

Wolfram Jäger, Raik Hartmann

**Lehmmauerwerk: Entwurfs- und
Konstruktionsgrundsätze für eine
Breitenanwendung im Wohnbau
unter Berücksichtigung klimatischer
Bedingungen gemäßiger Zonen am
Beispielstandort Deutschland**

F 3109

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0441-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



EGsL – Abschlussbericht

„Lehmmauerwerk: Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze für eine Breitenanwendung im Wohnbau unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen gemäßiger Zonen am Beispielstandort Deutschland“

Aktenzeichen: **SWD-10.08.18.7-.15.31**

Kurztitel: **EGsL**

Gefördert durch: **Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)**
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Mitfinanzierung: **Jäger und Bothe Ingenieure GmbH**
Haydnstr. 3
09119 Chemnitz
Jäger Ingenieure GmbH
Wichernstraße 12
01445 Radebeul

Auftragnehmer: **Technische Universität Dresden**
Fakultät Architektur
Lehrstuhl Tragwerksplanung
o. Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger

in Zusammenarbeit: **STERN ZÜRN ARCHITEKTEN**
Holbeinstraße 16
CH-4051 Basel
Technische Universität Dresden
Fakultät Architektur
Lehrstuhl Wohnbauten
o. Prof. Carsten Lorenzen

Projektleitung: **Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger**

Projektbearbeitung: **Dipl.-Ing. Raik Hartmann**

Datum: **28. September 2018**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-.15.31)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Zusammenfassung

Lehmbauweisen sind weltweit die am häufigsten vorkommenden Konstruktionsarten von Wohngebäuden. Menschen wohnen seit Beginn ihrer Siedlungsgeschichte in aus Lehm errichteten Gebäuden. Mit Einzug der Industrialisierung ging eine Ära langer Lehmbautradition in Deutschland vorerst zu Ende. Seit den 1980er Jahren nehmen die Aktivitäten – Bau mit Lehm – stetig zu. Die in den 1990er Jahren eingeführten "Lehmbau-Regeln" scheinen jedoch angesichts der Erkenntnisse europäischer Nachbarstaaten und aktueller Forschungsergebnisse über die Tragfähigkeit von Lehmmauerwerk eher zu vorsichtig zu sein: modernes Lehmmauerwerk ist leistungsfähiger in Bezug auf die Standfestigkeit, vorausgesetzt, wesentliche Konstruktionsgrundsätze werden eingehalten. Gestützt durch historische Bauzeugnisse und baustatische- bzw. bauphysikalische Thesen wird davon ausgegangen, dass Lehm eine durchaus höhere Leistungsfähigkeit hat, als dem Baustoff bisher zugetraut wird.

Das moderne tragende Lehmmauerwerk ist ein Plansteinmauerwerk und besteht aus extrudierten großformatigen Plansteinen mit den Abmessungen L 30,5 cm B 24 cm breit und H 24,9 cm. Die Plansteine werden in bestehenden industriellen Ziegelfabriken hergestellt. Der Brennprozess, der den größten Energiefaktor bei der Ziegelproduktion darstellt, entfällt. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass das moderne Lehmsteinmauerwerk aus großformatigen Lehmsteinen ein sehr gutes Festigkeitsverhalten bei geringer Streuung der Ergebnisse hat. Die Leistung von modernen Lehmmauerwerk ist trotz der geringeren Wandstärke von 24 cm hoch. In Kombination mit den üblichen Baumethoden, zeitgemäßen Planungsdetails und geprüften Schutzmaßnahmen für das Lehmmauerwerk, ist es möglich tragendes Mauerwerk aus Lehmplansteinen, wie es bei herkömmlichen Mauerwerkssteinen üblich ist, nachhaltig, effektiv und stabil zu bauen. Der Lehmmauerwerksstein zur Herstellung eines Hintermauerwerks wird als "normaler" industriell hergestellter Baustoff betrachtet. Das Lehmplansteinmauerwerk grenzt sich vom traditionellen Lehmbau ab. Es wird mit praxisüblichen Verarbeitungsmethoden auf der Baustelle hergestellt und ist z.B. mit modernen Fassaden- oder Dachkonstruktionen kombinierbar. Es ist zudem möglich das moderne Lehmmauerwerk als Fertigteilwand im Werk vorzufertigen.

Das größte Misstrauen in die Standsicherheit von Gebäuden aus Lehm hat seine Begründung in der Wasserempfindlichkeit von Lehm. Bei Einwirkung von Wasser verliert Lehm seine Festigkeit. Bauphysikalische Prozesse im Bauteil sind für die Standsicherheit für den modernen Lehmmauerwerksbau wesentlich. Die Arbeit geht für die besondere Eigenschaft von Lehm näher auf die Korrelation von Materialfestigkeit und Bauteilfeuchte ein.

Um das Vertrauen in die Standsicherheit von Wohngebäuden mit Lehmmauerwerk zu fördern, wurde das moderne Lehmmauerwerk wesentlichen Untersuchungen unterzogen. Die Ergebnisse der Untersuchungen dienen als Grundlage der Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze. Mit der vorliegenden Arbeit wurde ein Beispieldetailkatalog wesentlicher konstruktiver Anschlüsse eines Wohngebäudes entwickelt. Anhand des Bauteilkatalogs werden verschiedenen mögliche konstruktive Maßnahmen diskutiert, die tragende Lehmmauerwerkswände vor Durchfeuchtung schützen sollen.

Das Ergebnis der Vorliegenden Arbeit ist, dass das tragende moderne Lehmmauerwerk mit einer geringeren Wandstärke hergestellt werden kann, als es bisher angenommen wurde. Die Leistungsfähigkeit von modernen Lehmmauerwerk ist höher, als es bisher für den Baustoff allgemein angenommen wird.

Das Lehmplansteinmauerwerk in Kombination mit ökologischen Materialien zur Herstellung der Gebäudehülle schneidet in der Gesamtökobilanz sehr gut ab und trägt als moderner Baustoff zur gesellschaftlichen Verantwortung für umweltschonendes Bauen bei.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Zusammenfassung | 3 |
| 1 Einführung | 9 |
| 1.1 Ziele der Forschung EGsL | 11 |
| 1.2 Chancen..... | 11 |
| 1.2.1 BAU2017 – zukunftsweisendes Feedback..... | 12 |
| 1.2.2 Energieaufwendung | 12 |
| 1.3 Produktionsbasis | 13 |
| 2 Ergebnisse Untersuchungen | 14 |
| 2.1 Festigkeiten Mauerwerk | 14 |
| 2.1.1 Lehmsteine – Einzelsteindruckprüfung in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit rH..... | 14 |
| 2.2 Festigkeit Mauerwerk nach DIN EN 1052-1 | 16 |
| 2.2.1 E-Modul..... | 17 |
| 2.3 Brandverhalten – tragendes Lehmmauerwerk | 19 |
| 2.4 Technische Versuche – Konstruktion und Herstellung | 22 |
| 2.4.1 Baustelle / Mauern / Fertigteilherstellung | 22 |
| 2.4.2 Bauklimatische Erkenntnisse..... | 23 |
| 2.4.3 Weitere durchgeführte Untersuchungen | 23 |
| 3 Planungsgrundsätze | 25 |
| 3.1 Grundsätze für Entwurf und Konstruktion – zusammengefasst..... | 25 |
| 4 Bauteilkatalog | 28 |
| 4.1 Allgemeine Bauteilanforderungen..... | 28 |
| 4.2 Wandaufbauten | 28 |
| 4.2.1 Außenwandaufbautypen | 29 |
| 4.2.2 Außenwandaufbau – Befestigungsmöglichkeiten Fassade..... | 30 |
| 4.3 An- und Einbindung tragender und nichttragender Wände | 34 |

| | | |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.1 | Wandeinbindung Haustrennwände..... | 35 |
| 4.3.2 | Wand-Deckenanschlüsse | 35 |
| 4.4 | Sockelanschlüsse..... | 38 |
| 4.4.1 | Sockelanschlüsse ohne Keller..... | 38 |
| 4.4.2 | Sockelanschlüsse mit Keller | 40 |
| 4.5 | Fenster und Hauseingangstüren..... | 40 |
| 4.6 | Deckenanschlüsse..... | 44 |
| 4.6.1 | Deckenanschlusstypen – Steindecken..... | 44 |
| 4.6.2 | Deckenanschlüsse – Holzbalkendecken | 46 |
| 4.6.3 | Dachanschlüsse – Flachdachtypen | 46 |
| 4.6.4 | Dachanschlüsse – Satteldachtypen Fassadenübergänge | 48 |
| 4.6.5 | Dachanschlüsse – Satteldach Ortgangtypen..... | 51 |
| 4.6.6 | Dachanschlüsse – Haustrennwand Systemschnitt alle Geschosse..... | 53 |
| 4.7 | Treppenanschlüsse | 56 |
| 4.7.1 | Innenliegende Treppenanschlüsse..... | 56 |
| 4.7.2 | Treppenanschlüsse für notwendige Treppen..... | 60 |
| 4.8 | Entwässerungsanschlüsse – Nassbereiche und Nasszellen | 64 |
| 4.8.1 | Technische Systeme zur Verhinderung von Havarien | 64 |
| 4.8.2 | Notentwässerung Typ Unterflurnotentwässerung | 64 |
| 4.8.3 | Notentwässerung Typ Türschwellennotentwässerung | 69 |
| 5 | Ökologische Aspekte..... | 74 |
| 5.1 | Sachbilanzen und Umweltkriterien..... | 75 |
| 5.2 | Rezyklierung / Verwertung / Entsorgung der Einzelmaterialien | 76 |
| 5.2.1 | Rezyklierung / Verwertung / Entsorgung..... | 76 |
| 6 | Ausblick | 79 |
| 6.1 | Weiterentwicklung des Lehmmauerwerksteins..... | 79 |
| 6.2 | Testphase – genutztes Wohnhaus..... | 79 |
| 7 | Chancen – abschließend zusammengefasst..... | 83 |

| | | |
|------------|-----------------------------|-----------|
| 8 | Quellen..... | 86 |
| 8.1 | VERZEICHNIS..... | 86 |
| 8.2 | BAUTEILKATALOG | 96 |
| 8.2.1 | DETAILGRUNDLAGEN..... | 96 |
| 8.2.2 | DÄMMSTOFFE | 97 |
| 8.2.3 | FASSADE | 98 |
| 8.2.4 | DÄCHER | 98 |

