5b		Variante 6a		Variante 6b	
Wandaufbau										
	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]
	Faserzementpl.	2,0	KS-Verblender	11,5	KS-Verblender	11,5	Hoesch-Matrix	12,0	Hoesch-Matrix	12,0
	Lattung/Konterl.	4,0	Dämmung	12,0	Dämmung	12,0	Dämmung	6,0	Dämmung	16,0
	Winddichtpapier		Dämmung	16,0	Dämmung	16,0	Dämmung	16,0	Dampfsperre	
	Dämmung	20,0	Dampfbremse		Dampfbremse		Dampfsperre		Gipskartonplatte	2,5
	Dämmung	4,0	Gipskartonplatte	2,5	Gipskartonplatte	2,5	Gipskartonplatte	2,5		
	KS-Elemente	11,5			PCM-Platte	1,25				
	Gipskartonplatte	3,75								
	Wandstärke:	45,25	Wandstärke:	42,0	Wandstärke:	43,25	Wandstärke:	36,5	Wandstärke:	30,5
U-Wert	0,16 W/(m²K)		0,14 W/(m²K)		0,14 W/(m²K)		0,12 W/(m²K)		0,14 W/(m²K)	
Flächengewicht	277 kg/m²		232 kg/m²		252 kg/m²		33 kg/m²		32 kg/m²	
Dyn. Simulation Temp.-speichervermögen Überhitzung im Sommer Kühlungsbedarf	gut gering gering		gering hoch hoch		gut gering gering		gering mäßig mäßig		gering mäßig mäßig	
Wärmebrückenverlust- koeffizient $\Psi$	0,0045 W/mK		0,0335 W/mK		0,0352 W/mK		0,0295 W/mK		0,0731 W/mK	
Approx. Schalldämm-Maß	55 dB		52 dB		53 dB		Messung erforderlich		Messung erforderlich	
Dampfbremse/-sperre im Feld*	nicht erforderlich		erforderlich		erforderlich		erforderlich		erforderlich	

\*Die Anschlüsse zwischen KS-Planelementen und Primärkonstruktion (Tragwerk) müssen dampf- und luftdicht ausgeführt werden







## INHALT

- 4 Gebäudetechnik**
  - 4.1 Technische Anforderungen
  - 4.2 Bauweise und Heiz- und Kühlenergieverbrauch
    - 4.2.1 Energiestandard und Energieverbrauch
    - 4.2.2 Wohnflächen und Energieverbrauch
    - 4.2.3 Dynamische Gebäudesimulation
    - 4.2.4 EnEV-Berechnung
  - 4.3 Das Gebäude als Energieerzeuger
    - 4.3.1 Aktive Solarenergienutzung
    - 4.3.2 Das Gebäude als Stromerzeuger
    - 4.3.3 Das Gebäude als Wärmeerzeuger
    - 4.3.4 Wege zum „Plusenergiehaus“
  - 4.4 Heizung
    - 4.4.1 Wärmeerzeugung
    - 4.4.2 Warmwasserbereitung
    - 4.4.3 Wärme- und Medienverteilung
    - 4.4.4 Heizflächen
  - 4.5 Kühlung
    - 4.5.1 Kühlung über Erdsonden
    - 4.5.2 Solare Kühlung
  - 4.6 Lüftung
    - 4.6.1 Anforderungen
    - 4.6.2 Freie Lüftung
    - 4.6.3 Kontrollierte Lüftung



INHALT

**4.7 Wasser-, Strom- und Medienversorgung**

4.7.1 Altengerechte Sanitärinstallation

4.7.2 Integrale Planung





## 4.1 Technische Anforderungen

Innerstädtische Wohn- und Geschäftsgebäude haben im Regelfall folgende technische Anforderungen zur Nutzung der Gebäude:

- Wärmeversorgung und -erzeugung
- Warmwassererzeugung
- Stromversorgung und -erzeugung
- Wasserversorgung
- Abwasser- und Regenwasserentsorgung
- Medienversorgung (Telefon, Internet, TV usw.)
- Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung
- teilweise Klimatisierung
- teilweise Kühlung
- teilweise Aufzug

Neben der Architektur und den Nutzungsanforderungen spielt der Energieverbrauch des Gebäudes eine wichtige Rolle. Für künftige innerstädtische Gebäude werden folgende energetische Hauptziele verfolgt:

Der innerstädtische Neubau soll nur noch einen sehr geringen Energiebedarf für die Wärmeversorgung aufweisen und sich durch stromsparende elektrotechnische Ausrüstung auszeichnen. Gemäß EU-Gebäuderichtlinie, welche Mitte 2010 in Kraft treten wird, sollen alle Neubauten, die ab 2020 gebaut werden, fast keine konventionelle Energie für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung mehr benötigen. Der verbleibende geringfügige Restenergiebedarf soll aus erneuerbaren Energien – möglichst am oder in der Nähe des Gebäudes erzeugt – gedeckt werden. Dies bedeutet, dass das Gebäude oder das Grundstück den Energiebedarf möglichst ganz oder teilweise aus regenerativen Energien selbst erzeugt.

- Das Gebäude soll und muss passive und aktive Solarenergie weitgehend nutzen.
- Das Gebäude soll einen sehr sparsamen Elektroenergiebedarf aufweisen, was durch stromsparende Beleuchtung und Geräte erfolgen soll.
- Das Gebäude soll über wassersparende Sanitärtechnik verfügen.

Möglichkeiten dafür wären z. B.:

- Warmwasserbereitung durch Solarenergie
- Heizungsunterstützung durch Solarenergie
- solare Heizungsversorgung mittels Langzeitspeicher
- Heizungsanlage mit Wärmepumpen, Nutzung verschiedener Wärmequellen als primärseitige Nutzenergie für die Wärmepumpe, z. B. Erdsonden, Massivabsorber und Massivspeicher
- Photovoltaikanlagen zur Stromversorgung oder Stromeinspeisung

Praktisch bedeutet dies, dass sich die Bauweise eines Neubaus vom Niedrigenergiehaus über das Passivhaus zum Nullenergiehaus oder gar „Plusenergiehaus“ hin entwickelt.

Im innerstädtischen Bauen sind im Regelfall mehr Reglementierungen als im freien Bauen gegeben, z. B. durch Gestaltungssatzungen. Andererseits haben durch die engere Bebauung die Gebäude (überwiegend Reihenhäuser) meist ein bis zwei Außenwände weniger, wodurch sich der Wärmeverlust verringert.

Der energetische Mindeststandard eines innerstädtischen Neubaus definiert sich aus den gesetzlichen Vorgaben. Zum derzeitigen Zeitpunkt (Stand März 2010) sind das hauptsächlich:

- Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009
- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) vom 01.01.2009.

Die EnEV setzt die Maximalwerte für die Transmissionswärmeverluste  $H_T$  und den Primärenergiebedarf  $Q_p$  eines Gebäudes fest. Das EEWärmeG wiederum schreibt einen Mindestanteil an regenerativen Energien für die Wärmeversorgung eines Gebäudes vor.

Da der Energiebedarf von Gebäuden einen Anteil von ca. 40 % des Gesamtprimärenergieverbrauchs von Deutschland hat, ist es von entscheidender Bedeutung, den Heizenergiebedarf und sonstigen Energiebedarf von Gebäuden zu senken.

Grundsätzlich werden zwei energetische Hauptziele an einen innerstädtischen Neubau gestellt:

1. **Verringerung des Energieverbrauchs des Gebäudes auf ein Minimum durch Niedrigenergie- und Passivhausbauweise**
2. **Abdeckung des Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauchs durch einen hohen Anteil an regenerativen Energien**

### Anforderungen an die Gebäude der Zukunft |

Die Wärme- und Stromerzeugung energiesparender und energieeffizienter Gebäude kann in Zukunft weitgehend über die Gebäudehülle und über den Untergrund des Gebäudes bzw. des dazugehörigen Grundstückes erfolgen. Dabei wird der Anteil der fossilen Brennstoffe wie Erdöl und Erdgas für die Gebäudeheizung und -stromversorgung immer mehr zurückgehen und durch regenerative Energiequellen ersetzt werden.

Die Wärmepumpentechnologie wird dabei eine entscheidende Rolle spielen, da durch sie Wärme und Abwärme mit niedrigem Temperaturniveau genutzt werden kann.

Die Energie, die ein Gebäude benötigt, wird in Zukunft in immer größerem Maße dezentral am Gebäude oder in Gebäudenähe erzeugt werden. Analog werden auch die Kommunen und Regionen ihre Energie immer mehr in örtlicher Nähe erzeugen, z. B. durch Biogasanlagen, Windkraftanlagen, Holzverarbeitung zu Pellets oder Hackenschnitzeln oder Photovoltaikanlagen auf Dächern und Brachflächen.

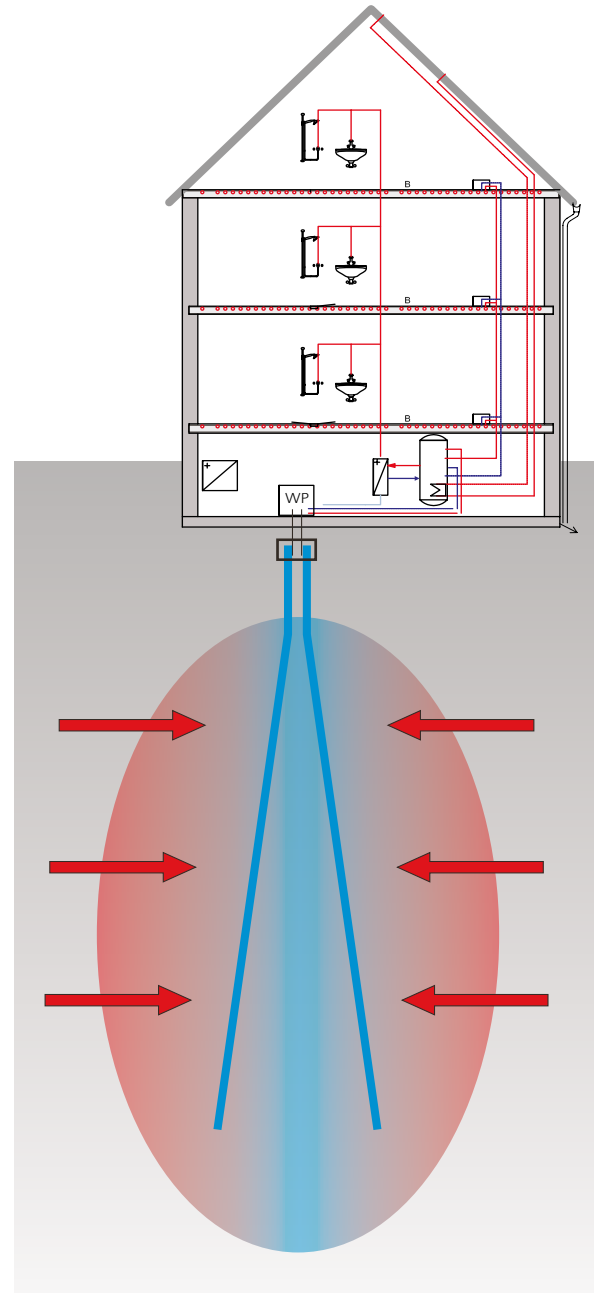


Abb. 4.1.1: Prinzip Winter - Gebäudeheizung

### Heizung von Wohn- und Gewerbegebäuden I

Der Hauptenergieverbrauch heutiger Gebäude wird durch die Heizung bestimmt. In Haushalten sah der prozentuale Energieverbrauch 2008 (Quelle dena) wie folgt aus:

- 75 % für Raumheizung
- 12 % für Warmwasserbereitung
- 13 % für Elektroenergie und Beleuchtung

In dem Maße, in welchem die Gebäude immer weniger Energie für Wärme verbrauchen bzw. selbst erzeugen, erlangen deren Besitzer bzw. Bewohner und Nutzer eine immer größere Unabhängigkeit von Preisentwicklungen für Energie in Form von Strom, Gas, Öl, Pellets, Fernwärme und anderen Energieformen.

Der Unsicherheitsfaktor Heizenergiekosten innerhalb der Betriebskosten eines Gebäudes verringert sich bei energieeffizienten und energiesparenden Gebäuden auf ein sehr geringes Maß, was für Investoren, Bewohner und Banken ein wichtiges Kriterium ist.

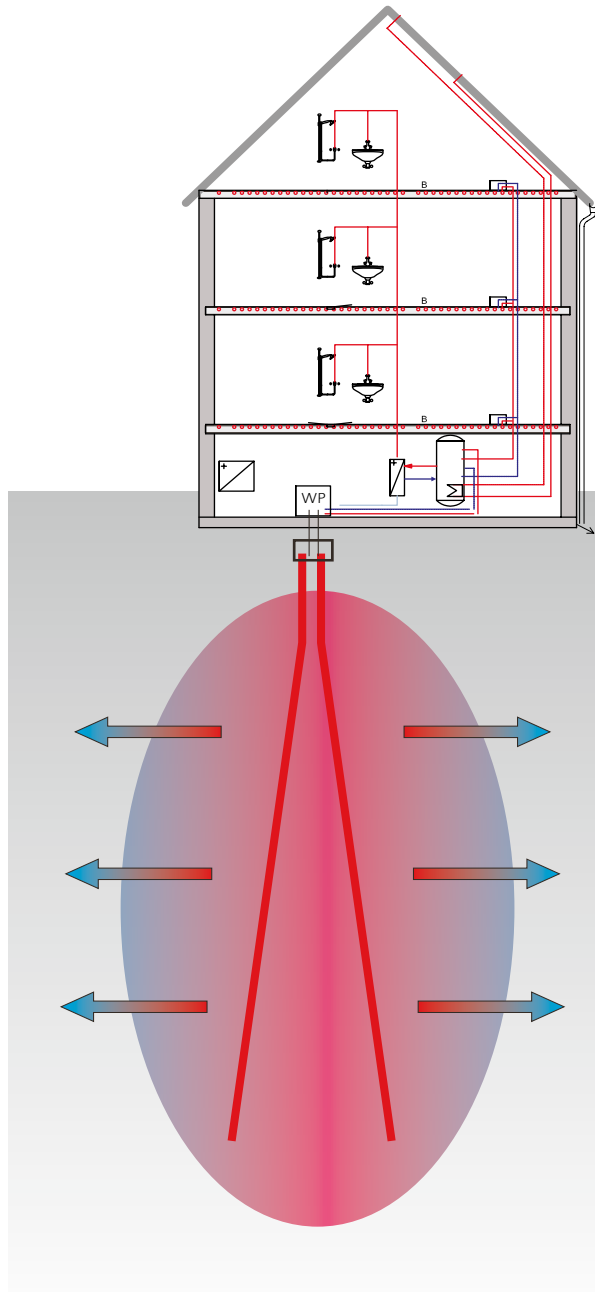


Abb. 4.1.2: Prinzip Sommer - Gebäudekühlung

### Kühlung von Wohn- und Gewerbegebäuden |

Eine mechanische Kühlung von Wohnungen und kleineren Gewerbeeinheiten ist bisher in Deutschland meist nicht notwendig, wenn entsprechende Speichermassen wie massive Decken, Wände oder Böden zur Verfügung stehen, ein sommerlicher Sonnenschutz vorhanden ist und die Möglichkeit der nächtlichen Auskühlung besteht.

Ob sich in der Zukunft das Komfortbedürfnis verändert und - ähnlich wie beim Auto - im Sommer eine Kühlung üblicher wird, kann derzeit nicht vorausgesagt werden. Eine zwingende Notwendigkeit der Kühlung wird sicher auch in Zukunft für Wohngebäude nicht bestehen, wenn über natürliche Lüftung oder eine kontrollierte Lüftung eine Nachtauskühlung möglich ist. Für bestimmte Gewerbeeinheiten wird eine Kühlung auch in Zukunft notwendig sein.

Wenn eine Kühlung notwendig oder gewünscht ist, sollte sie in Zukunft möglichst nachhaltig und energiesparend über den Untergrund (Erdsonden, Erdkollektoren) oder über solare Kühlung erfolgen.

Bei der Beheizung eines Gebäudes mit Sole-Wasser-Wärmepumpen über Erdsonden oder Erdkollektoren wird durch eine sommerliche Kühlung zum einen die „Kälteenergie“ des über die Heizperiode ausgekühlten Erdreiches ausgenutzt, zum anderen der Untergrund auch schneller wieder regeneriert. Durch die Erwärmung des Untergrundes im Sommer erhöht sich für den Heizbetrieb wiederum die Effizienz (Jahresarbeitszahl) der Wärmepumpe.

Die solare Kühlung über Adsorptionskältemaschinen oder Absorptionskältemaschinen im kleinen und mittleren Leistungsbereich (Anwendungsbereich innerstädtisches Kleingewerbe) erlebt derzeit eine Phase der breiten Markteinführung und der Massenfertigung. Insbesondere in Verbindung mit thermischen Solaranlagen, welche für Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ausgelegt sind und im Sommer oft ungenutzten Solarenergieüberschuss erzeugen, wird durch die solare Kühlung ein wesentlich höherer solarer Nutzungsgrad durch viel bessere Ausnutzung erzielt.

Bei beiden Kühlungsvarianten wird für die Kühlung im Wesentlichen nur Elektroenergie für die Umwälzpumpen benötigt, für die eigentliche Kälteerzeugung wird keine oder nur sehr wenig Elektroenergie gebraucht.

## 4.2 Bauweise und Heiz- und Kühlenergieverbrauch

Die Bauweise eines Gebäudes wird in Zukunft immer mehr durch den energetischen Standard der Bauteile der Hüllflächen und der dazugehörigen Gebäudetechnik beeinflusst.

Durch nachhaltige Bauweise wird erreicht, dass Gebäude einen geringen Heizwärmebedarf haben.

Beispiele für energetisch vorteilhafte Maßnahmen:

- hoher Dämmstandard (niedrige U-Werte) der opaken und transparenten Bauteile (siehe Kapitel 3: Bauklimatik) bewirken geringe Transmissionswärmeverluste
- ausreichend Fensterflächen erzielen hohe passive Solargewinne
- kontrollierte Wohnungslüftungen mit effektiver Wärmerückgewinnung führen zu geringen Wärmeverlusten durch Lüftung
- aktive Solaranlagen erreichen direkte Solargewinne für Warmwasserbereitung und Heizung
- Wärmepumpenheizungen oder andere regenerative Heizungen können die Restbeheizung mit einem hohen Anteil an Umweltenergie erbringen

In den Tabellen 4.2.1 und 4.2.2 wird aufgezeigt, wie sich der jeweilige Energiestandard auf Heizleistung und Heizwärmeverbrauch auswirkt. Für den Anwendungsfall Sole-Wasser-Wärmepumpe können daraus abgeleitet auch ungefähre Aussagen zu Elektroenergiebedarf, Erdsondenlänge bzw. Erdkollektorenfläche getroffen werden.

Heizenergiebedarf (Beispiel Gebäude mit 300 m <sup>2</sup> NF)	Energiestandard 1	Energiestandard 2	Energiestandard 3
Primärenergiebedarf in kWh/m <sup>2</sup> a	60	40	15 – 40
spezifischer Heizenergiebedarf in kWh/m <sup>2</sup> a	ca. 70	ca. 50	ca. 30 (Heizung+WWB)
Nettogrundfläche in m <sup>2</sup> (Beispielgebäude)	300	300	300
Vollbenutzungsstunden in h/a	1.800	1.800	1.800
Heizenergiebedarf in kWh/a	21.000	15.000	9.000
Heizleistung in kW	11,7	8,3	5,0

Leistungen bei Wärmepumpenbetrieb (COP = 4)	Energiestandard 1 Effizienzhaus-70	Energiestandard 2 Effizienzhaus-55	Energiestandard 3 Passivhaus
Anteil Umweltenergie (75 %) in kW = mögliche Kühlleistung Erdreich	8,8	6,3	3,8
erforderliche Erdsondenlänge in m bei 50 W/m Entzugsleistung	175	125	75
erforderliche Erdkollektorfläche in m <sup>2</sup> bei 25 W/m <sup>2</sup> Entzugsleistung	350	250	150
Anteil Elektroleistung (25 %) bei Einsatz einer Wärmepumpe	2,9	2,1	1,3
Jährlicher Stromverbrauch in kWh/a der Wärmepumpe (Heizbetrieb)	5.250	3.750	2.250

Tab. 4.2.1/2: Abhängigkeiten Heizenergiebedarf bei einem Gebäude mit 300 m<sup>2</sup> Nutzfläche und Energiestandard



#### 4.2.1 Energiestandard und Energieverbrauch

Zwischen Energiestandard und Heizwärmebedarf besteht ein unmittelbarer Zusammenhang. Je ungünstiger der Energiestandard des Gebäudes ist, desto höher werden Heizenergieverbrauch und notwendige Heizleistung und damit auch die Energiekosten.

Nebenstehendes Beispiel eines innerstädtischen Gebäudes mit einer typischen Größe von 300 m<sup>2</sup> Grundfläche und unterschiedlichen Energiestandards verdeutlicht auf einfache Weise, wie durch einen besseren Energiestandard der Wärmeverbrauch und die Wärmeleistung gesenkt werden können.

Am Beispiel einer Wärmepumpenheizungsanlage mit Arbeitszahl 4 (z. B. Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung) wird schnell deutlich, wie sich mit höherem Energiestandard Erdsondenlängen oder Erdkollektorflächen und elektrische Leistungen verringern. D. h., dass Mehrkosten auf der Bauseite für einen höheren Energiestandard zumindest teilweise durch Einsparungen auf der technischen Seite kompensiert werden.

#### 4.2.2 Wohnflächen und Energieverbrauch

Tab. 4.2.3: Heizenergieverbrauch in kWh/m<sup>2</sup>a

Wohnfläche in m <sup>2</sup>	Heizenergieverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> a]	
	40 kWh/m <sup>2</sup> a	30 kWh/m <sup>2</sup> a (Passivhaus) Hzg.+WWB
100	4.000	3.000
150	6.000	4.500
200	8.000	6.000
250	10.000	7.500
300	12.000	9.000
350	14.000	10.500
400	16.000	12.000
450	18.000	13.500
500	20.000	15.000
550	22.000	16.500
600	24.000	18.000
650	26.000	19.500
700	28.000	21.000
750	30.000	22.500

Tab. 4.2.4: Heizleistungen (ohne WWB) in kW

Wohnfläche in m <sup>2</sup>	Heizleistung (ohne WWB) [kW]	
	40 kWh/m <sup>2</sup> a	30 kWh/m <sup>2</sup> a (Passivhaus)
100	2,2	1,7
150	3,3	2,5
200	4,4	3,3
250	5,6	4,2
300	6,7	5,0
350	7,8	5,8
400	8,9	6,7
450	10,0	7,5
500	11,1	8,3
550	12,2	9,2
600	13,3	10,0
650	14,4	10,8
700	15,6	11,7
750	16,7	12,5

Die Entscheidung für den künftigen Energiestandard des Gebäudes erfolgt in den frühen Planungsstadien der Vor- bzw. Entwurfsplanung.

Die Tabellen 4.2.3 und 4.2.4 stellen eine ungefähre Abhängigkeit von Gebäudegröße (Nutz- bzw. Wohnfläche), Energiestandard und Heizenergieverbrauch bzw. Heizleistung dar. Dabei ist immer - insbesondere bei kleineren Heizleistungen - der Zuschlag für die Warmwasserbereitung in Abhängigkeit vom Warmwasserverbrauch zu beachten, um zu lange Aufheizzeiten zu verhindern.

### 4.2.3 Dynamische Gebäudesimulation

Bei Gebäuden mit hohem energetischen Standard hat der Einsatz der verwendeten Bau- und Dämmstoffe einen wesentlichen Einfluss auf das Gebäudeverhalten.

Deshalb wurde das Musterhaus Haus 2 mit Satteldach für einen Energiestandard, welcher einem Heizenergiestandard von 40 kWh/m<sup>2</sup>a entspricht, mit verschiedenen Wandaufbauten mittels dynamischer Gebäudesimulation untersucht.

Die dynamischen Gebäudesimulationen wurden mit dem Programm DK-Integral von Delzer Kybernetik durchgeführt, um Ergebnisse zu erhalten, die mit den üblichen EnEV- und Energieberatungsprogrammen nicht ermittelt werden können.

Mit DK-Integral kann man alle energietechnisch relevanten Parameter schon im frühen Entwurfsstadium simulieren. Auf diese Weise kann bereits im Entwurf, aber auch im Rahmen einer Modernisierung oder Erweiterung von Bestandsprojekten, der optimale Wirkungsgrad eines Gebäudes simuliert und umgesetzt werden. Dabei können

Faktoren wie Gebäude, Standort, Materialien, technische Anlagen, Energiefassaden, Solarsysteme, Geothermie und Feuchte/Austrocknung eingegeben und untersucht werden. Dies bildet die Basis für eine erfolgreiche ganzheitliche/integrale Planung.

### Randbedingungen der Simulation |

Musterhaus Haus 2

- 44 % Verglasung an der Ostfassade
- 50 % Verglasung an der Westfassade
- Innenwände in Trockenbauweise
- Zwischendecken aus Stahlbetonplatten, an der Unterseite mit Gipskarton verkleidet
- Heizenergiebedarf: ca. 40 kWh/m<sup>2</sup>a
- U-Wert Verglasung: 1,1 W/m<sup>2</sup>K
- g-Wert Verglasung: 0,65
- Außenwanddämmung: Mineralwolle (WLG 040)
- kein Sonnenschutz

### Heizsystem:

- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden
- Niedertemperatur-Fußbodenheizung

### Lüftung:

- Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Wärmerückgewinnungsgrad: 80 %
- Luftwechsel am Tag: 0,5 / h
- Luftwechsel Nacht: 4,0 / h (Sommer)

Energiebedarf für Warmwasser gemäß EnEV

Diese Randbedingungen sind für alle 8 Varianten gleich angesetzt worden.

Die ausgewählten 8 Varianten sind alle für eine Systembauweise mit Stahltragwerk prinzipiell geeignet.

Die Varianten entsprechen den untersuchten Grundvarianten aus dem Bereich Bauklimatik, Kapitel 3. Die dort aufgeführten Untervarianten, z. B. 1a, b sind energetisch nicht oder kaum relevant.



Übersicht der simulierten Wandaufbauten									
Variante 1a		Variante 1b		Variante 1c		Variante 2		Variante 3	
Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]
KS-Verblender	11,5	KS-Verblender	11,5	KS-Verblender	11,5	KS-Verblender	11,5	Außenputz	2,0
Dämmung	20,0	Dämmung	20,0	Dämmung	20,0	Dämmung	20,0	Dämmung	20
Dämmung	4,0	Dämmung	4,0	Dämmung	4,0	KS-Elemente	11,5	Dämmung	4,0
KS-Elemente	11,5	KS-Elemente	11,5	KS-Elemente	11,5	Lattung	4,0	KS-Elemente	11,5
Gipskartonplatte	3,75	Lehmbauplatte	6,0	Gipskartonplatte	2,5	Gipskartonplatte	2,5	Gipskartonplatte	3,75
				PCM-Platte	1,25				
Variante 4		Variante 5a		Variante 5b		Variante 6a		Variante 6b	
Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]	Schichten:	[cm]
Faserzementpl.	2,0	KS-Verblender	11,5	KS-Verblender	11,5	Hoesch-Matrix	12,0	Hoesch-Matrix	12,0
Lattung/Konterl.	4,0	Dämmung	12,0	Dämmung	12,0	Dämmung	6,0	Dämmung	16,0
Winddichtpapier		Dämmung	16,0	Dämmung	16,0	Dämmung	16,0	Dampfsperre	
Dämmung	20,0	Dampfbremse		Dampfbremse		Dampfsperre		Gipskartonplatte	2,5
Dämmung	4,0	Gipskartonplatte	2,5	Gipskartonplatte	2,5	Gipskartonplatte	2,5		
KS-Elemente	11,5			PCM-Platte	1,25				
Gipskartonplatte	3,75								

Tab. 4.2.5: Übersicht Wandaufbauten Musterhaus

Für die grau hinterlegten Varianten wurden keine gesonderten dynamischen Gebäudesimulationen am Beispiel des Musterhauses durchgeführt, da nur die ersten 10 cm (von innen) des Wandauf-

baus für das Speicherverhalten der Wand ausschlaggebend sind. Da die inneren Wandaufbauten mit der Variante 1a identisch ist, sind folglich die gleichen Ergebnisse zu erwarten.

4.2

## Ergebnisse der Simulation |

Stunden über 25°C, 27°C und 29°C

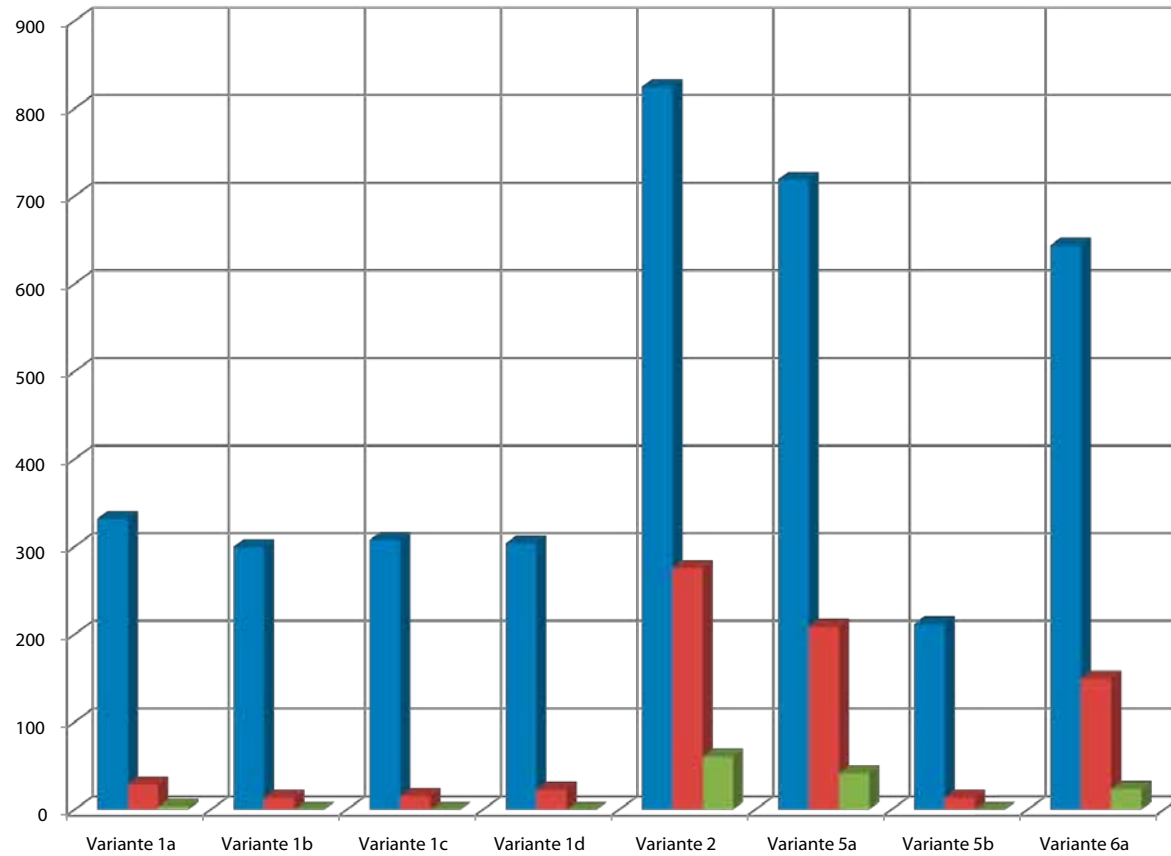
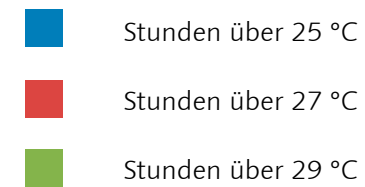


Abb. 4.2.1: Ergebnisse der Simulation (Temperaturen im Sommer)



Tab. 4.2.6: Überhitzung im Sommer

	Variante 1a (KS + GK)	Variante 1b (KS + Lehmplatte)	Variante 1c (KS + PCM)	Variante 1d (KS + Holzfaser)	Variante 2 (KS + Lattung)	Variante 5a (Leichtbau)	Variante 5b (Leichtbau +PCM)	Variante 6a (Hoesch-Matrix)
Stunden über 25 °C	332	300	308	304	825	719	212	644
Stunden über 27 °C	29	14	16	23	276	209	14	150
Stunden über 29 °C	4	0	0	0	61	42	0	24





Heiz- und Kühlenergiebedarf in kWh/a

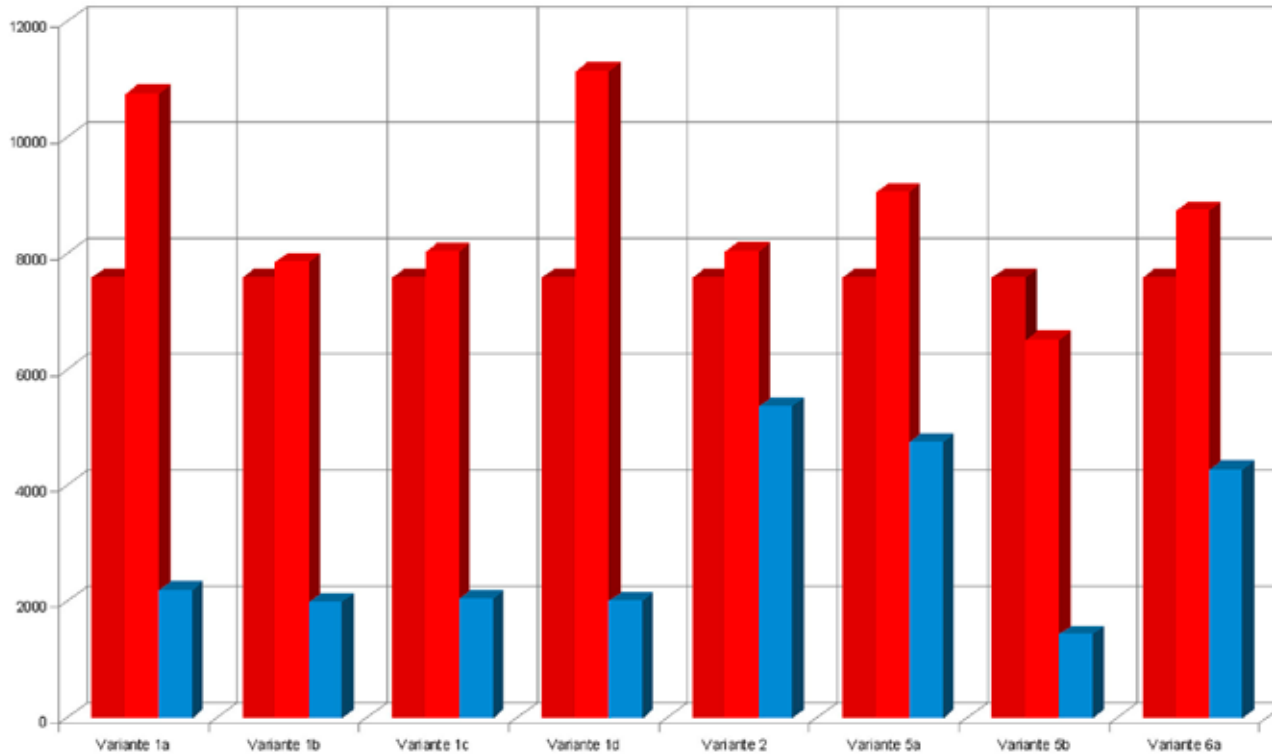


Abb. 4.2.2: Ergebnisse der Simulation (Heiz- und Kühlbedarf)

- Heizenergiebedarf
- Warmwasserbereitung (17 kWh/m²a)
- Kühlenergiebedarf

Tab. 4.2.7: Energiebedarf Heizen und Kühlen

	Variante 1a (KS + GK)	Variante 1b (KS + Lehmplatte)	Variante 1c (KS + PCM)	Variante 1d (KS + Holzfaser)	Variante 2 (KS + Lattung)	Variante 5a (Leichtbau)	Variante 5b (Leichtbau +PCM)	Variante 6a (Hoesch-Matrix)
Heizenergiebedarf	10.740	7.843	8.025	11.141	8.035	9.055	6.504	8.737
Warmwasserbereitung	7.580	7.580	7.580	7.580	7.580	7.580	7.580	7.580
Kühlenergiebedarf	2.201	1.983	2.038	2.016	5.353	4.745	1.434	4.271

### Auswertung der Ergebnisse der Simulation |

Stunden über 25°C, 27°C und 29°C:

Die Varianten mit Speichermasse (Kalksandstein oder PCM) weisen weitaus weniger Überhitzungsstunden auf als Wandaufbauten ohne speicherfähige Baustoffe.

Die Varianten 1a – 1d (alle mit Speichermasse Kalksandstein, aber verschiedenen Innenwandschichten) haben annähernd gleiche Ergebnisse.

Der positive Wärmespeichereffekt des PCM kommt ohne Kalksandstein (Variante 5b) besser zum Tragen als mit Kalksandstein (Variante 1c).

Die Stunden über 25°C sind bei den Varianten 1a – 1c und 5b für eine Wohnnutzung ohne Kühlung zumutbar.

Heiz- und Kühlenergiebedarf:

Die Varianten 1b, 1c und 5b weisen die energetisch günstigsten Ergebnisse auf (positiver Einfluss von PCM, Lehm oder Holzfasern auf das Raumklima).

Bei den Varianten 1b, 1c und 5b ist der Heizwärmebedarf ca. 10 – 20 % geringer als bei den anderen Varianten.

Der Energiebedarf zum Kühlen (gerechnet ab Innentemperaturen von 25°C und höher) ist bei allen Varianten wesentlich geringer als der Energiebedarf zum Heizen.

Der Energiebedarf zum Kühlen ist bei den Varianten 5a und 6a (ohne speicherfähige Bauteile) wesentlich höher als bei den übrigen Varianten.

Neben der Behaglichkeit sinkt mit steigender Raumtemperatur auch die geistige Leistungsfähigkeit des Menschen enorm. Dieser Aspekt muss insbesondere bei gewerblich genutzten innerstädtischen Gebäuden berücksichtigt werden.

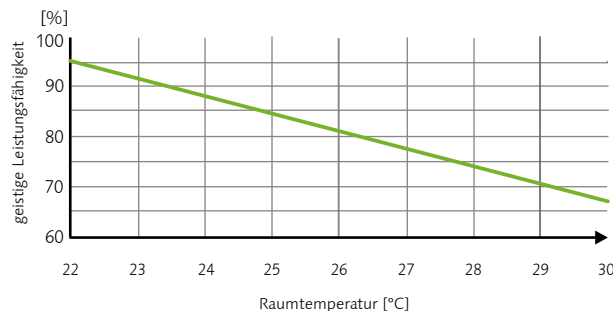


Abb. 4.2.3: Geistige Leistungsfähigkeit des Menschen in Abhängigkeit von der Raumtemperatur

### Empfehlungen |

Systembauweisen ohne speicherfähige Bauteile sollten nicht ohne Kühlung (z. B. durch Erdsonden) verwendet werden, da die Anzahl der Stunden mit Temperaturen über 25°C, 27°C bzw. 29°C weder zum Wohnen noch für eine gewerbliche Nutzung zumutbar sind.

Durch weitere Maßnahmen - z. B. Sonnenschutz, Erdreichwärmeübertrager der kontrollierten Lüftung - können weitere Verbesserungen bei den Varianten erzielt werden.



**Phase Change Material zur Energiespeicherung** | PCM ist ein Phasenwechselmaterial, das innerhalb des Raumtemperatur- und Behaglichkeitsbereichs des Menschen (bei 21°C, 23°C oder 26°C) seinen Aggregatzustand von fest nach flüssig verändert. Auf diese Weise können gewisse Mengen an Wärme gespeichert werden und es kann die Raumtemperatur gezielt stabilisiert werden.

Die tagsüber auftretenden Temperaturspitzen können minimiert werden (nebenstehendes Diagramm). In einem definierbaren Temperaturbereich wird die Wärme gespeichert und zeitverzögert in den Abendstunden oder nachts wieder abgegeben.

Wird PCM in verschiedene Baustoffen (z. B. Gipskartonplatten oder Putz) verwendet, kann es - bis zu einem gewissen Maß - zu einem verbesserten Raumklima beitragen.

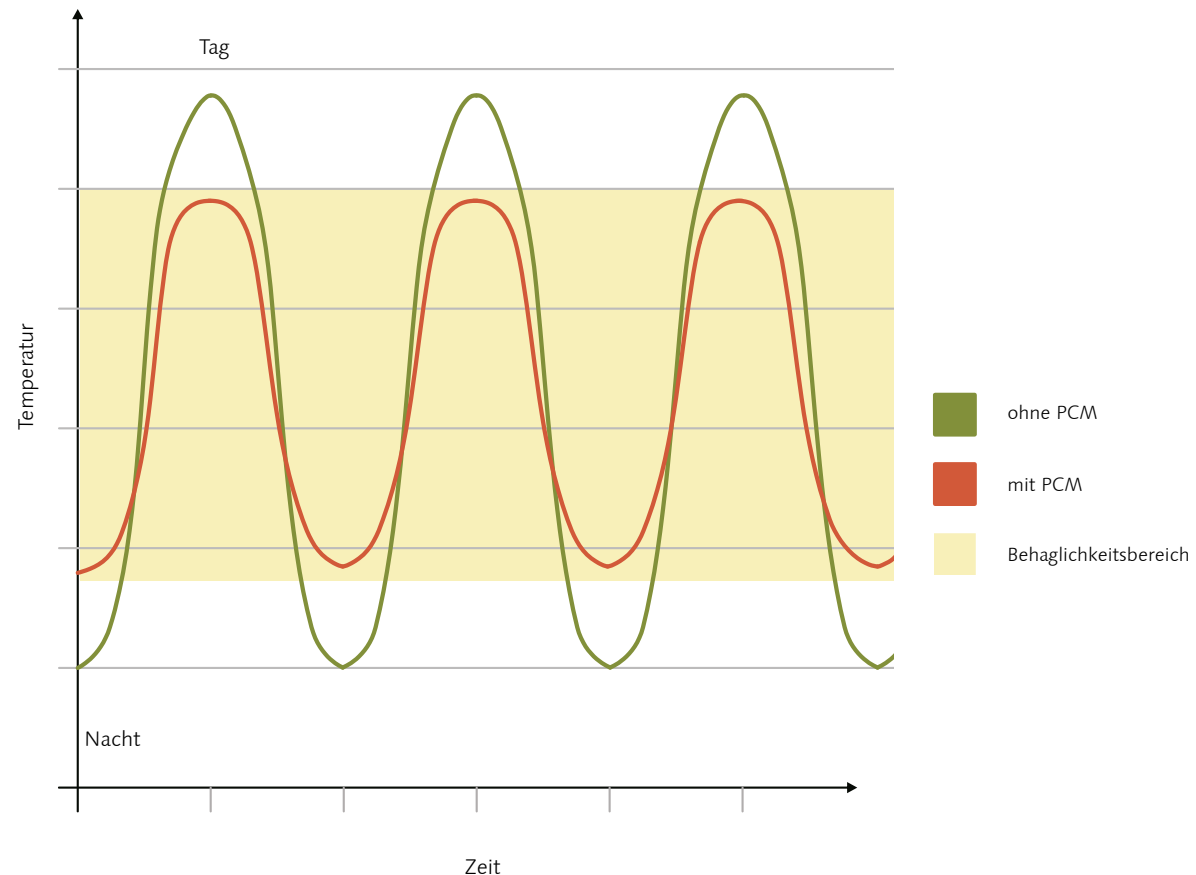
Die verwendeten PCM - Gipskartonplatten enthalten im Kern der Mikrokapsel ein Latentwärmespeichermaterial aus einer speziellen Wachsmischung. Diese absorbiert bei Temperaturanstieg über eine definierte Temperaturschwelle die überschüssige Wärmeenergie durch Verflüssigung und speichert diese im Phasenwandel. Bei Absenkung der Temperatur unter die entsprechende Temperaturschwelle gibt die Kapsel die gespeicherte Wärmeenergie wieder ab. Für den sommerlichen Wärmeschutz ist deshalb eine nächtliche Abkühlung Voraussetzung (Übergang flüssig - fest) für die Wirksamkeit des PCM-Materials.

Wie die Ergebnisse der untersuchten Varianten 1c und 5b zeigen, ist die Auswirkung dieses Baustoffs auf das Raumklima bei verschiedenen Wandaufbauten differenziert.

Während bei Variante 1a der Unterschied an Stunden über 25°C, 27°C und 29°C im Verhältnis zu Grundvariante 1a gering ist, sind bei Variante

5a wesentlich größere Minimierungen bei der Stundenanzahl über der jeweilige Temperatur erkennbar. Die Anzahl der Stunden über 25°C reduziert sich um 70 %, die der Stunden über 27°C sogar um 94 %. Die Temperatur steigt bei dieser Leichtbauvariante dann auch nicht mehr über 29°C.

Abb. 4.2.4: Temperaturamplituden mit und ohne PCM



#### 4.2.4 EnEV-Berechnung

Gemäß der EnEV 2009 (Energieeinsparverordnung Stand 01.10.2009) müssen zwei energetische Hauptkriterien beim Bau eines Gebäudes eingehalten werden:

- Einhaltung des maximalen Transmissionswärmeverlusts  $H_T$
- Einhaltung des maximalen Primärenergieverbrauchs  $Q_p$

Das Thema Transmissionswärmeverlust  $H_T$  wurde im Kapitel 3.1 (Bauphysik) ausführlich beschrieben. Durch die eingesetzte Gebäudetechnik und Primärenergie werden vor allem der Primärenergieverbrauch  $Q_p$ , die Anlagenaufwandszahl  $e_p$  und Primärenergiefaktor  $f_p$  beeinflusst.

**Primärenergieverbrauch  $Q_p$**  | Der Primärenergieverbrauch hängt sowohl vom baulichen Standard als auch von den eingesetzten Systemen bei Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung ab. Entscheidend ist vor allem, welche Primärenergien für Heizung und Warmwasserbereitung eingesetzt werden. Je höher der Anteil an regenerativen Energien, z. B. Solarenergie oder Pellets, desto geringer wird der Primärenergiebedarf. Der Primärenergiebedarf der EnEV berücksichtigt nur die fossile Energiemenge, welche benötigt wird, um den Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes zu decken, und zwar für die Erzeugung bzw. Gewinnung, die Umwandlung und den Transport des jeweiligen Energieträgers. Der regenerative Anteil wird nicht berücksichtigt.

**Anlagenaufwandszahl  $e_p$**  | Die Anlagenaufwandszahl hängt unmittelbar mit dem Primärenergieaufwand zusammen und berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen der von der Anlagentechnik verbrauchten Primärenergie und der abgegebenen Nutzwärme. Je umweltfreundlicher der verwendete Energieträger ist, desto geringer ist die Anlagenaufwandszahl.

**Primärenergiefaktor  $f_p$**  | Durch den Primärenergiefaktor drückt sich die Umweltverträglichkeit eines Energieträgers aus. Der Primärenergiefaktor  $f_p$  ist umso kleiner, je weniger umweltschädliche Stoffe wie z. B. Kohlendioxid, Schwefeldioxid oder Kohlenmonoxid bei der Verbrennung frei werden. Je kleiner  $f_p$  ist, desto kleiner wird auch  $e_p$ . Regenerative Energien wie Solarenergie, Holz oder pflanzliche Öle werden als  $CO_2$ -neutral betrachtet.

#### Primärenergie-Faktoren von Energieträgern |

Bezugsgröße unterer Heizwert  $H_u$ :

- Heizöl EL: 1,1
- Erdgas: 1,1
- Flüssiggas: 1,1
- Holzpellets: 0,2

Nah-/Fernwärme aus KWK:

- fossiler Brennstoff: 0,7
- erneuerbarer Brennstoff: 0,0

(Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärmesysteme und müssen beim jeweiligen Anbieter nachgefragt werden)

Nah-/Fernwärme aus Heizwerken:

- fossiler Brennstoff: 1,3
- erneuerbarer Brennstoff: 0,1

Tab. 4.2.8: Randbedingungen der EnEV-Berechnung

	Variante 1 KfW-70	Variante 2 KfW-55	Variante 3 KfW-55
U-Werte Bauteile [ W/m <sup>2</sup> K]	siehe 3.1.3. Fenster $U_w = 1,3$	siehe 3.1.3. Fenster $U_w = 0,8$	siehe 3.1.3. Fenster $U_w = 0,8$
Wärmeerzeuger	Sole-Wasser-Wärmepumpe		
thermische Solaranlagen	10 % für Heizungsunterstützung; 52,4% für WWB		
Lüftung	mit Fensterlüftung	mit Fensterlüftung	im Regelfall kontrollierte Lüftung mit WRG mind. 80 %
Dichtheitsprüfung	nein	ja	ja
Regelung Fußboden- heizung	Zweipunktregler Regeldifferenz 2 K	elektronische Regelung mit Optimierungsfunktion	

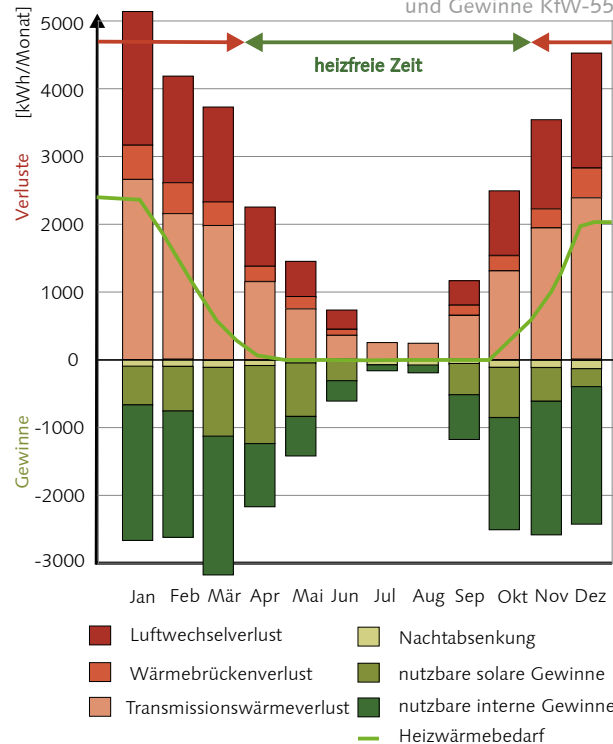


**Randbedingungen der Berechnung** | Die EnEV für das Musterhaus Haus 1 wurde unter den Randbedingungen nach Tabelle 4.2.8 für die beiden Gebäudetypen KfW-Effizienzhaus 70 und 55 berechnet.

Bei allen Varianten wurden weiterhin folgende weitere Randbedingungen für alle Varianten angesetzt:

- Fußbodenheizungen mit Vor- und Rücklauf-temperaturen 35/28°C
- hydraulischer Abgleich des Rohrnetzes
- drehzahlgeregelte Umwälzpumpen
- Wärmedämmung Heizungsleitungen gemäß EnEV
- Wärmepumpe = elektr. Kompressionswärmepumpe

Abb. 4.2.5: monatl. Verluste und Gewinne KfW-55



**Ergebnisse der EnEV-Berechnungen I**

Tab. 4.2.9: Ergebnisse der EnEV-Berechnung

Kenngrößen	Einheit	KfW-70	KfW-55 (ohne Fensterlüftung)	KfW-55 (mit Lüftung + WRG)
Jahresprimärenergiebedarf $O_p$	kWh/m <sup>2</sup> a	38,8	29,9	27,1
spez. Transmissionswärmeverlust $H'_T$	W/m <sup>2</sup> K	0,379	0,299	0,299
spez. Jahresheizwärmebedarf $O_h$	kWh/m <sup>2</sup> a	36,19	31,37	13,54
Heizleistung	kW	17,40	15,6	10,8
Anlagenaufwandszahl $e_p$	-	0,797	0,682	0,625
CO <sub>2</sub>	kg/m <sup>2</sup> a	9,74	7,86	7,12
Endenergie q	kWh/m <sup>2</sup> a	21,10	11,50	10,4
Energiekosten	€/a	1641,-	1264,-	1241,-

1. Der Energiestandard KfW-55 lässt sich bei diesem Gebäude auch mit sehr niedrigen U-Werten, hohen passiven und aktiven Solarerträgen und einer effizienten Gebäudetechnik ohne eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung knapp erreichen.
2. Die Heizperiode von Gebäuden mit hohem Energiestandard verkürzt sich gegenüber herkömmlichen Gebäuden wesentlich.
3. Der Heizenergiebedarf liegt bei dem KfW-55-Musterhaus mit kontrollierter Lüftung und WRG mit 13,5 kWh/m<sup>2</sup>a zwar um einiges unter einem KfW-55-Gebäude ohne kontrollierte Lüftung (31,4 kWh/m<sup>2</sup>a), aber der Unterschied beim Primärenergiebedarf ist wesentlich geringer, da der Energieeinsparung beim Lüftungswärmebedarf auch die

Energie für die elektrisch betriebenen Lüfter entgegengesetzt werden muss. Die Vorteile liegen hier vorrangig bei der gleichmäßigen Durchlüftung der Räume und den damit verbundenen Vorteilen für die Gesundheit der Bewohner bzw. Nutzer.

4. Mit der Systembauweise mit Stahltragwerk sind energieeffiziente Gebäude bis hin zum Passivhausstandard möglich (Variante 3: Heizwärmebedarf < 15 kWh/m<sup>2</sup>a), wenn im innerstädtischen Bereich Faktoren wie die Nutzung passiver solarer Gewinne (große Fenster, günstige Ausrichtung), aktive Solarenergienutzung, wenig Verschattung durch Nachbarbebauung oder Bäume und kommunale Auflagen dies zulassen.

4.2

### 4.3. Das Gebäude als Energieerzeuger

Die Gebäudehülle ist eine Schnittstelle zwischen Außenklima und Raumklima. Sie hatte bisher die Aufgabe, den Wärmeverlust gering zu halten und behagliche Verhältnisse im Inneren des Gebäudes zu schaffen, die Innenräume mit ausreichend natürlichem Licht zu versorgen, vor Lärm zu schützen und sich gestalterisch in seine städtische Umgebung einzupassen. Durch die Integration aktiver und passiver Solarelemente in die Fassade oder das Dach kann die Gebäudehülle auch als Energieerzeuger betrachtet werden.

#### 4.3.1 Aktive Solarenergienutzung

Neue Gebäude verfügen über verschiedene Möglichkeiten, Solarenergie über die transparenten und opaken Bauteile direkt und indirekt zu nutzen.

Über die Hüllflächen kann Solarenergie aufgefangen und in Wärme oder Strom umgewandelt werden.

In Speichern verschiedenster Art kann Wärme über kürzere oder längere Zeit erhalten werden; das Spektrum reicht von einfachen Wasser-Pufferspeichern über Wärmespeicher unter der Bodenplatte bis hin zu saisonalen Latentwärmespeichern.

Bereits mit der Dachform kann entschieden werden, wie viel Solarenergie durch die jeweilige Dachform genutzt werden kann.

Dachform	Fläche	Prozentualer Anteil
Beispiel: innerstädtisches Gebäude mit Grundfläche (12 m x 10,8 m)	130 m <sup>2</sup>	100 %
Flachdach (30° aufgeständert)	ca. 45 m <sup>2</sup>	35 %
Pultdach	ca.135 m <sup>2</sup>	104 %
Satteldach 30°	ca. 71 m <sup>2</sup>	55 %
Satteldach 45°	ca. 87 m <sup>2</sup>	67 %
Satteldach 60°	ca. 123 m <sup>2</sup>	95 %

Tab. 4.3.1 Solare Nutzungsflächen verschiedener Dachformen für innerstädtisches Gebäude

Weiterhin muss bei der innerstädtischen Bebauung geprüft werden, inwieweit das Gebäude durch andere Gebäude oder Bäume verschattet wird.

Die ideale Dachform für die Solarnutzung ist das Pultdach. Dieses sollte allerdings eine Neigung von mind. 5 – 10° (je nach Modultyp) haben, damit sich die Solarmodule oder Kollektoren selbst reinigen können. Auch bei etwas geringerem spezifischen Ertrag gegenüber dem idealen Aufstellwinkel ist bei dieser Dachform der größte Solarertrag zu erwarten, da die komplette Dachfläche genutzt wird.

Das Flachdach mit Solarmodulen in aufgeständerter Bauweise bietet aufgrund des Abstandes zur Vermeidung der gegenseitigen Verschattung

nur eine relativ geringe Fläche zur aktiven Nutzung von Solarenergie. Bei einem geringeren Neigungswinkel als 30°, z. B. 15 – 20° kann die aktive Fläche allerdings vergrößert werden. Der spezifische Ertrag verringert sich dadurch nur geringfügig.

Satteldächer weisen meist günstige Neigungswinkel zur Solarenergienutzung auf, allerdings kann bei Nord-Süd-Ausrichtung immer nur eine Dachhälfte sinnvoll genutzt werden. Bei Dächern mit Ost-West-Ausrichtung ist es möglich beide Dachhälften zu nutzen, allerdings ist der spezifische solare Gewinn je Quadratmeter geringer als bei südlichen Ausrichtungen.

Kompliziertere Dachformen sind für die Solarenergienutzung eher ungünstig bzw. nicht geeignet.



**Ausrichtungsfaktoren** | Die Ausrichtung und der Neigungswinkel von Dachflächen und Fassaden sind neben weiteren Randbedingungen wie Verschattung und Klimazone die entscheidenden Faktoren für den solaren Ertrag von thermischen bzw. photovoltaischen Solaranlagen. Die Tabelle 4.3.2 verdeutlicht, dass bei gleichem Azimutwinkel (Abweichung von der Südausrichtung) vertikal an der Fassade angebrachte Solarmodule einen wesentlich geringeren Ertrag erbringen als auf geneigten Flächen. Dies spricht dafür, aktive Solarenergie zuerst über die Dachflächen zu nutzen.

\* geringe Selbstreinigung der Module, höherer Wartungsaufwand

Die Ausrichtungsfaktoren geben für PV-Module und thermischen Kollektoren die optimal erzielbaren Wirkungsgrade an. Ist es jedoch z. B. das Ziel, möglichst viel Solarenergie für die Heizungsunterstützung zu nutzen, dann ist es durchaus sinnvoll, die Kollektoren senkrecht an der Fassade zu befestigen, weil dort in der Heizperiode durch den geringen Neigungswinkel der Sonne zwischen 15° und 30° relativ günstige Solargewinne zu erwarten sind.

- sehr gut geeignet für PV-Anlagen
- gut geeignet
- bedingt geeignet
- weniger geeignet

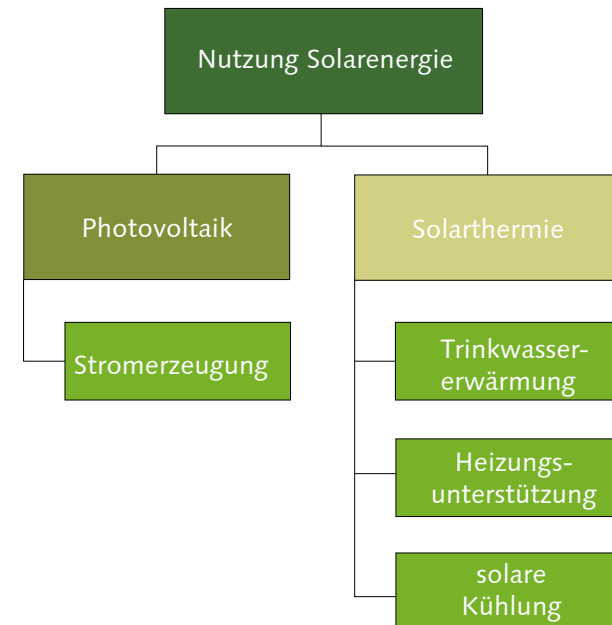
Tab. 4.3.2: Solarer Ertrag nach Ausrichtung

Azimut	West 90°	WSW 67,5°	SW 45°	SSW 22,5°	Süd 0°	SSO -22,5°	SO -45°	OSO -67,5°	Ost -90°
Neigung	solarer Ertrag								
0° *					0,90				
15°	0,90	0,93	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,95	0,92
30°	0,86	0,91	0,96	0,98	1,00	0,99	0,97	0,92	0,88
45°	0,80	0,87	0,92	0,95	0,97	0,96	0,94	0,89	0,82
60°	0,73	0,80	0,85	0,88	0,90	0,89	0,87	0,82	0,75
75°	0,63	0,70	0,75	0,78	0,80	0,79	0,77	0,72	0,65
90°	0,56	0,58	0,61	0,63	0,67	0,63	0,61	0,58	0,56

Bei gering geneigten Dachformen sind auch Dächer in Ost- oder Westausrichtung noch gut für die aktive Solarenergienutzung geeignet.

**Nutzungsformen der Solarenergie** | Im Regelfall wird Solarenergie im innerstädtischen Bereich in Form von thermischen Kollektoren und Photovoltaik-Modulen genutzt. Dabei sind architektonisch ansprechende Lösungen wie Dachintegration, komplette homogene Solardächer, Anpassung der Baustoffe (z. B. Bleche der Einfassungen), farbliche Abstimmung etc. gegenüber Aufdachanlagen zu bevorzugen, da sie das Stadtbild prägen werden. Solaranlagen dürfen nicht als Fremdkörper auf dem Gebäude wirken.

Abb. 4.3.1: Möglichkeiten der Nutzung von Solarenergie



- 
- 
- 
- 4.3
- 
- 
- 
-

**Vergleich: thermische und photovoltaische Nutzung der Solarenergie** | Optisch sind für den Laien thermische Kollektoren und PV-Module teilweise nicht oder kaum zu erkennen. Viele Firmen stellen inzwischen beide Typen von Solaranlagen in gleicher Größe und gleichem Design her, so dass auf einem Dach architektonisch ansprechend problemlos sowohl Wärme als auch Strom produziert werden können. Auch sind die ersten Hybridkollektoren auf dem Markt (z. B. Fa. Solarhybrid), in welchen thermische Absorber und PV-Module in einem Kollektor vereint sind. Die thermischen Kollektoren sorgen gleichzeitig für eine Enthitzung der PV-Module.

Die Wirkungsgrade beider Systeme bewegen sich in folgenden Größenordnungen:

- PV-Module: 6 – 18 %
- Thermische Kollektoren: 35 – 60 %

Der Wirkungsgrad thermischer Anlagen ist momentan noch wesentlich höher als bei PV-Anlagen (im Labor bis 39 %). Die Photovoltaik hat wiederum den Vorteil, dass der komplette erzeugte Strom selbst verbraucht oder in das Stromnetz eingespeist werden kann, während thermische Anlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung im Sommer viel überschüssige Wärme produzieren, die meist nicht genutzt wird.

Ideal ist eine gleichzeitige Nutzung von Solarenergie im Sommer für Warmwasserbereitung und solare Kühlung über Ad- oder Absorptionskältemaschinen und im Winter für die Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung.

**Typen von Solarzellen** | Bei Photovoltaik-Modulen werden folgende Typen unterschieden:

- Monokristalline Zellen
  - Material: Silizium
  - Wirkungsgrad: 15 – 17 %
  - Erntefaktor: 5,5-fach
  - Marktanteil: 30 %
- Polykristalline Zellen
  - Material: Silizium
  - Wirkungsgrad: 13 – 15 %
  - Erntefaktor: 8-fach
  - Marktanteil: 60 %
- Amorphe Zellen (Dünnschichtmodule)
  - Material: Silizium, Cadmium - Tellurid, Kupfer - Indium - Selen
  - Wirkungsgrad: 6 – 10 %
  - Erntefaktor: 11-fach bis 20-fach
  - Marktanteil: 10 %

**Erntefaktor** | Faktor, welcher ausdrückt, wie viel Energie während einer Lebensdauer einer Solaranlage mehr produziert wird als zur Herstellung und Entsorgung notwendig ist.

Amorphe Zellen (Dünnschichtmodule) haben einen geringeren Wirkungsgrad. Sie zeichnen sich aber durch positives Teillastverhalten sowie einem größeren Spielraum bei der Gestaltung aus. Es ist zu erwarten, dass zukünftig die Verwendung von Dünnschichtmodulen zunehmen wird.

Entscheidend für den Einsatz von PV-Modulen ist nicht nur der Wirkungsgrad, sondern auch Herstellungskosten, Erntefaktor, Herstellungskosten und Integrationsmöglichkeiten in das Gebäude. Dünnschichtmodule beispielsweise bieten durch die rahmenlose Bauweise und die Möglichkeit der unterschiedlichen Farbgebung mehr Möglichkeiten, in ein Gebäude integriert zu werden.





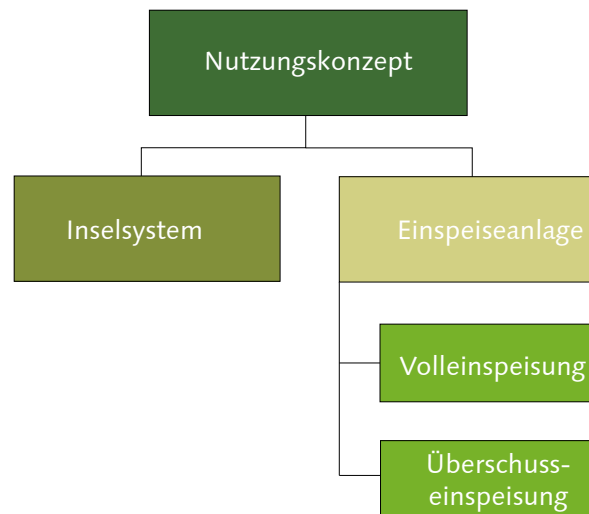
### 4.3.2 Das Gebäude als Stromerzeuger

Mit PV-Modulen verschiedener Art ist es möglich, über die Außenhülle des Gebäudes Strom zu erzeugen. Das Gebäude ist dadurch nicht nur Stromverbraucher, sondern gleichzeitig auch Stromerzeuger. Dem Anliegen vieler Bürger und Politiker, die Energie möglichst umweltfreundlich dort zu erzeugen, wo sie auch verbraucht wird, kommt ein stromerzeugendes Gebäude sehr entgegen.

Generell ist es möglich, den erzeugten Strom selbst zu verbrauchen oder in das öffentliche Netz einzuspeisen. Politisch geht die Tendenz dahin, selbst verbrauchten Strom stärker zu fördern als eingespeisten regenerativen Strom. Prinzipiell ist es möglich PV-Anlagen als Inselsystem (alleinige Stromversorgung) zu betreiben, was aber bisher fast nur im Wochenendhaus bzw. Caravan/Campingbereich üblich ist. Im innerstädtischen Wohnbereich wird Solarstrom aus Photovoltaikanlagen meist komplett eingespeist oder soweit wie möglich selbst verbraucht und nur der Überschussstrom in das Netz eingespeist.

Gefördert wird Solarstrom seit 2000 über das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) mit einer Einspeisevergütung je kWh eingespeisten oder selbstverbrauchten Strom. Das Gesetz beinhaltet eine jährliche Degression der Vergütung, so dass in ein paar Jahren die Solarmodule wettbewerbsfähig sein müssen und die Förderung entfallen kann.

Abb. 4.3.2: Möglichkeiten der Nutzung von Solarstrom



**Solararchitektur** | Die aktive Solartechnik wird in der Zukunft mehr Akzeptanz erfahren, wenn es gelingt, sie gestalterisch-harmonisch in die Gebäude zu integrieren, so dass sie nicht mehr wie Fremdkörper wirken.

Dieser Weg bedeutet auch mehr Abstimmungs- und Planungsbedarf zwischen Architektur und Gebäudetechnik, wenn ein technisches Element wie z. B. ein PV-Modul auch gleichzeitig als gestalterisches Element agieren soll.

Wird dieser Weg konsequent gegangen, kann von Solararchitektur gesprochen werden.

**Einsatzmöglichkeiten von Photovoltaik** | Anhand des Musterhauses wurden verschiedene Varianten der solaren Stromerzeugung simuliert und analysiert, welche Möglichkeiten für die zwei Dachbereiche Flachdach und Satteldach des Modellgebäudes wirtschaftlich und technisch praktikabel sind.

#### Flachdach |

- Einsatz von kristallinen und amorphen Modulen mit 30°-Ausrichtung nach Süden
- PV als energetisches von unten nicht sichtbares Element

#### Satteldach |

- Einsatz von kristallinen und amorphen Modulen
- Dachneigung 30° in Ost-West-Ausrichtung
- Solarmodule als homogenes komplettes Solardach
- Rahmen der Module angepasst an Dacheinfassung
- PV als gestalterisches und energetisches Element

Die Simulation für geeignete Photovoltaik-Anlagen wurde mit dem Programm PV-Sol® durchgeführt. Als Wetterdatensatz wurde für alle Varianten die Stadt Erfurt gewählt.

**Straßenansicht Musterhaus mit Solartechnik |**

Satteldach:

- Ost-West-Ausrichtung
- Solartechnik als homogene Dachdeckung

Flachdach:

- Module nach Süden ausgerichtet
- für alle Typen von Modulen nutzbar

Abb. 4.3.3/4: Ansichten Musterhaus



Solare Erträge (Beispielrechnungen)

- Satteldach Ost/West
  - PV, polykristallin, Indach
  - Ränder mit Blindfeldern
  - Leistung: je 4,5 - 5,0 kW
  - Ertrag: je 3.200 - 3.600 kWh/a

- Flachdach
  - PV, polykristallin, Aufdach
  - nach Süden aufgeständert
  - Leistung: 7,8 kWp
  - Ertrag: 8.000 - 8.500 kWh/a

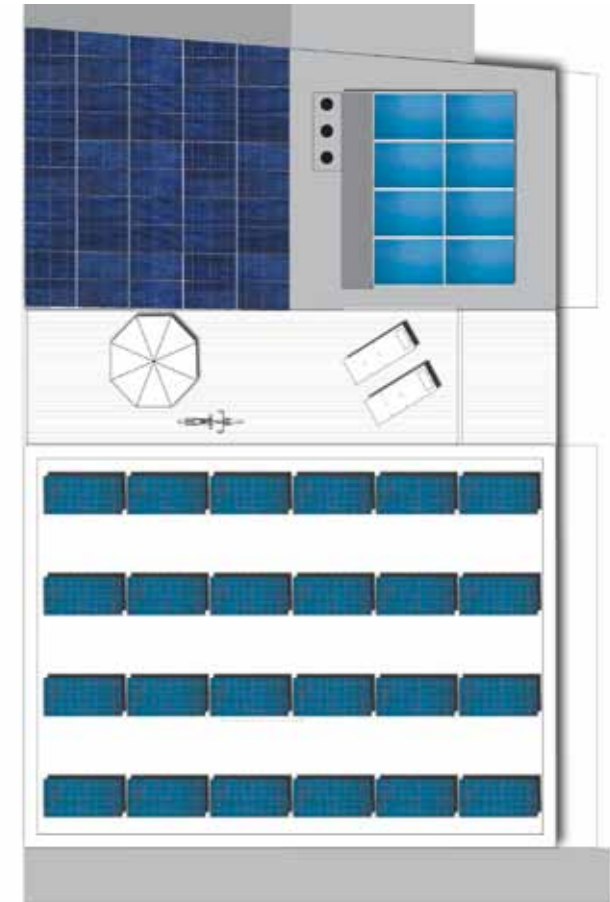
**Dachaufsicht Musterhaus |**

Satteldach Ost:

- Thermische Kollektoren (oder PV-Module)

Satteldach West:

- PV-Module als Dachdeckung mit Blindmodulen

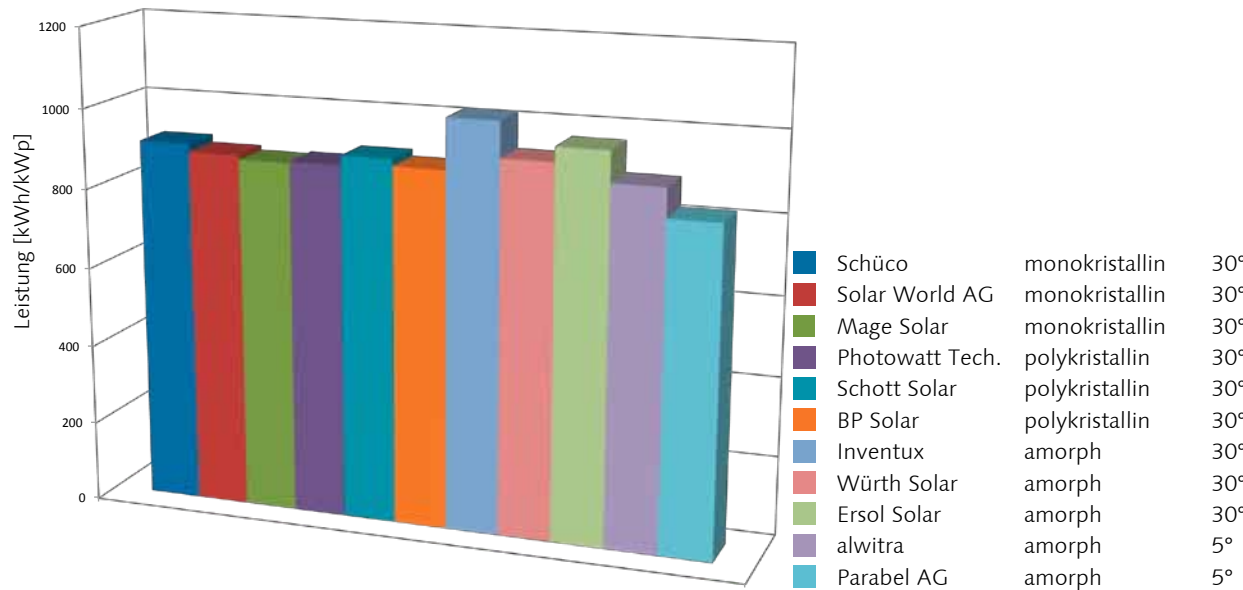


Flachdach:

- aufgeständerte Module oder Kollektoren in Aufdachmontage (auch erhöht als Pergola für Dachterrasse möglich)



Solarsimulation Flachdach mit Südausrichtung |



Ergebnisse |

	Leistungen in kWp	Erträge in kWh/kWp
<b>Westdach</b>		
monokristallin:	5,2 – 6,3	700 – 720
polykristallin:	4,8 – 5,7	690 – 720
amorph:	2,7 – 4,0	730 – 840
<b>Ostdach</b>		
monokristallin:	5,2 – 6,3	705 – 725
polykristallin:	4,0 – 5,8	700 – 730
amorph:	2,7 – 4,3	735 – 840

**Schlussfolgerungen** | Als Verallgemeinerung aus diesen Aussagen lässt sich ableiten, dass auf Süddächern mono- oder polykristalline Module günstig sind, da diese durch ihren hohen Wirkungsgrad hohe Erträge erwirtschaften. Auf Dächern mit Ost-West-Ausrichtung bieten sich besonders amorphe Module (Dünnschichtmodule) an, da diese für diesen Anwendungsfall aufgrund höherer spezifische Erträge je kWp, also mehr kWh pro Kilowatt-Peak Leistung, besser geeignet sind. Durch den geringen Wirkungsgrad wird allerdings mehr Fläche benötigt, um die gleiche Leistung zu erzielen wie mono- oder polykristalline Zellen. Das heißt, eine ausreichend große Fläche muss vorhanden sein, um wirksame Gewinne zu erzielen, was im innerstädtischen Bereich oft nicht der Fall ist.

Abb. 4.3.5: Solarsimulation verschiedener PV-Module

	Erzielte Leistungen:	Erzielte Erträge:
monokristalline Module:	8,4 bis 8,9 kW	880 bis 910 kWh/kWp
polykristalline Module:	7,7 bis 9,6 kW	886 bis 910 kWh/kWp
amorphe Module:	3,6 bis 7,0 kW	930 bis 1020 kWh/kWp
Solar-Dachbahnen:	5,4 bis 6,8 kW	820 bis 890 kWh/kWp
Durchschnitt:		909 kWh/kWp

Über das Flachdach ist eine maximale PV-Leistung von ca. 9,6 kWp bei optimaler Ausrichtung nach Süden (Azimut = 0), sehr guter Hinterlüftung und einem optimalen Aufstellwinkel von 30° erzielbar. Der maximale Jahresertrag liegt bei diesen Randbedingungen bei 8.700 kWh/a für das gesamte Dach.

Die damit verbundenen Einspeisevergütungen pro Jahr sind für diese Konstellation am größten. Die Wirtschaftlichkeit kann bei amorphen Modulen mit kleinerer PV-Leistung trotzdem größer sein als bei poly- oder monokristallinen Modulen, da die erzielten Erträge je kWp höher sind (oft besseres Teillastverhalten).

4.3

## Solarsimulation: durchschnittliche spezifische Jahreserträge von Dächern und Fassade |

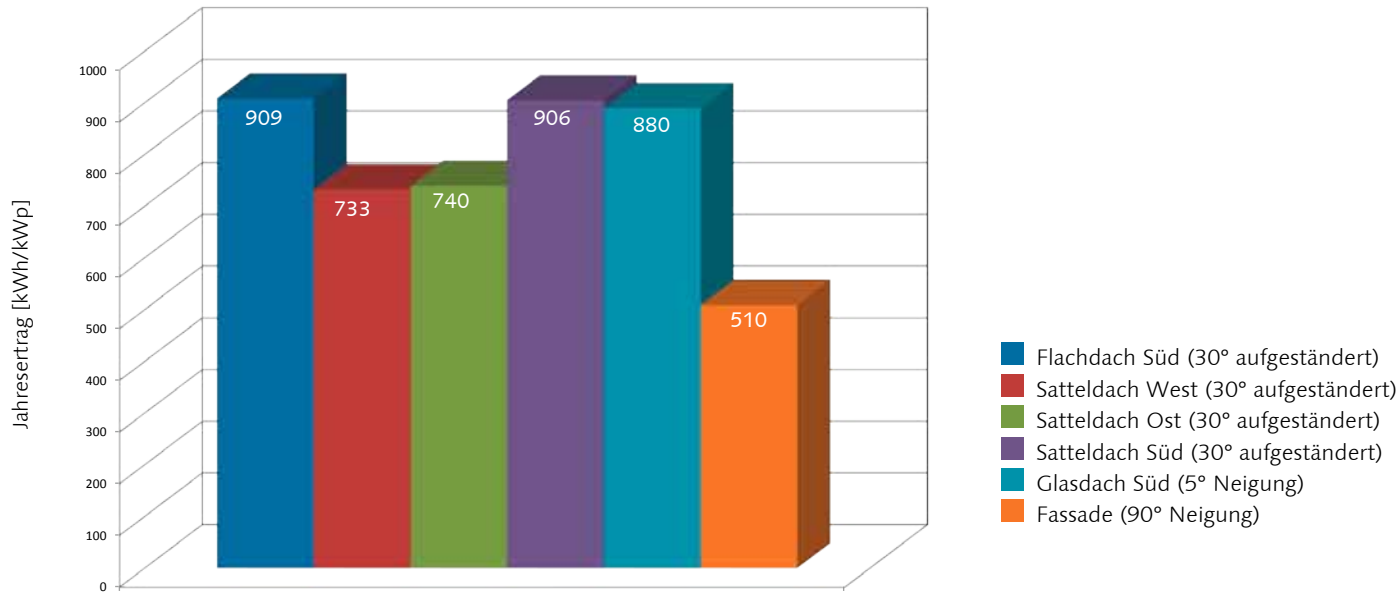


Abb. 4.3.6: solare Jahreserträge verschiedener Dächer

**Geneigte Dächer** | Insgesamt können PV-Anlagen auf Ost-West-Dächern zusammen eine größere Leistung erbringen als ein Nord-Süd-Dach, bei welchem nur die Südseite genutzt werden kann. Die spezifischen Leistungen in kWh/kWp und damit die Wirtschaftlichkeit sind bei einem nach Süden geneigten Dach natürlich höher.

**Flachdach** | Es ist festzustellen, dass die solaren Erträge für ein annähernd waagerechtes Dach mit 5° Neigung (Mindestneigung für Selbstreinigung) bei einigen Herstellern nur unwesentlich geringer sind als bei optimal mit 30° nach Süden ausgerichteten Modulen. Bei anderen Herstellern lag der Ertrag allerdings nur bei 700 – 800 kWh/kWp.

**Südfassade** | Die geringsten spezifischen Jahresergebnisse werden mit durchschnittlich 510 kWh/kWp durch die Fassadenanlage generiert, das sind 44 % weniger Ertrag als bei einer Südausrichtung mit optimalem Aufstellwinkel von 30°. Weitere ungünstige Faktoren in der Innenstadt sind Verschattungen durch Nachbarbebauung und Pflanzenwuchs.



## Ergebnisse Solarsimulationen |

Dächer	Modulanzahl [Stck]	Modulfläche [m <sup>2</sup> ]	Leistung [kWp]	Ertrag [kWh/a]
Satteldach Ost (30°)	8	21,52	2,60	1.721,00
Satteldach West (30°)	15	40,35	4,88	3.327,70
Satteldach Ost + West (30°)	23	61,87	7,48	5.048,70
Flachdach (30°)	24	64,56	7,80	8.322,60
alle Dächer (gesamt)	47	126,43	15,28	13.371,30

Tab. 4.3.3: solare Leistungen und Erträge des Musterhauses

**Ergebnisse** | Bei Einbeziehung aller Dächer ergibt sich ein solarer Gesamtstromertrag von ca. 13.400 kWh/a, welcher über die Dächer beider Gebäudeteile erzielt werden kann.