1 Einführung

Das moderne tragende Lehm-mauerwerk besteht aus stranggepressten Hochlochlehmsteinen im Plansteinformat mit folgenden Abmessungen: 30,5cm lang, 24cm breit und 24,9cm hoch. Diese werden in bestehenden industriellen Ziegelwerken hergestellt. Dabei wird der Brennprozess, der der größte Energiefaktor im Ziegelproduktionsprozess ist, ausgeschlossen. Das moderne Lehm-mauerwerk wird im Verbund mit Dünnbettlehm-mörtel hergestellt.

Moderne Lehmsteine werden in den üblichen Produktionsprozess von anderen Ziegelprodukten integriert und werden durch die Abwärme aus den Brennprozessen anderer keramischer Baustoffe im Werk getrocknet. Ziegel werden bspw. heute schon vor dem eigentlichen Brennen durch Abwärme getrocknet. Die Infrastruktur bestehender Herstellungsbetriebe kann mit geringem Investitionsaufwand für die Herstellung moderner Lehmsteine genutzt werden. Bei Integrierung der Lehmherstellung in Produktion anderer keramischer Bauprodukte und Nutzung dessen Abwärme, reduziert sich die Herstellungsenergie für nicht erneuerbare Energie um 50% bei vergleichbarer Wandkonstruktion und Tragfähigkeit. (Daten als Berechnungsgrundlage aus ÖkoBauDat und herstellereigene Angaben GIMA) [18]. *Und die ökologische Bilanz vom gesamten Wandaufbau einer Außenwand mit modernem Lehm-mauerwerk im Vergleich.*

In Deutschland werden 61 % der Bauinvestitionen im Wohnungsbau getätigt. Davon werden etwa 75 % aller genehmigten Gebäude als Mauerwerkskonstruktion errichtet. Die Tendenz über die letzten 7 Jahre zeigt, dass die Ziegelproduktion mit einem hohen Marktanteil von über 30 % aller Mauerwerksbaustoffe trotz der sich in den letzten Jahren etablierender alternativer Baustoffe (wie z.B. Holz) stabil blieb. Es ist davon auszugehen, dass dies weiterhin der Fall sein wird. Damit wäre die Integration der modernen Lehmsteinherstellung in die bestehende Ziegelproduktion ohne Schädigung der Ziegelindustrie möglich. (Daten aus: DGfM, VDZ, DeStatis) [138].

Stand der Technik

Die Lehmbauregeln (Volhard, Röhlen) [7] lassen bisher eine zulässige Mauerwerksdruckspannung von $0,5 \text{ N/mm}^2$ bei einer Steifigkeitsklasse 4 zu. Die ebenda festgelegte Wandstärke für tragendes Lehmmauerwerk beträgt mindestens 36,5 cm für Außenwände. Die Schweizer „Regeln zum Bauen mit Lehm“ der SIA D0111 (Huber, Kleespies) [14], legen ebenfalls eine maximal zulässige Mauerwerksdruckspannung von $0,5 \text{ N/mm}^2$ fest. Bei zweigeschossiger Bauweise beträgt die Wandstärke mindestens 30 cm. Die Wandstärke darf allerdings mindestens 20 cm bei eingeschossiger Bauweise betragen oder beim oberen Geschoss von Zweien. Beide Regeln für den Lehmbau lassen maximal zwei Geschosse zu. Die Forschung in Österreich (Feiglsdorfer, Kubista) [23] zeigt, dass zweigeschossige Gebäude aus Lehmmauerwerkswänden mit einer Wandstärke von mindestens 20 cm gebaut werden können. Allerdings sind die hergestellten Mauerwerke keine reinen Lehmwände, da die Lehmsteine mit zementgebundenen Mörtelschichten mit Normalstärke gefügt sind.

In Untersuchungen zum Festigkeitsverhalten von Lehmsteinen bei unterschiedlichen raumklimatischen Bedingungen wurde festgestellt, dass sich die Druckfestigkeit erheblich verändert. Bei zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit rH nimmt die Druckfestigkeit von Lehm ab. (Müller, Kaiser Ziegert, Röhlen) [11]

Forschungsperspektive

A) Was ist der quantitative Verlust der Druckfestigkeit des Lehmmauerwerks, wenn die relative Luftfeuchtigkeit von 50% bei 23°C (wie im Standardprüfverfahren) auf 70% der erwarteten maximalen relativen Luftfeuchtigkeit (Badezimmer im Gehäuse) erhöht wird?

B) Welche Sicherheitsvorkehrungen müssen bei der Wandkonstruktion gegen mögliche Havariiefälle an den Wasserinstallationen, im Falle einer Exposition der Wandkonstruktion bei überdurchschnittlicher Raumlufffeuchte und extremen äußeren Witterungsbedingungen getroffen werden?

C) Ist es möglich, mehr als zwei Stockwerke mit modernen Lehmmauerwerk zu errichten, als es die derzeit geltenden Lehmbau-Regeln zulassen? Und, kann dabei das Lehmmauerwerk mit einer geringeren Wandstärke hergestellt werden? Welche Voraussetzungen müssen dafür erfüllt sein?

1.1 Ziele der Forschung EGsL

Die Forschung beinhaltet die Zielstellungen, das moderne Lehm-mauerwerk – aus Plansteinen mit Lehmdünnbettmörtelfügung – als zeitgemäße Bauweise einzuordnen und von traditionellen Lehm-bauweisen abzugrenzen. Daraufhin haben wir mit unbearbeiteten Rohlingen aus der laufenden Produktion der Girng Huber GmbH Prüfkörper hergestellt und den gängigen Tests unterzogen, um feststellen zu können, dass es grundsätzlich möglich ist mit solchen strang-gepressten Steinen belastbares tragendes Mauerwerk zu errichten.

Das wesentliche Ziel von EGsL ist es, die gewonnenen Erkenntnisse in einen Bauteilkatalog mit Leitdetails als Grundlage für Entwurf und Planung zusammenzufassen. Die Arbeit geht dabei insbesondere auf die klimatischen Bedingungen von Deutschland als Beispielstandort ein. In einem Nachschlagewerk sollen Entwurfskonzepte, Grundriss- und Schnittlösungen so-wie baukonstruktive Details den gegenwärtigen Stand der Lehm-bau-Technik demonstrieren.

1.2 Chancen

Die Chancen industrielles Lehm-mauerwerk zu etablieren, sind aussichtsreich. **Etwa 60% aller Bauinvestitionen werden mit Wohnungsbau realisiert** (s. Abb. 1). Bei der über die Jahre gesehen konstant gebliebenen Statistik hat der **Mauerwerksbau mit etwa 75% der genehmigten Bauten den größten Anteil an Konstruktionen im Wohnungsbau** siehe Abb. 2. Dies wird durch die gutmütigen Eigenschaften der flexiblen und kostengünstigen Konstruktionsart und bauphysikalischen Eigenschaften begründet. ([37], S.68) Lehm-mauerwerk stellt sowohl eine nachhaltige als auch kostengünstige Alternative dar, um auch den zukünftig benötigten Bedarf an sozialen und bezahlbarem Wohnraum zu decken.

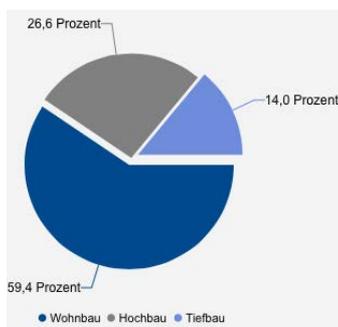


Abb. 1 Anteile Bauinvestitionen Wohnungsbau '13 [48]

| Wohnbauten insgesamt - Baugenehmigungen 2010 bis 2012: Überwiegend verwendete Baustoffe für die tragende Konstruktion | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 1. Anzahl Gebäude | 2010 | % | 2011 | % | 2012 | % |
| Mauerwerksbau | 69.351 | 73,3% | 84.446 | 74,9% | 82.029 | 75,2% |
| Stahlbeton/Srahl | 7.545 | 8,0% | 8.433 | 7,5% | 8.561 | 7,8% |
| Holzbau | 14.666 | 15,5% | 17.074 | 15,2% | 16.545 | 15,2% |
| Sonstige | 3.040 | 3,2% | 2.745 | 2,4% | 1.993 | 1,8% |
| GESAMT | 94.602 | 100,0% | 112.698 | 100,0% | 109.128 | 100,0% |

Abb. 2 Anteile Mauerwerksbau im Wohnungsbau 2013 [49] S.44

1.2.1 BAU2017 – zukunftsweisendes Feedback

Mit dem Forschungsvorhaben EGsL wurde als praktischem Untersuchungsgegenstand ein Großmodell hergestellt, das die wichtigsten Anschlusspunkte demonstriert. Wesentlich war, dem Besucher auf der Messe die zeitgemäße Bauweise mit Lehmmauerwerk zugänglich zu machen. Der Ausstellungszeitraum war geprägt durch hohes Interesse an der modernen Bauweise mit Lehm – über Bewunderung, dass die verwendeten Steine keine gebrannten Ziegel seien – bis hin zu Realisierungswünschen. Der vielseitige ökologische Aspekt sprach als erwünschter Nebeneffekt für sich und stellte sich als „Publikumsmagnet“ heraus.