Bei einem ungefähren Elektroenergieverbrauch von 2.000 kWh/a für die kleineren Wohnungen (3 WE) und 3.000 kWh/a für die größeren Wohnungen (3 WE) sowie einem Energieverbrauch von 5.000 kWh/a für Gewerbe ergäbe sich ein Gesamtenergieverbrauch für Strom für das Musterhaus von 21.000 kWh/a, davon 15.000 kWh/a für die Wohnungen.

Dies bedeutet, dass über PV-Anlagen auf allen Dächern ca. 89 % der Strommenge produziert wird, wie für den Haushaltsstrombedarf für die Wohnungen benötigt wird, bzw. ca. 64 % des Gesamtbedarfs des Gebäudes.

**Fazit** | Es gibt einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen nutzbarer Dachfläche (und daraus resultierender nutzbarer Modulfläche) und Wohn- bzw. Nutzfläche des Gebäudes. Steht eine Dachfläche einer kleineren Nutzfläche zur Verfügung, dann kann anteilig mehr Strom über das Dach produziert werden als bei größeren Nutzflächen.

Bei dem viergeschossigen Gebäude des Musterhauses ist es noch nicht möglich, über die Dachflächen die Menge Strom pro Jahr zu produzieren, welche im Gebäude benötigt wird. Bei anderen Dachformen, z. B. bei einem Pultdach oder bei Gebäuden mit niedrigerer Geschosshöhe (also günstigerem Verhältnis von nutzbarer Dachfläche zu Wohnfläche), wäre dies durchaus denkbar.

Möglich wäre auch der zusätzliche Einsatz von PV-Modulen an der Fassade. Bei Verwendung von PV-Modulen als gestalterisches Element und der daraus resultierenden Minderkosten für andere Fassadenelemente wäre dies ggf. auch bei vermindertem Solarertrag wirtschaftlich sinnvoll.

Bei Flachdachbelegung mit geringerem Neigungswinkel ist eine weitere Leistungserhöhung möglich (geringerer Verschattungswinkel). Der Ausrichtungsfaktor ist allerdings dann etwas ungünstiger.

## Beispiel: Elektroversorgung des Musterhauses mit zwei Stromzählern:

Einspeisezähler Solarstrom

Stromzähler Netzstrom

Bei der Installation von Photovoltaik-Anlagen sind zwei Elektrozähler notwendig: ein Zähler für den verbrauchten Strom des Elektroversorgers und ein Stromzähler für den eingespeisten Solarstrom. Die PV-Module erzeugen zunächst Gleichstrom, welcher über Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt wird.

4.3

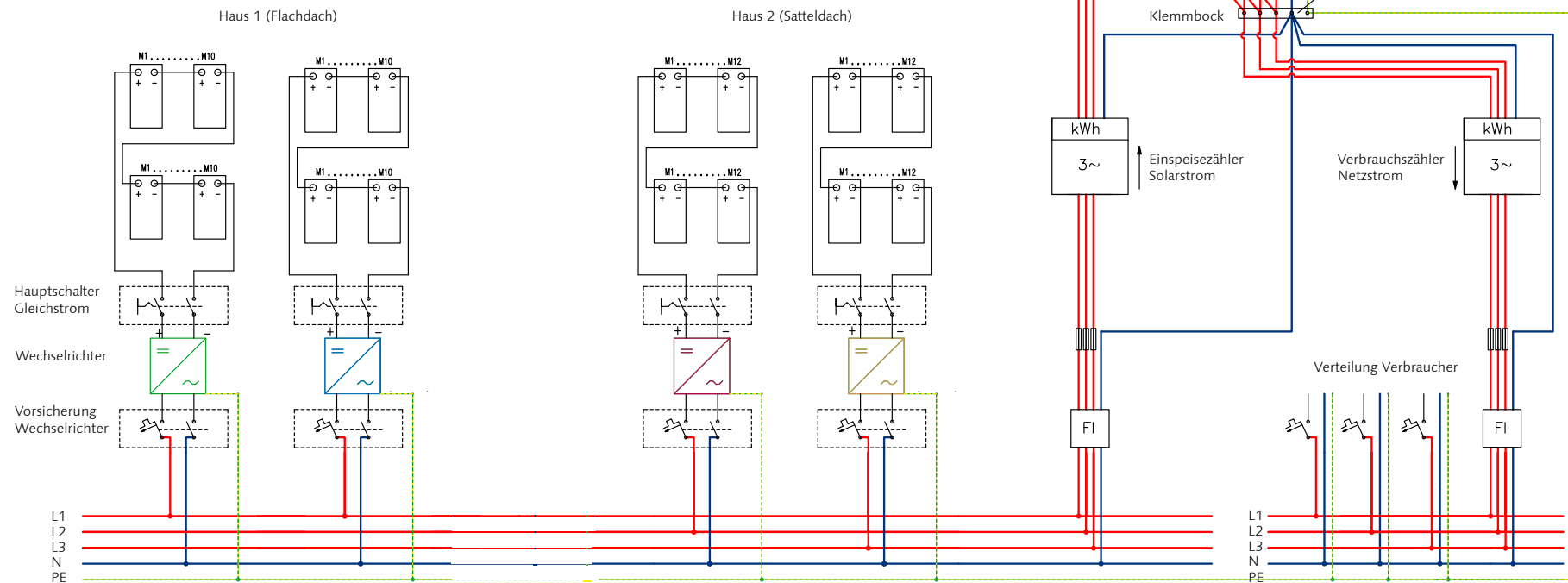


Abb. 4.3.7: Schema Solarstromeinspeisung

Parameter Anlage:

Spitzenleistung: 15,28 kWp  
Jahresertrag: 13.371 kWh/a  
spez. Ertrag: 875 kWh/kWp



**Photovoltaik und Gleichstromtechnik** | Photovoltaik-Module erzeugen elektrische Energie in Form von Gleichstrom. Im Regelfall wird dieser über Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und dann im Gebäude genutzt oder in das Stromnetz eingespeist.

Im diesem Zusammenhang wurden Untersuchungen auf dem Markt zur Möglichkeit und Wirtschaftlichkeit von direkt gleichstromversorgten Elektrosystemen in Wohngebäuden erarbeitet. Auf diese Weise sollte geklärt werden, ob die Versorgung eines Haushalts mit Gleichstrom sinnvoll ist.

Deshalb wurden verschiedene haushaltsübliche Geräte hinsichtlich der Möglichkeit des Gleichstrombetriebs untersucht. Dazu zählen Unterhaltungselektronik (Radio, Fernseher), Kühlschrank, Gefrierschrank, Wäschetrockner, Waschmaschine, Kleingeräte für die Küche (Wasserkocher, Kaffeemaschine, Mikrowelle), Lampen sowie Computer. Die unten stehende Tabelle verdeutlicht, dass es einige elektrische Geräte auf dem Markt gibt, die mit Gleichstrom betrieben werden können. Dabei wurden die Leistung sowie der Verbrauch vergleichbarer Geräte mit Gleich- oder Wechselstrom betrieben gegenüber gestellt.

Der Anschaffungspreis von Gleichstromgeräten ist im Allgemeinen etwas höher als der von gleichartigen Wechselstromgeräten. Des Weiteren ist die Auswahl aufgrund weniger Hersteller sehr begrenzt.

Andererseits kann teilweise eine Energieeinsparung gegenüber handelsüblichen Wechselstromgeräten erzielt werden.

Vor allem bei Kühl- und Gefrierschränken ist diese mit bis zu 80 % Ersparnis gegenüber äquivalenter 230 V-Geräte erheblich.

Bei Fernsehgeräten erreicht man eine Energieersparnis von etwa 40 %. Allerdings sind Gleichstromgeräte in der Regel nur bis zu einer Bildschirmdiagonale von 22" erhältlich.

Die Möglichkeit mit Computern am Gleichstromnetz zu arbeiten besteht theoretisch. Es gibt Adapter für PKWs, welche eine Eingangsspannung von 12 V benötigen und die erforderliche Ausgangsspannung von 19 bis 20 V liefern.

Tab. 4.3.4: Vergleich Stromverbrauch und Leistung von Gleich- und Wechselstromgeräten

Gerät	Leistung Gleichstrom [W]	Verbrauch Gleichstrom [kWh/a]	Leistung Wechselstrom [W]	Verbrauch Wechselstrom [kWh/a]
Kühlschrank mit etwa 100 l Nutzinhalt mit Gefrierfach etwa 10 l	1	10 – 15	25	210 – 230
Gefrierschrank mit etwa 50 l Nutzinhalt	4,5	40 – 45	50	450 – 470
Fernseher mit einer Bilddiagonale von 22"	60	170 – 190	75 – 160	220 – 470
Kaffeemaschine mit ca. 1 l	380	3.300	1.000	8.800

Geräte, die eine Heizleistung erbringen müssen (z. B. Waschmaschine, Wäschetrockner, Herd, Mikrowelle, Wasserkocher), benötigen eine höhere elektrische Leistung. Dies lässt sich bei einer geringen Gleichspannung von 12 V für die erforderliche Leistung nur eingeschränkt realisieren. Außerdem besteht bei diesen Geräten kein Vorteil gegenüber Wechselstromgeräten (nur Wärmeabgabe).

Es besteht natürlich die Möglichkeit, diese Geräte durch den Einsatz eines Wechselrichters trotzdem über eine Photovoltaik-Anlage mit zu betreiben. Allerdings ist dabei mit Verlusten von 3 – 15 % zu rechnen. Die meisten Wechselrichter haben nach heutigem Stand der Technik einen Wirkungsgrad von etwa 90 – 97 %.

Es ist deshalb durchaus empfehlenswert, in einem Haushalt sowohl Gleichspannung für bestimmte Verbraucher (durch Photovoltaik-Anlagen bereit gestellt) als auch Wechselspannung zu installieren. Mit dieser kombinierten Lösung ist es möglich, Beleuchtungskörper sowie Unterhaltungselektronik mit 12 V zu betreiben, während sich für andere Haushaltsgeräte Wechselspannung als vorteilhaft erweist.

Wechselrichter	Technische Daten	Wirkungsgrad
Waeco PerfectPower PP2002/2004	Eingangsspannung 12/24 V, Ausgangsspannung: 230 V, Leistung: 2000 W	85 %
Waeco PerfectPower PP402/404	Eingangsspannung 12/24 V, Ausgangsspannung: 230 V, Dauerleistung: 350 W	90 %
ETSystem TC20/12	Eingangsspannung: 12 V, Ausgangsspannung: 230 V, Leistung: 2000 W	92 %
SMA Sunny Boy 3000 TL	Eingangsspannung: 12 V, Ausgangsspannung: 230 V, Leistung: 3000 W	97 %

Tab. 4.3.5: Vergleich von Wechselrichtern für PV-Anlagen





### 4.3.3 Das Gebäude als Wärmeerzeuger

Bei Umwandlung von Solarenergie in Wärme spricht man von Solarthermie. Mit verschiedenen Typen von Sonnenkollektoren ist es möglich, Solarenergie in nutzbare Wärme umzuwandeln.

Die Hauptanwendungen im Wohnungs- und Kleingewerbebereich sind in der Abbildung 4.3.8 dargestellt:

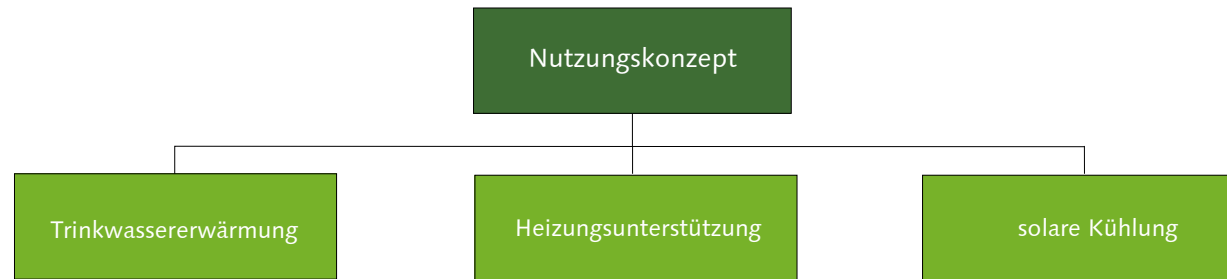
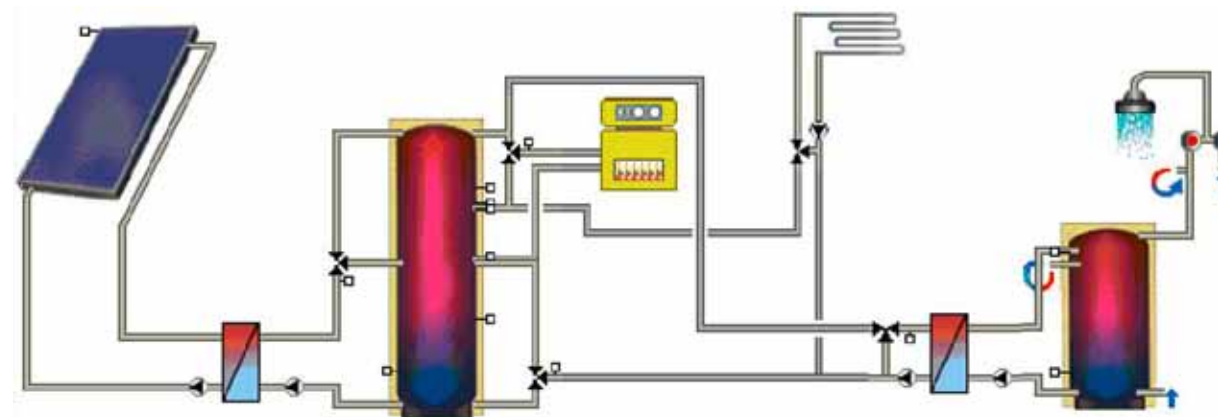


Abb. 4.3.8: Nutzungsmöglichkeiten Solarthermie

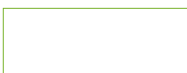
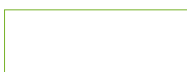
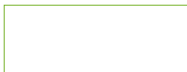
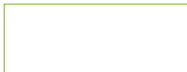
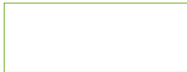
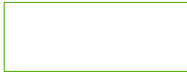
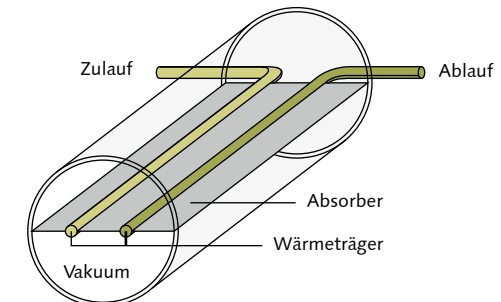
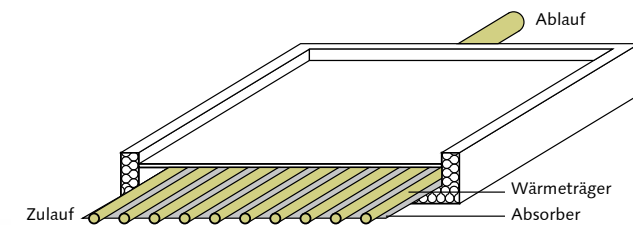
Abb. 4.3.9: Typische thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung



**Typen von thermischen Solarkollektoren** | Eine Solarthermie-Anlage ist als System zu betrachten, welches aus den Hauptbestandteilen Absorber, Speicher, Rohrleitungen, Regelung, Dämmung, Pumpe(n) und Armaturen besteht. Alle zusammen bilden in Verbindung mit der Heizung eine gut funktionierende Einheit.

In den Kollektoren befinden sich Absorber, die das einfallende Sonnenlicht in Nutzwärme umwandeln. Als Material wird Kupfer und Aluminium verwendet, da diese Metalle eine gute Wärmeleitung besitzen. Die der Sonne zugewandte Seite der Absorber wird entweder mit schwarzer Farbe eingefärbt oder selektiv beschichtet.

Abb. 4.3.10/11: Flachkollektor, Röhre eines Vakuumröhrenkollektors



Durch eine selektive Beschichtung wird kurzwellige Sonnenstrahlung aufgenommen, aber die dann entstehende langwellige Wärmeenergie wird nicht emittiert. Der Absorber ist entweder um oder auf die mäanderförmig verlaufenden Rohre, in denen der Wärmeträger zirkuliert, geschweißt oder gelötet. Die zwei mit Abstand am häufigsten im Wohnungsbereich eingesetzten Kollektortypen sind Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren.

**Flachkollektor** | Die in Deutschland häufigste Kollektorart ist der Flachkollektor. In einem wärmeisolierten Gehäuse mit transparenter Abdeckung befindet sich ein Flächenabsorber, der die Wärme aufnimmt und an die Trägerflüssigkeit weiterleitet.

Der Flachkollektor ist nicht so leistungsfähig wie ein Röhrenkollektor, allerdings liegt der Preis auch unter diesem. Weiterhin können Flachkollektoren architektonisch besser in das Gebäude integriert werden, z. B. als Indach-Variante oder als Teil der Fassadenkonstruktion.



Abb. 4.3.12:  
Flachkollektor  
Quelle: Viessmann

**Vakuum-Röhrenkollektor** | Beim Vakuum-Röhrenkollektor befindet sich ein Absorberstreifen in einer druckfesten – und wie der Name schon andeutet – luftleeren Glasröhre. Die Wärmeleitfähigkeit durchströmt den Absorber z. B. in einem U-Rohr oder einem Koaxialrohr, also einem Rohr-in-Rohr-Prinzip. Mehrere über eine Sammelleitung zusammengeschaltete Glasröhren bilden den Kollektor. Der Wärmetauscher ragt entweder in das Sammelrohr hinein oder ist mit ihm wärmeleitend verbunden.



Abb. 4.3.13: Vakuumröhrenkollektor  
Quelle: Viessmann

**Qualität** | Wichtigstes Qualitätsmerkmal für thermische Kollektoren ist das europäische Keymark-Zertifikat, welches die Grundlage für alle Förderungen von Solaranlagen ist.

**Simulationsberechnungen** | Für das Musterhaus wurden Solarsimulationen für alle Dächer durchgeführt und dabei jeweils Röhren- und Flachkollektoren mit verschiedenen Aufstellwinkeln (30°, 45°, 60°) betrachtet. Dabei wurden für alle Variationen folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

**Randbedingungen:**

Mehrfamilienhaus, mittelschwer	
Heizlast:	15 kW
Warmwasserverbrauch:	600 l/d
Solltemperatur Warmwasser:	48°C
Heizenergiebedarf (WW+H):	3,2 MWh/a
Pufferspeicher:	1500 l
WW-Bereitschaftsspeicher:	200 l
Vorlauftemperatur Heizung:	35°C
Rücklauftemperatur Heizung:	28°C

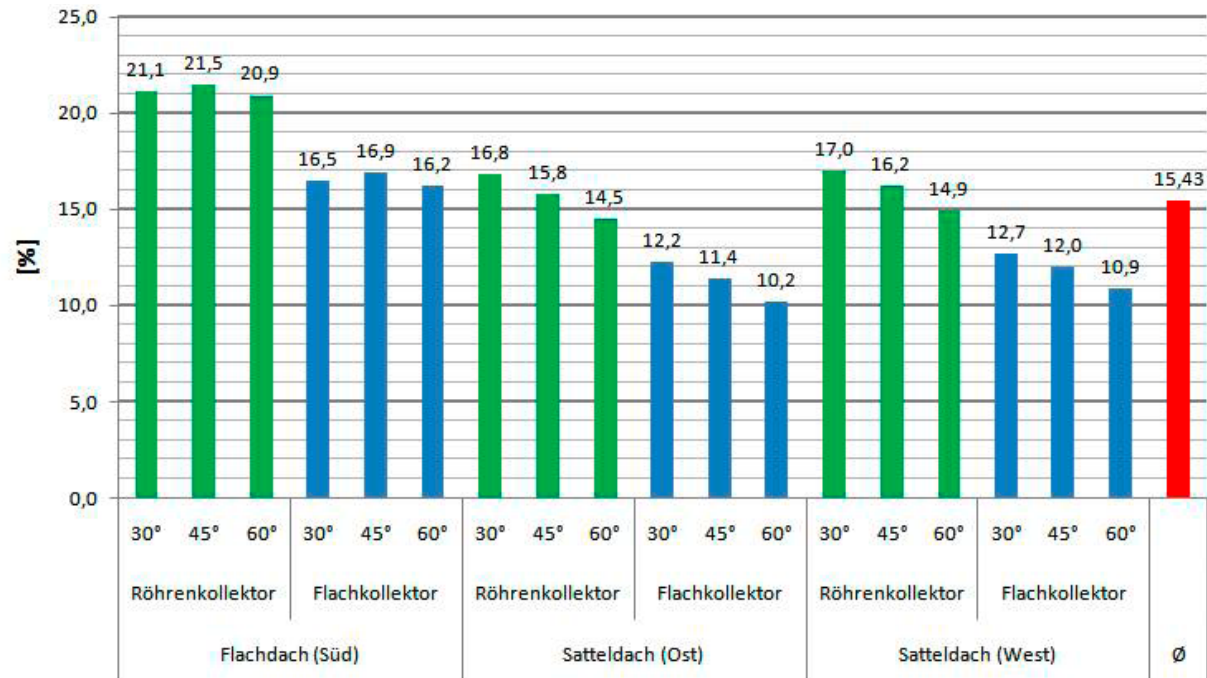
Die Anlagentechnik und Hydraulik wurde für alle Varianten wie in der Abb. 4.3.9 gewählt, d. h. mit externen Wärmetauschern vor dem Pufferspeicher und dem Warmwasser-Bereitschaftsspeicher, variabel für die angegebenen Kollektortypen.

Zum Vergleich wurden simuliert:

Röhrenkollektoren:	Paradigma Star azzurro
Flachkollektoren:	Viessmann, Vitosol 200 F Schüco, SchücoSol 2



Abb. 4.3.14: Deckungsraten thermischer Solaranlagen Musterhaus



Würde das Flachdach mit solarthermischen Kollektoren bestückt, könnte man damit etwa 20 % des Bedarfs an Wärme decken. Bei dem Ost- bzw. West-Dach sind in der Spitze noch 17 % mit Röhrenkollektoren und etwa 13 % mit Flachkollektoren erreichbar. Dadurch können Energie und somit Kosten zwischen 22,8 % und im schlechtesten Fall 11,7 % eingespart werden.

Bei Belegung aller Dachflächen mit thermischen Kollektoren wäre eine maximale Deckungsrate von 45 – 50 % bei einer Hydraulik wie unter 4.3.9 und einer Pufferspeichergöße von 9.000 l möglich. Bei Investitionskosten von ca. 750 €/m<sup>2</sup> Kollektorfläche (ca. 95.000 €) wäre eine solche Variante wirtschaftlich nicht darstellbar. Für solche Varianten müssten Lösungen gefunden werden, die überschüssige Solarenergie im Sommer in Latentwärmespeichern, Erdsonden-/kollektoren oder Massivkörpern zu speichern, um einen besseren Nutzungsgrad als 12 % zu erhalten.

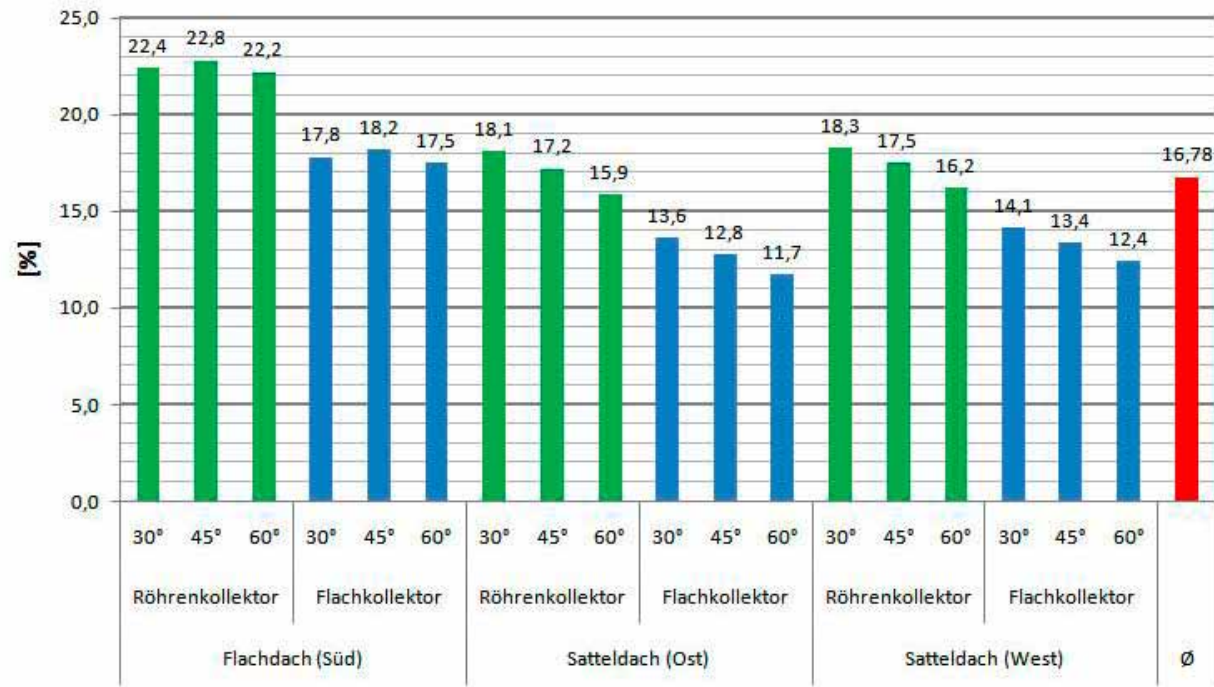
Bei der Auslegung von thermischen Solaranlagen muss die Entscheidung getroffen werden, nach welchen Kriterien die Anlage ausgelegt werden soll:

- größtmögliche solare Deckungsrate
- größtmöglicher Systemnutzungsgrad (Wirtschaftlichkeit am größten)
- Erreichen eines bestimmten energetischen Standards des Gebäudes, z. B. KfW-Effizienzhaus-55 oder Passivhausstandard)

### Erkenntnisse aus den Simulationsberechnungen |

- Erwartungsgemäß ergab die Südlage die besten Ergebnisse, sowohl beim Deckungsanteil als auch bei Energieeinsparung und Stromersparnis der Wärmepumpe.
- Röhrenkollektoren haben höhere Werte gegenüber Flachkollektoren erreicht.
- Vorteile bringen Röhrenkollektoren vor allem in Ost- und West-Ausrichtungen, da sie dort besser abschneiden als die Flachkollektoren in Süd-Aufstellung.
- Bei Aufstellung in Südlagen hat der Neigungswinkel des Moduls auf den Deckungsgrad nur marginalen Einfluss.
- Bei Aufstellungen Richtung Osten oder Westen fällt der Wirkungsgrad mit steigendem Aufstellwinkel. Während bei einer 30° Neigung der Deckungsgrad noch bei 16,8 % liegt, fällt er bei 45° auf 15,8 %. Bei 60° liegt der Deckungsgrad nur noch bei 14,5 % (beim Beispiel des Satteldaches Ost, ausgestattet mit Röhrenkollektoren).
- Der Einsatz einer thermischen Solaranlage mit einer solaren Deckung von 50 – 60 % für die Warmwasserbereitung und 10 – 30 % für die Heizungsunterstützung ist auf jedem Fall bei einem Neubau zu empfehlen.

Abb. 4.3.15: Energieeinsparung durch thermische Solaranlagen



Eine hohe solare Deckungsrate bedeutet viel Energieeinsparung, aber auch relativ hohe Verluste, da die überschüssige Energie im Sommer nicht genutzt werden kann.

Durch technische Anwendungen, wie die solare Kühlung oder Überschusseinspeisung in saisonale Speicher, können Deckungsraten und Energieeinsparungen erhöht werden.

Tab. 4.3.6: Mögliche Deckungsraten und Systemnutzungsgrade für die jeweiligen Dachflächen bei aktiver Solarthermienutzung

Dächer	Modulanzahl [Stck]	Kollektorfläche [m <sup>2</sup> ]	Speichergröße [l]	Ertrag WW+Zirk. [%]	gesamt [%]	Systemnutzungsgrad [%]
Satteldach Ost (30°)	8	21,52	1.500	45,5	14,4	25,4
Satteldach West (30°)	15	40,35	1.500	62,6	19,8	18,6
Satteldach Ost + West (30°)	23	61,87	3.860	77,8	24,5	15,1
Flachdach (30°)	24	64,66	3.860	110,9	35,0	17,2
Flachdach (45°)	24	64,66	3.860	118	37,2	18,5
alle Dächer (30°)	47	126,53	9.000	145,1	45,7	12,1



**Auslegungsempfehlungen** | Am günstigsten ist es, Solaranlagen mit entsprechenden Simulationsprogrammen zu berechnen und damit das Optimum für die jeweiligen Dachflächen zu erhalten. Übersichtsweise können folgende Näherungsgrößen zur Hilfe genommen werden:

Solaranlage zur Warmwasserbereitung mit Deckungsrate von 50 – 60 %:

- Kollektorgröße: 1,2 – 1,6 m<sup>2</sup> je Person
- Speichergröße: 50 – 70 l/m<sup>2</sup> Kollektorfläche

Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung:

- Kollektorgröße: 1,5 – 2,5 m<sup>2</sup> je Person
- Speichergröße: 50 – 70 l/m<sup>2</sup> Kollektorfläche

Forderung nach EEWärmeG:

- 0,04 m<sup>2</sup> Kollektorfläche je m<sup>2</sup> Nutzfläche

### Weitere Einsatzmöglichkeiten von Solarthermie

Im Folgenden soll hier noch auf seltene, aber ggf. auch mögliche Anwendungen von Solarthermie hingewiesen werden.

**Solar-Luft-Kollektoren** | In Luftkollektoren wird an Stelle von Wasser als Wärmeübertragungsmedium Luft verwendet. Sie benötigen dadurch eine größere Bautiefe. Luftkollektoren sind zur Außenlufterwärmung für Lüftungssysteme (z. B. bei der kontrollierten Wohnlüftung) geeignet. Prinzipiell können auch Fassadensysteme als Luftkollektoren verwendet werden.

**Hybridkollektoren** | Der Hybrid-Kollektor ist eine Kombination aus thermischer und photovoltaischer Solarenergienutzung. Das PV-Modul auf der Oberseite wird dabei durch den unteren thermischen Teil mittels Flüssigkeit oder Luft gekühlt, wodurch sich seine Effizienz steigern lässt und insgesamt etwas weniger Fläche benötigt wird als für die getrennte Installation von PV-Modulen und thermischen Kollektoren. Momentan sind nur sehr wenige Firmen mit solchen Produkten auf dem Markt. In der Zukunft wird der Anteil von Hybridkollektoren sicher zunehmen. Für innerstädtische Gebäude mit relativ wenig Dachfläche gegenüber großer Nutzfläche sind Hybridkollektoren eine gute Alternative. Bei Einsatz von Hybridkollektoren gibt der Hersteller Solarhybrid z. B. eine um 15 % höhere Leistung bei gleicher Größe der Dachfläche an.

**Schwimmbadabsorber** | Für Swimmingpools, welche nur im Sommer Wärme benötigen, sind sogenannte Schwimmbadabsorber entwickelt worden. Diese bestehen aus schwarzen Kunststoff-Rohrschlangen oder Rohrschlangen auf schwarzen Platten ohne Rahmen, Glasscheibe und Wärmedämmung. Meist werden sie im Durchlaufprinzip direkt für die Schwimmbaderwärmung genutzt. Im innerstädtischen Bereich werden diese relativ selten genutzt. Bei größeren Grünflächen am Haus wäre dies aber durchaus eine Alternative.

**Schwerkraftanlagen** | Solaranlagen mit Schwerkraftumwälzung (Thermosiphonanlagen) arbeiten ohne Umwälzpumpe und Regelung allein nach dem Schwerkraftprinzip. Dies bedeutet, dass sich der Speicher höher als der Kollektor befinden muss. Im innerstädtischen Bereich ist die Anwendung möglich, wenn der Speicher im Spitzdach installiert werden kann.

### 4.3.5 Wege zum „Plusenergiehaus“

Gebäude mit einem baulichen Energiestandard eines KfW-Energieeffizienzhauses-55 oder eines Passivhauses benötigen in Verbindung mit einer kontrollierten Lüftung mit sehr guter Wärmerückgewinnung nur noch sehr wenig Restenergie zum Heizen.

Wenn diese Restenergie eines Gebäudes und die Energie für die Warmwasserbereitung sowie für dessen Strombedarf mit Hilfe von thermischer, passiver und photovoltaischer Solarenergie bei Anwendung einer Wärmepumpe und energiesparender Elektrotechnik abgedeckt bzw. überboten werden kann, dann ist es möglich, ein Gebäude zu bauen, welches genauso viel oder mehr Energie erzeugt als es selbst für seine Nutzung benötigt.

Vom „Plusenergiehaus“ spricht man, wenn das Gebäude über seine Hüllflächen im Jahresmittel mehr regenerative Energie erzeugt, als es selbst für seine Nutzung benötigt. Dies bedeutet, dass es während seiner Nutzung keine Emissionen erzeugt. Das erste Musterhaus eines Plusenergiehauses wurde 1994 in Freiburg/Breisgau durch den Architekten Rolf Disch gebaut, seitdem sind allein durch ihn in Deutschland weitere 59 Gebäude als Plusenergiehäuser entstanden.

Das nebenstehende Rechenbeispiel anhand einer Beheizung mit Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl = 4) soll verdeutlichen, dass es bei geringem Wärmeenergiebedarf und unter Beachtung bereits beschriebener Aspekte eines Gebäudes gut möglich ist, ein Plusenergiegebäude im Jahresmittel zu konzipieren.

Heizenergiebedarf Baustandard Musterhaus	Energiestandard 1	Energiestandard 2	Energiestandard 3
Primärenergiebedarf in kWh/m <sup>2</sup> a	60	40	15 – 40
spezifischer Heizenergiebedarf in kWh/m <sup>2</sup> a (ohne WWB)	55	30	15
Nettogrundfläche in m <sup>2</sup> (Musterhaus Haus 1 und 2)	880	880	880
Energiebedarf WWB in kWh/a (bei 15 kWh/m <sup>2</sup> a)	13.241	13.241	13.241
Heizenergiebedarf in kWh/a	48.550	26.481	13.241
Heizenergiebedarf gesamt in kWh/a	61.790	39.722	26.482
therm. Solarenergieanteil in kWh/a (ca. 20 m <sup>2</sup> Kollektorfläche)	- 8.000	- 8.000	- 8.000
Restheizwärmebedarf in kWh/a	53.790	31.722	18.482
Heizleistung in kW (1.800 h/a)	27,0	14,7	7,4
Stromverbrauch Wärmepumpe (JAZ = 4) in kWh/a	13.448	8.882	5.544
notwendige PV-Leistung in kWp (Annahme: 850 kWh/kWp)	15,8	10,5	6,5
dafür notwendige PV-Fläche in m <sup>2</sup> (Annahme: 9 m <sup>2</sup> je kWp)	142	94	59
Elektrobedarf für Wohnen in kWh/a	24.500	24.500	24.500
notwendige PV-Gesamtfläche in m <sup>2</sup>	233	180	141

Tab. 4.3.7: Heizenergiebedarf verschiedener Standards



Bei einem Gebäude mit niedrigem Energiebedarf ist es demzufolge häufig möglich, den Strombedarf für Wärme im Jahresmittel über Solarenergie abzudecken, denn eine Fläche für Solarthermie und Photovoltaik von 80 bis 115 m<sup>2</sup> steht auch im innerstädtischen Bereich oft zur Verfügung.

Den kompletten Stromverbrauch (Strom für Wärmepumpe und Haushaltsstrom) bei einem viergeschossigen Gebäude über die Dachflächen zu erhalten ist eher schwierig, da eine Dachfläche von 160 – 200 m<sup>2</sup> meist nicht zur Verfügung steht. Bei geringerer Geschosshöhe und damit weniger Verbrauch für Heiz- und Elektroenergie bei gleicher Dachfläche ist das Erreichen dieser Ziele realistischer.

Verbesserungen sind durch technische Innovationen auf der Heizungsseite möglich, z. B. Kopplung von Solarkreislauf und Primärkreis der Wärmepumpe, so dass der Temperaturbereich zwischen 10°C und 35°C im Solarkreislauf als Antriebsenergie für die Wärmepumpe genutzt werden kann. Dadurch können Jahresarbeitszahlen über 5 erreicht werden.

Weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz und der Ausnutzung von thermischer Solarenergie sind beispielsweise:

- Erdsondenspeicher
- Latentwärmespeicher
- Massivspeicher unter der Bodenplatte in Schotterschichten
- geringere Vorlauftemperaturen der Heizung

## 4.4. Heizung

### 4.4.1 Wärmeerzeugung

Für die Wärmeversorgung von innerstädtischen Mehrfamilienhäusern in Niedrigenergie- oder Passivhausbauweise sind verschiedene Möglichkeiten der Beheizung geeignet.

Zu beachten ist, dass gerade im Mehrfamilienhaus die Warmwasserbereitung ohne lange Aufheizzeiten funktionieren muss. Warmwasser muss im Prinzip immer zur Verfügung stehen. Um dies zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die Anschlussleistung groß genug ist. In den meisten Fällen bedeutet das eine größere Heizleistung als für den Heizbetrieb notwendig ist.

Während das innerstädtische Einfamilienhaus als Passivhaus bei entsprechender Einstellung der Besitzer und Nutzer auch nur über die ohnehin vorhandene kontrollierte Lüftung erfolgen kann, wird für das Mehrfamilienhaus eine zusätzliche statische Beheizung über eine Flächenheizung empfohlen. Diese kann mit sehr niedrigen Temperaturen gefahren werden, so dass z. B. eine Wärmepumpe mit sehr positiven Arbeitszahlen arbeiten kann. Durch den Nutzer ist dadurch eine individuellere Beeinflussung der Raumtemperatur und der Behaglichkeit möglich.

Die Nutzung im innerstädtischen Erdgeschoss wird oft eine gewerbliche sein, welche gegenüber dem Wohnbereich spezielle Randbedingungen, wie z. B. häufiges Öffnen der Türen mit damit verbundenen höheren Luftwechsel und einen höheren Luftwechsel durch Nutzungsanforderungen,

aufweist. D. h. eine Beheizung nur über die Lüftung wird hierbei überwiegend nicht ausreichen. Auf den folgenden Seiten werden Empfehlungen und grundsätzliche Möglichkeiten für die Wärmeversorgung von innerstädtischen Wohn- und Geschäftshäusern (Mehrfamilienhäusern) aufgezeigt.

Die Auswahl sollte nach Kriterien erfolgen, welche vor Ort gegeben sind bzw. die die Nutzung des Gebäudes betreffen, z. B.:

- Liegt umweltfreundlich erzeugte Fernwärme an?
- Soll oder muss das Gebäude auch gekühlt werden?
- Welche Platzverhältnisse stehen zur Verfügung?
- Kommt zusätzlich eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz?
- Ist der Einsatz von Solarenergie überhaupt möglich (Denkmalschutz, Verschattung) und wenn ja, wieviel nutzbare Fläche steht zur Verfügung?
- Sind die Nutzer zu bestimmten Änderungen von vertrauten Gewohnheiten bereit?
- Ist die Möglichkeit für Erdsondenbohrungen gegeben?

Durch solche Fragestellungen kann die Auswahl unter den zahlreichen technischen Möglichkeiten sinnvoll eingeschränkt werden.

### Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden im Winterbetrieb | Erdsonden können sowohl für den Heiz- als auch für den Kühlbetrieb genutzt werden.

Sie erreichen beim Einsatz in Wohngebäuden für die Heizung und Warmwasserbereitung (WWB) Jahresarbeitszahlen (JAZ) von 3,8 bis 4,7. Bei Kopplung von Solarkreislauf und Solekreislauf der Wärmepumpe kann der Temperaturbereich der Solaranlage zwischen 10°C und 35°C als Antriebsenergie für die Wärmepumpe genutzt werden. Dabei können JAZ über 5 erreicht werden.