Abb. 3 Messeexponat BAU2017



Abb. 4 Nach Eröffnung der BAU2017

1.2.2 Energieaufwendung

Die aktuelle Datenlage lässt derzeit eine genaue und umfassende Aussage zur Ökobilanz von industriell hergestellten stranggepressten Lehmsteinen nicht zu. Das aktuell vorhandene Prozessdatenblatt (*siehe [17]*) ist ein generischer Datensatz, der einen Sicherheitszuschlag von 30% beinhaltet. Die Aussagekraft ist gegenüber dem tatsächlich zu erwartenden Energieaufwand bei der Produktion sehr ungenau.

Erste Gespräche mit der Girnghuber GmbH zeigten, dass die Dringlichkeit der Markteinführung aus den genannten Aspekten sehr wohl wahrgenommen und als positive und realistische Herausforderung gesehen wird. Es bedeutet für den Hersteller eine hohe Ersparnis an fossilen Energieträgern zum Einsatz als Brennenergie (*siehe Abb. 5 und Abb. 6*) und zugleich eine

Kosteneinsparung. Als Vergleich kann hier angeführt werden, dass etwas mehr als ein Kubikmeter Erdgas pro Stein gespart werden kann, würde der Brennprozess entfallen. Die Trocknung der Lehmsteine erfolgt mit der Restwärme aus dem Brennen der Ziegel, Klinker und weiterer keramischer Erzeugnisse.

Girnghuber GmbH 84163 Marklkofen

Fakultät Architektur – TU Dresden
Lehrstuhl für Tragwerksplanung

Abb. 5 Auszug Primärenergiebedarf – Ersparnis gegenüber gebrannten Steinen –
Urheber: Girnghuber GmbH

Lehmziegel

Energieeinsparung gegenüber gebrannten Ziegeln

Benötigte Energie für 1kg gebrannten Ziegel = 1000 Wh

| Energie Trockenprozess | Energie Brennprozess |
|------------------------|----------------------|
| 30% | 70% |
| 300 Wh | 700 Wh |

Beispielziegel = PL32 (Wandstärke 17,5cm, Rohdichte 1,4)

Gewicht je Ziegel = 16,64 kg = 16648,14 Wh

| Energie Trockenprozess | Energie Brennprozess |
|------------------------|----------------------|
| 30% | 70% |
| 4994,44 Wh | 11653,70 |

Die Energieeinsparung beim Lehmziegel beträgt 11653,70 Wh je Ziegelstein, das entspricht 11,65 KWh.

Heizwerte/-äquivalente

| Brennstoff (Energieträger) | Heizwert (Energievergleich) | |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 l Ofenöl (EL) | 36 MJ/l | 10,00 kWh/l |
| 1 kg Heizöl (L) | 41 MJ/kg | 11,40 kWh/kg |
| 1 m ³ Erdgas | 37 MJ/kg | 10,28 kWh/m ³ |
| Flüssiggas Propan (kg) | | 12,9 kWh/kg |

Abb. 6 Screenshot Veranschaulichung und Vergleich kWh für 1l fossile Brennstoffe – [64]

1.3 Produktionsbasis

Für die Herstellung ungebrannter Lehmsteine steht eine hochentwickelte Produktionsbasis zur Verfügung, die keiner nennenswerten Ergänzungsinvestitionen bedarf. Es wird die bisher zum Einsatz kommende Aufbereitungstechnik genutzt, die eine hohe Gleichmäßigkeit und Qualität der Lehmsteine gewährleistet. Anpassungen sind lediglich im Bereich der Mundstücke zum Pressen und des Schleifens der Lehmsteine notwendig. Der technologische Ablauf ist entsprechend zu organisieren und hängt von der Größe der Produktionsstätte ab.

2 Ergebnisse Untersuchungen

In den nachfolgenden Teilen sind wesentliche Aspekte zur Tragfähigkeit des Mauerwerks zusammengefasst.

2.1 Festigkeiten Mauerwerk

Im folgenden Abschnitt werden wesentliche, für das Festigkeitsverhalten relevante, Versuche vorgestellt, die die Abhängigkeit zwischen Festigkeitsverlust und Umgebungsfeuchte einschließen. Die Einzelsteinprüfung erfolgte nach DIN 18945 [25], die weiteren Konditionierungen ab 60 % rH in Anlehnung.

2.1.1 Lehmsteine – Einzelsteindruckprüfung in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit rH

Als Ergebnis der Einzelsteinprüfung konnte festgehalten werden, dass:

1. Die Steine für die Prüfung nach DIN 18945 sehr hohe Werte aufweisen,
2. Die Festigkeit mit zunehmender Luftfeuchtigkeit um max. 20% je Steintyp abnimmt (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und
3. Die Streuung unerwartet ist, so dass auf eine Vorschädigung des Steins geschlossen wurde, da andere Versuche zeigen, dass die Abnahme der Festigkeit bei zunehmender Feuchteconditionierung gleichmäßiger ist.

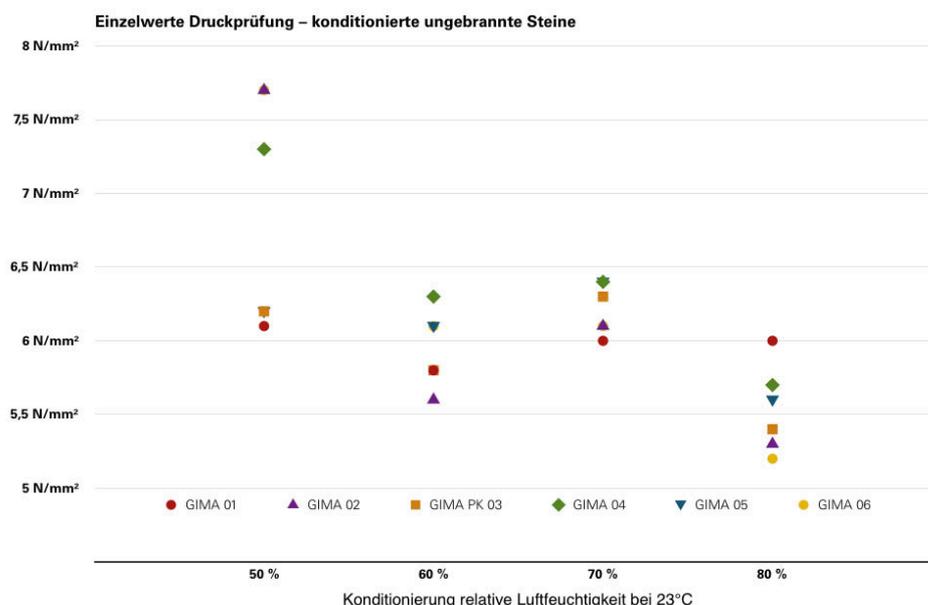


Abb. 7 Einzelwerte Einzelsteindruckprüfung für die Konditionierungsreihen 50-80% RLF bei 23°C an Steinen von GIMA

Materialprüfungen und Berechnungen zum Festigkeitsverhalten von Lehmmauerwerk

In Abb. 8 ist zu erkennen, dass unabhängig des Herstellers, Steingeometrie und der Materialzusammensetzung sich die Druckfestigkeit je steigender Feuchteinwirkung (bei konstant 23°C) vermindert.

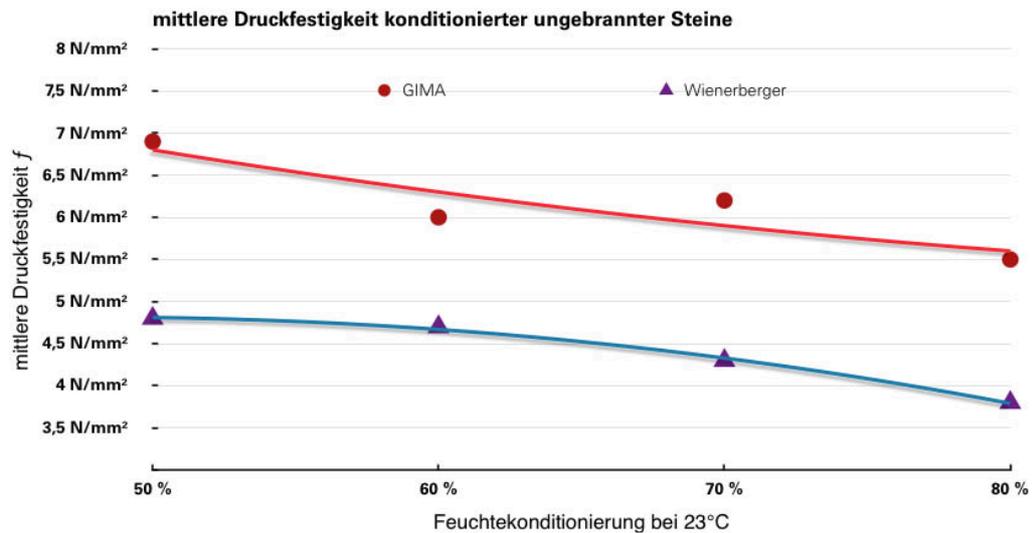


Abb. 8 Darstellung statistische Minderung der mittleren Druckfestigkeit je höherer Konditionierung

Interessant jedoch ist, dass sich eine annähernde konstante Verminderung ergibt. Die Verminderung der Druckfestigkeit bei der Konditionierung von 70 % rH ergibt bei beiden Steinsorten einen Druckfestigkeitsverlust von etwa 10%. Die Verminderung der Druckfestigkeit bei der Konditionierung von 80 % rH ergibt bei beiden Steinsorten einen Druckfestigkeitsverlust von 20%. Für die Prüfcharge mit der Konditionierung von 60 % rH ist für den Teststein von GIMA ein Festigkeitseinbruch festzustellen, der für die Teststeine von Wienerberger nicht festzustellen war. Wie sich im Verlauf der Arbeit ergeben hat, konnte dies auf eine Vorschwächung des Steinmaterials zurückgeführt werden, nämlich einen mehr oder minder starken längsmittigen Trocknungsrisss.

Die Teststeine von Wienerberger entsprechen nach Tab. 7 der DIN 18945 der Druckfestigkeitsklasse 3 für alle Konditionierungsreihen 23 °C 50 % - 80 % rH.

Die Teststeine von GIMA entsprechen nach Tab. 7 der DIN 18945 der Druckfestigkeitsklasse 5 für die Konditionierungsreihen 23 °C 50 % - 70 % rH. Ab der Konditionierungsreihe bei 80% rH sind die Steine der Druckfestigkeitsklasse 4 zuzuordnen.

2.2 Festigkeit Mauerwerk nach DIN EN 1052-1

Insgesamt wurden 4 Reihen bestehend aus je mindestens 3 Mauerwerksprüfkörpern nach DIN EN 1052-1 [97] geprüft. Es wurden zwei verschiedene Teststeine für die Prüfkörper verwendet.

Messergebnisse Druckfestigkeit f – GIMA Teststein

| | GIMA 3 01 | GIMA 3 02 | GIMA 3 03 | GIMA 4 01 | GIMA 4 02 | GIMA 4 03 |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| f_i | 4,3 N/mm ² | 4,3 N/mm ² | 4,6 N/mm ² | 4,4 N/mm ² | 4,2 N/mm ² | 4,3 N/mm ² |
| f | 4,4 N/mm ² | | | 4,3 N/mm ² | | |

GIMA-Prüfkörper – Mauerwerksdruckfestigkeit, nach DIN EN 1052-1, S.10

Messergebnisse Druckfestigkeit f – Wienerberger Teststein

| | WB-TM-0 | WB-TM-I | WB-TM-II | WB-TM-III | WB-Ps-I | WB-Ps-II | WB-Ps-III |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| f_i | 2,8 N/mm ² | 2,8 N/mm ² | 2,8 N/mm ² | 2,9 N/mm ² | 2,9 N/mm ² | 2,8 N/mm ² | 2,7 N/mm ² |
| f | 2,8 N/mm ² | | | | 2,8 N/mm ² | | |

Wienerberger-Prüfkörper – Mauerwerksdruckfestigkeit, nach DIN EN 1052-1, S.10

Die charakteristische Druckfestigkeit kann nach 10.2 von DIN EN 1052-1 ermittelt werden:

$$f_{k,GIMA} = \frac{f}{1,2} = 3,63 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{k,WB} = \frac{f}{1,2} = 2,36 \text{ N/mm}^2$$

Das Versagensbild war bei allen Prüfkörpern vergleichbar und zeigte typische mittige Spaltbrüche in den einzelnen Lagen:

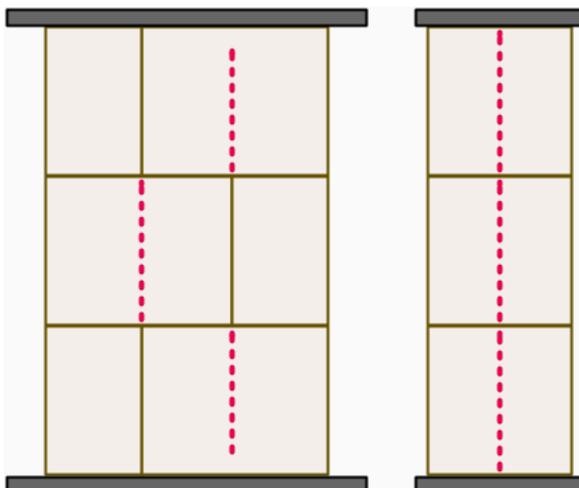


Abb. 9 Durchgehende Spaltrisse, erkennbare Schäden nach Prüfung – Regelseitenansicht links i.B.: senkrecht zu T-Fugen / Regelstirnfläche rechts i.B.: durchgehende längsmittige Spaltrisse

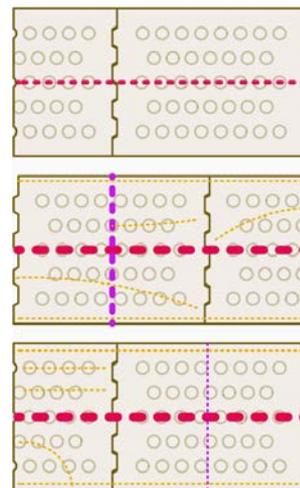


Abb. 10 Typische Versagensbilder der einzelnen Steinreihen SR-1-3 (von oben nach unten) – rot: längsmittiger Risspalt / magenta: quermittiger Risspalt / orange: Fragmentierung, Abscherung oder Abplatzung

2.2.1 E-Modul

Das durchschnittliche E-Modul aller Prüfkörper liegt bei rund 1700 N/mm².

Würden die Ergebnisse aus der Prüfung auf einen Faktor reduziert, dann würde für das Mauerwerk mit GIMA Steinen gelten:

$$E = 420 - 520 f_k$$

Der Faktorbereich wurde durch weitere 6 Prüfkörper mit ungebrannten Steinen eines anderen Herstellers bestätigt.

E-Modul nach DIN EN 1996-1-1 [68], bzw. DIN EN 1052-1 (4.2):

$$E = \frac{F_{i,max}}{(3 \cdot \varepsilon_i \cdot A_i)}$$

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta l}{\left(\frac{h_s}{3}\right)}$$

Messwerte E-Modul für Mauerwerkskörper mit GIMA Teststeinen:

- Prüfkörperreihe GIMA_3 bzw. GIMA_4: E = 1500 N/mm² bzw. 1900 N/mm²

Messwerte E-Modul für Mauerwerkskörper mit Wienerberger Teststeinen:

- Prüfkörperreihe WB_TM bzw. WB_Ps: E = 1000 N/mm² bzw. 1200 N/mm²

Der E-Modul kann nach DIN EN 1996-1-1 mittels Materialfaktor errechnet werden. Für Lehmsteine existiert keine Faktorwerte für das E-Modul. Nach DIN EN 1996-1-1 gilt:

$$E = \text{materialfactor} \cdot f_k$$

- Für den E-Modul ist festzustellen, dass sich bei den Mauerwerksdruckfestigkeitsprüfungen nach DIN EN 1052-1 mit unterschiedlichen Teststeinen ein je vergleichbares Bild bezüglich des E-Moduls hinsichtlich des Faktorbereichs ergibt: E = 420 - 520 · f_k

Grenzzustand Tragfähigkeit

Aus den Prüfungswerten lässt sich als Anhaltspunkt der Grenzfall der Tragfähigkeit nach EC6, siehe DIN EN 1996-1-1, vgl. hierzu auch (Meyer, Schlundt) [119], am Beispiel des Lehmsteinmauerwerks mit den GIMA-Teststeinen für weitere Prüfungen 3 m hohen Wand berechnen:

$$N_{Ed} = N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d$$

Φ → Exzentrizität der Lasteinleitung: für weitere Prüfungen: mittige Lasteinleitung Φ = 1

$$t = 240\text{mm}$$

e i = 0 ≥ 0,05 · t wird nicht berücksichtigt

$$\text{Knicklänge } h_{ef} = \beta \cdot h = 0,75 \cdot 3,00 = 2,25 \text{ m}$$

Abminderungsfaktor

$$\Phi_m = 1,14 \left(1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} \right) - 0,024 \frac{h_{ef}}{t}$$

nach Nationalen Anhang NA zu DIN EN 1996-1-1 Anhang G

$$\Phi_m = 1,14 \cdot 1 - 0,024 \frac{2,25}{0,24} = 0,92$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Grenzzustand Tragfähigkeit des zu prüfenden Mauerwerks:

Dauerstandsfaktor $\zeta = 0,85$

Abminderungsfaktor $\Phi_m = 0,92$

$$N_{Ed} = 0,92 \cdot 0,85 \cdot 240\text{mm} \cdot 3,63 \text{ N/mm}^2 \cdot / 1,5 = 453 \text{ N/mm} = \mathbf{453 \text{ kN/m}}$$

Wird die Abnahme der Festigkeit durch dauerhafte erhöhte Luftfeuchtebedingungen berücksichtigt, ergibt sich für den Grenzzustand der Tragfähigkeit, *siehe oben*:

60 % rH at 23 °C

2,5 % Abnahme der Festigkeit

$$N_{Rd, 60\%rH} = 0,92 \cdot 0,85 \cdot 240\text{mm} \cdot (3,63 \text{ N/mm}^2 - 3,63 \text{ N/mm}^2 \cdot 2,5 \%) / 1,5 = 453 \text{ kN/m} \cdot 0,975$$

$$= \mathbf{442 \text{ kN/m}}$$

70 % rH at 23 °C

10 % Abnahme der Festigkeit

$$N_{Rd, 70\%rH} = 0,92 \cdot 0,85 \cdot 240\text{mm} \cdot (3,63 \text{ N/mm}^2 - 3,63 \text{ N/mm}^2 \cdot 10 \%) / 1,5 = 453 \text{ kN/m} \cdot 0,9$$

$$= \mathbf{408 \text{ kN/m}}$$

80 % rH at 23 °C

20 % Abnahme der Festigkeit

$$N_{Rd, 80\%rH} = 0,92 \cdot 0,85 \cdot 240\text{mm} \cdot (3,63 \text{ N/mm}^2 - 3,63 \text{ N/mm}^2 \cdot 20 \%) / 1,5 = 453 \text{ kN/m} \cdot 0,8$$

$$= \mathbf{362 \text{ kN/m}}$$

2.3 Brandverhalten – tragendes Lehm-mauerwerk

Es wurden zwei Brandprüfungen durchgeführt. Eine nichttragende Lehm-mauerwerkswand wurde nach DIN EN 1364-1 [88] und eine tragende Wand nach DIN EN 1365-1 [89]

geprüft. Die nichttragende Wand wurde mit dem Prüfungsziel EI 30 geprüft und erreichte ohne Probleme die Klassifizierung EI 90.

Die tragende Wand wurde mit $N_{Ed,fi} = N_{Rd} \cdot 0,7 = 317 \text{ kN/m}$, nach DIN EN 1996-1-2/NA [93], vgl. hierzu auch (Meyer, Schlundt) [119], belastet und mit dem Prüfungsziel REI-M 90 geprüft und erreichte nach über 68 Minuten Belastung die Klassifizierung EI 60. Durch die Streuung in den Einzeldruckversuchen und den typischen Bruchbildern der Mauerwerksprüfkörper, konnte die Ursache des frühzeitigen Versagens mit Hilfe der Videoaufnahme eindeutig geklärt werden. An beinahe allen Steinen der Charge ist ein senkrecht zur Lagerfläche durchgehender längsmittiger Schwindriss erkennbar, der sich bereits vor dem versuch in den Steinen zeigte. Aus den Steinprobenanalysen geht hervor, dass:

- a. alle Steine der geprüften Wand in zwei Hälften auseinandergebrochen sind,
- b. die ofenseitige Steinfläche hitzebedingte Verfärbungen des Materials aufwies und
- c. die Steinhöhe der befeuerten Seite eine Verkürzung um ca. 1-2 mm aufwies.



Abb. 11 Steinproben aus der Prüfung – zwei ofenseitige Steine mit Putz und zwei Steinhälften der nichtbefeuerten Seite

Die Verkürzung der Wand – aufgrund der Strukturänderung des Steinmaterials beim „Brennen“ – auf der befeuerten Seite hatte zur Folge, dass die unbefeuerte Wandseite einer steigenden Belastung ausgesetzt wurde. Dies zeichnete sich durch die Rissbildung der stetig zunehmenden Schubspannung ab.

Aufmerksam durch die Streuung in den Einzeldruckversuchen und den typischen Bruchbildern der Mauerwerksprüfkörper, konnte die Ursache des frühzeitigen Versagens eindeutig geklärt werden. An beinahe allen Steinen der Charge ist ein senkrecht zur Lagerfläche durchgehender längsmittiger Schwindriss erkennbar, der bereits in den Steinen vor dem versuch sich zeigte:

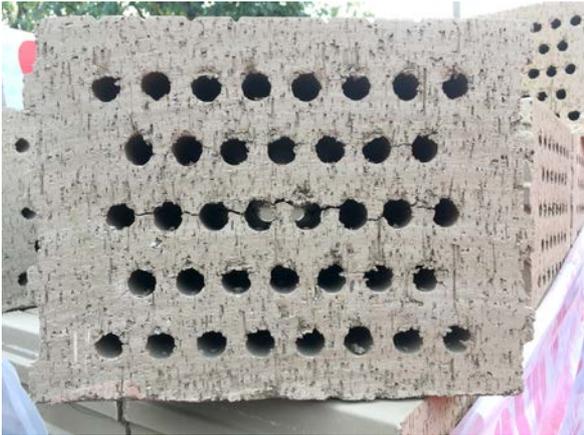


Abb. 12 Längsmittiger Schwindriss durch Trocknung – an jedem Stein der Charge

Abb. 13 Längsmittiger Schwindriss durch Trocknung ca. 2,5mm

Dadurch, dass an jedem Stein ein produktionsbedingter längsmittiger Schwindriss vorhanden war, war die Wand in der Struktur, mittig zur Längsachse wesentlich geschwächt. Die Folge der Hitzeeinwirkung und der zunehmenden asymmetrischen Lastverteilung ist die Halbierung der gesamten Wand in der Längsachse. Dieser Vorgang konnte im Videomitschnitt ab 68 min 52 s Prüfzeit sehr gut nachvollzogen werden.

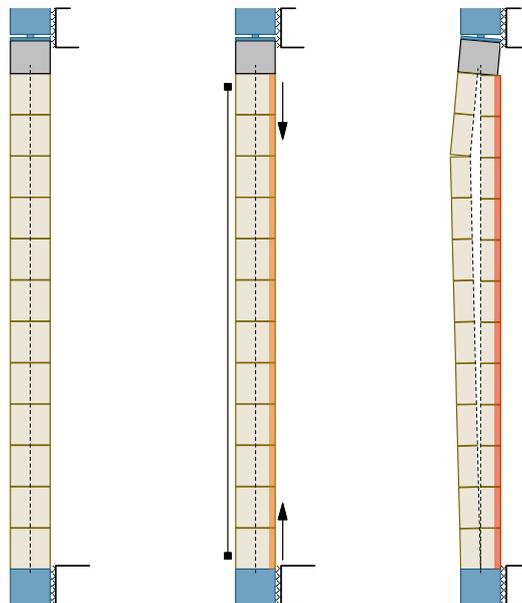


Abb. 14 Versagensschema der Wand im Schnitt nach Videoanalyse

Bild **links**: Wand belastet mit längsmittigen Trocknungsrissen je Stein / Bild **mittig**: einsetzender Brennprozess der Steine führt zur Verkürzung der befeuerten Wandseite → beginnende asymmetrische Lastverteilung → Rissbildung auf der nichtbefeuerten Seite / Bild **rechts**: Materialverkürzung ofenseitig durch Brennprozess der Steine → asymmetrische Lasteinleitung führt zur Auslenkung des Lastbalkens bzw. ausknicken der Wand → durchgehende Schalenbildung längsmittig an der Wandachse, an der Steinschwachstelle aller Steine, dem produktionsbedingten längsmittigen Trocknungsriss

Das Versagen der Wand ist aufgrund der strukturellen Schwächung nahezu jedes Einzelsteins aus der Produktionscharge durch die produktionsbedingten Schwindrisse zurückzuführen, die sich insbesondere bei der Brandbelastung auswirken.

Es wurde eine Druckspannung von $1,32 \text{ N/mm}^2$ erreicht, die die zu prüfende Wand während des Versuchs über 68 min problemlos standhielt. Unter Ausschluss einer herstellungsbedingten strukturellen Vorschwächung der Steine ist mit einem erfolgreichen Erreichen des Versuchsziels bei einer erneuten Brandprüfung zu rechnen.

2.4 Technische Versuche – Konstruktion und Herstellung

Folgend ein Einblick in weitere Erkenntnisse zum modernen Lehm-mauerwerk.

2.4.1 Baustelle / Mauern / Fertigteilherstellung

Auf der Baustelle kann mit den üblichen und gängigen Methoden Mauerwerk mit ungebrannten Steinen errichtet werden. Der Auftrag von Lehmdünnbettmörtel erfolgt mit einer Putzwurfmaschine und wird mittels eigens dafür entwickelten Glättschlitten auf die notwendige Planmörtelschichtdicke geglättet.



Abb. 15 Videostandbild – Auftrag mit Mörtelwurf-spritze



Abb. 16 Videostandbild – Glätten mittels Glättschlitten

Gespräche mit Mauern auf der Baustelle des Zinsendorf-Gymnasium-Neubaus von Herrnhut bestätigten, dass die verbauten nichttragenden Lehm-mauerwerkswände mit modernen groß-formatigen Lehmsteinen und Lehm-mörtel, wie mit herkömmlichen Ziegelsteinen und zementgebundenen Mörtel gewohnt gemauert wurden. Die auf die Baustelle gelieferten Paletten mit den Steinen können für die Bauzeit temporär mit intakter Folierung außerhalb auf spritzwasser- und wassergeschütztem Untergrund gelagert werden.