Hinweise:

- der Abstand der Erdsondenbohrungen zum Nachbargrundstück muss eingehalten werden
- Einbau der Solepumpe als Hocheffizienzpumpe (Stromersparnis)

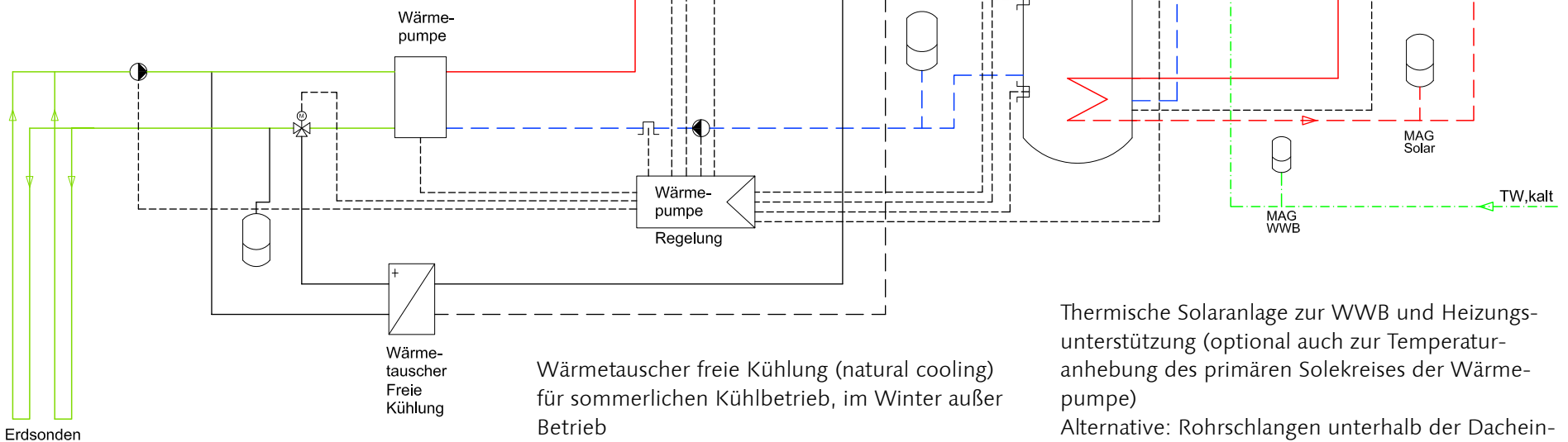


Abb. 4.4.1: Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden mit und ohne thermische Solarkollektoren - Heizbetrieb (Winter)

Thermische Solaranlage zur WWB und Heizungsunterstützung (optional auch zur Temperaturerhöhung des primären Solekreises der Wärmepumpe)  
Alternative: Rohrschlangen unterhalb der Dacheindeckung.





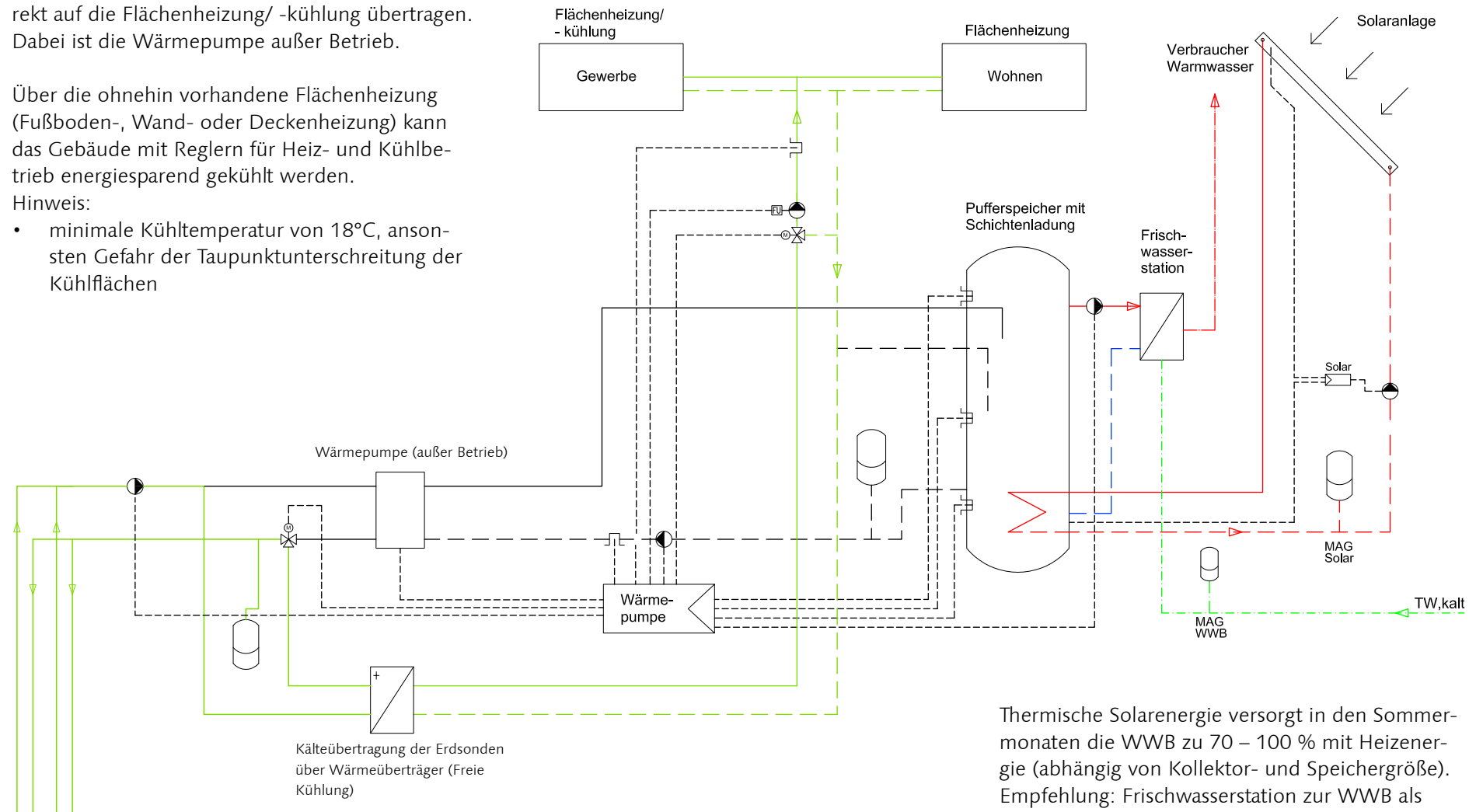
**Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden im Sommerbetrieb** | Erdsonden können auch zur Kühlung genutzt werden. Gleichzeitig ermöglicht das eine Regenerierung (Erwärmung) der Sonden nach dem Winterbetrieb. Kühlenergie wird über einen Wärmetauscher direkt auf die Flächenheizung/ -kühlung übertragen. Dabei ist die Wärmepumpe außer Betrieb.

Über die ohnehin vorhandene Flächenheizung (Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung) kann das Gebäude mit Reglern für Heiz- und Kühlbetrieb energiesparend gekühlt werden.

Hinweis:

- minimale Kühltemperatur von 18°C, ansonsten Gefahr der Taupunktunterschreitung der Kühlflächen

Abb. 4.4.2: Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden mit und ohne thermische Solarkollektoren - Kühlbetrieb (Sommer)



Thermische Solarenergie versorgt in den Sommermonaten die WWB zu 70 – 100 % mit Heizenergie (abhängig von Kollektor- und Speichergröße). Empfehlung: Frischwasserstation zur WWB als hygienische Variante.

**Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden und Massivspeicher / Massivabsorber** | Überschüssige Wärme von Solaranlagen kann in Erdsonden oder Massivspeichern eingespeichert werden. Massivwärmespeicher sind z. B. die Bodenplatte oder Decken eines Gebäudes oder massiv gebaute Garagen.

4.4

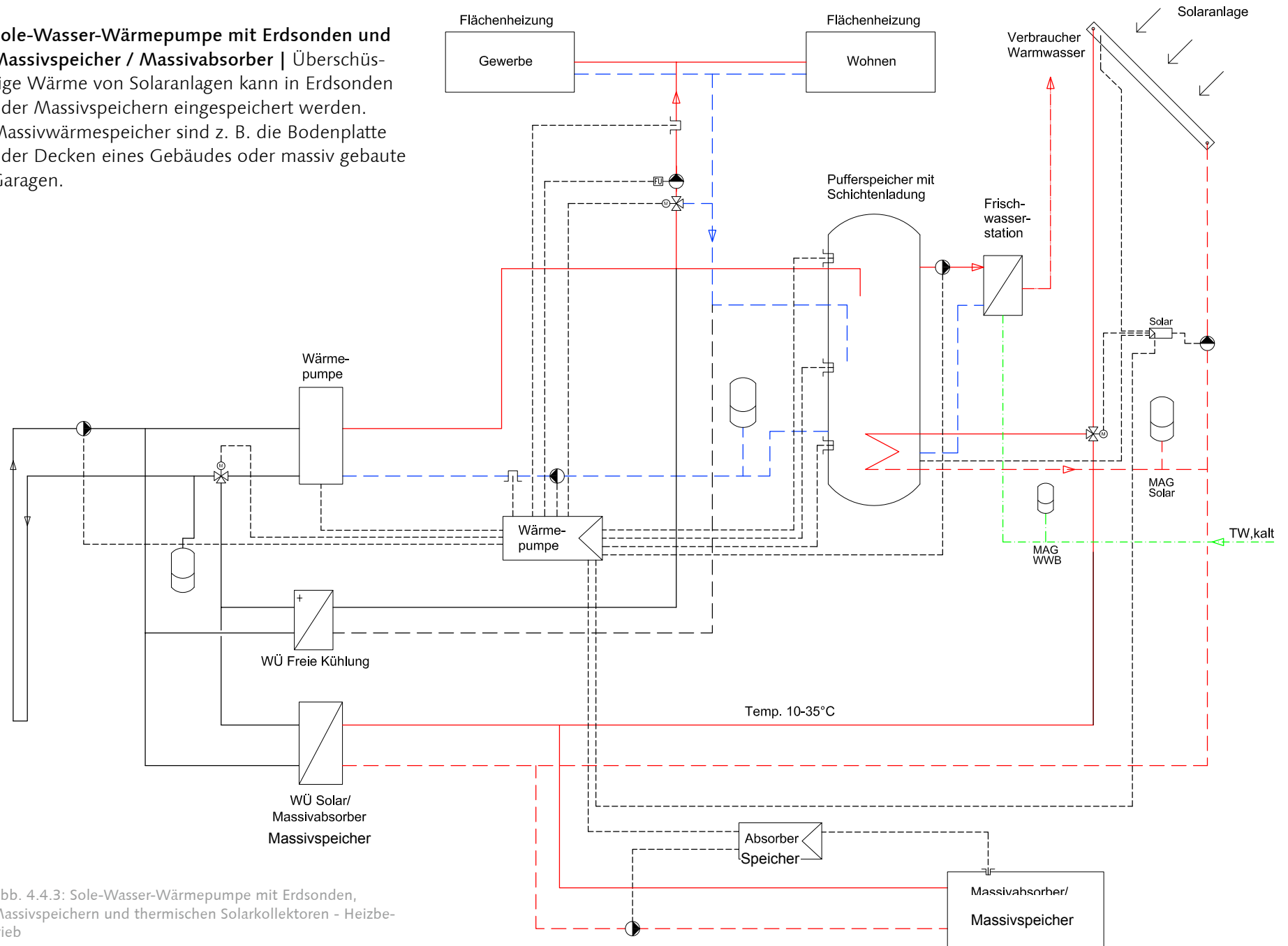


Abb. 4.4.3: Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden, Massivspeichern und thermischen Solarkollektoren - Heizbetrieb

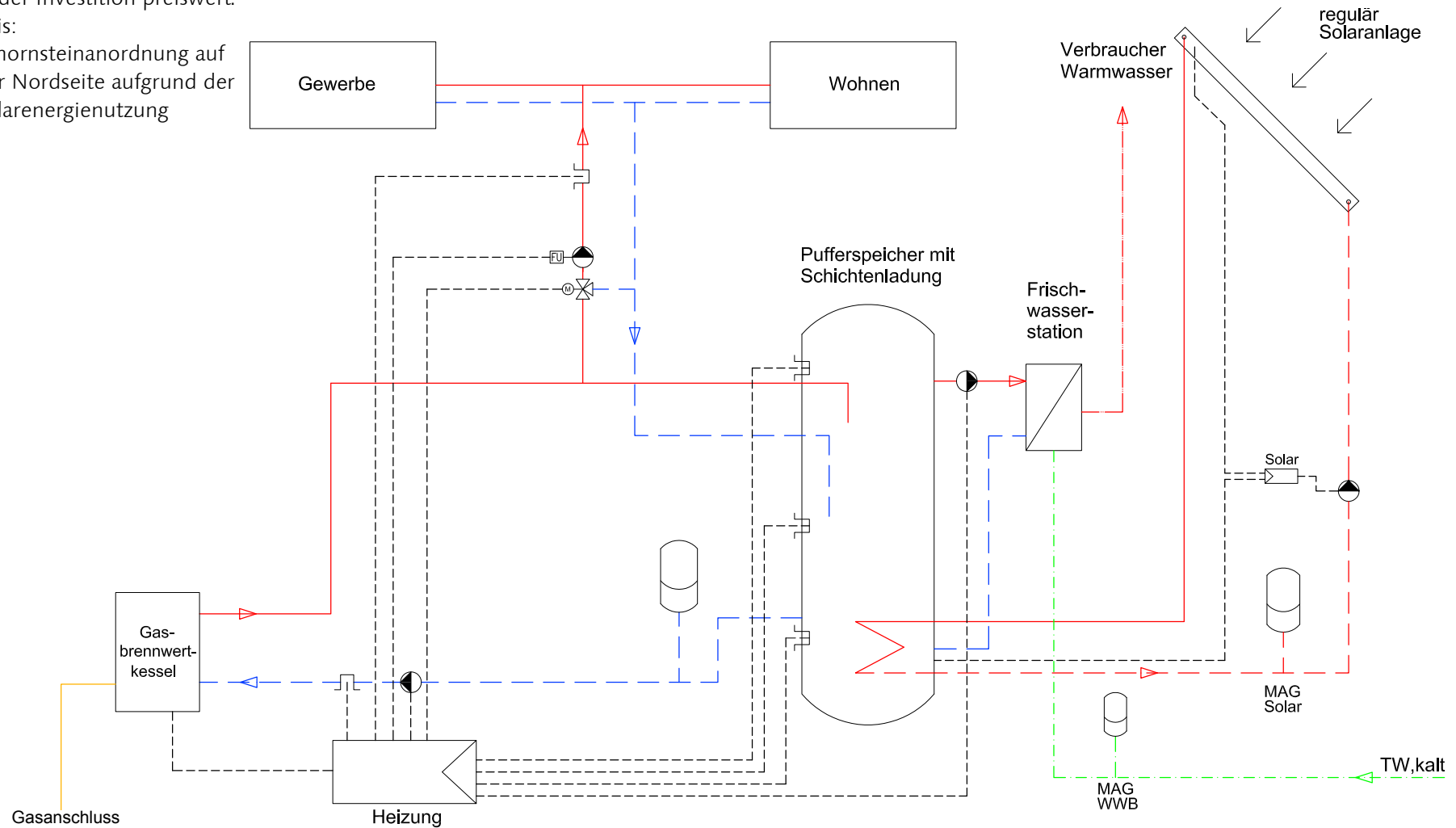


**Konventionelle Heizvariante mit Gas- oder Öl-brennwertkessel** | Gas- oder Ölbrennwertkessel sind nur in Verbindung mit thermischer Solaranlage oder anderer regenerativer Zusatzheizung (z. B. Biomasse, Anteile von Bio-Erdgas) möglich. Bei dieser Variante handelt es sich um den energetischen Mindeststandard bei der Heizung. Dieser ist bei der Investition preiswert.

Hinweis:

- Schornsteinanordnung auf der Nordseite aufgrund der Solarenergienutzung

Abb. 4.4.4: Gas-Brennwertkessel mit Solaranlage - Mindeststandard nach EEWärmeG



**Heizvariante Mini-BHKW** | Folgende Energieträger können zum Einsatz kommen:

- Erdgas
- Bioerdgas
- Heizöl
- RME (Rapsmethylester = Biodiesel)
- Pflanzenöl

Solaranlage optional:

- sollte wirtschaftlich anhand der Laufzeiten BHKW überprüft werden

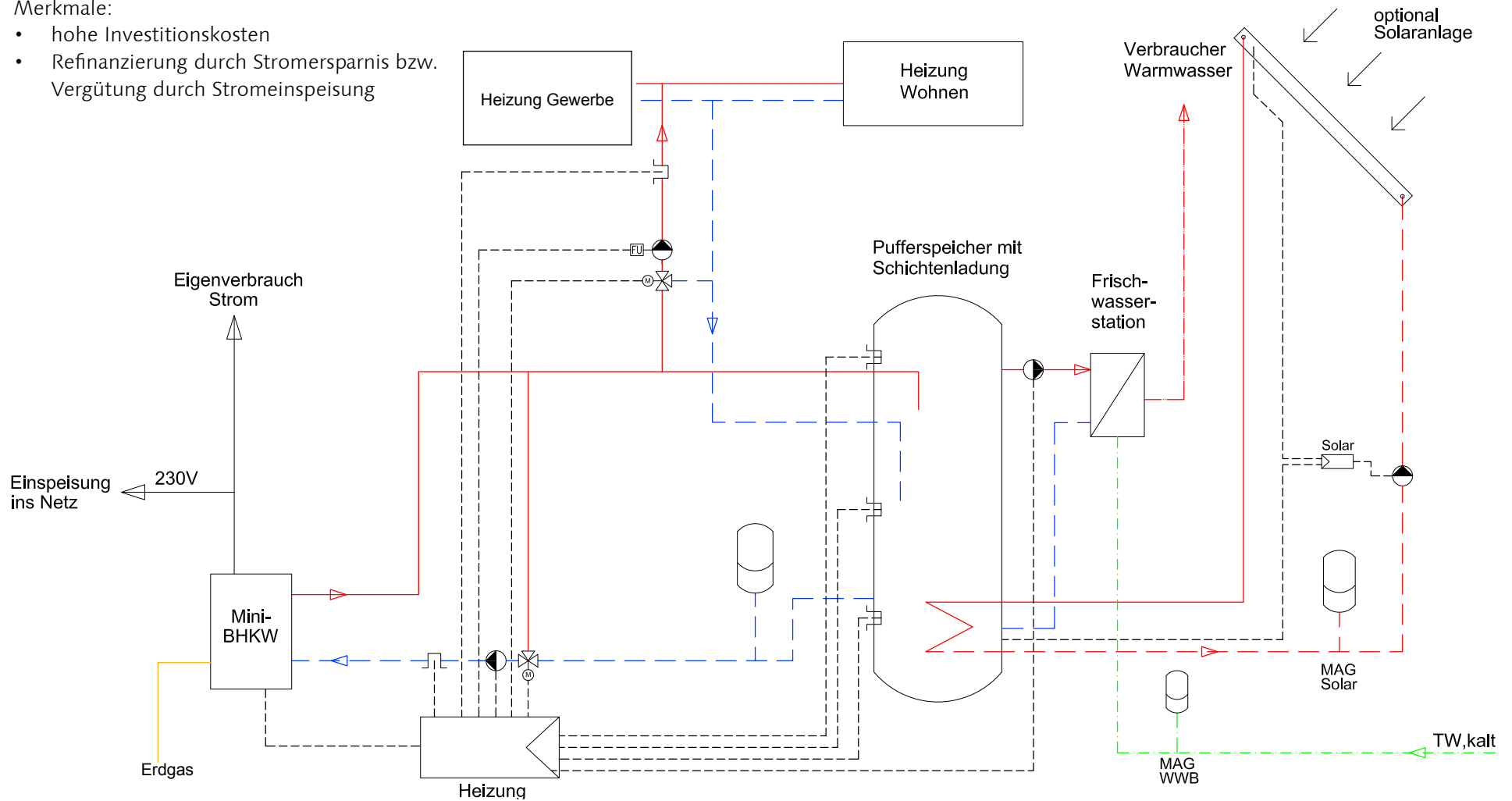
Hinweis:

- Abgasanlage auf der Nordseite aufgrund der Solarenergienutzung

Merkmale:

- hohe Investitionskosten
- Refinanzierung durch Stromersparnis bzw. Vergütung durch Stromeinspeisung

Abb. 4.4.5: Mini-BHKW - gleichzeitige Wärme- und Stromerzeugung



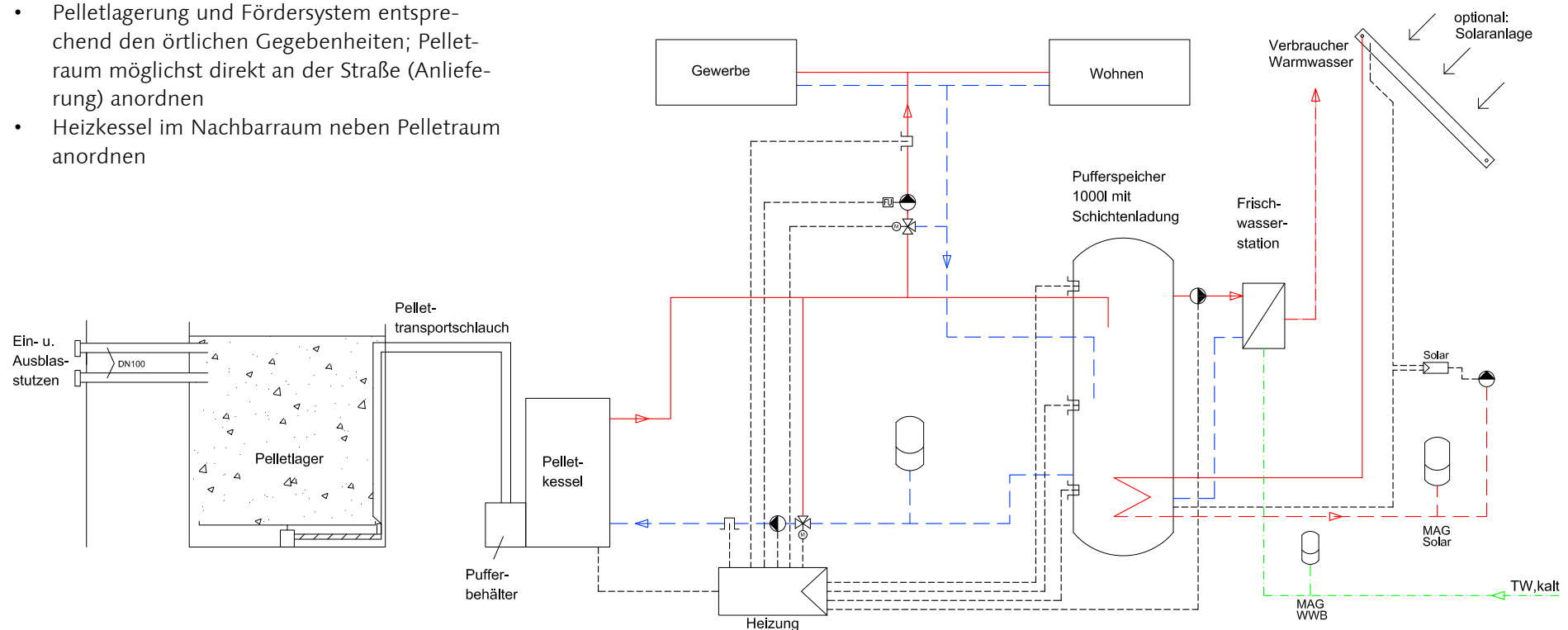


## Holzpelletheizung | Regeneratives Heizsystem

Hinweise:

- Anfahrtsmöglichkeit und Lagerraum für Pellets muss gewährleistet sein
- Platzbedarf für Holzpellets ca. 50 – 60 % mehr als für Öllagerung
- niedriger Energiebedarf bedeutet auch wenig Lagerfläche
- in kleineren Häusern sind Systeme ohne Lagerraum mit neben dem Kessel stehenden Pelletbehältern ggf. ausreichend
- Mindest-Pufferspeichergröße beachten: 30 l/kW für Bafa-Förderung  
optional: thermische Solaranlage (Einsparung Brennstoffkosten)
- Pelletlagerung und Fördersystem entsprechend den örtlichen Gegebenheiten; Pelletraum möglichst direkt an der Straße (Anlieferung) anordnen
- Heizkessel im Nachbarraum neben Pelletraum anordnen

Abb. 4.4.6: Holzpelletheizung mit Solarthermie als regeneratives Heizungssystem



**Heizvariante Fernwärme** | Der Einsatz von Fernwärme sollte davon abhängig gemacht werden, wie die Fernwärme erzeugt wird. Bei Wärmeerzeugung über regenerative Energien oder über Kraft-Wärme-Kopplung ist ein Fernwärmeanschluss sinnvoll und ökologisch (siehe 4.2.4). Wichtig ist eine Überprüfung des Primärenergiefaktors der Fernwärme des Versorgers.

Vorteile:

- geringer Platzbedarf
- geringe Investitionskosten

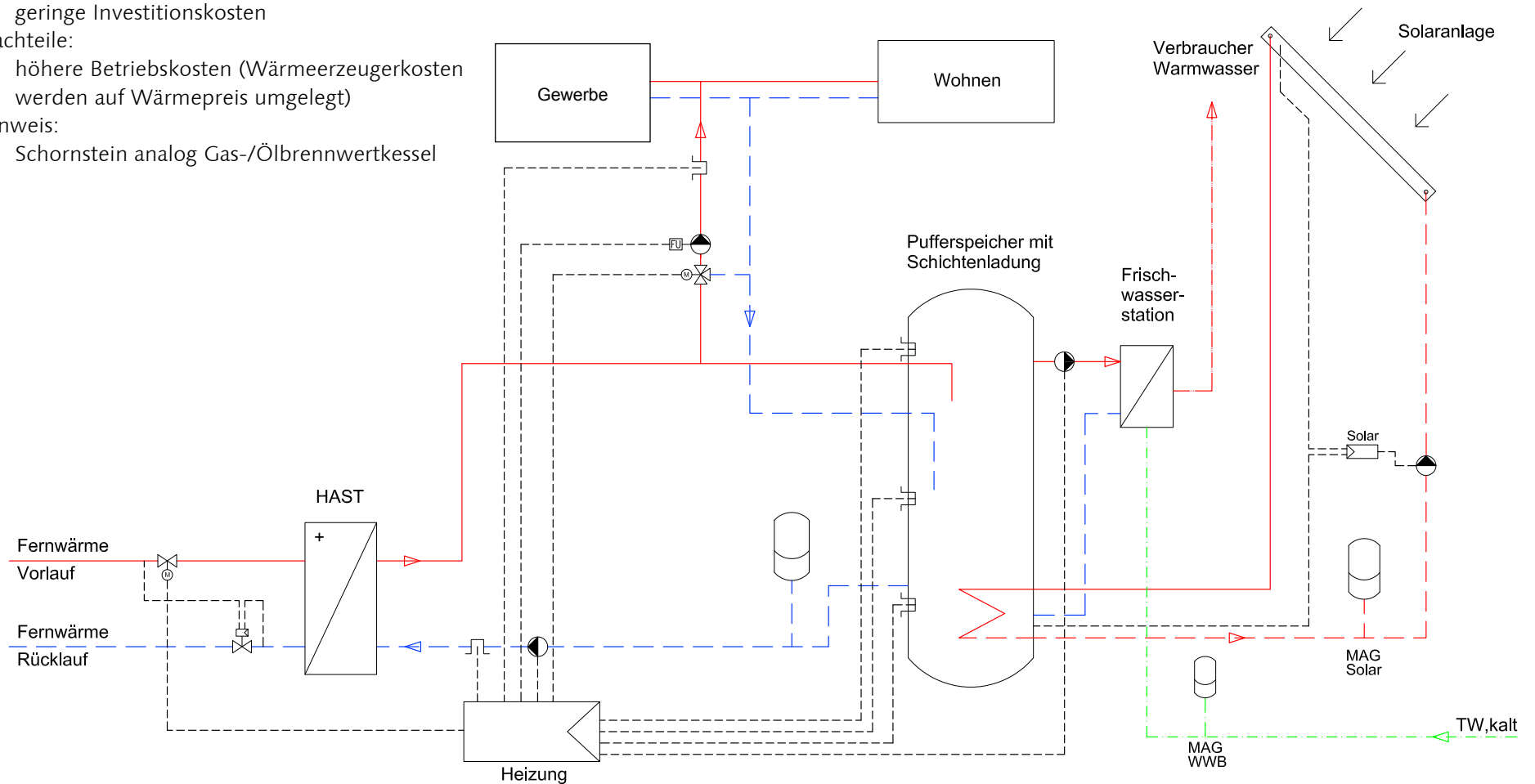
Nachteile:

- höhere Betriebskosten (Wärmeerzeugerkosten werden auf Wärmepreis umgelegt)

Hinweis:

- Schornstein analog Gas-/Ölbrennwertkessel

Abb. 4.4.7: Fernwärme in Verbindung mit Solarthermie





**Weitere dezentrale Heizsysteme** | Für die dezentrale, wohnungsweise Wärmeversorgung können weitere geeignete Systeme ausgewählt werden.

**Beispiel 1: Pelletheizung ohne Fördersystem** | Dafür muss die Bereitschaft vorhanden sein, den nebenstehenden Pelletbehälter während der Heizperiode nachzufüllen, um auf Pelletlagerraum und Fördersystem zu verzichten. Die Pellets könnten dann als Sackware geliefert werden. Für Mehrfamilienhäuser ist diese Variante nicht geeignet.

**Beispiel 2: Heizung nur über die Lüftung** | Bei Integration einer Wärmepumpe in das Lüftungsgerät der Zu- und Abluftanlage ist auch eine Beheizung nur über die Lüftung im Passivhaus mit einem maximalen Heizenergiebedarf von  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , durchgeführter Luftdichtigkeitsprüfung und hocheffiziente Wärmerückgewinnung möglich. Eine solche Variante sollte nur bei Nutzern mit einer positiven Einstellung zu einem solchen System eingebaut werden. Die Wärmepumpe nutzt die Restenergie der Fortluft (nach der Wärmerückgewinnung) zur Beheizung der Zuluft. Zusätzlich sollte unbedingt eine Solaranlage und ein Erdreich-Wärmetauscher installiert werden. Diese Systeme werden meist über Kompaktgeräte angeboten. Sie werden wohnungsweise betrieben.

**Beispiel 2a: Kompaktgerät mit Wärmeauskopplung für die statische Heizung** | Bei diesem ist zzgl. zur Heizung zusätzlich auch die Wärmeauskopplung für eine statische Heizfläche (Fußboden-, Decken- und Wandheizung) möglich.

**Beispiel 3: Beheizung über die Lüftung mit zusätzlichem Heizkamin** | Bei dieser Variante ist es möglich, zusätzlich zur kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung und integrierter Wärmepumpe einen Heizkamin zu installieren. Diese sind sowohl nur für einen Raum erhältlich als auch mit Wärmeübertrager (Wassertasche) für die Einspeisung in ein wasserführendes Heizsystem. Als Heizmedium kommen sowohl Stückholz, Holzbriketts oder Pellets bzw. Kombikessel mit der Möglichkeit von mehreren Heizquellen in Frage.

**Beispiel 4: Abluft-Wärmepumpe** | Bei dieser Variante hat man nur ein Abluftsystem, welches die Wärme der Räume an die Wärmepumpe abführt. Diese wiederum wird für die statische Beheizung und WWB der Räume genutzt. Das Nachströmen der Außenluft erfolgt über Zuluftöffnung. Im Winter wird teilweise Außenluft als Ergänzung zur Abluft der Wärmepumpe mit zugeführt (siehe Abb. 4.6.1, Kapitel Lüftung).

#### 4.4.2 Warmwasserbereitung

Der Heizenergiebedarf darf nicht wie bei herkömmlichen Gebäuden das ausschlaggebende Kriterium für die Größe und Leistung des Wärmeerzeugers sein.

Das Passivhaus benötigt nur noch einen sehr geringen Anteil für die Heizung des Gebäudes. Zu beachten ist bei Niedrigenergie- und Passivhäusern, dass die Wärmebereitstellung für die Warmwasserbereitung (WWB) ausreichend groß dimensioniert wird, um lange Aufheizzeiten für die Warmwasserbereitung zu vermeiden. Für die WWB wird im Passivhaus in etwa genauso viel oder sogar mehr Energie benötigt wie für die Beheizung.

**Beachtung der Sperrzeiten** | Sperrzeiten bei Wärmepumpen sind Abschaltzeiten der Stromversorger in Zeiträumen gewerblicher Stromspitzen, im Regelfall 1 – 2 Stunden am Vormittag und 1 – 2 Stunden am Nachmittag. Dies bedeutet, dass bei der Trinkwassererwärmung im Niedrigenergie- und Passivhausbau mit Wärmepumpen sowohl Aufheizleistung als auch die Überbrückung von Sperrzeiten – in welchen sich der Pufferspeicher entleert – beachtet werden muss. Es ist demzufolge auf jeden Fall ein Zuschlag für die WWB einzurechnen. Insbesondere im Mehrfamilienhaus wird keine Akzeptanz für längere Aufheizzeiten vorhanden sein, das Warmwasser muss immer zur Verfügung stehen. Empfehlenswert ist die Berechnung von Wärmepumpengrößen, Sondenlängen bzw. Erdkollektorflächen mit entsprechender Simulationssoftware.

#### Beispiel Mehrfamilienhaus mit 10 Personen|

Niedrigenergiehaus Heizlast: 5,0 kW  
 Heizleistung Wärmepumpe ohne WWB: 5,0 kW  
 Anzahl der Personen: 10  
 Warmwasserverbrauch pro Person: 30 l/d  
 Warmwasserverbrauch Gebäude: 300 l/d  
 Annahme Verbrauchsspitze: 150 l  
 (am Morgen oder Abend 6 Personen)

Notwendige Aufheizleistungen für die Erwärmung der Verbrauchsspitze von 150 l von 10°C auf 48°C:  
 1,0 h Aufheizzeit: 6,6 kW  
 1,5 h Aufheizzeit: 5,0 kW  
 2,0 h Aufheizzeit: 3,3 kW

Je geringer die Leistung der Wärmepumpe ist, desto länger ist die Aufheizzeit für den Speicher. Zusätzlich müssen die Warmwasserspeicher in Mehrfamilienhäusern einmal am Tag auf über 60°C aufgeheizt werden, um einen ausreichenden Schutz vor Legionellen zu gewährleisten. Diese Aufheizung erfolgt aber in der Regel nachts, wenn kein Warmwasser entnommen wird.

Leistung Wärmepumpe mit WWB: mind. 6,6 kW  
 Sondenlänge ohne WWB: ca. 95 m  
 Sondenlänge mit WWB: ca. 134 m

Dies bedeutet, dass sich bei der Heizleistung eine Erhöhung von ca. 20 % ergibt, bei den Sondenlängen eine Erhöhung von ca. 20 – 30 %. Die Sondenlängen und Wärmeleistungen wurden mit dem Simulationsprogramm WP-opt für den angegebenen Standardfall Sole-Wärmepumpe ohne und mit Solaranlage (15 m<sup>2</sup>) ermittelt. Sie variieren je nach eingesetztem Wärmepumpentyp geringfügig.

Die Solaranlage (Fall B) wird genutzt für:

- Warmwasserbereitung (WWB)
- Heizungsunterstützung
- Einspeisung von Niedertemperatur-Solarwärme in Sole-Kreislauf der Wärmepumpe, sommerlicher Solarüberschuss wird in die Erdsonden eingespeist

Tab 4.4.1: Simulationsergebnisse Beispiel einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit WP-opt

	Fall A Wärmepumpe ohne Solaranlage [kWh/a]	Fall B Wärmepumpe mit Solaranlage 15 m <sup>2</sup> [kWh/a]
Wärmeentzug Wärmequelle für Gebäudeheizung	4.942	2.939
Wärmeentzug Wär- mequelle für WWB	3.611	1.492
Wärmeverbrauch Gebäudeheizung	6.203	4.041
Wärmeverbrauch WWB	4.792	2.252

Der Einsatz einer thermischen Solaranlage mit den aufgeführten Anwendungen kann beträchtliche Einsparungen bei der Heizungs- und Warmwasserbereitung bringen.





### 4.4.3 Wärme- und Medienverteilung

Die Systembauweise bietet auch in der Gebäudetechnik etliche Vorteile. Einzellösungen sind in vielen Fällen gar nicht notwendig und würden zu längeren Bauzeiten und höheren Investitionskosten führen. Durch industrielle Vorfertigung wird eine hohe Fertigungsqualität erreicht, die Termin- und Kostensicherheit erhöht und die Bauzeit wird wesentlich verkürzt.

Das zukünftige innerstädtische Mehrfamilienhaus benötigt im Regelfall folgende Medien:

- Elektro- und Medienleitungen
- Wasser- und Abwasserleitungen
- Heizungsleitungen (Vor- u. Rücklauf)
- Abwasserleitung
- Solarleitungen (Vor- und Rücklauf)
- Zu- und Abluftleitungen

Teilweise kommen noch Regenwasserleitungen oder spezielle Leitungen (z. B. Gas, Kälte) hinzu. Die grundlegenden Medien sind aber immer die gleichen.

Für die Installationsschächte gibt es zwei grundsätzliche Varianten:

- Nassbau, gemauert
- Trockenbau

Der Trend geht dabei zum Trockenbauschacht, aufgrund seiner rationelleren und platzsparenderen Bauweise. Die Industrie bietet dazu vorgefertigte und baurechtlich geprüfte komplette Schachtsysteme an, welche zusätzlich die Anforderungen bezüglich Schall- und Brandschutz erfüllen.

Die Wahl des Rohrleitungsmaterials ist bei den Heizleitungen unkompliziert, es sind Stahl-, Kupfer-, Edelstahl- oder auch Kunststoffrohre möglich. Empfehlenswert ist eine schnelle Verbindungstechnik, z. B. mittels Pressfittings wie bei Cu- oder C-Stahl-Rohren, aber auch „traditionelle“ Verbindungstechniken wie löten oder schweißen sind möglich.

Bei den Sanitärleitungen sind Rohrleitungen aus umweltverträglichen Kunststoff (z. B. HD-PE oder PP) oder Edelstahl zu bevorzugen. Auf Kunststoffe wie PVC mit Chlor und Weichmachern sollte verzichtet werden. Kupferrohre sind teilweise (je nach Wasserbeschaffenheit) einsetzbar.

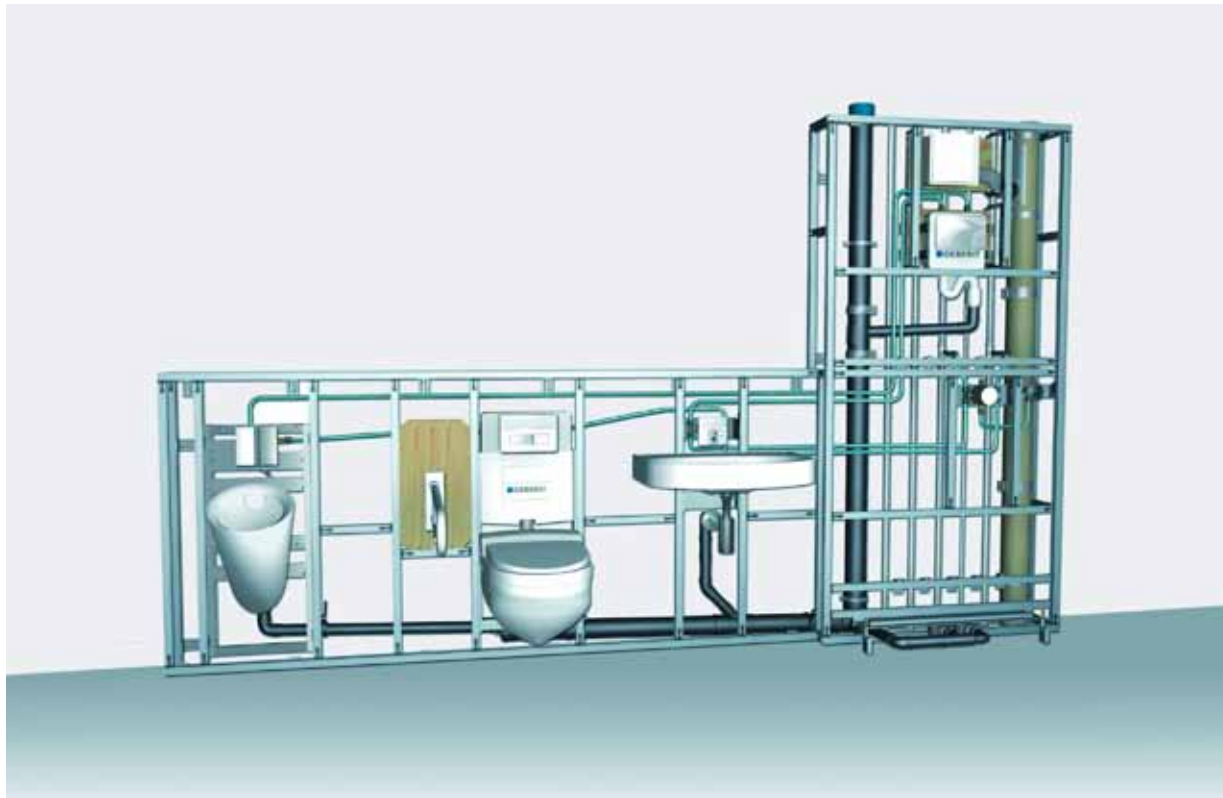
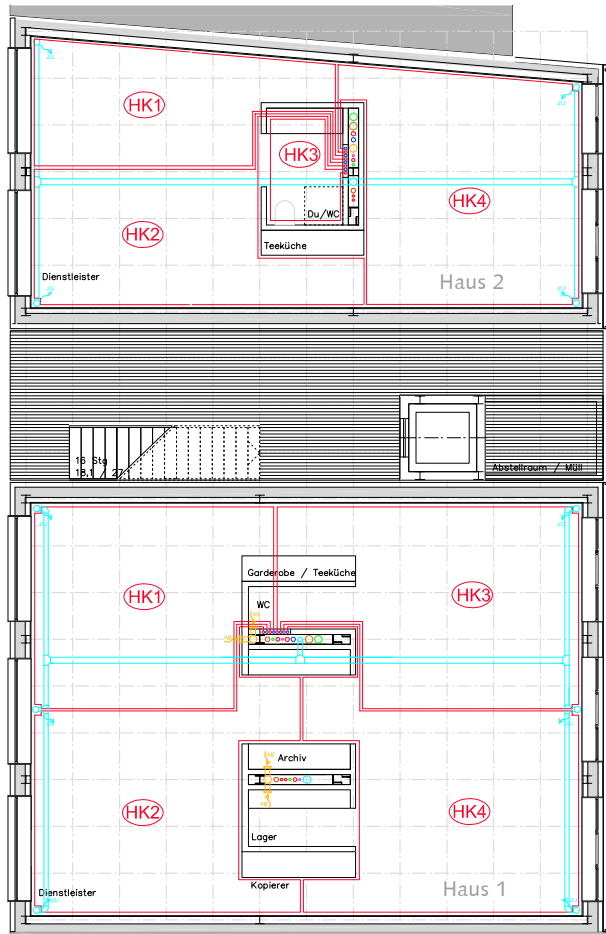


Abb. 4.4.8: Systembau mit industriell vorgefertigten Installationswänden und -schächten für Sanitär, Heizung, Lüftung und weitere Medien, Quelle: Fa. Geberit

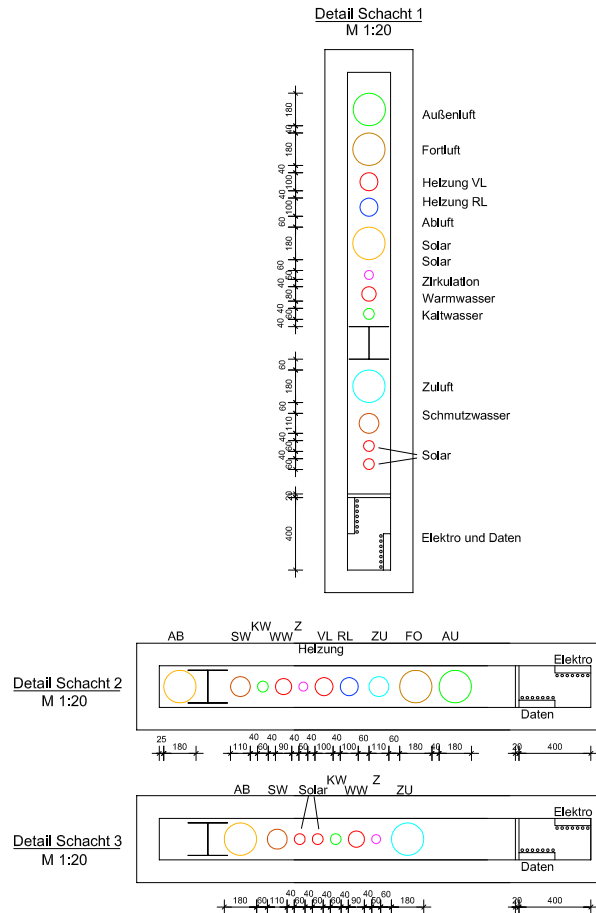
## Medienverteilung im Musterhaus: Erdgeschoss - gewerbliche Nutzung |

Abb. 4.4.9: GR Musterhaus EG, Medienverteilung



4.4

Anhand der Beispiele des Musterhauses für verschiedene Nutzungsmöglichkeiten soll aufgezeigt werden, dass sowohl durch Systembauweise beim Gebäude als auch durch Verwendung von Systembauteilen der Gebäudetechnik eine flexible und dennoch stringente Bauweise bei der Medienverteilung möglich ist.



**Schachtsystem** | Für Haus 2 genügt ein Schacht, für das große Gebäude sind zwei Schächte ausreichend, um über alle Geschosse bei verschiedenen Nutzungen die Räume mit allen erforderlichen Medien zu versorgen und dabei gleichzeitig die Flexibilität der Einrichtung zu gewährleisten. Bei Anordnung der Räume mit Wasser- und Abwasseranschlüssen und aller Schächte in der dienenden Zone des Gebäudes ist eine Installation mit kurzen Leitungsanbindungen und relativ unproblematischer Verlegung möglich. Küche und Bad/WC liegen an einem Installationschacht, Bäder und Küchen liegen grundsätzlich übereinander.

Dies bedeutet folgende Vorteile:

- niedrigere Investitionskosten
- weniger Verluste in Heizungs- und Warmwasserleitungen
- hygienischerer Betrieb durch weniger stehendes Wasser in den Trinkwasserleitungen
- sehr übersichtliche Leitungsführung
- günstige Nachrüstbarkeit
- Platzeinsparung für technische Medien

verwendete Abkürzungen:

- |       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| SW    | Schmutzwasser                       |
| KW    | Kaltwasser                          |
| WW    | Warmwasser                          |
| Z     | Zirkulation                         |
| VL    | Vorlauf                             |
| RL    | Rücklauf                            |
| AB    | Abluft                              |
| ZU    | Zuluft                              |
| FO    | Fortluft                            |
| AU    | Außenluft                           |
| Solar | Solarleistungen (Vor- und Rücklauf) |



Medienverteilung im Musterhaus: 1., 2. und 3. Obergeschoss |

Abb. 4.4.10: GR Musterhaus 1. OG, Medienverteilung; Familienwohnung

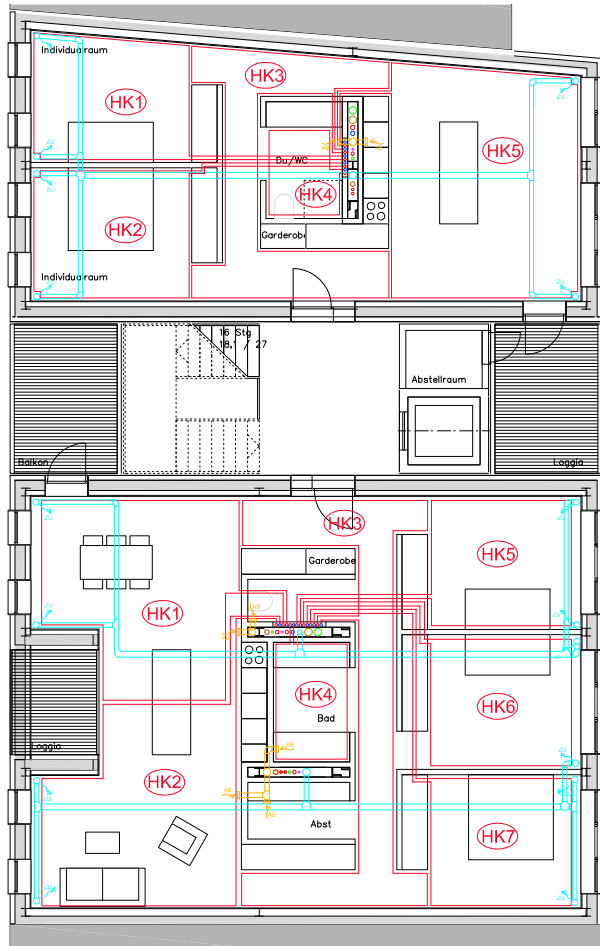


Abb. 4.4.11: GR Musterhaus 2. OG, Medienverteilung; Familienwohnung 2

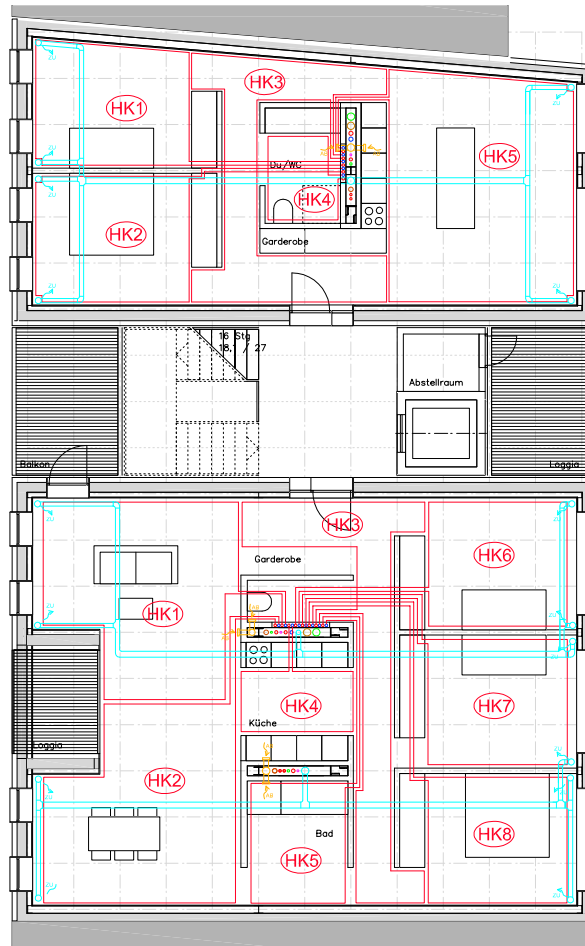
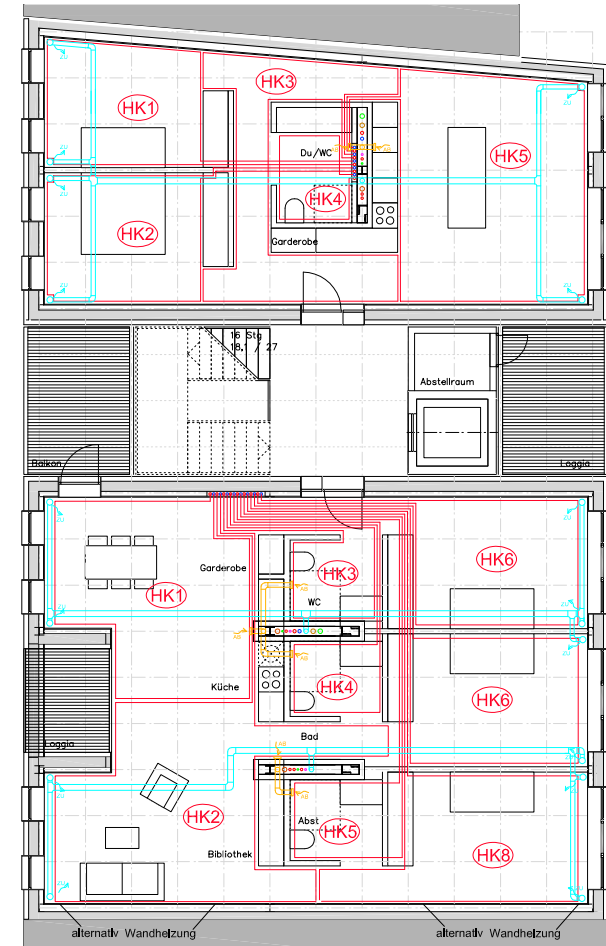


Abb. 4.4.12: GR Musterhaus 3. OG, Medienverteilung; Wohngemeinschaft



- 4.1
- 4.2
- 4.3
- 4.4
- 4.5
- 4.6
- 4.7

#### 4.4.4 Heizflächen

Für das innerstädtische Wohngebäude ist eine Flächenheizung in Form von Fußboden-, Wand- und/oder Deckenheizung sowie die Betonkern-temperierung gut geeignet. Zusammengefasst spricht man dabei von TABS - thermisch aktiven Bauteilsystemen.

Durch den hohen Dämmstandard ist es zukünftig nicht mehr notwendig, Heizkörper unter den Fenstern zu installieren bzw. mit hohen Vorlauf-temperaturen zu arbeiten, so dass die Wahl des Heizsystems frei gestaltbar ist.

Für eine Niedertemperatur-Flächenheizung sprechen folgende Gründe:

- Energetische Vorteile
  - sehr niedrige Vorlauftemperaturen
  - Integration von Solaranlagen für die Heizungsunterstützung
  - sehr günstige Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe
  - Flächenheizsysteme sind auch zum Kühlen geeignet, besonders bei Wand- und Deckensystemen
- Vorteile bezüglich der Behaglichkeit
  - Steigerung der Behaglichkeit durch Wärmeabgabe in Form von Strahlung
  - angenehme Oberflächentemperaturen der umgebenden Bauteile

**Fußbodenheizungen** | Die Fußbodenheizung ist die am häufigsten verwendete Flächenheizung. Sie hat ein positives Temperaturprofil und hat den weiteren Vorteil, dass keine Flächen an den Wänden für Heizkörper „geopfert“ werden müssen.

Fußbodenheizungen können sowohl in Nass-, als auch in Trockenbauweise verlegt werden. Beim Nasssystem liegen die Rohrleitungen auf Trägermatten oder Noppenplatten. Auf die Rohre wird dann eine ca. 5 cm dicke Estrichschicht mit wärmeleitenden Zusatzstoffen aufgebracht. Bei der Trockenverlegung sind die Rohrleitungen meist in einer Dämmplatte eingelegt und werden mit einer Trockenplatte abgedeckt.

Die Verlegung von Fußbodenheizungen im Mehrfamilienhaus sollte nach Möglichkeit nicht mit Tackern erfolgen, weil dadurch der Schallschutz minimiert wird.

Es werden hauptsächlich Kunststoffrohre verwendet, aber auch es kommen auch Kupferrohre und vereinzelt Stahlrohre zum Einsatz.

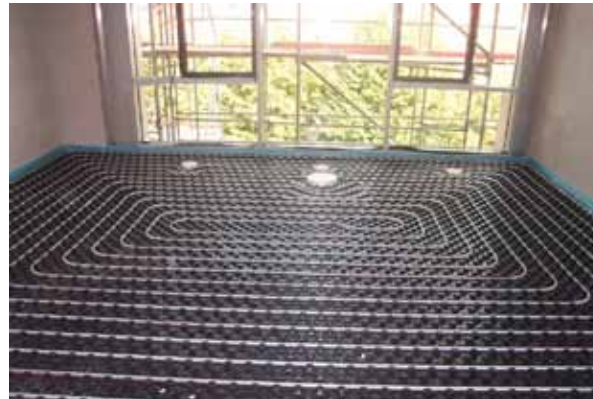


Abb. 4.4.13: Fußbodenheizung mit Noppenplatten; Quelle Fa. uponor

**Wandheizungen** | Bei gut gedämmten Außenwänden ist der Einsatz von Wandheizungssystemen zu empfehlen, da hier nicht mit nennenswerten Wärmeverlusten über die Außenwand zu rechnen ist. Nachteilig sind die Einschränkungen bei der Möblierung.

Weiterhin muss beim Anbringen von Gegenständen an der Wand mit äußerster Vorsicht gearbeitet werden.



Abb. 4.4.14: Wandheizung als Trockenbausystem mit Alu-Lamellen; Quelle: Fa. uponor



**Deckenheizungen** | Durch die geringen U-Werte und die damit verbundenen hohen Oberflächentemperaturen ist es auch möglich über die Decke zu heizen.

Wie für alle Flächenheizungen gilt auch hier, dass in Daueraufenthaltsbereichen die Oberflächentemperatur nicht zu hoch sein sollte. Die Grenztemperatur liegt bei Deckenheizung - abhängig von der Raumhöhe - bei normalen Raumhöhen bei ca. 32°C.

Ideal ist die Deckenheizung, wenn auch gleichzeitig gekühlt werden soll, denn die Schwerkraftkühlung über die Decke ist sehr effektiv und trägt zur Behaglichkeit bei.

Abb. 4.4.15/16: Deckenheizung; Quelle: Fa. uponsor



**Betonkernaktivierung (BKT)** | Eine weitere, im Gesellschaftsbau immer häufiger eingesetzte, aber im Wohnungsbau noch unübliche Methode der Decken-, Fußboden- und Wandbeheizung und -kühlung ist die Betonkernaktivierung oder -temperierung. Dabei werden die Rohrleitungen direkt in die Bewehrung von Betondecken eingelegt und dort mit Temperaturen durchflossen, die etwas über der Raumtemperatur im Winter (22 – 28°C) und etwas unter der Raumtemperatur im Sommer liegen (16 – 20°C). Die Trägheit der Masse des Betonkörpers sorgt für eine Dämpfung der Raumtemperaturänderungen und für behagliche Temperaturen.

Die Betonkernaktivierung wurde in der Vergangenheit hauptsächlich zur Kühlung eingesetzt, mittlerweile dient sie aber auch mehr und mehr zur Beheizung. Die BKT eignet sich vorrangig für Gebäude mit kleineren und mittleren Kühllasten, was im innerstädtischen Gewerbebereich überwiegend zu erwarten wäre. Voraussetzung für den sinnvollen Einsatz von BKT ist der Verzicht auf abgehängte Decken.

Folgende Heiz- und Kühllasten sind über die Betonkernaktivierung erreichbar:

Tab. 4.4.2: Heiz- und Kühllasten über BKT

	Kühlung	Heizung
Decke	30 – 40 W/m <sup>2</sup>	15 – 30 W/m <sup>2</sup>
Fußboden	15 – 25 W/m <sup>2</sup>	15 – 25 W/m <sup>2</sup>

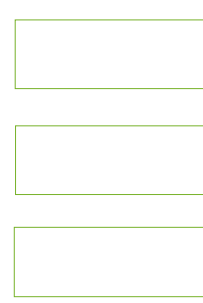
In den meisten Fällen werden die Rohrschlangen in der Mitte des Betonkerns (in mittlerer Bewehrungsschicht) gelegt, sie können aber auch an der unteren oder oberen Bewehrung oder auf Füllgränden befestigt werden.



Abb. 4.4.17: Rohrschlangen BKT; Quelle Fa. uponsor

**Heizkörper** | Selbstverständlich kann auch der herkömmliche Heizkörper an der Wand zur Ausführung kommen. Bei der Wärmeerzeugung über Heizkessel, BHKW oder Fernwärme können diese auch mit etwas höherer Heizmitteltemperatur gefahren werden. Die Ausnutzung von solarer Wärme ist dabei allerdings geringer.

Bei Verwendung von Heizkörpern in Verbindung mit Wärmepumpen muss auf niedrige Vorlauftemperaturen (max. 45°C) geachtet werden, was wiederum zu großen Heizflächen und damit höheren Investitionskosten führt.



## 4.5 Kühlung

Im innerstädtischen Wohnungsbau ist es bisher meist nicht üblich, eine Kühlungsanlage einzubauen. Für bestimmte Gewerbeeinheiten ist es allerdings eine Notwendigkeit, z. B. für Großraumbüros, Gaststätten oder bestimmte Geschäfte.

Im Wohnungsbau genügt es überwiegend bei Verwendung massiver und/oder speicherfähiger Bauteile (siehe Kapitel 4.2), auf eine zusätzliche Kühlung zu verzichten. Hier ist die nächtliche Abkühlung im Sommer über die meist ohnehin vorhandene Lüftungsanlage (oft mit Erdwärmetauscher) oder die geöffneten Fenster im Regelfall ausreichend.

Derzeit gibt es Bestrebungen, das EEWärmeG nicht nur für Heizungsanlagen sondern auch auf Anlagen zur Kühlung auszuweiten.

Dies spricht dafür, Gebäude mit Kühlbedarf mit umweltfreundlichen und energiesparenden Verfahren der Kälteerzeugung zu planen. Höhere Kälteleistungen sind für die Raumkühlung aufgrund der relativ kleinen Flächen nicht zu erwarten.

### 4.5.1 Kühlung über Erdsonden

Die sommerliche Kühlung über Erdsonden bietet sich an, wenn eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage für die Beheizung geplant ist, bzw. wenn die Nutzung von Wärme- und Kühlbetrieb insgesamt die wirtschaftlichste Lösung ist. Wie in Abb. 4.4.2 Schema Sole-Wasser-Wärmepumpe im Sommerbetrieb dargestellt, wird ein Wärmeüberträger für die Kühlung der Wärmepumpe parallel-

geschaltet und direkt auf die Heizkreise geführt. Im Handel werden solche Systeme inzwischen von den meisten Wärmepumpenherstellern unter Namen wie „Free Cooling“ oder „Natural Cooling“ optional mit angeboten. Bei der sommerlichen Kühlung über Erdsonden wird nur der Strom für die Solepumpe benötigt und es werden zusätzlich zwei positive Effekte erzielt:

1. Das nach der Heizperiode abgekühlte Erdreich um die Sonden wird regeneriert (wieder erwärmt).
2. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe erhöht sich, da die Sondentemperatur zu Beginn der nächsten Heizperiode höher ist als ohne Kühlbetrieb.

### 4.5.2 Solare Kühlung

Bei der solaren Kühlung kann die vorhandene thermische Solaranlage im Sommer optimal zur Kühlung eingesetzt werden, da Kältebedarf und Strahlungsangebot der Sonne meist in etwa übereinstimmen. Bei der solaren Kühlung wird Kälte durch Wärme mittels Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen erzeugt. Adsorptionskältemaschinen arbeiten mit den umweltfreundlichen Kältemitteln Wasser und Silikagel oder Zeolith. Durch Wärmezufuhr auf der einen und Kälteverbrauch auf der anderen Seite wird in der Maschine eine Wechselwirkung zwischen Adsorption und Desorption erzeugt. Strom wird nur für die Regelung der Maschine benötigt. Adsorptionskältemaschinen können ab Temperaturen von 60°C kühlen. Ideal sind Temperaturen von 75 – 80°C.

Absorptionskältemaschinen arbeiten mit einem sogenannten thermischen Verdichter und mit zwei Stoffpaaren, Lithiumbromid/Wasser oder Ammoniak/Wasser. Die Solarwärme sorgt dafür, dass das Kältemittel nach der Verdampfung auf ein höheres Druckniveau gebracht wird. Absorptionskältemaschinen benötigen Temperaturen von mindestens 75 – 80°C für die Kälteerzeugung, ideal sind über 90°C.

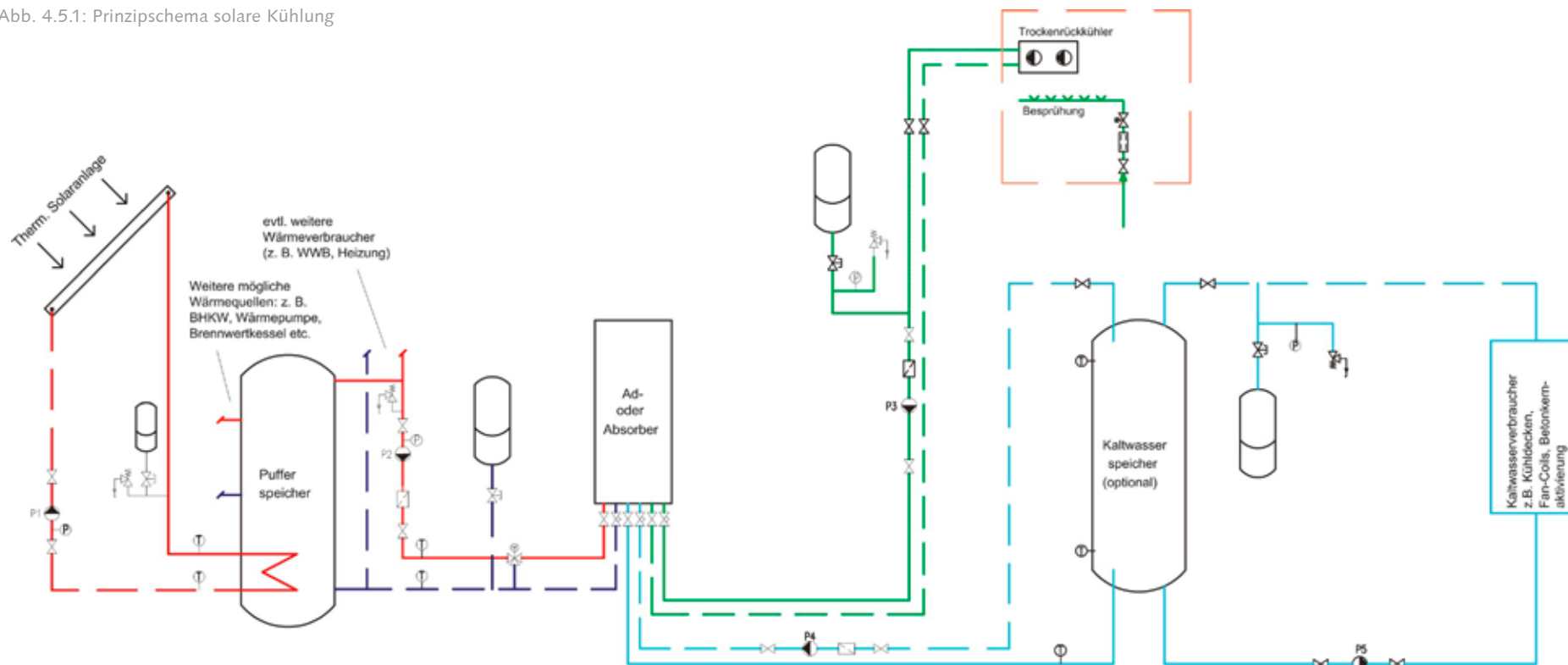
Beide Typen von Kältemaschinen sind mittlerweile ab einer Leistungsgröße von 6 kW zu erhalten, da der Bedarf an umweltfreundlicher Kälteerzeugung im kleineren Bereich insbesondere in den südeuropäischen Ländern stark zugenommen hat.

Für eine Kälteleistung von 1 kW wird eine Wärmeleistung von ca. 1,4 bis 1,7 kW Wärme benötigt. Dafür werden wiederum 2,5 bis 3,5 m<sup>2</sup> Kollektorfläche in unseren Breiten (je nach Typ, Ausrichtung und Wirkungsgrad) erforderlich.

Für die solare Kühlung sind die effektiveren Vakuumröhrenkollektoren sehr gut geeignet.



Abb. 4.5.1: Prinzipschema solare Kühlung



Legende Wärme- und Kältekreisläufe

- |                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| Heizung Vorlauf (HT)       | Absperrventil                 |
| Heizung Rücklauf           | Schmutzfänger                 |
| Solar Vorlauf              | Umwälzpumpe                   |
| Solar Rücklauf             | Kappenventil Ausdehnungsgefäß |
| Rückkühlkreis Vorlauf (mt) | Magnetventil                  |
| Rückkühlkreis Rücklauf     | Rücklaufbelmischung           |
| Kaltwasser Vorlauf (lt)    | Thermometer                   |
| Kaltwasser Rücklauf        | Sicherheitsventil             |
| Besprühungswasser          | Manometer                     |
|                            | Rohrtrenner                   |
|                            | Ausdehnungsgefäß              |

Funktionsweise solare Kühlung |

1. Die Solaranlage gibt Wärme an den Heizungs-Pufferspeicher bzw. den Heizkreislauf ab.
2. Die Ad- oder Absorptionskältemaschine entnimmt aus dem Pufferspeicher Wärme als Antriebsenergie für die Kälteerzeugung. Das erzeugte Kaltwasser wird in den Kaltwasserspeicher oder direkt in den Kaltwasserkreislauf gefördert.
3. Das Kaltwasser wird über einen Kaltwasserkreislauf zu den Verbrauchern geführt, z. B. zu Heiz- und Kühlflächen, Betonkerntemperatur, Kühldecken, Lüftungsgeräten oder Umluftkühlern.
4. Die „Abwärme“ der Kältemaschine wird an einen Rückkühler, an Erdkollektoren oder an ein Schwimmbad abgegeben.

4.5

## 4.6 Lüftung

### 4.6.1 Anforderungen

Luftaustausch muss in Gebäuden stattfinden, damit Feuchtigkeit und Luftschadstoffe aus den inneren Räumen nach außen abgeführt und frische sauerstoffreiche Luft zugeführt werden kann. Dies wird bisher überwiegend über Fensterlüftung mehr oder weniger durchgeführt. Durch das Lüften wird die Kohlendioxidkonzentration in den Räumen verringert und anfallende Feuchtigkeit in Wohnräumen durch Atmen, Waschen oder Kochen usw. abgeführt. Schadstoffe, die ggf. von Möbeln oder anderen Einrichtungen an die Raumluft abgegeben werden, werden ebenfalls nach außen geleitet. In ungenügend gelüfteten Wohnungen besteht die Gefahr von Schimmelbefall und gesundheitlichen Schäden. Weiterhin lässt die Konzentration und das Leistungsvermögen bei ungenügender Lüftung stark nach.

Ein Mensch benötigt einen Luftwechsel oder Luftaustausch von ca. 30 m<sup>3</sup>/h bei mittlerer körperlicher Tätigkeit, damit die CO<sub>2</sub>-Konzentration unter 0,1 Vol. % gehalten wird und die Luftfeuchtigkeit 50 % nicht übersteigt. Ungenügende Lüftung führt zu Kopfschmerzen, Müdigkeit und Reizungen der Schleimhäute. Nach neuesten Studien der WHO gibt es auch Indizien, dass Krankheiten wie Lungenkrebs, Allergien und weitere Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit der Raumluftqualität stehen. Räume wie Küchen und Bäder müssen einen ausreichenden Luftwechsel haben, damit unangenehme Gerüche und Schadstoffe abgeführt werden.

Die Lüfterneuerung von Räumen ist zwangsläufig mit Energieverlusten verbunden, den Lüftungswärmeverlusten. Bei der Fensteröffnung wird im Winter zu 100 % belastete, aber warme Innenluft nach außen und frische, aber kalte Luft nach innen geführt.

Die Energieverluste durch verringerte Lüftung minimieren zu wollen, wäre aus den vorher genannten Gründen der völlig falsche Weg. Energieeinsparung darf nicht zu Lasten der Gesundheit erreicht werden.

### 4.6.2 Freie Lüftung

Der Wärmeverlust bei der Fensterlüftung muss durch die Heizung ausgeglichen werden. Bei Gebäuden mit hohem energetischen Standard ist aufgrund der sehr geringen Transmissionswärmeverluste der Wärmeenergiebedarf für den Luftaustausch genauso hoch oder noch höher als für das Heizen.

Deshalb liegt es nahe, ein Lüftungssystem zu wählen, welches einerseits für einen ausreichenden und gleichmäßigen (hygienischen) Luftwechsel sorgt und andererseits Heizenergie einspart.

### 4.6.3 Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Der notwendige Luftwechsel kann durch Abluftanlagen oder Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft kontrolliert gewährleistet werden.

**Abluftanlage** | Die einfachste Form, den notwendigen Luftwechsel der Räume zu realisieren, ist die Abluftanlage. Dabei wird in den stärker belasteten Räumen wie WCs, Bädern oder Küchen die verbrauchte Luft abgesaugt und über Kanäle aus dem Gebäude geführt. Die Zuluft strömt als Außenluft über Zuluftventile oder Luftdurchlässe in der Außenwand oder über/unter dem Fenster nach. Im günstigsten Fall wird die Abluft einer Wärmepumpe zugeführt und zur Erwärmung der Heizflächen und WWB über Abluft-Wärmepumpen genutzt.

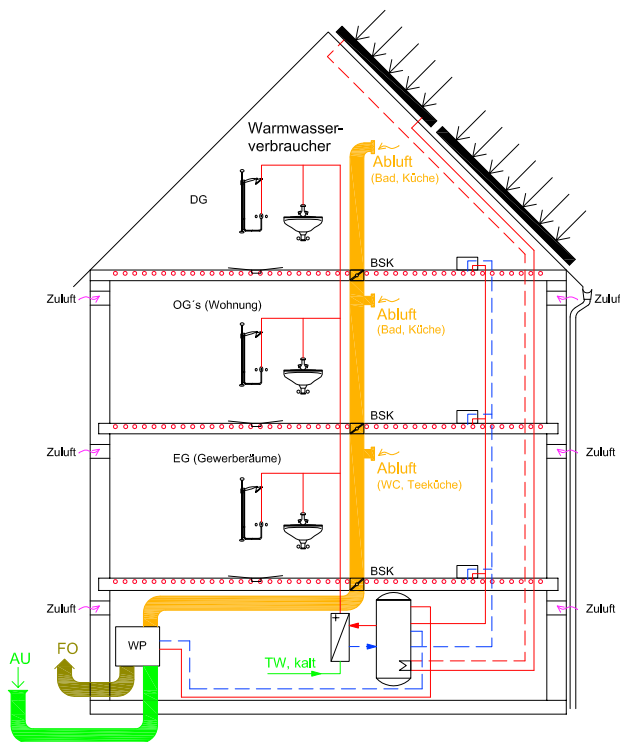
**Abluft-Wärmepumpe** | Bei Abluftanlagen in Verbindung mit Abluft-Wärmepumpen wird die Abwärme zur Erwärmung des Trinkwarmwassers (WWB) oder zur WWB und Heizung eingesetzt. Die warme Abluft, welche sonst ungenutzt nach außen abgeführt wird, kann so energetisch ausgenutzt werden. Die über die Abluft-Wärmepumpe erzeugte Wärme wird dann im Regelfall über ein wassergeführtes Niedertemperatur-Heizsystem an die Räume abgegeben. Die Abluft in Wohnräumen hat eine relativ gleichmäßige Temperatur von 20 – 22°C, so dass die Abluft-Wärmepumpe bei Heiztemperaturen von max. 35°C effizient arbeiten kann. Bei tieferen Außentemperaturen reicht der Volumenstrom der Abluft allerdings





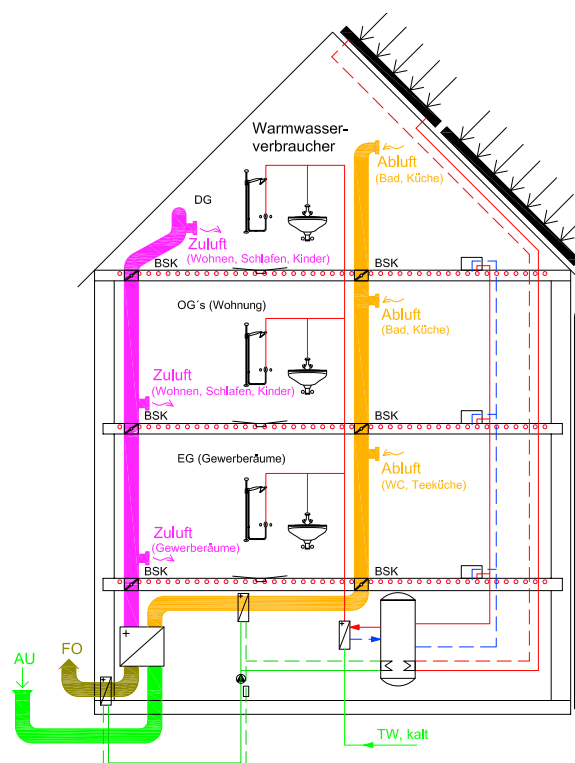
meist nicht aus, so dass Außenluft beigemischt werden muss, wodurch sich die Jahresarbeitszahl bzw. Effizienz der Anlage verringert. Teilweise werden deshalb kombinierte Wärmeerzeuger mit Abluft-Wärmepumpe und zusätzlichem Heizkessel (für tiefe Außentemperaturen) angeboten.

Abb. 4.6.1: Prinzipschema Abluft-Wärmepumpe



**Zu- und Abluftanlagen** | Komfortabler und energetisch effizienter sind Zu- und Abluftanlagen mit einer sehr effizienten Wärmerückgewinnung. Dabei wird den weniger belasteten Räumen wie Wohnräumen, Schlaf- und Kinderzimmern über Zuluftventile frische Zuluft zugeführt. In den stärker belasteten Räumen wie WCs, Bädern und Küchen wird die Luft abgesaugt, die Nachströmung in diese Räume erfolgt über Öffnungen oder Türschlitze.

Abb. 4.6.2: Prinzipschema Zu- und Abluftanlage mit WRG



Inzwischen sind auf dem Markt Lüftungsgeräte mit Wärmetauschern zu erhalten, welche Wärmerückgewinnungsgrade über 80 % erreichen, d. h. über 80 % der Lüftungswärmeverluste können zurückgewonnen werden. Dies führt zu einer erheblichen Energieeinsparung. Weiterhin ist es möglich, die Abluft nach der Wärmerückgewinnung (Fortluft) noch über eine Wärmepumpe zu führen und weiter abzukühlen. Damit wird die restliche „Abwärme“ noch zur Beheizung des Gebäudes genutzt (siehe auch unter 4.4.1: weitere dezentrale Heizsysteme, Beispiel 4). Beim Passivhaus ist es auch möglich nur über die Lüftungsanlage zu heizen.

Eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung hat folgende Vorteile:

- gesündere Raumluft
- weniger Allergien, Asthma- und sonstige Erkrankungen
- Energieeinsparung beim Lüftungswärmebedarf
- erhöhte Konzentration, höhere Leistungsfähigkeit
- Nachtauskühlung
- Vermeidung von Baufeuchtigkeit

Durch einen Erdwärmetauscher kann eine Wohnungslüftungsanlage weiter optimiert werden. Dabei wird über ein oder mehrere im Erdreich verlegte Rohre die Außenluft im Sommer vorgekühlt und im Winter vorgeheizt. Dabei sind sowohl wasser- als auch luftgeführte Erdwärmetauscher möglich. Die wassergeführte Variante ist kostenseitig ähnlich, hygienische Probleme durch Kondensatbildung etc. sind dabei aber weniger zu erwarten.

Für das innerstädtische Mehrfamilienhaus bieten sich einige Standardvarianten der kontrollierten Lüftung an.

**Beispiel 1: dezentrale Versorgung jeder einzelnen Wohnung mit einem Wärmerückgewinnungsgerät** | Bei dieser Variante hat jede Wohnung ein eigenes Wärmerückgewinnungsgerät.

Vorteile:

- individuelles Nutzerverhalten möglich
- keine Brandschutzklappen notwendig

Nachteile:

- teuer
- mehr Platzbedarf
- Einsatz von Erdwärmetauschern nicht möglich

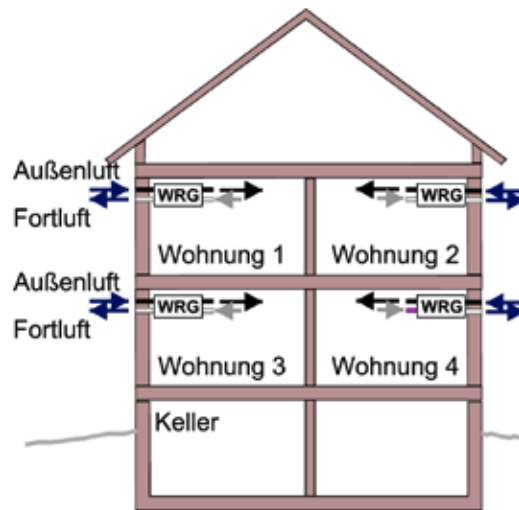


Abb. 4.6.3: teilzentrale Wohnungslüftung, Quelle Fa. Paul

**Beispiel 2: Lüftung mit zentraler Zuluftzuführung und dezentraler Fortluftabführung** | Auch bei dieser Variante hat jede Wohnung ein eigenes Wärmerückgewinnungsgerät, die Zuluftzuführung erfolgt aber zentral. Dadurch ist es auch möglich, einen Erdreichwärmetauscher einzusetzen. Zu beachten ist der Einsatz von Brandschutz- und Rückschlagklappen in den Zuluftkanälen.