Abb. 17 Lagerung der Steinpaletten im Gelände der Baustelleneinrichtung mit Folierung als Witterungsschutz



Abb. 18 Einzellagerung auf der Baustelle (foliert, für Witterungsschutz) vor Deckenherstellung

Es ist möglich mit modernen Lehm-mauerwerk Fertigteile im Werk herzustellen um bspw. den Grad der Vorfertigung zu erhöhen und die Bauzeit zu minimieren:



Abb. 19 Hebeversuch Wandelement – Vermeidung von Spannungen im Mauerwerk Variante I: Hebe-traverse – keine auftretenden Querkräfte



Abb. 20 Zusammensetzen und Arretieren der Einzelelemente zum Modell-Rohbau

2.4.2 Bauklimatische Erkenntnisse

Ungebrannte Steine nehmen je nach Umgebungsfeuchtebedingung Wasser auf oder geben es wieder an die Umgebung ab. Um einen Feuchtetransport von innen nach außen gewährleisten zu können und um die Standfestigkeit dauerhaft zu gewährleisten, sollte der Wandaufbau zwingend diffusionsoffen ausgeführt werden.

2.4.3 Weitere durchgeführte Untersuchungen

Für das moderne Lehm-mauerwerk wurde der Dauerstandsfaktor, das Kriechverhalten, untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass die Verformung des Lehm-mauerwerks nach den ersten sechs Monaten weitestgehend abgeschlossen ist. Bei voller Belastung des Mauerwerks ist mit einem vergleichsweise sehr geringem Kriechverhalten zu rechnen, das kaum Auswirkungen auf den Gesamtaufbau zeigen dürfte. Das Kriechverhalten wurde anhand von drei Prüfkörpern über mehr als sechs Monate regelmäßig gemessen und dann anhand eines Regressionsmodells nach Ross [141] bzw. Kvitsel [144] bei hoher Genauigkeit auf lange Sicht abgeschätzt.

Außerdem wurde die Haftscherfestigkeit nach DIN EN 1052-3 [102] vom verwendeten Lehm-mörtel untersucht. Aus DIN EN 1996-1-1 geht hervor, dass unter Auflast, insbesondere bei Planstein-mauerwerk, die Schubfestigkeit von Mauerwerk steigt.

Untersucht wurde außerdem die Schlagregenfestigkeit der Außenwandkonstruktion mit Vorhangfassade mit unterschiedlichen Methoden nach Cziesielski, Maerker [111] und DIN EN 13050 [116]. Das Ergebnis zeigt, dass unter Einhaltung der Konstruktionsregeln das Mauerwerk auch bei starken und dauerhaften Schlagregen nicht nass wird.

Für die bauphysikalischen Bauteilsimulationen von wesentlichen konstruktiven Anschlüssen und Wandaufbauten mit dem Computerprogramm Delphin vom IBK der TU-Dresden, wurden zuvor vier Nasszellen (Bäder) von mehrköpfigen Haushalten unter realen Bedingungen ca. 11 Monate untersucht. Die maximale dauerhafte relative Luftfeuchtigkeit von 70 % wird im Normalfall nicht überschritten. Das Ergebnis wurde als Ausgangswert für die Bauteilsimulationen verwendet. Als Sicherheitswert sollte im Nasszellenbereich von einer maximalen (aber nicht dauerhaften) Belastung für die Nasszelle von 75-80 % rH bei 23 °C ausgegangen werden. Ziel ist es auf den momentanen Feuchtegehalt und den damit einhergehenden Festigkeitsverlust im Bauteil schließen zu können. Im Ergebnis sollte ein Festigkeitsverlust von 20 % für die raumumgrenzenden Wände von Nasszellen aus tragendem Lehm-mauerwerk berücksichtigt werden.

3 Planungsgrundsätze

Modernes Lehm-mauerwerk kann wesentlich leistungsfähiger sein, als es die technischen Regeln bisher aussagen. Um die Leistungsfähigkeit zu gewährleisten und eine Standsicherheit zu garantieren sollten Maßnahmen für das Entwerfen und Konstruieren von Gebäuden beachtet werden. In der Arbeit wurden die Grundsätze zur Optimierung von Grundrissen und Grundsätze zum Konstruieren von Bauteilen anhand empirischer Prüfungen aufgestellt.

3.1 Grundsätze für Entwurf und Konstruktion – zusammengefasst

Allgemein

Herauszustellen sind übergeordnete Grundsätze, die im Kern die Prozesse Entwurf und Konstruktion zutreffend charakterisieren:

1. Schadensvorbeugung
 - Neubau: Entwurfs-, Planungs- und Ausführungszeitraum
 - Nutzungsbegleitend: Sicherheits- und Wartungskonzept
2. Redundanz

Schadensvorbeugende Grundsätze dienen in Entwurf und Konstruktion umfassender Planung der Reduzierung von potentiellen Schadensquellen. Redundante Maßnahmen werden ergriffen, um existenziellen Schaden durch z.B. Materialversagen zu vermeiden. Ein redundantes System übernimmt dann die Funktion eines möglichen geschädigten Systems. Dies ist insbesondere für Abdichtungen im Dachbereich und für Havariesicherungen für Nassbereiche und Nasszellen der Fall. Ein Wartungskonzept ist dabei unerlässlich, da Schäden aufgespürt werden müssen, auch wenn diese durch redundante Systeme abgesichert werden. Hierbei müssen im Wartungskonzept sogenannte Wartungspunkte und -intervalle festgelegt werden.

Entwurf

1. Nassbereiche und Nasszellen liegen sich an einem Schachtstrang gegenüber/übereinander.
2. Der Schacht ist eine nichttragende Wand.
3. Die Schachtanlagen/-wände sind separat zu führen.
4. Leitungsführungen im Lehm-mauerwerk sind zu vermeiden.
5. Rücksprünge in der Fassade sind auf ein Mindestmaß zu begrenzen

Konstruktion

1. Detailanschlüsse sind mit redundanten und vorbeugenden Maßnahmen auszuführen.
 - a. Vorbeugende Maßnahmen sind bspw. weitere Abdichtungen
 - b. Redundante Maßnahmen sind Vorkehrungen, die greifen, wenn die vorbeugende Maßnahme bei bspw. Havarien nicht ausreicht: bspw. separate Notentwässerungsstränge
2. Der Wandaufbau ist diffusionsoffen.
3. Jede erste Lage Steine, die Kimmsteinschicht, muss aus einem wasserfesten Material bestehen und ragt ≥ 5 cm über das Fertigfußbodenniveau.
4. Die Kimmsteinlage im Sockelbereich ist genauso hoch wie die Sockeldämmung des Sockelbereichs geführt wird.
5. Das tragende Lehmmauerwerk muss ausreichend vor der Witterung, insbesondere vor Schlagregen geschützt werden. (Das betrifft insbesondere die Bauzeit.)
6. Beim Einsatz von Ortbetondecken mit Schalung oder Filigranplatten ist die letzte Steinschicht unter der Decke mit gebundenen Steinen auszuführen.
7. Nassbereiche und Nasszellen sind umlaufend bis zur Oberkante Kimmschicht, aber ≥ 15 cm, flächig wasserdicht abzudichten.
8. Eine flächige Abdichtung (z.B. bituminöse oder Polymerdickbeschichtungen) des Lehmmauerwerks ist außen (besonders) und innen zu vermeiden.
9. Lehmmauerwerk muss im Nasszellenbereich mit geeignetem Putz bzw. Hydrophobierung spritzwassergeschützt werden.
10. In Nassbereichen und Nasszellen muss ein redundantes Notentwässerungssystem eingeplant werden.
11. Wasserführenden Leitungen (Zu- und Entwässerung als auch Heizleitungen) dürfen nicht im oder am tragenden Lehmmauerwerk, sondern separat geführt werden.
12. Für Heizleitungen sollte der Bereich der Kimmlage bzw. der Fußbodenaufbau genutzt werden.
13. Wasserführende Leitungen sollten durch intelligente Systeme auf Betriebsdruck und Durchflussmenge überwacht werden.
14. Die Schachtwand für wasserführende Leitungen ist aus einem wasserfesten Material, bspw. Sanitärsystemwand, auszuführen.
15. Die Schachtwand ist mit einem eigenen Notentwässerungssystem zu versehen.
16. Ein Wartungskonzept für die Prüfung aller abdichtenden Anschlüsse auf Schadensfreiheit in regelmäßigen Abständen sollte für jedes Gebäude entworfen werden.

17. Punktlasten an den Wänden sind zu vermeiden oder in die Wand geeignete Träger zu integrieren.
18. Setzungsrisse durch verschiedene Materialien (z.B. im Sturzbereich eines Fensters, Materialwechsel im tragenden Bereich) sollten durch geeignete Maßnahmen vermieden werden, z.B. durch unterlegen von Elastomerbahnen.
19. Anfallendes Wasser während der Bauphase ist vom Lehm-mauerwerk wegzuleiten. Das Lehm-mauerwerk ist während der Errichtung vor Schlagregen zu schützen.