Vorteile:

- energetisch günstiger
- weniger Außenluftöffnungen
- individuelles Nutzerverhalten

Nachteil:

- Außenwanddurchführungen für Fortluft notwendig



Abb. 4.6.4: dezentrale Wärmerückgewinnung je Wohnung, Quelle Fa. Paul

**Beispiel 3: Lüftung mit zentraler Außenluft- und Fortluftführung und zentralem Wärmerückgewinnungsgerät** | Bei dieser Lösung ist es notwendig, sowohl Zu- als auch Fortluftkanäle mit Brandschutz- und Rückschlagklappen auszustatten. Alternativ zu den Brandschutzklappen können auch Brandschutzkanäle (L-90) eingesetzt werden. Vorteile:

- nur ein Wärmerückgewinnungsgerät für alle Wohnungen notwendig, d. h. nur ein Gerät muss gewartet und periodisch mit neuen Filtern versehen werden
- Einsatz eines Erdreichwärmetauschers ebenfalls sehr gut möglich
- regelmäßige Wartung wird meist vorgenommen

Nachteil:

- Brandschutz- und Rückschlagklappen bzw. Brandschutzkanäle notwendig

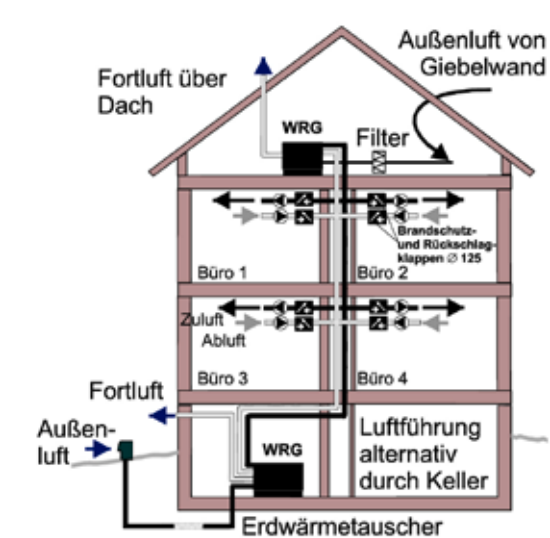


Abb. 4.6.5: Lüftung mit zentraler Zu- und Fortluft und zentraler Wärmerückgewinnung, Quelle Fa. Paul



#### Beispiel 4: Lüftung mit zentraler Außenluft- und Fortluftführung und dezentralen Wärmerückgewinnungsgeräten je Wohnung |

Bei dieser Lösung ist es ebenfalls notwendig, Zu- als auch Fortluftkanäle mit Brandschutz- und Rückschlagklappen auszustatten.

Vorteil:

- mehr Regelungskomfort für jede Nutzungseinheit durch die dezentralen Wärmerückgewinnungsgeräte.

Nachteile:

- Brandschutz- und Rückschlagklappen bzw. Brandschutzkanäle notwendig
- Wartungs- und Investitionskosten sind meist höher als in Beispiel 3

**Be- und Entlüftung von Gewerbeeinheiten** | Für die Be- und Entlüftung von Gewerbeeinheiten im Erdgeschoss oder auch in anderen Etagen sollte eine separate Lüftungsanlage bzw. ein separates Lüftungsgerät eingesetzt werden, da hier meist andere Luftwechsel und Anforderungen gelten als in den Wohnungen. Entsprechend der gewerblichen Nutzung müssen diese Lüftungen auch separat regel- und einstellbar sein.

Für Gewerberäume im Erdgeschoss eignen sich oft dezentrale Lüftungsgeräte als Flachgeräte, welche z. B. zusammen mit den Lüftungskanälen in der abgehängten Decke untergebracht werden können, ähnlich wie bei den Abb. 4.6.3 und 4.6.4 dargestellt.

#### Psychologische Aspekte der Wohnungslüftung |

Die meisten Menschen in unseren Breiten sind es seit ihrer Kindheit gewöhnt, Räume über geöffnete Fenster zu lüften und empfinden Luft als frisch, wenn sie kalt ist, obwohl dies nichts über den Sauerstoffgehalt der Luft aussagt. Deshalb möchten die meisten Menschen auf das Öffnen der Fenster nicht verzichten. Im Winter ist dies aber nicht notwendig, weil bei einer kontrollierten Lüftung die Luft ständig erneuert wird und daher immer „frisch“ ist.

Es ist demzufolge eine Umstellung der Gewohnheiten insbesondere beim Lüftungsverhalten in Gebäuden mit kontrollierter Lüftung und Wärmerückgewinnung notwendig, wofür ein Bewusstsein und die nötige Einstellung der Nutzer vorhanden sein muss.

Einer Studie der Universität Jena (nach einer Befragung von 400 Bezirksschornsteinfegern, die ca. 30.000 Räume überprüft hatten) zufolge leben ca. 15 Millionen Menschen in Deutschland in

Wohnungen mit Feuchtigkeitsschäden und Schimmelpilzen. Dies entspricht ca. 7 Millionen Wohnungen. Feuchteschäden können durch richtiges Lüften und gute Wärmedämmung (hohe Oberflächentemperaturen) auf jeden Fall vermieden werden. Feuchteschäden in Wohnungen gehören zu den häufigsten Streitfällen zwischen Mietern und Vermietern, welche dadurch gleichzeitig verringert würden.

Vorteile bieten Lüftungsanlagen auch für Wohnungen in verkehrsreichen und lärmstarken Straßen, welche in Innenstädten oft schwer zu vermieten oder zu verkaufen sind. Dort können bei hohem Verkehrsaufkommen die Fenster geschlossen bleiben und die Luft in den Räumen ist trotzdem ausreichend frisch, was durchaus ein Vermietungsvorteil ist.

Durch Pollenfilter in den Zuluftkanälen können Allergiker vor Pollen und Staub geschützt werden. Wichtig ist dabei wie bei allen Lüftungsanlagen, dass die eingebauten Filter regelmäßig gereinigt bzw. ausgetauscht werden, da sich sonst die Luftqualität verschlechtert.

Da der mitteleuropäische Mensch durchschnittlich 90 % seiner Lebenszeit in geschlossenen Räumen verbringt und täglich ca. 15 kg Luft aufnimmt, sollten Systeme, die eine gesunde Raumluft gewährleisten, in zukünftigen Gebäuden eingeplant und installiert werden.

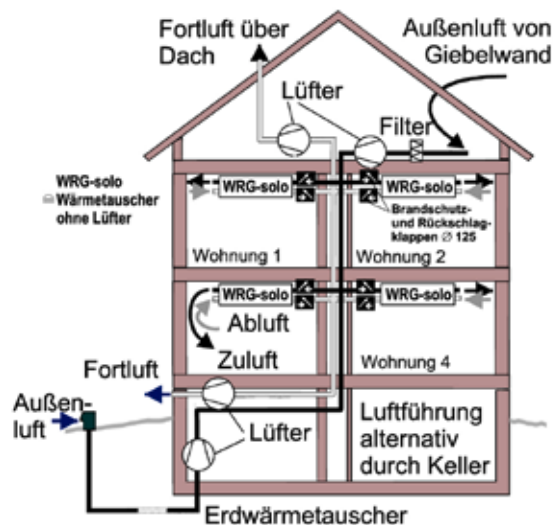


Abb. 4.6.6: Lüftung mit zentraler Zu- und Fortluft und dezentraler Wärmerückgewinnung, Quelle Fa. Paul

## 4.7 Wasser-, Strom- und Medienversorgung

Für die Wasserver- und entsorgung gelten für den innerstädtischen Systembau die gleichen Anforderungen wie für andere innerstädtische Gebäude. Die Grundstücke in der Innenstadt sind im Regelfall sehr gut mit den Medien Wasser, Abwasser, Strom und Telefon/Daten erschlossen. Zu prüfen ist, inwieweit eine Regenwassernutzung oder -versickerung möglich oder sogar gefordert ist. Bei der Regenwassernutzung sollte insbesondere bei Mehrfamilienhäusern bedacht werden, dass diese Anlagen gewartet werden müssen, z. B. ist eine regelmäßige Reinigung der Filter notwendig. Dies ist beim Einfamilienhaus meist einfacher zu realisieren.

Es sollte bei allen technischen Gewerken darauf geachtet werden, durch Systembauweisen Bauzeiten zu verkürzen und die Qualität zu verbessern. Für den innerstädtischen Systembau mit Stahltragwerk bieten sich Systeme wie KS Quadro (siehe Anlagen) oder Geberit Quadro an, mit denen eine zerstörungsfreie Installation und eine leichte Nachrüstbarkeit von Strom- und Medienleitungen möglich ist. Bei Nord-Südausrichtung der Gebäude sollten die Schmutzwasserentlüftungen und Lüftungsleitungen auf der Nordseite angeordnet werden, um homogene Solardächer auf der Südseite zu ermöglichen.

### 4.7.1 Altengerechte Sanitärinstallation

Die realistische Tatsache, dass das Lebensalter der Menschen immer weiter nach oben geht und wir einen immer höheren Prozentsatz an älteren und alten Menschen haben werden, muss bei der Planung berücksichtigt werden. Die Zahl der Pflegebedürftigen wird sich aller Wahrscheinlichkeit von 2,25 Millionen (2007) auf 3,8 Millionen bis zum Jahr 2050 erhöhen. Von diesen Menschen wird ein Großteil zu Hause versorgt. Weiterhin leben in Deutschland ca. 6,6 Millionen schwerbehinderte Menschen – überwiegend in Wohnungen, viele davon in nicht behindertengerecht ausgebauten Zustand.

Dies bedeutet in erster Linie, dass die Gebäude mit Aufzügen ausgestattet werden, auch wenn zunächst kein Bedarf für alten- oder behindertengerechtes Wohnen besteht, da dieser Bedarf für Besucher oder zu einem späterem Zeitpunkt für die Bewohner mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit zur Notwendigkeit wird. Die Musterbauordnung 2002 schreibt auch vor, dass Gebäude mit mehr als zwei Wohnungen barrierefrei erreichbar sein müssen. In den Landesbauordnungen (LBO) der Länder sind diese Anforderungen überwiegend übernommen worden.

Die Grundrisse und Installationen sollten so gestaltet sein, dass sie für eine altengerechte Ausstattung insbesondere der Sanitärbereiche geeignet sind, auch wenn zum Zeitpunkt des Einzugs noch keine besonderen Maßnahmen erforderlich sind. Vorausschauende gebäudetechnische Badplanungen beinhalten barrierefreie Einrichtungen wie:

- Zusätzliche Befestigungen und Halterungen in der Vorwandinstallation  
(Sie kosten in der Bauphase geringfügig mehr



Abb. 4.7.1: Vorwandinstallation für altengerechte Installation und SanitärAusstattung, Quelle Geberit



Abb. 4.7.2: Industrielle Vorfertigung von Installationseinheiten, Quelle Geberit



und haben keine gestalterischen Nachteile, sparen aber später bei notwendigen Anpassungen viel Geld, da z. B. Befestigungsmöglichkeiten für Haltegriffe, Stützklappgriffe oder Sitze einfach nachzuinstallieren sind. Die Zusatzkosten dafür betragen je Wohnung ca. 300 – 500 €, neue Badausstattungen im Regelfall mehrere Tausend Euro

- bodengleiche Duschen
- nachinstallierbare Montagesysteme
- rutschfeste Bodenbeläge

Wenn schon konkreter Bedarf für eine alten- bzw. behindertengerechte Ausstattung in der Bauphase vorliegt, sind die Bestimmungen der DIN 18025 „Barrierefreies Wohnen“ und die Forderungen der LBO der Länder bei der Planung zu berücksichtigen und einzuhalten.

#### 4.7.2 Integrale Planung

Ein Gebäude ist ein komplexes Gebilde mit funktionalen, architektonisch-ästhetischen, nutzerbedingten, technischen und energetischen Ansprüchen. Weiterhin ist es abhängig von örtlichen Gegebenheiten bzw. es ist ein Teil seiner es umgebenden Umwelt.

Damit ein Gebäude all diese Ansprüche im Sinne seiner Bewohner oder Nutzer erfüllen kann, ist eine integrale Planung aller Planungsbereiche (Architektur, Gebäudetechnik, Statik, Bauphysik, Tiefbau, Hochbau, Nutzer usw.) notwendig. Das Ineinandergreifen dieser Bereiche hat sich in den letzten Jahren gegenüber den 60–90er Jahren des 20. Jahrhunderts schon deutlich verdichtet, wie einige Beispiele zeigen:

- Betonkernaktivierung (Aktivität der Gebäudetechnik schon in der Rohbauphase)
- Nutzung des Untergrundes, z. B. durch Erdsonden, Energiepfähle, Erdkollektoren (Gebäudetechnik, Tiefbau, Baugrund)
- Integration regenerativer Technik in die Gebäudehülle, z. B. PV-Module, Sonnenkollektoren, Rohrschlangen für Wärmepumpen, Speicher im Gebäude etc. (Gebäudetechnik, Architektur, Baugrund)
- Beleuchtung: Design und Energieverbrauch, (Gebäudetechnik, Architektur)
- Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Tageslicht und künstlichem Licht, zwischen passiver Solarenergienutzung und Wärmespeicherung in der Gebäudekonstruktion, aktiver Solarnutzung und Wärmespeicherung und Nutzung einer Wärmepumpe mit dynamischen Simulationsmodellen (Architektur, Gebäudetechnik, Bauphysik)

- Wechselwirkungen zwischen U-Werten und Wärmespeichervermögen der baulichen Konstruktionselemente und dem Heiz-/Kühlsystem (Gebäudetechnik, Bauphysik)
- Fassadenelemente als Energiequelle (Architektur, Gebäudetechnik)
- Energieberatung und Nachweisführung EnEV: mehr Verständnis für andere Gewerke (alle)
- Einige der aufgeführten Tätigkeiten werden heute sowohl von Architekten und Bauplanern als auch von Ingenieuren der Gebäudetechnik vorgenommen, z. B. Energieberatung, EnEV-Nachweise, dynamische Gebäudesimulationen

Damit die Vorteile eines innerstädtischen Systembaus mit Stahltragwerk zum Tragen kommen, ist in der Planungsphase eine integrale Planung aller Beteiligten (Architekt, Bauherr, Tragwerksplaner, Gebäudetechniker, Energieberater, Bauklimatiker) notwendig, da ein Teil der Installation nicht auf der Baustelle, sondern industriell oder in der Werkstatt vorgefertigt wird.

Die Tendenz bei neuen Einfamilienhäusern sah 2007 folgendermaßen aus: 40,7 % wurden als Fertighäuser gebaut, davon fast 50 % mit besserem Energiestandard als gesetzlich gefordert (KfW-60, KfW-40 oder Passivhaus). Hier fand im Vorfeld eine integrale Planung mit nachfolgender Systembauweise statt. Geht man davon aus, dass sich dieser Trend auch auf andere Gebäudearten ausbreitet, hat der energetisch optimierte innerstädtische Systembau bei Mehrfamilienhäusern sicher eine positive Zukunft.





## INHALT

**5 Brandschutz des Stahltragwerks****5.1 Allgemeine Grundlagen**

- 5.1.1 Bauaufsichtliche Bestimmungen
- 5.1.2 Klassifizierung von Baustoffen nach DIN 4102-1 und Euroklassen
- 5.1.3 Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen nach DIN 4102 und DIN EN 13501-2
- 5.1.4 Anforderung an das Musterhaus

**5.2 Brandschutz von Stahlbauteilen**

- 5.2.1 U/A-Verhältnis
- 5.2.2 Putzbekleidungen
- 5.2.3 Beschichtungen
- 5.2.4 Plattenbekleidungen
- 5.2.5 Verbundkonstruktionen
- 5.2.6 Bauen mit ungeschütztem Stahl

**5.3 Spezielle Brandschutzmaßnahmen**

- 5.3.1 Stützen Musterhaus
- 5.3.2 Deckensystem Musterhaus

## 5.1 Allgemeine Grundlagen

### 5.1.1 Bauaufsichtliche Bestimmungen

Die Anforderungen an den Brandschutz sind in den Landesbauordnungen festgelegt. Diese basieren weitestgehend auf der Musterbauordnung MBO, aber enthalten darüber hinaus landesspezifische Regelungen.

Die grundlegenden Schutzziele – Personen – und Sachwertschutz – werden in den Landesbauordnungen definiert. Das primäre Ziel stellt dabei der Personenschutz dar, erst danach folgt der Sachschutz.

In der Musterbauordnung werden die Gebäude in 5 Gebäudeklassen eingeteilt. Die Unterteilung erfolgt anhand der Gebäudehöhe, der Anzahl der Nutzungseinheiten und deren Größe. Eine Übersicht dazu bietet Tabelle 5.1.

Gebäudeklasse	Beschreibung
<b>Gebäudeklasse 1</b>	frei stehende Gebäude bis 7 m Höhe (mit Oberkante Fertigfußboden OFF oberstes Geschoss, wenn ein Aufenthaltsraum möglich ist), mit nicht mehr als 2 Nutzungseinheiten mit insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> Nutzfläche
<b>Gebäudeklasse 2</b>	Gebäude bis 7 m Höhe (mit Oberkante Fertigfußboden OFF oberstes Geschoss, wenn ein Aufenthaltsraum möglich ist), mit nicht mehr als 2 Nutzungseinheiten mit insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> Nutzfläche
<b>Gebäudeklasse 3</b>	sonstige Gebäude bis 7 m Höhe (mit Oberkante Fertigfußboden OFF oberstes Geschoss, wenn ein Aufenthaltsraum möglich ist)
<b>Gebäudeklasse 4</b>	Gebäude bis 13 m Höhe (mit Oberkante Fertigfußboden OFF oberstes Geschoss, wenn ein Aufenthaltsraum möglich ist) und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> Nutzfläche
<b>Gebäudeklasse 5</b>	sonstige Gebäude einschließlich unterirdische Gebäude

Tab. 5.1: Gebäudeklassen nach MBO 2002

### 5.1.2 Klassifizierung von Baustoffen nach DIN 4102-1 und Euroklassen

Das Verhalten im Brandfall ist eines der wichtigsten Kriterien für die Beurteilung von Baustoffen. In der DIN 4102-1 sind die brandschutztechnischen Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile definiert. Es wird unterschieden zwischen:

- nicht brennbaren Baustoffen – Baustoffklasse A
- brennbaren Baustoffen – Baustoffklasse B

Die Einstufung in die verschiedenen Baustoffklassen erfolgt entweder mit Hilfe genormter Brandversuche nach DIN 4102-1 oder kann anhand einer Klassifizierung nach DIN 4102-4 vorgenommen werden.

Die einzelnen Klassen werden noch weiter untergliedert (s. Tabelle 5.2). Bauaufsichtlich wird die Baustoffklasse A nicht unterteilt. Brandschutztechnisch werden die Baustoffklassen A1 und A2 unterschieden.

Die Prüfverfahren zum Nachweis des Brandverhaltens der Baustoffe waren in Europa bisher sehr unterschiedlich. Aus diesem Grund wurden vereinheitlichte Prüfverfahren entwickelt und verabschiedet. Eine Zuordnung der neuen Euroklassen zu den bisher gültigen DIN 4102-Klassen ist in Tabelle 5.2 angegeben.

Tab. 5.2: Baustoffklassen

Baustoffklasse nach DIN 4102-1/ bauaufsichtliche Benennung	Euro-klasse	Anforderungsniveau
A1 nicht brennbar	A1	kein Beitrag zum Brand
A2 nicht brennbar	A2	vernachlässigbarer Beitrag zum Brand
B1 schwer entflammbar	A2 B	sehr geringer Beitrag zum Brand
	C	geringer Beitrag zum Brand
B2 normal entflammbar	D	hinnehmbarer Beitrag zum Brand
	E	hinnehmbares Brandverhalten
B3 leicht entflammbar	F	keine Anforderungen





### 5.1.3 Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen nach DIN 4102-2 und DIN EN 13501-2

Im Sinne der Norm gelten als Bauteile: Wände, Decken, Stützen, Unterzüge, Treppen usw. Sonderbauteile sind Brandwände, nicht tragende Außenwände, Feuerschutzabschlüsse, Lüftungsleitungen, Kabelabschottungen, Installationskanäle und –schächte, Rohrabschottungen, Kabelanlagen und Verglasungen.

Auf das Brandverhalten eines Bauteils kann nicht über die brandschutztechnische Einstufung eines Baustoffes geschlossen werden. Folglich werden Bauteile in Feuerwiderstandsklassen eingestuft. Für die Prüfung des Feuerwiderstandes wird nach DIN 4102-2 bzw. DIN EN 1364 und DIN EN 1365 die Zeit ermittelt, die das Bauteil dem Feuer widersteht ohne seine Funktion zu verlieren. In der DIN 4102-2 werden die Feuerwiderstandsklassen mit dem Buchstaben „F“ bezeichnet und dahinter die entsprechende Mindest-Leistungszeit in Minuten als Zahl angegeben z.B. F 30. Dies bedeutet, dass das Bauteil einer Brandbeanspru-

chung von 30 Minuten unter Zugrundelegung der Einheitstemperaturkurve standhalten muss. Eine weitere Spezifikation kann über die Buchstaben A und B erfolgen. F 30-AB bedeutet demnach, dass es sich um ein feuerhemmendes Bauteil handelt, das in wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen besteht.

In der neuen europäischen Klassifikation gibt es eine völlig neue Buchstabenfolge, aus deren Kombination die Eigenschaften des Bauteils bereits deutlich werden und jeder Buchstabe für eine bestimmte Eigenschaft steht.

Die wichtigsten Eigenschaften zur Klassifizierung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen bzw. Bauprodukten und die zugehörigen Symbole sind:

- R Tragfähigkeit
- E Raumabschluss
- I Wärmedämmung

Diese Hauptanforderungen und Kennbuchstaben, die zur ausschließlichen Klassifizierung aller Bauteile dienen, können wie folgt erweitert und/oder optional ergänzt werden:

- W Strahlungsdurchlässigkeit
- M Widerstand gegen mechanische Beanspruchung
- C selbst schließende Eigenschaften
- S Rauchdurchlässigkeit
- IncSlow Schwelbrandverlauf
- sn annähernd natürlicher Brand

Daneben existieren noch eine Reihe weiterer Leistungsmerkmale besonderer Bauprodukte die durch eigene Symbole charakterisiert werden.

Allen Symbolen werden wie bisher ergänzend die Mindest-Leistungszeiten in Minuten angefügt. Auch dafür stehen in der DIN EN 13501-2 mehr Zeitangaben als bisher von 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, und 200 Minuten zur Verfügung.

Eine vergleichende Zuordnung der Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen nach DIN 4102 und DIN EN 13501-2 ist in Tabelle 5.3 dargestellt.

5.1

Tab. 5.3: Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-2 und DIN EN 13501-2 entsprechend den bauaufsichtlichen Anforderungen nach DIN 4102

Bauaufsichtliche Anforderung	Tragende Bauteile ohne Raumabschluss		Tragende Bauteile mit Raumabschluss		Nichttragende Innenwände	
	Klasse nach DIN EN 13501-2	Klasse nach DIN 4102-2	Klasse nach DIN EN 13501-2	Klasse nach DIN 4102-2	Klasse nach DIN EN 13501-2	Klasse nach DIN 4102-2
feuerhemmend	R 30	F 30	REI 30	F 30	EI 30	F 30
feuerbeständig	R 90	F 90	REI 90	F 90	EI 90	F 90
Brandwand	-		REI-M 90		EI-M 90	

### 5.1.4 Anforderungen an das Musterhaus

Bei tragenden und aussteifenden Bauteilen ist die Feuerwiderstandsfähigkeit ein Maß für die Stand-sicherheit im Brandfall. Raumabschließende Bau-teile müssen Widerstand gegen die Ausbreitung von Feuer und Rauch aufweisen. In § 27 bis 32 der MBO sind die Anforderungen an die Feuerwi-derstandsfähigkeit von Wänden, Stützen, Decken und Dächern angegeben.

Das Musterhaus lässt sich in zwei Gebäudeklassen einordnen. Haus 1 fällt in die Gebäudeklasse 3 und Haus 2 in die Gebäudeklasse 4. Einen Über-blick über die Anforderungen an die Bauteile in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse ist in Tabelle 5.4 dargestellt.

Unterschiede zwischen den Gebäudeklassen erge-ben sich nicht nur hinsichtlich der Anforderungen an die Bauteile und deren Baustoffe, sondern auch an die Form des Brandschutznachweises.

In der Gebäudeklasse 3 ist der vorbeugende Brandschutz durch den Bauvorlageberechtigten, der keinen gesonderten Nachweis oder eine Zu-lassung benötigt, nachzuweisen. Eine Prüfung des Brandschutzes durch eine Behörde oder andere Prüfer ist nicht erforderlich.

Bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 muss der Brandschutznachweis vom Nachweisberechtigten für Brandschutz erstellt sein, es sei denn, der Nachweis wird durch einen Sachverständigen für

Brandschutz bescheinigt. Auch die Überwachung der Bauausführung muss vom Nachweisberech-tigtem / Sachverständigen für Brandschutz durch-geführt werden.

**Achtung:**

Die einzelnen Anforderungen aus der Landesbau-ordnung der verschiedenen Bundesländer können voneinander erheblich abweichen. Es ist daher unerlässlich, ausschließlich die in den jewei-ligen Bundesländern gültigen Vorschriften in der aktuellen Fassung zu verwenden um ein rechts-konformes Bauvorhaben zu erstellen. So wird beispielsweise in den Bundesländern

- Brandenburg,
- Bremen,
- Niedersachsen,
- Nordrhein-Westfalen und
- Rheinland-Pfalz

nur zwischen Gebäuden geringer Höhe und mittlerer Höhe unterschieden. Die Gebäudeklasse 4 fehlt somit, und es müssen die höheren Anfor-derungen aus der Gebäudeklasse 5 eingehalten werden. Die hier dargestellten Anforderungen stammen aus der Musterbauordnung und dienen der Orientierung.

Tab. 5.4: Brandschutzanforderungen nach MBO 2002

Bauteil	§ MBO	Anforderungen		
		Gebäudeklasse 3	Gebäudeklasse 4	Gebäudeklasse 5
	§ 2	$h^1) \leq 7 \text{ m}$	$h^1) \leq 13 \text{ m}$	$h^1) \leq 22 \text{ m}$
tragende und aussteifende Wände, Pfeiler und Stützen	§ 27	F 30	F 60	F 90
nicht tragende Außenwände	§ 28	keine	A oder F 30	A oder F 30
Trennwände	§ 28	F 30	F 60	F 90
Brandwände	§ 30	F 90	F 90	F 90
Decken	§ 31	F 30	F 60	F 90

1) Die Höhe bezieht sich auf die Fußbodenoberkante des obersten Geschosses über Geländeoberfläche



## 5.2. Brandschutz von Stahlbauteilen

Erwärmt sich Stahl auf mehr als 500°C, verlieren ungeschützte Stahlbauteile ihre Tragfähigkeit. Nach der ISO-Temperaturzeitkurve geschieht dies bei einem Brandverlauf von mehr als 15 Minuten. Werden für Bauteile im Rahmen der Bauordnung oder eines Brandschutzkonzeptes Anforderungen an den Feuerwiderstand gestellt, müssen Stahlkonstruktion geschützt werden.

Es gibt folgende prinzipielle Lösungen, um einen geforderten Feuerwiderstand eines Stahlbauteils zu erreichen:

- Putzbekleidungen
- Plattenbekleidungen
- Beschichtungen
- Verbundkonstruktionen
- Brandschutz durch Wasserkühlung
- ungeschützter Stahl

Welches der Systeme zum Einsatz kommt, hängt von der Wahl des Bauherren und/oder des Architekten ab. Weitere Entscheidungsfaktoren sind die Haptik, der zu erwartende Pflegeaufwand und die Wirtschaftlichkeit.

Die DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ stellt in Deutschland die wichtigste Grundlage zur Umsetzung bauaufsichtlicher Anforderungen zum Brandschutz dar. Mit Hilfe der DIN 4102-4 „Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile“ können die Nachweise zum geforderten Feuerwiderstand tragender Bauteile besonders einfach geführt werden.

Alle Schutzsysteme haben die Aufgabe, das Erreichen der kritischen Temperatur (crit T) zu verhin-

dern. Die kritische Temperatur ist die Temperatur, bei der die Streckgrenze des Stahles auf die vorhandene Spannung im Bauteil absinkt. Im Abschnitt 6 der DIN 4102-4 sind Tabellen mit den Mindestverkleidungsdicken in Abhängigkeit vom zu erreichenden Feuerwiderstand und dem Verhältniswert U/A enthalten.

### 5.2.1 U/A-Verhältnis

Der Profilmfaktor ist für die Erwärmung einer Stahlkonstruktion, die dem Feuer ausgesetzt ist, von großer Bedeutung. Nach EC3-1-2 wird der Profilmfaktor  $A_m/V$  als Verhältnis von Brandbeanspruchter Oberfläche zu Volumen des Stahlbauteils definiert. Weisen Bauteile ein über die Länge gleichbleibenden Querschnitt auf, ist der Profilmfaktor identisch mit dem Wert U/A nach DIN 4102-4.

Je feingliedriger ein Querschnitt ist (großer Profilmfaktor), umso schneller erwärmt sich dieser. Grundsätzlich gilt: Je dünner die Querschnittselemente eines Profils sind, umso dicker muss die Verkleidung sein, um den erforderlichen Feuerwiderstand zu erreichen.

Unterschieden wird zwischen:

- einem Querschnittsfaktor  $A_m/V$  für unverkleidete Stahlbauteile
- einem Querschnittsfaktor  $A_p/V$  für verkleidete Stahlbauteile

Dabei beschreibt  $A_m$  den dem Feuer ausgesetzten Umfang,  $A_p$  die innere Abwicklung der Verkleidung und  $V$  jeweils die Querschnittsfläche des Stahlprofils. Eine Übersicht über die U/A-Verhältnisse der Stützenquerschnitte des Musterhauses ist in Tabelle 5.5 dargestellt.

Tab. 5.5: U/A-Verhältnis

U/A [m <sup>-1</sup> ] der Stahlstützen des Musterhauses							
	HEA 160	HEB 160	HEA 200	HEA 220	HEB 220	HEM 180	HEM 200
	192	140	175	162	115	80	76
	234	163	212	196	140	96	92
	120	88	108	99	72	52	49
	161	118	145	134	97	68	65

### 5.2.2 Putzbekleidungen

Bei Putzbekleidungen für Stahlträger und -stützen werden folgende Systeme unterschieden:

- Putzbekleidungen mit Putzträgern nach DIN 4102-4
- Putzbekleidungen mit Putzträgern mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Putzbekleidungen ohne Putzträger

Mit Putzbekleidungen nach DIN 4102-4 können Feuerwiderstandsklassen bis F 180 erreicht werden.

In Tabelle 5.6 sind die musterhausrelevanten Mindestputzdicken für Putzbekleidungen mit Putzträgern angegeben.

### Putzbekleidungen mit Putzträgern |

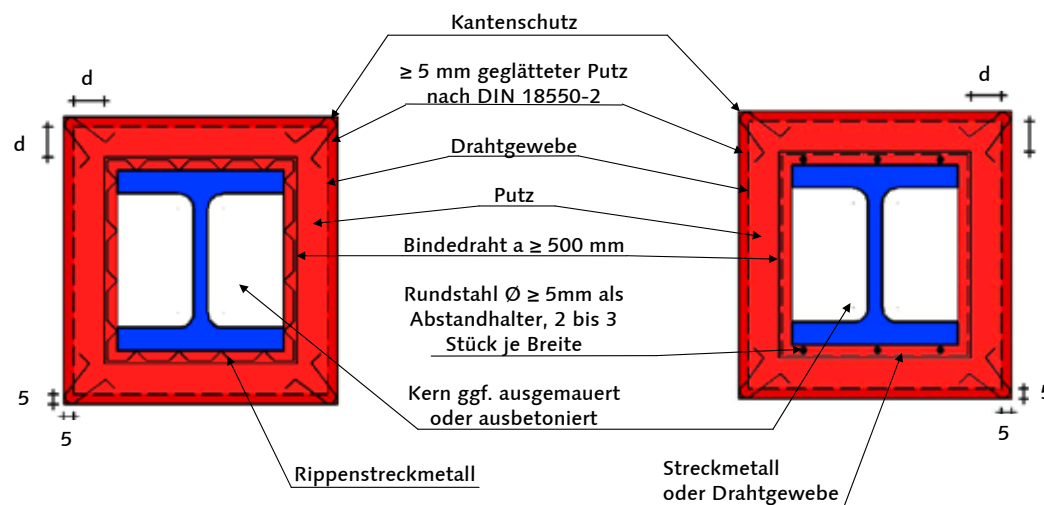


Abb. 5.1 Putzbekleidung mit Putzträgern

Tab. 5.6: Mindestputzdicken

Mindestputzdicke $d$ in mm über Putzträger									
Rippenstreckmetall, Streckmetall oder Drahtgewebe nach Abb. 5.1 bei der Verwendung von Putz aus:									
U/A nach DIN 4102-4 Abschnitt 6.1.2 [m <sup>-1</sup> ]	Mörtelgruppe P II oder P IV nach DIN 18550-2			Mörtelgruppe P IVa oder P IVb nach DIN 18550-2			Vermiculite- oder Perlite-Mörtel nach DIN 4102-4 Abschnitt 3.1.6.5 <sup>1)</sup>		
	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 30-A	F 60-A	F 90-A
< 90	15	25	45	10	10	35	10	10	35
90 bis 119	15	25	45	10	20	35	10	20	35
120 bis 179	15	25	45	10	20	45	10	20	35
180 bis 300	15	25	45	10	20	45	10	20	45

<sup>1)</sup> Der in Abschnitt 3.1.6.5 geforderte 5 mm dicke Vermiculite- bzw. Perlite-Oberputz darf durch einen Putz nach DIN 18550-2 ersetzt werden.



## Putzbekleidungen ohne Putzträger |

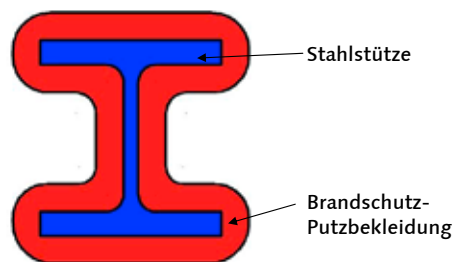


Abb. 5.2: profilfolgende Putzbekleidung

Putzbekleidungen, die brandschutztechnisch notwendig sind und die nicht durch Putzträger am Bauteil gehalten werden (s. Abb. 5.2), bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. In der Regel werden Spritzputze auf Vermiculite-, Perlite- oder Mineralfaserbasis verwendet, die maschinell auf das zu schützende Bauteil aufgebracht werden. Feuerwiderstandsklassen bis F 180-A können mit einem Spritzputzsystem erreicht werden.

Zwingend notwendig für den Einsatz von Spritzputzen als Brandschutzputz ist die Sicherstellung eines ausreichenden Haftverbundes des Putzes am verseifbaren Untergrund. Der Haftverbund kann mit Hilfe eines Haftvermittlers hergestellt werden.

Die Oberflächen der Spritzputze sind in der Regel rau und grobporig, so dass Putze meist an nicht sichtbaren Stellen zum Einsatz kommen. Die Oberflächen dürfen nur geglättet werden, wenn es die Zulassung erlaubt.

Um die zulassungsgemäße Ausführung der Brandschutzputzbekleidung sicher zu stellen, ist von der

ausführenden Fachfirma eine Werksbescheinigung bzw. eine Übereinstimmungsbestätigung auszustellen, in der u. a. die Feuerwiderstandsdauer der geschützten Bauteile und die Putzschichtdicke angegeben sind.

### 5.2.3 Beschichtungen

Mit dämmschichtbildenden Anstrichen können Feuerwiderstandsklassen von F 30, F 60 und F 90 erreicht werden. Die Beschichtungen sind nicht geregelte Bauprodukte und benötigen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Der Dämmschichtbildner schäumt im Brandfall auf und der Schaum verzögert so den Wärmedurchgang durch das Bauteil.

Brandschutzanstriche sind Beschichtungssysteme die aus drei verschiedenen, auf einander abgestimmten, Komponenten bestehen (s. Abb. 5.3):

- systemgeprüfte Grundierung als Korrosionsschutz
- dämmschichtbildender Brandschutzanstrich
- systemgeprüfter Decklack

Dank der glatten Oberflächen unterscheiden sich die Brandschutzanstriche optisch kaum von den Korrosionsschutzanstrichen. Decklacke sind in allen RAL-Farbtönen ausführbar, so dass es möglich wird, die Brandschutzbeschichtung als Gestaltungselement einzusetzen.

Die Beschichtungen sind stoß- und kratzempfindlich und unterliegen deshalb gewissen Anwendungsbeschränkungen. Leicht zugängliche Teile müssen gegen mechanische Beschädigung geschützt werden. Der Schutz muss zum Anstrich einen ausreichenden Abstand aufweisen, damit dieser ungehindert aufschäumen kann.

Die erforderlichen Schichtdicken zum Erzielen der angestrebten Feuerwiderstandsklasse ergeben sich aus dem U/A-Verhältnis und aus der jeweiligen Zulassung. Grundsätzlich gilt: je feingliedriger das Profil, umso stärker muss die Schichtdicke sein.

Die einzelnen Schichten des Brandschutzsystems werden profilfolgend aufgetragen und können wie Anstriche im Roll-, Spachtel-, Streich oder Spritzverfahren aufgebracht werden.

Das Auftragen des Dämmschichtbildners sollte erst nach der Fertigstellung des Daches erfolgen, jedoch bevor haustechnische Ausrüstungsteile die Zugänglichkeit behindern. Das Aufbringen des Dämmschichtbildners kann auch bereits in der Werkstatt erfolgen. Beim Transport und der Montage ist dann eine erhöhte Aufmerksamkeit erforderlich. Entstandene schadhafte Stellen müssen fachmännisch ausgebessert werden. Essenziell dabei ist, dass die Beschichtung vor Witterungseinflüssen bis zur Fertigstellung des Gesamtanstriches geschützt werden muss.

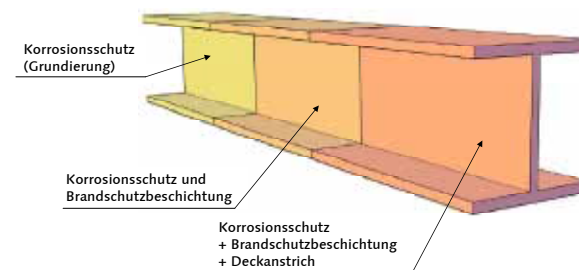


Abb. 5.3: Aufbau einer dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtung

### 5.2.4 Plattenbekleidungen

Die Ummantelung mit Platten (s. Abb. 5.4) von tragenden Strahlbauteilen ist eine verbreitete Brandschutzmaßnahme. Je nach erforderlicher Feuerwiderstandsdauer werden die Platten ein- oder mehrlagig, selbsttragend oder mit einer Hilfskonstruktion in Trockenbauweise montiert. Verwendet werden:

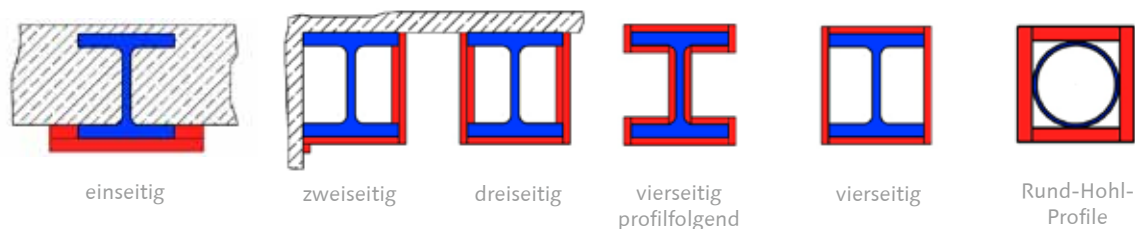
- Gipskartonplattenbekleidungen
- Fibersilicat- und Kalziumsilycatplatten
- Vermiculiteplatten

Es lassen sich mit Verkleidungen alle erforderlichen Feuerwiderstandsklassen erreichen. Die kastenförmige Verkleidung ist dabei die gängigste, da sie den Vorteil hat, dass sich das zu schützende Bauteil unabhängig von der Bekleidung bewegen kann (s. Abb. 5.5).

Alle Bekleidungen müssen von Oberkante Fußboden auf ganzer Stützenlänge bis Unterkante Rohdecke angeordnet werden. Bestehen die Fußböden ganz oder teilweise aus Baustoffen der Klasse B, muss die Bekleidung bis Oberkante Rohdecke geführt werden.

Gipskartonplattenverkleidungen sind in der DIN 4102-4 klassifiziert (s. Tabelle 5.7) oder besitzen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Abb. 5.4: Stahlträger und -stützen mit Brandschutzplattenbekleidung



Feuerwiderstands-klasse	F 30-A	F 60-A	F 90-A
Gipskarton-Feuerschutzplatten d [mm]	12,5 <sup>1)</sup>	12,5 + 9,5	3 x 15
<sup>1)</sup> ersetzbar durch $\geq 18$ mm dicke Gipskarton-Bauplatten (GKB) nach DIN 18180			

Tab. 5.7: Mindestbekleidungsdicken von Stahlstützen nach DIN 4102-4 Tab. 95 Auszug

Das U/A-Verhältnis spielt bei den klassifizierten Gipskarton-Feuerschutzplattenbekleidungen (GKF) nach DIN 4102-4 eine untergeordnetere Rolle als beispielsweise bei den Putzbekleidungen. Die einzige Anforderung dort lautet, dass das U/A-Verhältnis nicht größer als  $300 \text{ mm}^{-1}$  sein darf. Alle anderen Plattenbekleidungen sind in Abhängigkeit des U/A-Verhältnisses gemäß den Herstellerangaben in entsprechender Dicke anzuordnen. Die Datenblätter enthalten zusätzlich Vorschriften zur Ausbildung der Fugen und der Befestigung der Platten, damit diese im Brandfall nicht herabfallen. Die Plattenstöße müssen stets zueinander versetzt angeordnet werden, und die Fugen sind mit einer zugelassenen Spachtelmasse zu schließen. Zum

Schutz der Kanten sind stets Eckschutzschienen vorzusehen.

Der Nachteil an Plattenbekleidungen ist, dass der Baustoff Stahl nicht sichtbar bleibt, Feuchtigkeit aufgenommen werden kann, wodurch die Anwendung im Innenbereich beschränkt wird und die Platten ein hohes Eigengewicht haben. Gipskartonplatten haben noch weitere Nachteile wie geringe Festigkeit und hohe Bruchempfindlichkeit.

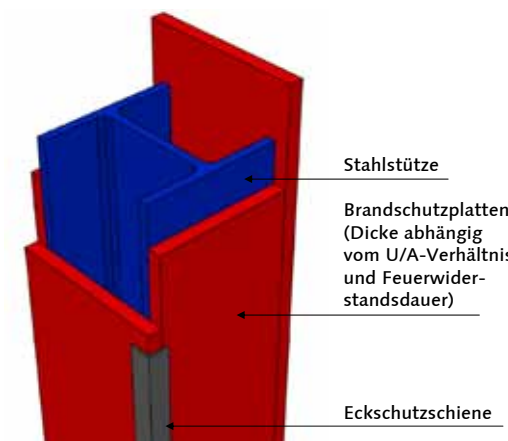


Abb. 5.5: Kastenförmige Bekleidung einer Stahlstütze, Plattenstöße versetzt



### 5.2.5 Verbundkonstruktionen

Verbundkonstruktionen (s. Abb. 5.6) erfüllen auch ohne zusätzliche Beschichtungen oder Bekleidungen erhöhte Brandschutzanforderungen. Alle Querschnittskomponenten können zur Lastabtragung herangezogen werden. Die Zulagebewehrung übernimmt im Brandfall die Lastanteile der Bauteilbereiche, die infolge der Temperaturerhöhung ihre Festigkeit verlieren. Der Beton schützt die stählernen Querschnittsteile vor schneller Erwärmung. Feuerwiderstandsdauern von mehr als 180 Minuten können unter Einhaltung von:

- Mindestquerschnittsabmessungen,
- Mindestbetondeckungen und
- Mindestachsabständen

erreicht werden.

Der brandschutztechnische Nachweis von Verbundträgern und Verbundstützen kann nach DIN 4102-7 oder alternativ dazu nach europäischen Regelungen DIN EN 1994-1-2 geführt werden.

**Bemessung nach DIN 4102** | Die DIN 4102-7 enthält Tabellen zur Klassifizierung von:

- Verbundträgern mit ausbetonierten Kammern,
  - ohne besondere konstruktive Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F 30 bis F 180
  - mit besonderen konstruktiven Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F 30 bis F 180



Abb. 5.6: Klassifizierte Verbundstützen (a) und -träger (b)

- Verbundstützen aus
  - betongefüllten Hohlprofilen der Feuerwiderstandsklasse F 30 bis F 180
  - einbetonierten Stahlträgern Feuerwiderstandsklasse F 30 bis F 180
  - aus Stahlprofilen mit einbetonierten Seiten teilen Feuerwiderstandsklasse F 30 bis F 180

bei der Verwendung von

- handelsüblichen Walzprofilen
- Schweißprofilen
- Betongüten > B25 (C20/25)
- Betonstahl BSt 500S (B 500 H)

Nach DIN 4102 können *Verbundträger* mit ausbetonierten Kammern ohne Vorspannung, die den „Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern“ entsprechen, bei einer dreiseitigen Brandbeanspruchung klassifiziert werden. Dreiseitige Brandbeanspruchung bedeutet, dass die Oberseite der Stahlträger mit einer Abdeckung versehen ist, die der geforderten Feuerwiderstandsklasse entspricht. Bei Verbunddecken muss der Träger ebenfalls vor direktem Brandangriff von oben geschützt werden. In Abhängigkeit vom Ausnutzungsfaktor  $\alpha$  und der angestrebten Feuerwiderstandsklasse wird die Mindestprofil- oder Kammerbetonbreite und das erforderliche Verhältnis von Zulagebewehrung zu Untergurtfläche angegeben. Die in der DIN 4102

enthalten Bemessungstabellen gelten für statisch bestimmt gelagerte Träger und für die Bereiche positiver Momente statisch unbestimmter Verbundträger.

Die erforderliche Bewehrung wird in den Tabellen für Stahlträger mit der Stahlgüte S355 angegeben. Für Träger aus Stahl S235 dürfen diese Werte um 70 % reduziert werden.

Eine weitere Forderung besteht darin, den Kammerbeton zugfest an den Träger anzuschließen. Verwendet werden dafür:

- Bügel
- Steckhaken
- Kopfbolzen

*Verbundstützen* mit vierseitiger Beflammung können ebenfalls nach DIN 4102-4 klassifiziert werden. Voraussetzung ist, dass die Mindestquerschnittsabmessungen in Abhängigkeit vom Ausnutzungsfaktor  $\alpha$  eingehalten werden. Bedingung für die Anwendbarkeit ist die wirksame Behinderung der Rotation der Stützen im Brandfall. In ausgesteiften Tragsystemen kann eine wirksame Einspannung der Endquerschnitte angenommen werden, wenn die Stützen mit Knaggen- oder Laschenanschlüssen angeschlossen werden oder durchlaufend über mehrere Geschosse geführt sind.

Zeile		Feuerwiderstandsklasse *		
		F 30-A	F 60-A	F 90-A
1	Ausnutzungsfaktor $\alpha = 0,4$ Mindestdicken b und d [mm] Mindestabstand u Mindestverhältnis s/t	160 40 0,6	260 40 0,5	300 50 0,5
2	Ausnutzungsfaktor $\alpha = 0,7$ Mindestdicken b und d [mm] Mindestabstand u Mindestverhältnis s/t	200 35 0,6	300 40 0,6	300 50 0,7
3	Ausnutzungsfaktor $\alpha = 1,0$ Mindestdicken b und d [mm] Mindestabstand u Mindestverhältnis s/t	250 30 0,6	300 40 0,7	- - -

\* Zwischenwerte dürfen interpoliert werden

Tab. 5.8: Mindestquerschnittsabmessungen für Verbundstützen nach DIN 4102 (Auszug)

Mit Hilfe der in der DIN 4102 enthaltenen Tabellen können Verbundstützen aus betonierten Hohlprofilen mit rundem oder rechteckigem Querschnitt brandschutztechnisch nachgewiesen werden. Dabei sind mindestens vier Längsbewehrungsstäbe vorzusehen, die durch entsprechende Verbügelung während des Betonierens in ihrer Lage zu fixieren sind. In einem Abstand von maximal 5 m, sowie an den Stützenenden müssen Hohlprofile mindestens zwei Löcher ( $A \geq 6 \text{ cm}^2$ ) als Dampfaustrittsöffnung besitzen.

Verbundstützen aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen erfüllen bei Einhaltung der Mindestquerschnittsabmessungen die Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer bei voller Lastausnutzung.

Verbundstützen mit ausbetonierten Kammern erreichen ohne Lastabminderung (Ausnutzungsfaktor  $\alpha = 1,0$ ) die Feuerwiderstandsklasse F 60. In der Tabelle 107 der DIN 4102 sind in Abhängigkeit vom Ausnutzungsfaktor die Mindestquerschnittsabmessungen d und b, der

Mindestabstand u der Längsbewehrung und das erforderliche Verhältnis von Steg-/ Flanschdicke angegeben (s. Tabelle 5.8).

Um ein Herausfallen des Betons zu verhindern, ist der Kammerbeton durch angeschweißte Bügel, Steckharken oder Kopfbolzen mit dem Steg zu verbinden. Der Verbindungsmittelabstand sollte dabei nicht größer als 500 mm sein, im Anschlussbereich ca. 100 mm. Für die im Brandfall notwendige Verankerung darf die nach DIN 18806-1 erforderliche Bügelbefestigung berücksichtigt werden.

**Bemessung nach DIN EN 1994-1-2** | In der DIN EN 1994-1-2 sind Regeln für die Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken im Brandfall angegeben. Drei Ebenen stehen für den brandschutztechnischen Nachweis tragender Bauteile zur Verfügung

- Ebene 1: Klassifizierung der Bauteile nach Tabellen,
- Ebene 2: Nachweis mit vereinfachtem Berechnungsverfahren,
- Ebene 3: Allgemeine Berechnungsverfahren.

Je einfacher das gewählte Nachweisverfahren ist, umso konservativer fällt das Ergebnis aus. Ein höherer Aufwand bei der Bemessung kann durchaus zu einer höheren Wirtschaftlichkeit führen.

**Das Verfahren nach Ebene 1** | Klassifizierung nach Tabellen, entspricht im Wesentlichen dem Nachweisverfahren nach DIN 4102-4 Abschnitt 7. Die Klassifizierung ist auf Einzelbauteile mit direkter Brandbeanspruchung über die gesamte





Bauteillänge beschränkt. Mit Hilfe der Tabellen können folgende Bauteile klassifiziert werden:

- Verbundträger
  - aus kammerbetonierten Stahlprofilen der Feuerwiderstandsklasse R 30 bis R 180
  - aus betonummantelten Stahlprofilen (Beton hat nur isolierende, keine tragende Funktion) der Feuerwiderstandsklasse R 30 bis R 180
- Verbundstützen
  - aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen der Feuerwiderstandsklasse R 30 bis R 240
  - aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen (Beton hat nur isolierende Funktion) der Feuerwiderstandsklasse R 30 bis R 180
  - aus kammerbetonierten Stahlprofilen der Feuerwiderstandsklasse R 30 bis R 120
  - aus betongefüllten Hohlprofilen der Feuerwiderstandsklasse R 30 bis R 180

Die Bemessungstabellen sind an das Teilsicherheitskonzept der europäischen Norm angepasst.

**Das Verfahren nach Ebene 2** | vereinfachtes Verfahren, ermöglicht den brandschutztechnischen Nachweis auf rechnerischem Weg analog zu den Standsicherheitsnachweisen und kann für

- Verbundträger
  - mit bekleidetem oder unbekleidetem Stahlprofil,
  - mit ausbetonierten Kammern,
- Verbundstützen
  - aus Stahl mit ausbetonierten Seitenteilen,
  - aus betongefüllten Hohlprofilen

angewendet werden. Auch hier kann der Nachweis nur für Einzelbauteile mit direkter Brandbeanspruchung über die gesamte Bauteillänge

geführt werden. Berechnet wird die Querschnittstragfähigkeit des zu bemessenden Bauteils für die Branddauer des geforderten Feuerwiderstandes.

**Das Verfahren nach Ebene 3** | Die allgemeinen Berechnungsverfahren nach Ebene 3 sind numerische Simulationsmodelle mit deren Hilfe zunächst eine vollständige thermische Analyse erfolgt. Ziel ist es, die Temperaturverteilung im Bauteil über die Branddauer zu ermitteln. Die Beanspruchbarkeit des Bauteils wird bestimmt unter Berücksichtigung der veränderten Materialkennwerte infolge der Temperaturerhöhung. Der Nachweis erfolgt wiederum im Grenzzustand der Tragfähigkeit und gilt als erbracht, wenn die Einwirkungen im Brandfall kleiner/gleich der Beanspruchbarkeit im Brandfall sind.

### 5.2.6 Bauen mit ungeschütztem Stahl

Kann Stahl ungeschützt verwendet werden, können die architektonischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten des Baustoffes besser ausgeschöpft werden.

Prinzipiell ist es möglich, auf den zusätzlichen Schutz von Stahlbauteilen ganz oder teilweise zu verzichten. Voraussetzung dafür ist der Nachweis der Unbedenklichkeit durch ein Einzelgutachten von einem Sachverständigen oder andere Maßnahmen, die als geeignet anerkannt werden und die Brandschutzanforderungen gleichfalls erfüllen. In Deutschland dominiert traditionell der passive Brandschutz, der auf die Tragfähigkeit der Tragstruktur eines Bauwerkes abzielt.

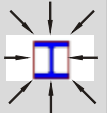
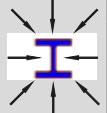

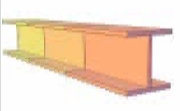
Durch den gezielten Einsatz von aktiven Brandschutzmaßnahmen, wie unter anderen

- Nachweis geringer Brandlasten,
  - Unterteilung in Brandabschnitte,
  - Fluchtwegkonzept,
  - Rauchabzug,
  - Sprinkleranlagen,
- können Brandauswirkungen klar reduziert, Menschenleben besser geschützt und sogar der Temperaturverlauf im Falle eines Brandes verändert werden. Technisch und wirtschaftlich optimierte Brandschutzkonzepte können durch ein Zusammenwirken aller geeigneten aktiven und passiven Brandschutzmaßnahmen erreicht werden.

Eine weitere Möglichkeit auf zusätzliche Schutzmaßnahmen zu verzichten ist die Verwendung eines feuerresistenten Baustahles FR 30. Dabei handelt es sich um einen niedriglegierten Baustahl mit einer ausgezeichneten Zähigkeit und einer erhöhten Warmfestigkeit. Gegenüber konventionellem Baustahl erreicht der FR 30 – Stahl eine deutlich höhere Versagenstemperatur bei gleicher Lastausnutzung. Praktisch können damit Stahlbauteile mit Profilmomenten  $U/A = 60$  bis  $100 \text{ m}^{-1}$  im ungeschützten Zustand für eine Brandbeanspruchung von bis zu 30 Minuten bemessen werden, was der Feuerwiderstandsklasse F 30 entspricht. Lieferbar sind Grobbleche mit 5 bis 50 mm Dicke für geschweißte Profile. FR 30 – Stahl besitzt eine bauaufsichtliche Zulassung, in der ebenfalls die geeigneten mechanischen Verbindungsmittel, die den erforderlichen Feuerwiderstand aufweisen, aufgelistet sind.

## 5.3 Spezielle Brandschutzmaßnahmen




### 5.3.1 Stützen Musterhaus

Stützenprofil	U/A 	U/A 	Putzbekleidungen mit Putzträger d in [mm] nach DIN 4102-4 											
			Putz PII oder PVI			Putz PVIIa oder PVIIb			Putz Vermiculite/ Perlite			Beschichtungen (Anstriche)		
			F 30	F 60	F 90	F 30	F 60	F 90	F 30	F 60	F 90	F 30	F 60	F 90
HEA 160	161	234	15	25	45	10	20	45	10	20	35	+	+	-
HEB 160	118	163	15	25	45	10	20	35	10	20	35	+	+	-
HEA 200	145	212	15	25	45	10	20	35	10	20	35	+	+	-
HEA 220	134	196	15	25	45	10	20	45	10	20	35	+	+	-
HEB 220	97	140	15	25	45	10	20	35	10	20	35	+	+	+
HEM 180	68	96	15	25	45	10	10	35	10	10	35	+	+	+
HEM 200	65	92	15	25	45	10	10	35	10	10	35	+	+	+

+ möglich  
 - nicht möglich  
 \* ersetzbar durch  $\geq 18$  mm dicke Gipskarton-Bauplatte (GKB)

Tab. 5.9: Übersicht über die brandschutztechnischen Möglichkeiten zum Schutz der Stahlstützen des Musterhauses



Stützenprofil	U/A 	Gipskarton-Platten-bekleidungen d in [mm] nach DIN 4102-4 			Verbundstützen mit ausbetonierten Seitenteilen nach DIN 4102-4 			Verwendung von FR 30 – Stahl
		F 30	F 60	F 90	F 30	F 60	F 90	F 30
HEA 160	234	12,5*	12,5+9,5	3x15	-	-	-	-
HEB 160	163	12,5*	12,5+9,5	3x15	+	-	-	-
HEA 200	212	12,5*	12,5+9,5	3x15	-	-	-	-
HEA 220	196	12,5*	12,5+9,5	3x15	+	-	-	-
HEB 220	140	12,5*	12,5+9,5	3x15	+	-	-	-
HEM 180	96	12,5*	12,5+9,5	3x15	-	-	-	+
HEM 200	92	12,5*	12,5+9,5	3x15	+	-	-	+

+ möglich  
- nicht möglich

**Anschlüsse** | Verbindungsmittel werden im Stahlbau mit dem gleichen Brandschutzsystem und in der gleichen Schichtdicke geschützt wie das angeschlossene Bauteil. Wird eine Stahlkonstruktion, die keiner Feuerwiderstandsklasse angehört, an ein aussteifendes Bauteil mit brandschutztechnischen Anforderungen angeschlossen, müssen die Anschlüsse und das Bauteil nach DIN 4102-4 in Abhängigkeit vom U/A-Verhältnis auf einer bestimmten Länge bekleidet werden. Die Länge für die Feuerwiderstandsklassen F 30 bis F 90 beträgt 30 cm und wird ausgehend vom Rand des zu schützenden Stahlbauteils berechnet.

### 5.3.2 Deckensystem Musterhaus

Die Hauptdeckenträger der Slim-Floor-Decke biegen sich infolge des Eigengewichtes der Hohlplatten und der Nutzlasten durch. Sie bilden somit für die Hohlplatten ein nachgiebiges Auflager.

Zusätzlich wird ein Verbund zwischen Hohlplatte und Stahlträger durch das Vergießen der Einlagebewehrung und das Anordnen von Kopfbolzendübeln am Profilsteg hergestellt.

In Brandfall entsteht in den Hohlplatten eine Temperaturbeanspruchung in Form von Eigenspannungen und die Baustofffestigkeit vermindert sich infolge der Temperatur.

Die Klassifizierung der Hohlplatten in die entsprechenden Feuerwiderstandsklassen erfolgt durch die Hersteller und ist in der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung dokumentiert. Spannbetonhohlplatten sind lieferbar für Feuerwiderstandsdauern von 30 und 90 Minuten (F 30 und F 90).

Für den Unterflansch der Slim-Floor-Deckenträger ist vor allem die Festigkeitsreduktion infolge der starken Erwärmung von Bedeutung. Da die Hohlplatten auf die Unterflansche aufgelagert werden, sind diese als besonders kritisch einzustufen.

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, um die angestrebten Feuerwiderstandsdauern der Deckenträger, insbesondere der beflamnten Unterflansche, zu erreichen:

#### 1. konventioneller Schutz des Unterflansches

mittels:

- Putzbekleidung
- Plattenbekleidung
- Beschichtungen

In Anlehnung an die Tabellen 90 und 92 der DIN 4102-4 sind in Tabelle 5.10 Mindestputzdicken und in Tabelle 5.11 Mindestbekleidungs-dicken zum Erreichen der angestrebten Feuerwiderstandsklasse des Unterflansches angegeben.

Feuerwiderstands-klasse	Gipskarton-Feuerschutz-platten (GKF) d [mm]
F 30 - A	12,5
F 60 - A	12,5 + 9,5
F 90 - A	2 x 15

Tab. 5.11: Mindestbekleidungs-dicke von Stahlträgern mit einer Bekleidung aus Gipskarton-Feuerschutzplatten (GKF) nach DIN 4102-4 Tabelle 92 (Auszug)

Tab. 5.10: Mindestputzdicken von Putzen bekleideter Stahlträger ohne Ausmauerung nach DIN 4102-4 Tabelle 90 (Auszug)

Mindestputzdicke d in mm über Putzträger (Rippenstreckmetall, Streckmetall oder Drahtgewebe) nach DIN 4102-4 bei der Verwendung von Putz aus:								
Mörtelgruppe P II oder P IV nach DIN 18550-2			Mörtelgruppe P IVa oder P IVb nach DIN 18550-2			Vermiculite- oder Perlite-Mörtel nach DIN 4201-4 Abschnitt 3.1.6.5		
F 30 - A	F 60 - A	F 90 - A	F 30 - A	F 60 - A	F 90 - A	F 30 - A	F 60 - A	F 90 - A
5	15	--	5	5	15	5	5	15
-- Bemessung nicht möglich								



## 2. Sicherung des Auflagers beim Ausfall des Stahlunterflansches im Brandfall

Der Unterflansch kann sichtbar bleiben bei:

- Verwendung von Stahl S355 oder S460 **und**
- Einlage einer Brandschutz-Längsbewehrung **und**
- Heißbemessung nach Eurocode

Grundsätzlich gleicht das Tragverhalten eines Slim-Floor-Verbundträgers im Brandfall dem eines kammerbetonierten Verbundträgers. Unterschiede ergeben sich lediglich infolge der Auflagerung der Hohlplatten auf den Unterflansch und eines günstigeren Temperaturfeldes, da seitlich keine Beflammung vorhanden ist.

In Brandversuchen zeigten Slim-Floor-Träger ein sehr gutes Verhalten hinsichtlich der Tragfähigkeit. Es konnten Feuerwiderstandsdauern von bis zu 120 Minuten (F 120) erreicht werden, auch ohne eine Brandschutzbekleidung des Unterflansches. Möglich wurde dies v. a. durch eine Brandschutz-Längsbewehrung im Kammerbeton (s. Abb. 5.7) Nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren der DIN EN 1994-1-2 (Ebene 2) kann der Feuerwiderstand nachgewiesen werden.

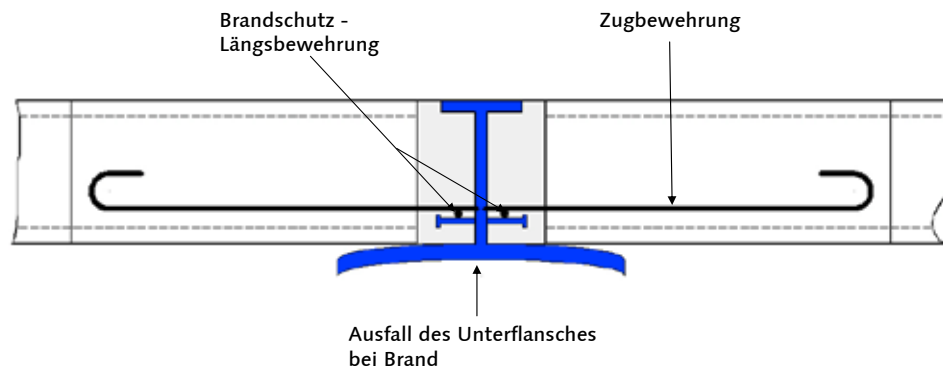


Abb. 5.7: Einlagebewehrung als Gegenmaßnahme des Unterflanschausfalls bei Brand



## INHALT

**Detailzeichnungen****Variante 1: KS mit Vormauerschale**

- horizontaler Wandschnitt
- Schnitt Attika
- Schnitt Satteldach
- Firsttrennung
- Schnitt Sockel

**Variante 2: KS mit Vormauerschale und innerer Lattung**

- horizontaler Wandschnitt
- Schnitt Attika
- Schnitt Satteldach

**Variante 3: KS mit Außenputz**

- horizontaler Wandschnitt
- Schnitt Attika
- Schnitt Satteldach

**Variante 4: KS mit Vorhangfassade**

- horizontaler Wandschnitt
- Schnitt Attika
- Schnitt Satteldach
- Schnitt Sockel
- Details QUADRO Etronic

**Variante 5a/b: Leichtbauweise mit Vormauerschale**

- horizontaler Wandschnitt
- Schnitt Attika
- Schnitt Satteldach

**Variante 6a/b: Hoesch-Matrix-System**

- horizontale Wandschnitte
- Schnitt Attika
- Schnitt Satteldach
- Schnitt Sockel

**Verwendete Normen**

V. 1a-d

## Details Variante 1a-d: KS mit Vormauerschale

### Wandaufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung 040 20 cm
- Dämmung 040 4 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- 3 x Gipskartonplatte je 1,25 cm  
(o. Lehmbauplatte bzw. PCM-Platte)

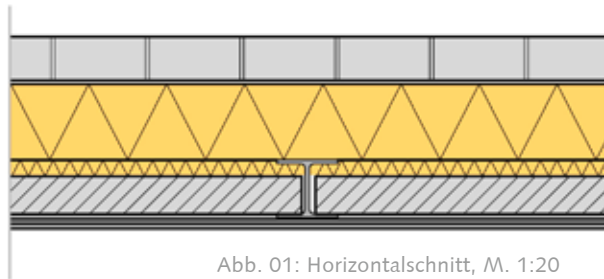


Abb. 01: Horizontalschnitt, M. 1:20

Um eine Wärmebrückenwirkung der Fenster-  
rahmen zu vermeiden, sollten diese soweit wie  
möglich überdämmt werden.

Abb. 04: Horizontalschnitt, M. 1:20

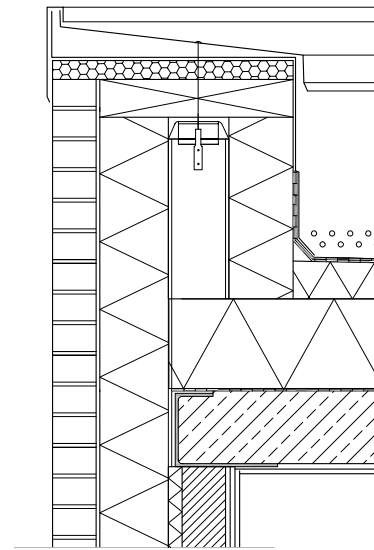
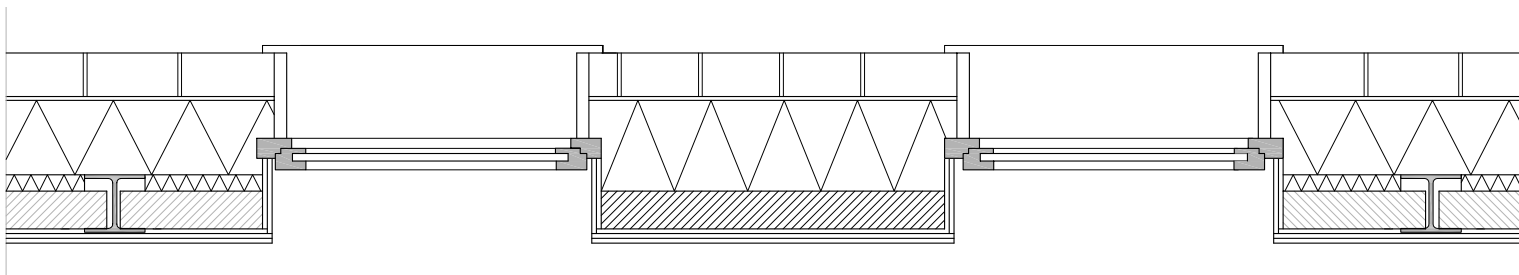
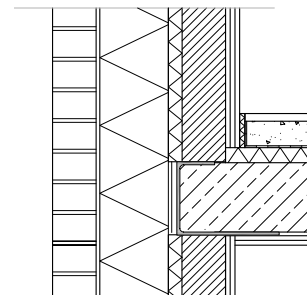


Abb. 02: Schnitt Attika, M. 1:20

Dachaufbau:  
Kiesschüttung  
Dachabdichtung  
Dampfdruckausgleichsschicht  
Gefälledämmung  
Dämmung 24 cm  
Dampfsperre  
Stahlbeton  
3 x Gipskartonplatte



Fußbodenaufbau:  
Parkett  
Estrich 7 cm  
PE-Folie  
Trittschalldämmung 4 cm  
Slim-Floor-Decke 18 cm  
3 x Gipskartonplatte

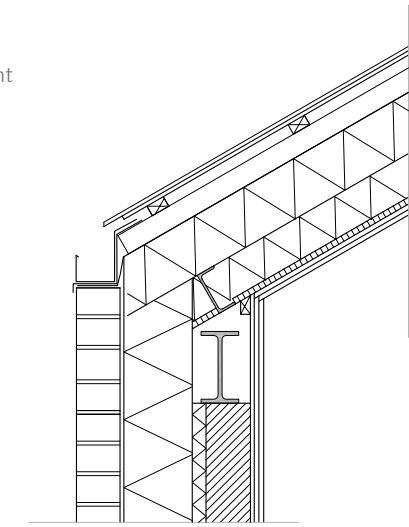


Abb. 03: Schnitt Steildach, M. 1:20

Dachaufbau Steildach:  
Dacheindeckung: Zinkblech  
Lattung  
Konterlattung  
Unterspannbahn,  $s_{de} \sim 0,1$  m  
Dämmung 14 cm  
Pfette (U 100) + Dämmung 10 cm  
OSB-Platte  
Dampfbremse  $s_{di} \sim 1$  m  
2 x Gipskartonplatte



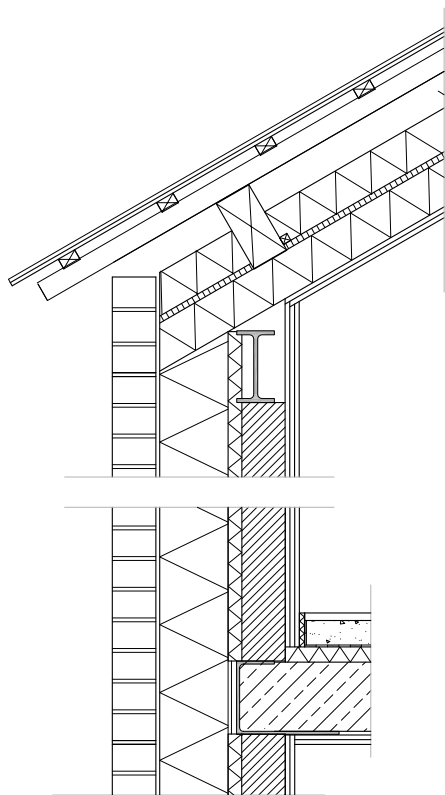


Abb. 05: Schnitt Steildach mit Dachüberstand, M. 1:20

Dachaufbau:

Dacheindeckung: Zinkblech  
 Lattung  
 Unterspannbahn  
 Konterlattung  
 Pfette mit Dämmung 10 cm  
 Schalung  
 Dämmung 10 cm  
 Dampfbremse  
 2 x Gipskartonplatte

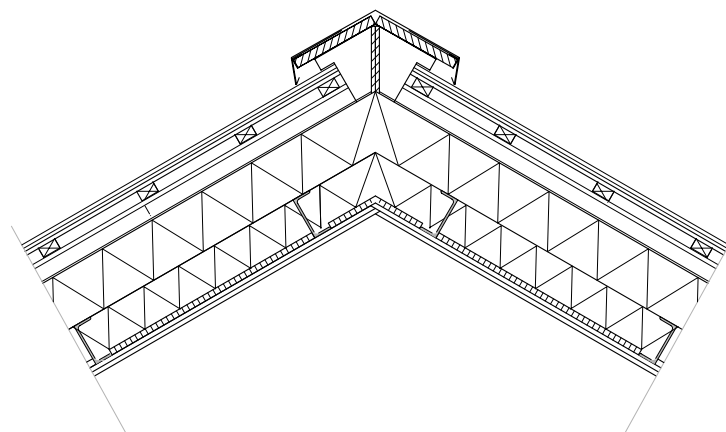


Abb. 06: Schnitt Dachfirst mit Firsttrennung, M. 1:20

**Firsttrennung**

Bei belüfteten Sparrendächern kann es bei klimatisch unterschiedlich beaufschlagten Dachflächen (Nord-/Südflächen) bei höherem Winddruck oder durch intensiven thermischen Auftrieb von der Südseite her zu Luftstau im Auslassbereich des Firstes kommen. Als Folge kann die feuchtehaltige Luftmenge von der Südseite anstatt durch die Entlüftungsöffnung nach außen auch zur kühleren Nordseite des Daches gedrängt werden. Aufgrund des Temperaturgefälles kühlt sich die Luft hier ab und es kann gegebenenfalls zur Tauwasserbildung kommen, was wiederum zu einer Auffeuchtung der Hölzer führen kann. Es empfiehlt sich daher, bei stark geneigten Sparrendächern eine Abschottung der Belüftungsauslässe im Firstbereich durch ein vertikales Trennelement vorzunehmen.

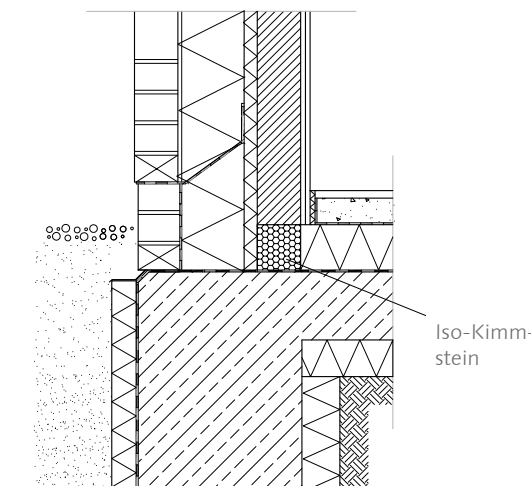


Abb. 07: Schnitt Sockel ohne Keller, M. 1:20

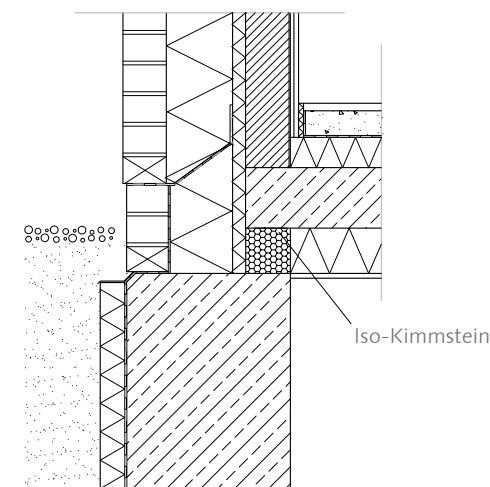


Abb. 08: Schnitt Sockel mit Keller, M. 1:20

Für die Leitungsführung im Sockelbereich siehe Variante 4

V. 1a-d

**Details Variante 1a:  
KS mit Vormauerschale**

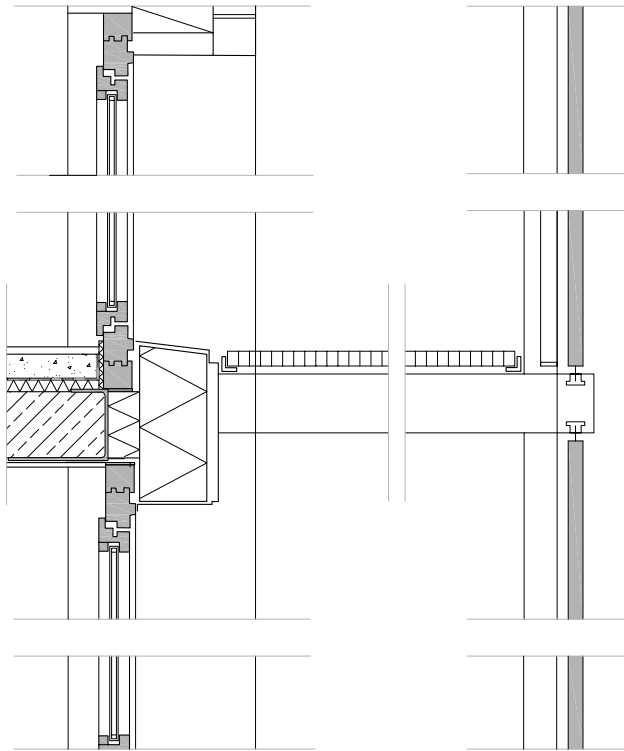


Abb. 09: Schnitt Außenwand (Fenster) - Putzbalkon, M. 1:20

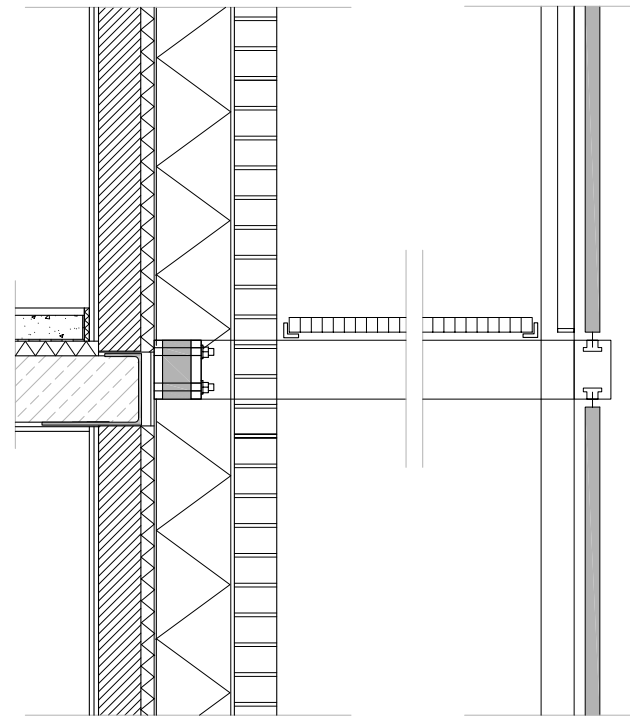


Abb. 10: Schnitt Außenwand - Putzbalkon, M. 1:20

## Variante 2: KS mit Vormauerschale, innere Lattung

### Wandaufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung 040 20 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- Lattung/Unterkonstruktion 4 cm
- 2 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

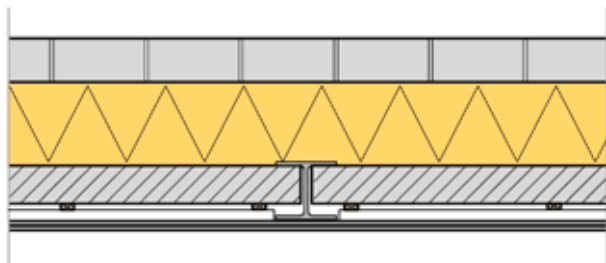


Abb. 11: Horizontalschnitt, M. 1:20

Um eine Wärmebrückenwirkung der Fenster-  
rahmen zu vermeiden, sollten diese soweit wie  
möglich überdämmt werden.

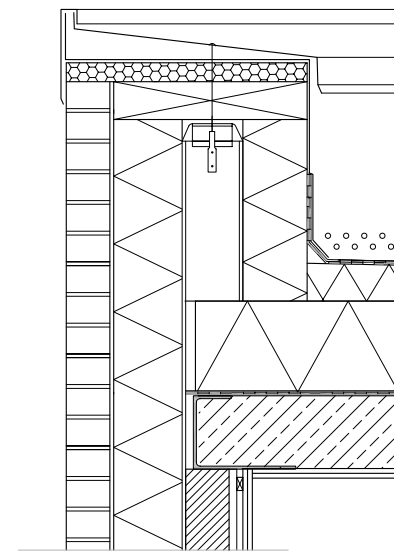
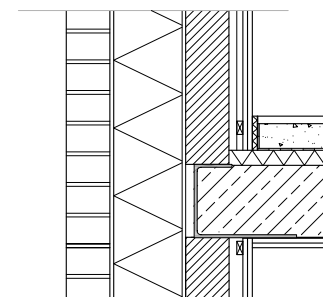


Abb. 12: Schnitt Attika, M. 1:20

Dachaufbau:  
Kiesschüttung  
Dachabdichtung  
Dampfdruckausgleichsschicht  
Gefälledämmung  
Dämmung 24 cm  
Dampfsperre  
Stahlbeton  
3 x Gipskartonplatte



Fußbodenaufbau:  
Parkett  
Estrich 7 cm  
PE-Folie  
Trittschalldämmung 4 cm  
Slim-Floor-Decke 18 cm  
3 x Gipskartonplatte

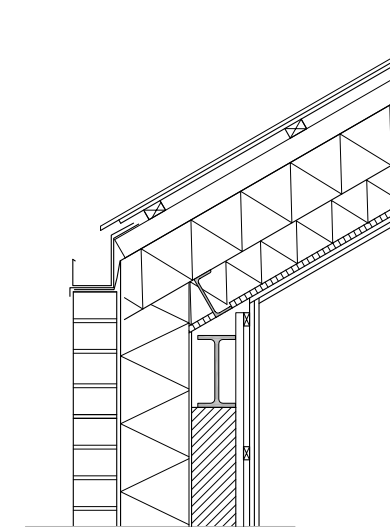
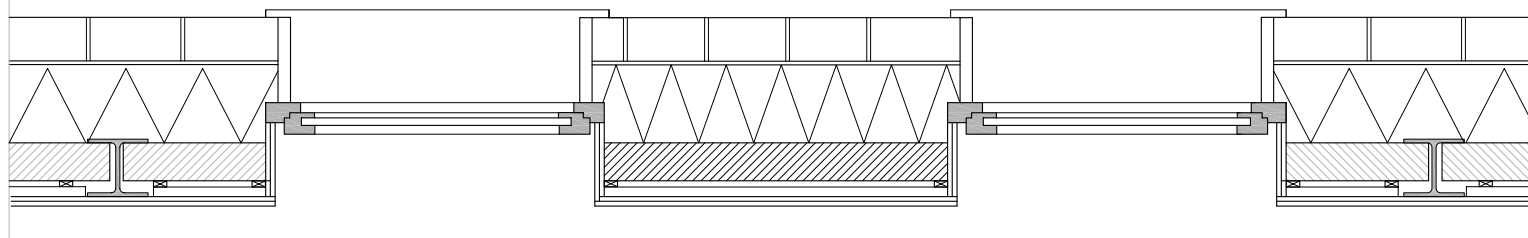


Abb. 13: Schnitt Steildach, M. 1:20

Dachaufbau Steildach:  
Dacheindeckung: Zinkblech  
Lattung  
Konterlattung  
Unterspannbahn,  $s_{de} \sim 0,1$  m  
Dämmung 14 cm  
Pfette (U 100) + Dämmung 10 cm  
OSB-Platte  
Dampfbremse  $s_{di} \sim 1$  m  
2 x Gipskartonplatte

Abb. 14: Horizontalschnitt, M. 1:20



### Variante 3: KS mit WDVS und Außenputz

#### Wandaufbau von außen nach innen

- Außenputz 2 cm
- Dämmung O40 20 cm
- Dämmung O40 4 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- 3 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

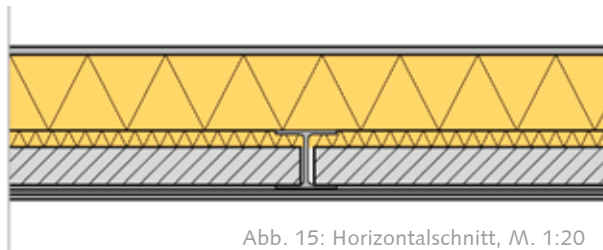


Abb. 15: Horizontalschnitt, M. 1:20

Um eine Wärmebrückenwirkung der Fenster-  
rahmen zu vermeiden, sollten diese soweit wie  
möglich überdämmt werden.