4 Bauteilkatalog

Im folgenden Kapitel werden die erörterten Grundsätze Erkenntnissen aus den empirischen Prüfungen in einem Bauteilkatalog mit den notwendigen Anschlüssen für ein Wohngebäude zusammengefasst dargestellt. Die Details stellen prinzipienhaft das Funktionsschema dar. Die Details können, soweit nicht anders vorgegeben für die jeweilige Planung angepasst werden. Die Grundsätze müssen weiterhin gewährleistet sein.

4.1 Allgemeine Bauteilanforderungen

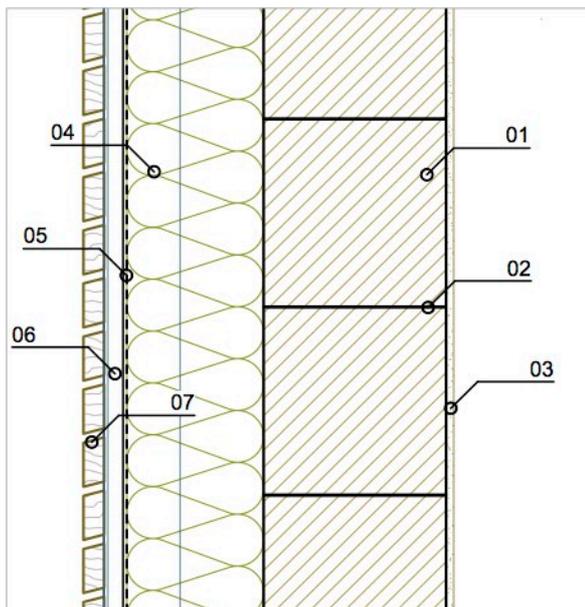
Nach den empirischen Erkenntnissen der vorliegenden Forschung wird davon ausgegangen, dass die tragende Lehmwand eine Stärke von 24 cm hat. Die Dämmstärke erfüllt die aktuelle Energieeinsparverordnung. Mit den entsprechenden Anpassungen und den technischen Möglichkeiten ist eine Erhöhung der Dämmstärke ohne größere Probleme möglich.

4.2 Wandaufbauten

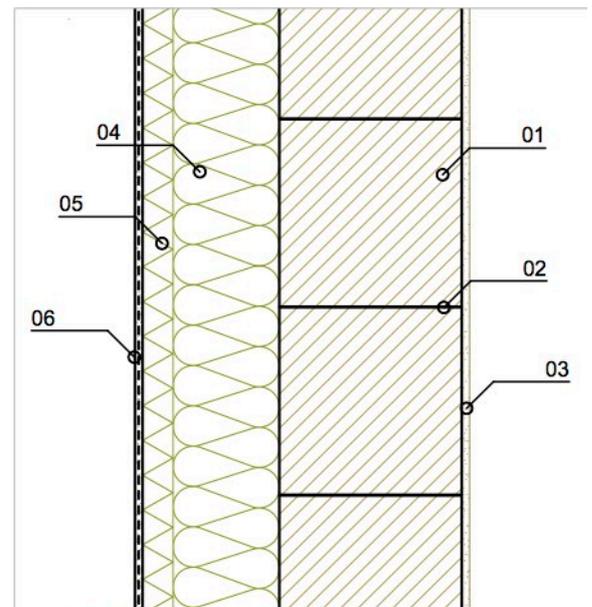
Nachfolgend werden exemplarische Aufbauten für Außenwände und die Befestigungsmöglichkeiten von Fassaden dargestellt.

4.2.1 Außenwandaufbautypen

Grundsätzlich sind zwei Wandaufbauten möglich. Ein einschaliges Mauerwerk mit einer vorgehängten Fassade und ein einschaliges Mauerwerk mit Wärme-Dämm-Verbund-System. Beide Systeme werden am Mauerwerk und oder von Decke zu Decke mechanisch ohne Verklebung befestigt. Dämmmatten können, soweit notwendig, mit Teller-Dämmstoffhalter zwischenbefestigt werden.



Außenwand Typ I – VH-F



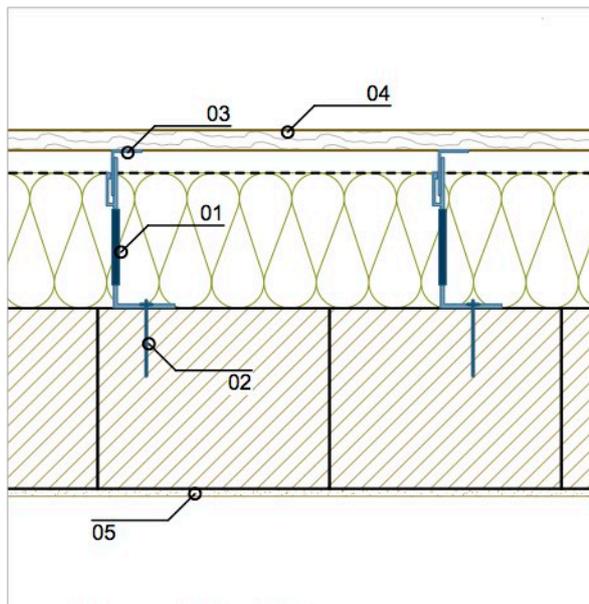
Außenwand Typ II – WDVS

- 1 Lehm-Planstein 24 (Wandstärke) z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehmdünnbettmörtel 1-3mm
- 3 Lehm- oder Kalkputz 10mm
- 4 Hanfdämmmatten 180mm
- 5 Fassaden-Unterspannbahn
- 6 Unterkonstruktion Vorhangfassade mit 30mm Luftspalt
- 7 Vorhangfassade z.B. Lärchenholz Rhombenschalung

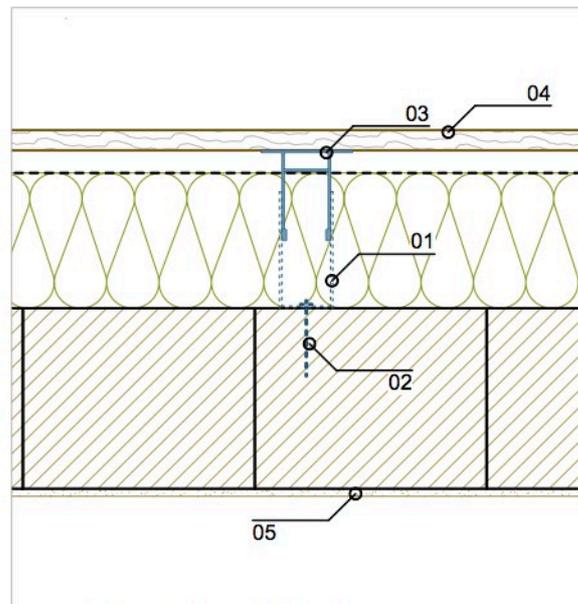
- 1 Lehm-Planstein 24 (Wandstärke) z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehmdünnbettmörtel 1-3mm
- 3 Lehm- oder Kalkputz 10mm
- 4 Hanfdämmmatten 140mm
- 5 Holzfaserdämmplatten (Putzträger) 40mm
- 6 mineralischer Edelputz armiert

4.2.2 Außenwandaufbau – Befestigungsmöglichkeiten Fassade

Es werden zwei Varianten zur Fassadenbefestigung vorgestellt. Die erste Variante mittels Konsolen, wobei direkt am Mauerwerk oder von Geschossdecke zu Geschossdecke befestigt werden kann.



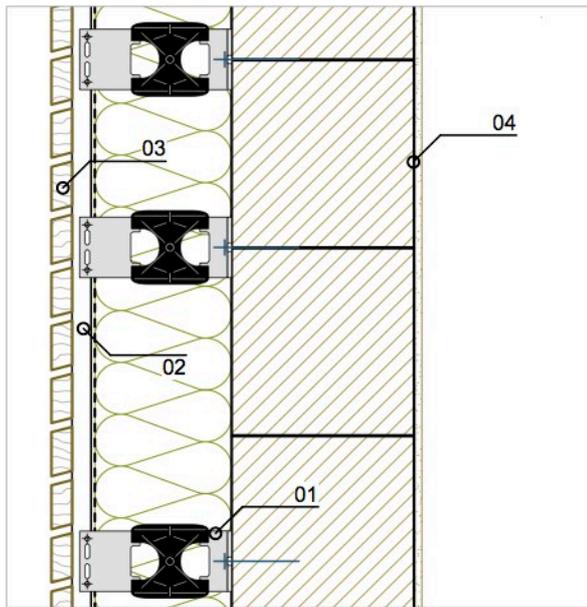
Außenwand Typ I – VH-F – a



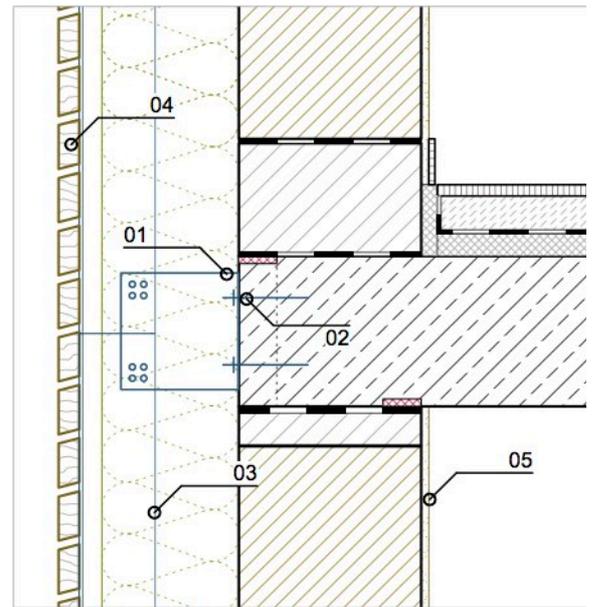
Außenwand Typ I – VH-F – b

- 1 Konsole, thermisch entkoppelt z.B. Hilti Fox VT Befestigung im Mauerwerk
- 2 Ankerstangen, Injektionsmörtel
- 3 UK Befestigungsschiene
- 4 Fassadenmaterial
- 5 Wandaufbau Typ I