Abb. 18: Horizontalschnitt, M. 1:20

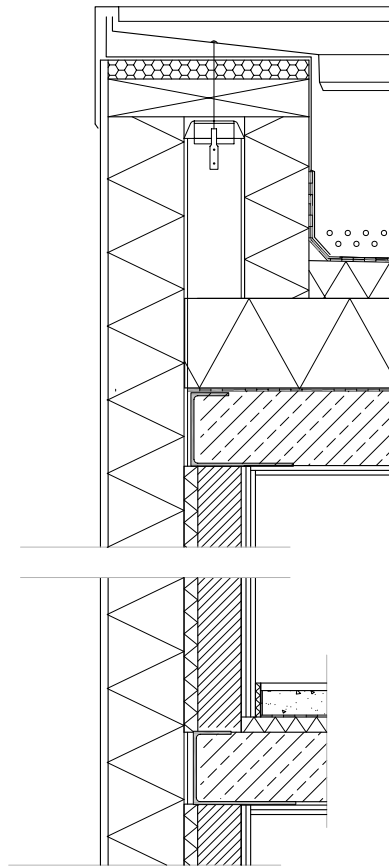
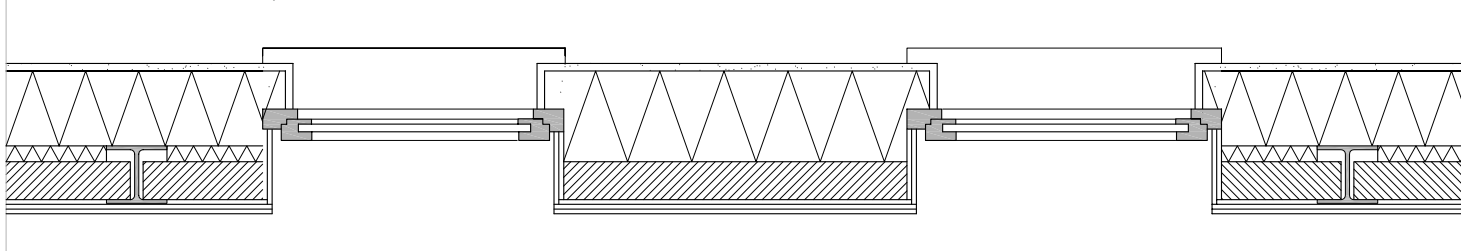


Abb. 16: Schnitt Attika, M. 1:20

#### Dachaufbau:

- Kiesschüttung
- Dachabdichtung
- Dampfdruckausgleichsschicht
- Gefälledämmung
- Dämmung 24 cm
- Dampfsperre
- Stahlbeton
- 3 x Gipskartonplatte

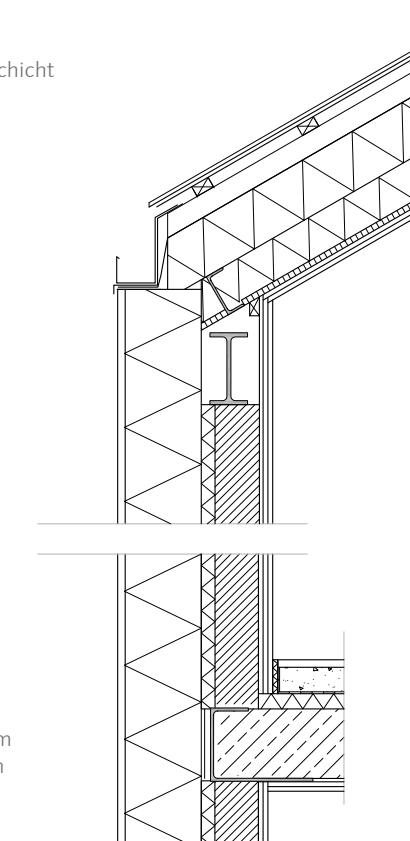


Abb. 17: Schnitt Steildach, M. 1:20

#### Fußbodenaufbau:

- Parkett
- Estrich 7 cm
- PE-Folie
- Trittschalldämmung 4 cm
- Slim-Floor-Decke 18 cm
- 3 x Gipskartonplatte

#### Dachaufbau Steildach:

- Dacheindeckung: Zinkblech
- Lattung
- Konterlattung
- Unterspannbahn,  $s_{de} \sim 0,1$  m
- Dämmung 14 cm
- Pfette (U 100) + Dämmung 10 cm
- OSB-Platte
- Dampfbremse  $s_{di} \sim 1$  m
- 2 x Gipskartonplatte

**Variante 4:  
KS mit Vorhangfassade**

**Wandaufbau von außen nach innen**

- z.B. Faserzementplatten 2 cm
- Lattung/Konterlattung 4 cm
- Winddichtpapier
- Dämmung O40 20 cm
- Dämmung O40 4 cm
- KS-Planelemente 11,5 cm
- 3 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

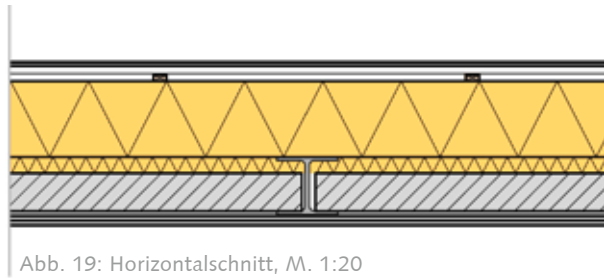


Abb. 19: Horizontalschnitt, M. 1:20

Um eine Wärmebrückenwirkung der Fenster-  
rahmen zu vermeiden, sollten diese soweit wie  
möglich überdämmt werden.

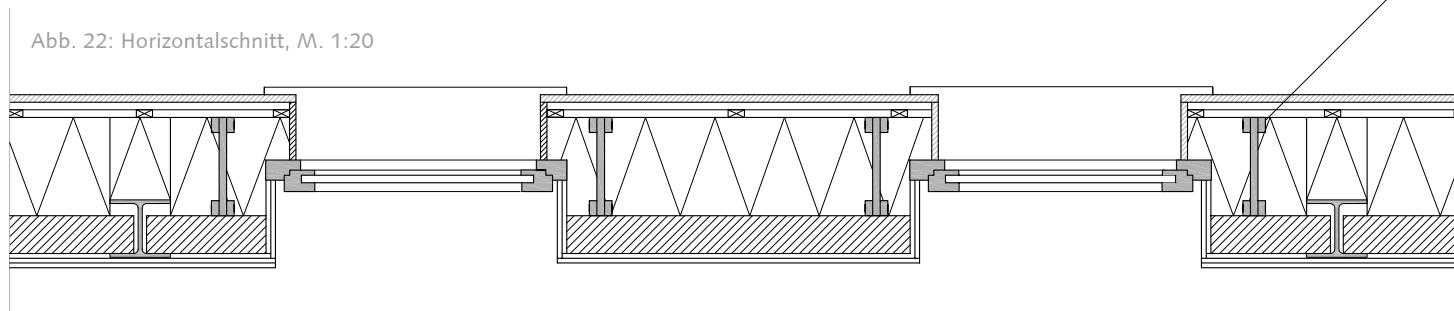


Abb. 22: Horizontalschnitt, M. 1:20

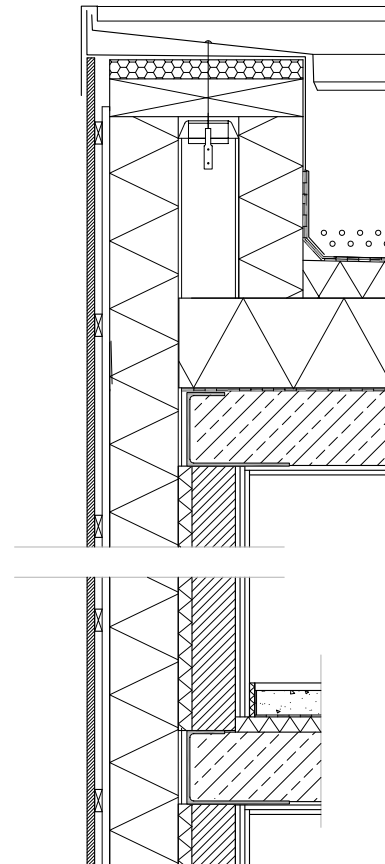


Abb. 20: Schnitt Attika, M. 1:20

- Dachaufbau:  
 Kiesschüttung  
 Dachabdichtung  
 Dampfdruckausgleichsschicht  
 Gefälledämmung  
 Dämmung 24 cm  
 Dampfsperre  
 Stahlbeton  
 3 x Gipskartonplatte

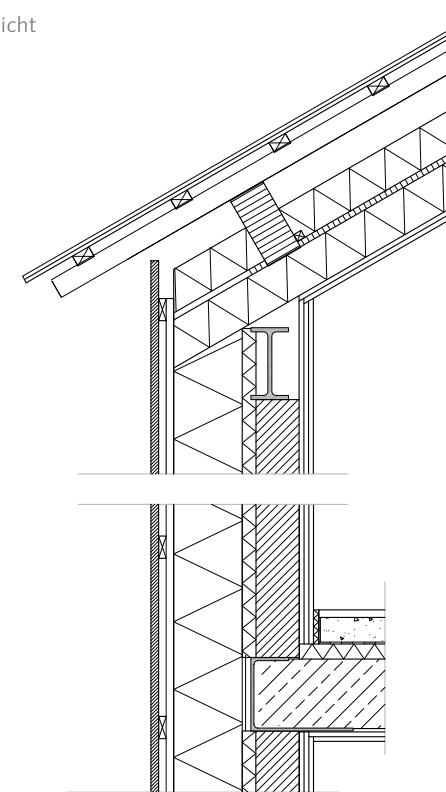


Abb. 21: Schnitt Steildach, M. 1:20

- Fußbodenaufbau:  
 Parkett  
 Estrich 7 cm  
 PE-Folie  
 Trittschalldämmung 4 cm  
 Slim-Floor-Decke 18 cm  
 3 x Gipskartonplatte

Abb. 23: wärmebrücken-  
armer Stegträger für  
Vorhangfassaden



V. 4

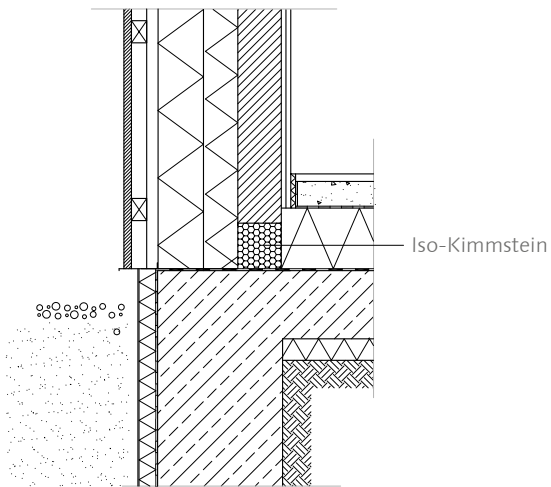


Abb. 24: Schnitt Sockel ohne Keller, M. 1:20

Für die vertikale und horizontale Leitungsführung bei den massiveren Varianten wurde auf das QUADRO Etronic System der Firma QUADRO Bausysteme GmbH zurückgegriffen. Die Leitungsführung erfolgt in den senkrechten und waagerechten Installationskanälen der QUADRO Etronic Elemente, die über die gesamte Wandhöhe reichen und somit eine flexible Planung erlauben.

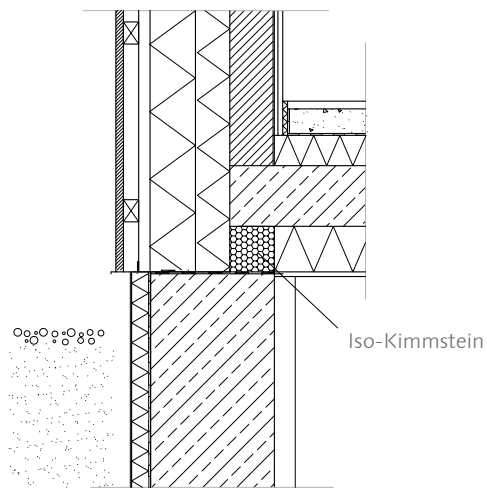
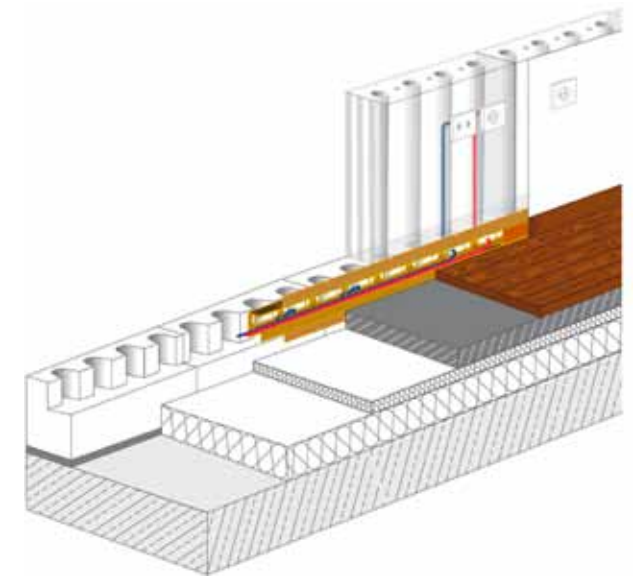


Abb. 25: Schnitt Sockel mit Keller, M. 1:20

vertikaler QUADRO E Kanal

waagerechte Zugänge zu vertikalen Kanälen

waagerechter Zugang im QUADRO E Sockelstein

Sockelkanal wandbündig zur waagerechten Leitungsverlegung

Abb. 26/27: vertikale und horizontale Kabelverteilung durch den Quadro Etronic

(Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der QUADRO Bausysteme GmbH)



## Variante 5a/b: Leichtbauweise: Vormauerschale

### Wandaufbau von außen nach innen

- KS-Verblender 11,5 cm
- Dämmung 040 12 cm
- Dämmung 040 16 cm
- Dampfbremse
- 2 x Gipskartonplatte je 1,25 cm  
(bzw. PCM-Gipskartonplatte)

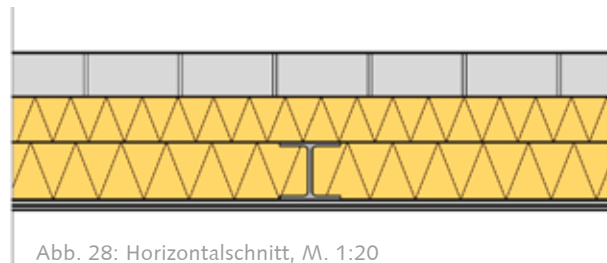


Abb. 28: Horizontalschnitt, M. 1:20

Um eine Wärmebrückenwirkung der Fenster-  
rahmen zu vermeiden, sollten diese soweit wie  
möglich überdämmt werden.

Abb. 31: Horizontalschnitt, M. 1:20

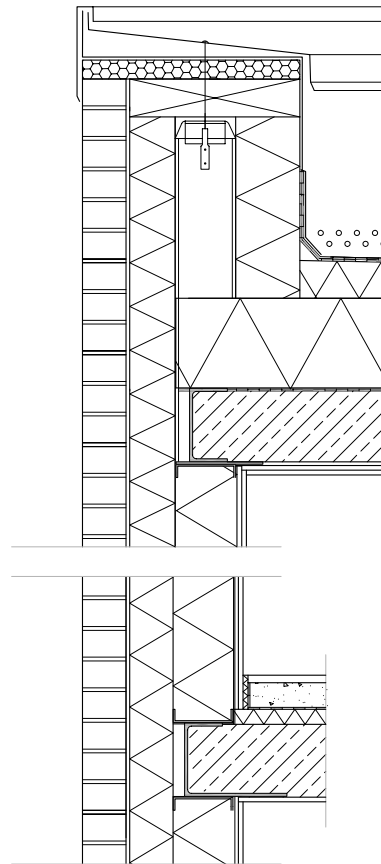
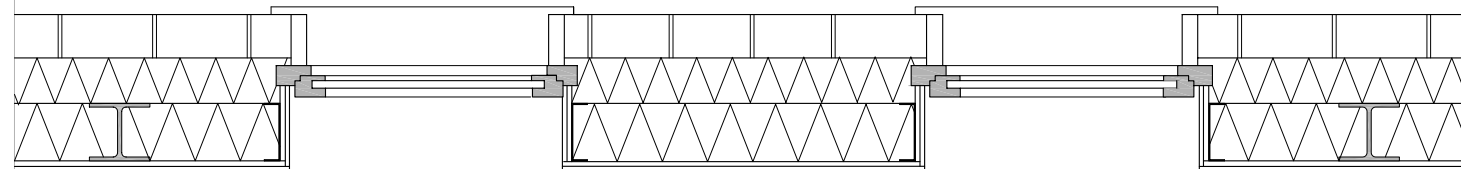


Abb. 29: Schnitt Attika, M. 1:20

Dachaufbau:  
Kiesschüttung  
Dachabdichtung  
Dampfdruckausgleichsschicht  
Gefälledämmung  
Dämmung 24 cm  
Dampfsperre  
Stahlbeton  
3 x Gipskartonplatte

Fußbodenaufbau:  
Parkett  
Estrich 7 cm  
PE-Folie  
Trittschalldämmung 4 cm  
Slim-Floor-Decke 18 cm  
3 x Gipskartonplatte

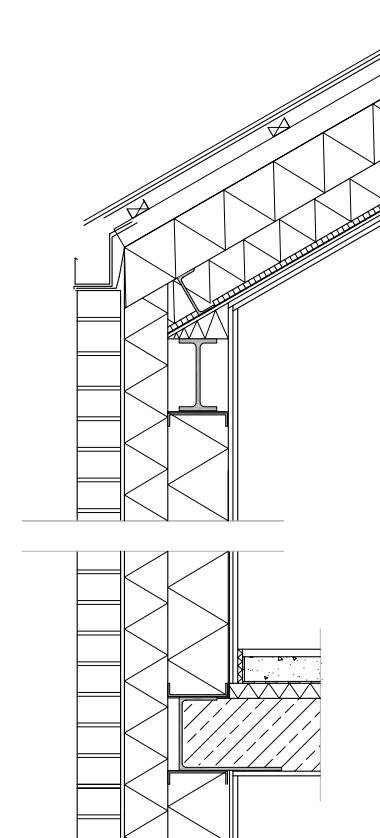


Abb. 30: Schnitt Steildach, M. 1:20

Dachaufbau Steildach:  
Dacheindeckung: Zinkblech  
Lattung  
Konterlattung  
Unterspannbahn,  $s_{de} \sim 0,1$  m  
Dämmung 14 cm  
Pfette (U 100) + Dämmung 10 cm  
OSB-Platte  
Dampfbremse  $s_{di} \sim 1$  m  
2 x Gipskartonplatte

## Varianten 6a/b: Hoesch-Matrix-System

### Aufbau von außen nach innen

- Hoesch-Matrix-System 12 cm
- (Unterkonstruktion/Dämmung 040 6 cm)
- Dämmung 040 16 cm
- Dampfsperre
- 2 x Gipskartonplatte je 1,25 cm

Für detailliertere Darstellungen siehe bitte ThyssenKrupp Bausysteme, Hoesch-Matrix-System unter [www.tks-bau.com](http://www.tks-bau.com).

Die Befestigung der Paneele kann nur dann am Primärtragwerk erfolgen, wenn der Achsabstand des Primärtragwerks nicht mehr als 6 m beträgt. Wenn, wie beim Musterhaus Haus 1, die Paneellänge geringer ist als der Achsabstand der Primärkonstruktion (Fenster, Fassadengestaltung), werden Zwischenstiele bzw. Unterkonstruktionen erforderlich.

Die Unterkonstruktion enthält u. a. je Befestigungspunkt zwei U-Profile zum Ausgleich der Bautoleranzen.

Hinter jeder von außen sichtbaren Vertikalfuge (Panelstoß) muss eine Lastabtragung gewährleistet sein.

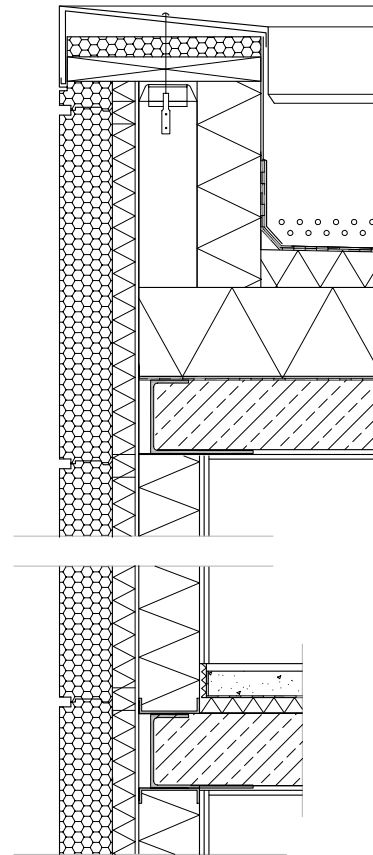


Abb. 32: Schnitt Attika, Aufbau 6a, M. 1:20

Dachaufbau:  
Kiesschüttung  
Dachabdichtung  
Dampfdruckausgleichsschicht  
Gefälledämmung  
Dämmung 24 cm  
Dampfsperre  
Stahlbeton  
3 x Gipskartonplatte

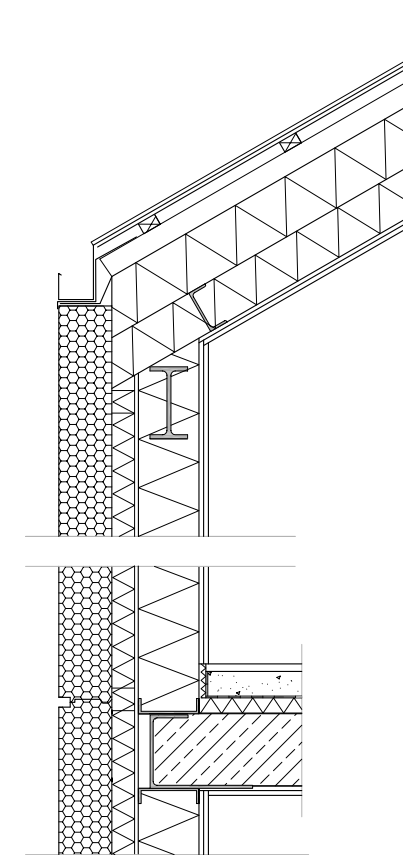
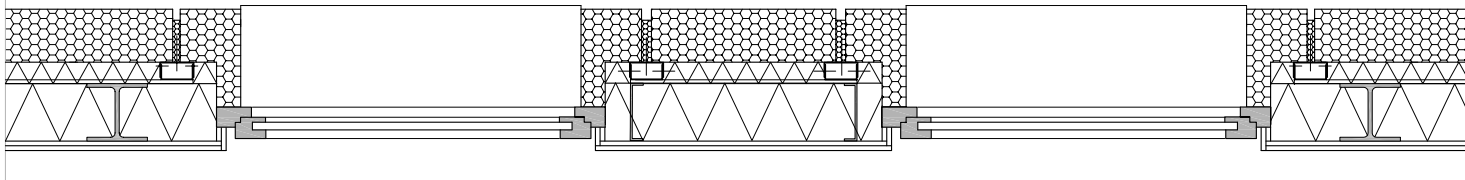


Abb. 33: Schnitt Steildach, Aufbau 6a, M. 1:20

Fußbodenaufbau:  
Parkett  
Estrich 7 cm  
PE-Folie  
Trittschalldämmung 4 cm  
Slim-Floor-Decke 18 cm  
3 x Gipskartonplatte

Abb. 34: Horizontalschnitt, Aufbau 6a, M. 1:20



Dachaufbau Steildach:  
Dacheindeckung: Zinkblech  
Lattung  
Konterlattung  
Unterspannbahn,  $s_{de} \sim 0,1$  m  
Dämmung 14 cm  
Pfette (U 100) + Dämmung 10 cm  
OSB-Platte  
Dampfbremse  $s_{di} \sim 1$  m  
2 x Gipskartonplatte



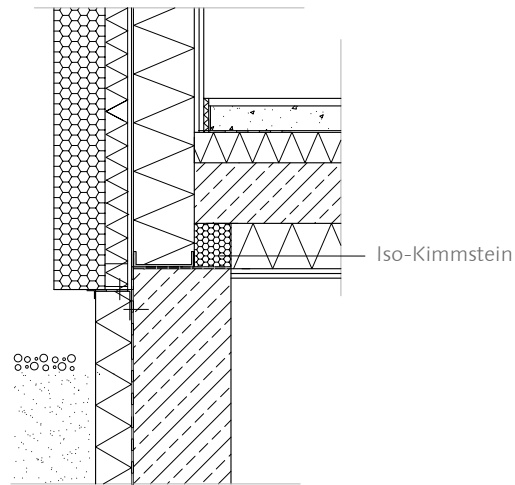


Abb. 35: Schnitt Sockel 6a mit Keller, M. 1:20

Abb. 36: Schnitt Sockel 6a ohne Keller, M. 1:20

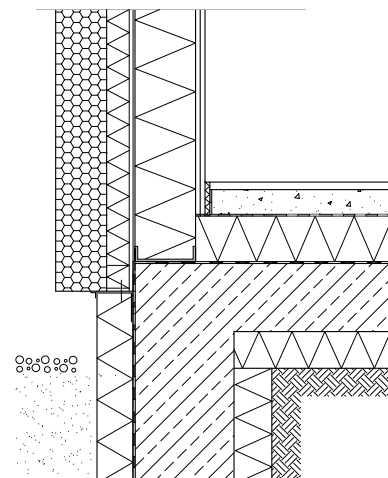


Abb. 39: Horizontalschnitt, Aufbau 6b, M. 1:20

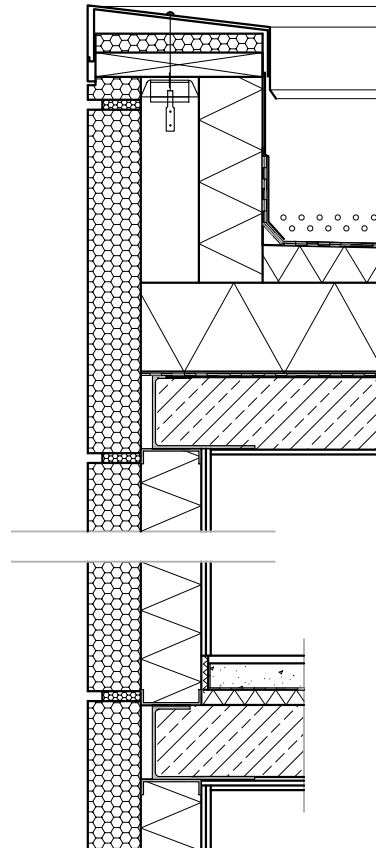


Abb. 37: Schnitt Attika, Aufbau 6b, M. 1:20

Dachaufbau:  
 Kiesschüttung  
 Dachabdichtung  
 Dampfdruckausgleichsschicht  
 Gefälledämmung  
 Dämmung 24 cm  
 Dampfsperre  
 Stahlbeton  
 3 x Gipskartonplatte

Fußbodenaufbau:  
 Parkett  
 Estrich 7 cm  
 PE-Folie  
 Trittschalldämmung 4 cm  
 Slim-Floor-Decke 18 cm  
 3 x Gipskartonplatte

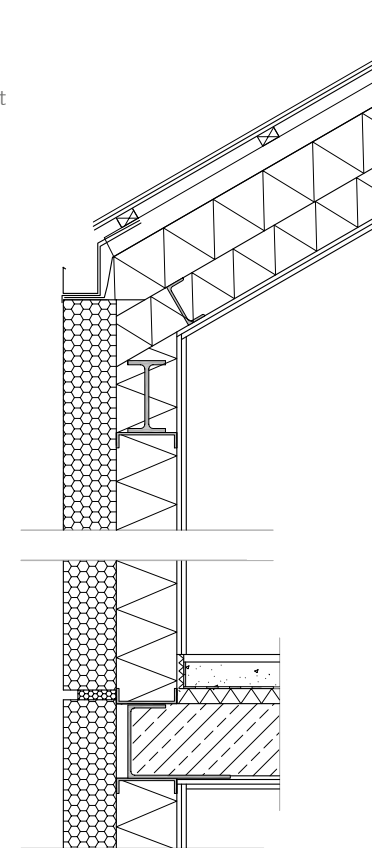
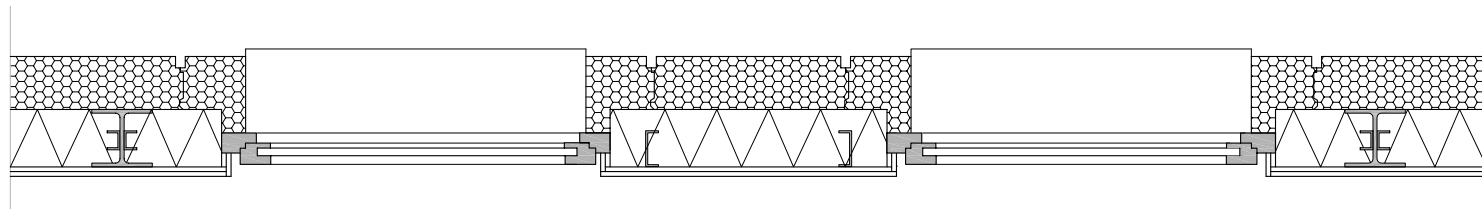


Abb. 38: Schnitt Steildach, Aufbau 6b, M. 1:20

Wenn gestalterisch gewünscht, kann die Lastabtragung auch über die Horizontalfugen erfolgen. Der Aufbau 6a zeigt die Lastabtragung über die Vertikalfugen, 6b über die Horizontalfugen.

Erforderliche Zwischenstiele befinden sich beim Aufbau 6b nicht in einer extra Ebene sondern stehen ggf. in der Dämmebene zwischen der Primärkonstruktion.





## Verwendete Normen

### Kapitel Tragwerk

DIN 1055-3 Einwirkungen auf Tragwerke  
Eigen und Nutzlasten für Hoch-  
bauten  
Ausgabe 03/2006

DIN 1055-4 Einwirkungen auf Tragwerke  
Windlasten  
Ausgabe 03/2005

DIN 1055-3 Einwirkungen auf Tragwerke  
Schnee und Eislasten  
Ausgabe 07/2005

DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton  
und Spannbeton – Bemessung  
und Konstruktion  
Ausgabe 08/2008

Richtlinie für die Bemessung und Ausführung von  
Stahlverbundträgern (Ausgabe März 1981) mit  
den ergänzenden Bestimmungen (März 1984, Juni  
1991)

### Kapitel Bauklimatik

DIN 4108-2 Mindestanforderungen an den  
Wärmeschutz  
Ausgabe 03/2001

DIN 4108-3 Klimabedingter Feuchteschutz,  
Anforderungen und Hinweise für  
Planung und Ausführung  
Ausgabe 07/2001

DIN 4108-4 Wärme- und feuchteschutztech-  
nische Kennwerte (Vornorm)  
Ausgabe 02/2002

DIN 4108-7 Luftdichtheit von Bauteilen und  
Anschlüssen, Planungs- und  
Ausführungsempfehlungen sowie  
-beispiele (Vornorm)  
Ausgabe 08/2001

DIN 4109 Schallschutz im Hochbau-  
Anforderungen  
Ausgabe 10/2006 (Vornorm)

DIN 4109 -1 Schallschutz im Hochbau,  
Anforderungen  
Ausgabe 11/1989

DIN 4109 -2 Anforderungen an den erhöhten  
Schallschutz  
Ausgabe 11/1989

Verordnung zur Änderung der Energieeinsparver-  
ordnung vom 29.04.2009

Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009

DIN EN ISO 6946 Wärmedurchlasswiderstand  
und Wärmedurchgangskoeffizient  
Ausgabe 11/1996

<http://www.kfw.de> Neue Förderstandards  
für energieeffizientes Bauen und Sanieren ab  
01.10.2009

### Kapitel Gebäudetechnik

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz  
(EEWärmeG) vom 01.01.2009

Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009

### Kapitel Brandschutz

DIN 4102-1 Brandverhalten von Baustoffen  
und Bauteilen  
Baustoffe; Begriffe, Anforde-  
rungen und Prüfung  
Ausgabe 05/1998

DIN 4102-2 Brandverhalten von Baustoffen  
und Bauteilen  
Bauteile; Begriffe, Anforderungen  
und Prüfung  
Ausgabe 09/1977

DIN 4102-4	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile Ausgabe 03/1994	DIN EN 1364-1 Feuerwiderstandsprüfung von nicht tragenden Bauteilen Decken Ausgabe 10/1999	DIN EN 1994-1-2 Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Teil 1-2; Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall Ausgabe 11/2006
DIN 4102-4/A1	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile Änderung A1 Ausgabe 11/2004	DIN EN 1365-1 Feuerwiderstandsprüfung von tragenden Bauteilen Wände Ausgabe 10/1999	Musterbauordnung Ausgabe 2002
DIN 4102-2	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen Bedachungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfung Ausgabe 07/1998	DIN EN 1365-2 Feuerwiderstandsprüfung von tragenden Bauteilen Decken Ausgabe 02/2000	
DIN EN 13501-2	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen; mit Ausnahme von Lüftungsanlagen Ausgabe 02/2010	DIN EN 1365-3 Feuerwiderstandsprüfung von tragenden Bauteilen Balken Ausgabe 02/2000	
		DIN EN 1365-4 Feuerwiderstandsprüfung von tragenden Bauteilen Stützen Ausgabe 10/1999	
		DIN EN 1365-5 Feuerwiderstandsprüfung von tragenden Bauteilen Balkone Ausgabe 02/2005	
DIN EN 1364-1	Feuerwiderstandsprüfung von nicht tragenden Bauteilen Wände Ausgabe 10/1999	DIN EN 1365-6 Feuerwiderstandsprüfung von tragenden Bauteilen Treppen Ausgabe 02/2005	





## »bauforumstahl e. V.

»bauforumstahl ist ein auf das Bauwesen spezialisiertes, unabhängiges Forum für Beratung und Wissenstransfer. Es wird getragen von Unternehmen und Organisationen aus dem Stahlbereich.

Das Leistungsspektrum umfasst Informationen und Publikationen, Arbeits- und Bemessungshilfen, Online-Planungstools, Veranstaltungen, Schulung und Nachwuchsförderung – vielfach in Kooperation mit Architekten- und Ingenieurkammern, Bauunternehmen, Fachverbänden und Hochschulen. Die Angebote richten sich an Architekten, Ingenieure und Bauausführende, private und öffentliche Bauherren, Investoren, Hochschulen und Studierende sowie die breite Fachöffentlichkeit. Die bundesweite Fachberatung in der Zentrale in Düsseldorf und den drei Regionalbüros West (Düsseldorf), Nordost (Berlin) und Süd (Garching/München) ist vertraulich, kostenlos, firmen- und produktneutral.

Die Themen reichen von Gestaltungsmöglichkeiten mit Stahl und Stahlverbund im Geschoss- und Brückenbau, Wirtschaftlichkeit, Innovationen, Brand- und Korrosionsschutz bis zur Fertigung und Bauausführung. Vor allem das Thema Nachhaltigkeit nimmt immer breiteren Raum ein. Die deutsche Stahlindustrie und der deutsche Stahlbau haben sich zur Nachhaltigkeit und ihrer Umsetzung in den Baubereich verpflichtet.

Gemeinsam mit dem Deutschen Stahlbau-Verband (DSTV) werden im zweijährigen Turnus die bedeutenden Wettbewerbe „Preis des Deutschen Stahlbaues“ für Architekten und „Förderpreis des Deutschen Stahlbaues“ für den studentischen Nachwuchs der Architekten und Ingenieure ausgelobt.

»bauforumstahl bietet eine offene Plattform für vielfältigste Aktivitäten rund um das Bauen und steht im ständigen Erfahrungsaustausch und Meinungsbildungsprozess mit allen Baubeteiligten, mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen, Sachverständigen, Fach- und Normenausschüssen, behördlichen Gremien sowie nationalen und internationalen Organisationen.

## »bauforumstahl e. V.

Sohnstraße 65 | 40237 Düsseldorf  
Postfach 10 48 42 | 40039 Düsseldorf  
T: +49(0)211.6707.828 | F: +49(0)211.6707.829  
zentrale@bauforumstahl.de | www.bauforumstahl.de

### »Zentrale

Sohnstraße 65 | 40237 Düsseldorf  
zentrale@bauforumstahl.de  
T: 0211.6707.828 | F: 0211.6707.829

### Geschäftsführer

Dr. Bernhard Hauke | T: 0211.6707.828

### Öffentlichkeitsarbeit

Dipl.-Vw. Angelika Demmer  
angelika.demmer@bauforumstahl.de  
T: 0211.6707.830

### Brandschutz

Dipl.-Ing. Hans-Werner Girkes  
hans.girkes@bauforumstahl.de  
T: 0211.6707.826

### Nachhaltigkeit

Dr. Bernhard Hauke | T: 0211.6707.828  
M.Sc. Raban Siebers  
raban.siebers@bauforumstahl.de  
T: 0211.6707.560

### »Büro West

Dipl.-Ing. Hans-Werner Girkes  
hans.girkes@bauforumstahl.de  
T: 0211.6707.826  
Dipl.-Ing. Ronald Kocker  
ronald.kocker@bauforumstahl.de  
T: 0211.6707.842

### »Büro Nordost

Gutsmuthsstraße 23 | 12163 Berlin (Steglitz)  
berlin@bauforumstahl.de  
T: 030.7901394.0 | F: 030.7901394.3  
Dipl.-Ing. Sivo Schilling  
sivo.schilling@bauforumstahl.de  
T: 030.7901394.1  
Dipl.-Ing. Michael Schmidt  
michael.schmidt@bauforumstahl.de  
T: 030.7901394.2

### »Büro Süd

Carl-Zeiss-Straße 6 | 85748 Garching  
muenchen@bauforumstahl.de  
T: 089.360363.0 | F: 089.360363.10  
Dipl.-Ing. Wolfgang Buchner  
wolfgang.buchner@bauforumstahl.de | T: 089.360363.11  
Dr.-Ing. Julija Ruga  
julija.ruga@bauforumstahl.de | T: 089.360363.13





Mitglieder »bauforumstahl



Interessengemeinschaft Bauforum Stahl (IGBS)



**bauforumstahl**  
Bauen mit Stahl. Nachhaltig gut beraten.

Sohnstraße 65 | 40237 Düsseldorf  
Postfach 10 48 42 | 40039 Düsseldorf  
T: +49(0)211.6707.828 | F: +49(0)211.6707.829  
zentrale@bauforumstahl.de | www.bauforumstahl.de