- 1 Konsole mit vormontierten Trennelement z.B. Hilti MFT-S2S Befestigung an der Geschossdecke (Betondecke)
- 2 Befestigung mit Rahmendübel (an Geschossdecke)
- 3 UK Befestigungsschiene geschossüberspannend
- 4 Fassadenmaterial
- 5 Wandaufbau Typ I



Außenwand Typ I – VH-F – a

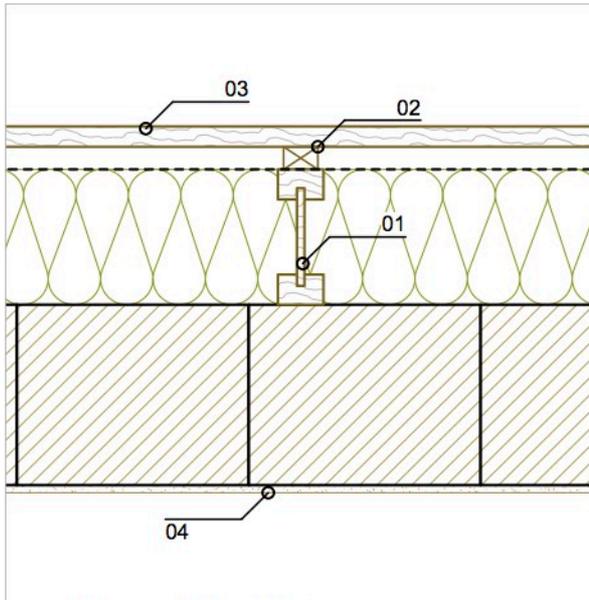


Außenwand Typ I – VH-F – b

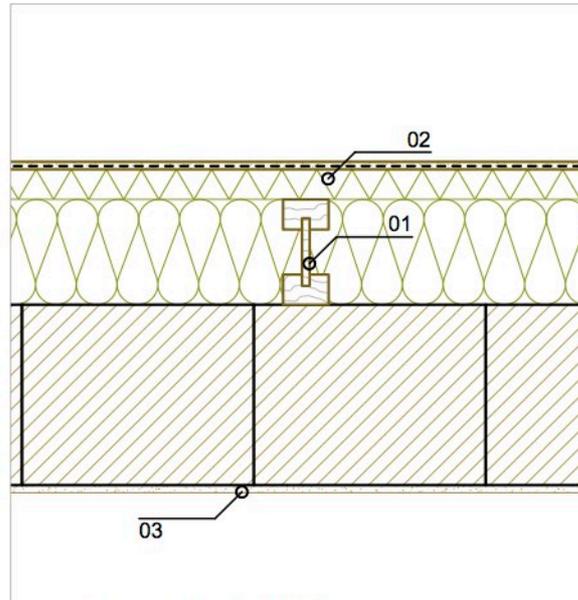
- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 Konsole, thermisch entkoppelt z.B. Hilti Fox VT Befestigung im Mauerwerk, Ankerstangen, Injektionsmörtel</p> <p>2 UK Befestigungsschiene, und Luftspalt</p> <p>3 Fassadenmaterial</p> <p>4 Wandaufbau Typ I</p> | <p>1 Konsole mit vormontierten Trennelement z.B. Hilti MFT-S2S Befestigung an der Geschossdecke (Betondecke)</p> <p>2 Befestigung mit Rahmendübel (an Geschossdecke)</p> <p>3 UK Befestigungsschiene geschossüberspannend</p> <p>4 Fassadenmaterial</p> <p>5 Wandaufbau Typ I</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Bei Durchstoßpunkten ist darauf zu achten, dass diese anschließend sorgfältig abgedichtet werden – bei Unterspannbahnen mit den entsprechenden Klebebändern. Zwischenräume bei doppelten Fassadenkonsolen sind mit Stopfdämmung zu versehen.

Die zweite Variante besteht aus einem Holzstegträgersystem an dem und auf dem Dämmplatten bzw. Dämmplatten befestigt werden können. Die aufgetragenen Dämmplatten dienen bei der WDVS-Variante die Putzträger



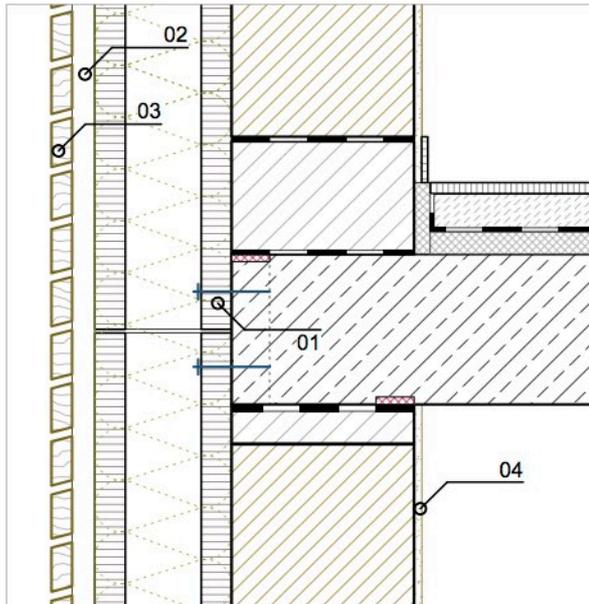
Außenwand Typ I – VH-F – c



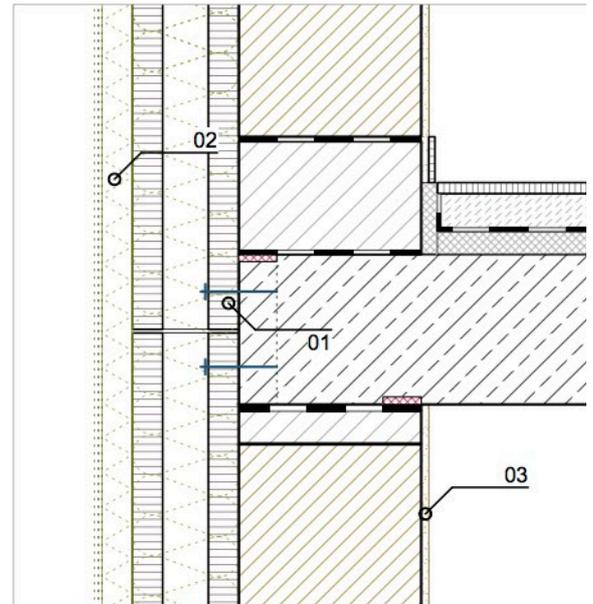
Außenwand Typ II – WDVS

- 1 Stegträger geschossüberspannend z.B. von Steico Befestigung an der Geschossdecke (Betondecke) mit Rahmendübel
- 2 Lattung
- 3 Fassadenmaterial
- 4 Wandaufbau Typ I

- 1 Stegträger geschossüberspannend z.B. von Steico Befestigung an der Geschossdecke (Betondecke) mit Rahmendübel
- 2 Holzdämmplatte, als Putzträger
- 3 Wandaufbau Typ II



Außenwand Typ I – VH-F – c



Außenwand Typ II – WDVS

- 1 Stegträger geschossüberspannend z.B. von Steico Befestigung an der Geschosdecke (Betondecke) mit Rahmendübel
- 2 Lattung, Luftspalt
- 3 Fassadenmaterial
- 4 Wandaufbau Typ I

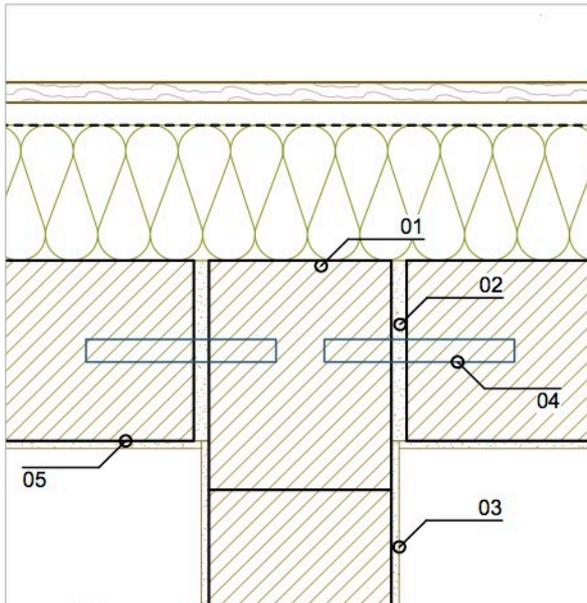
- 1 Stegträger geschossüberspannend z.B. von Steico Befestigung an der Geschosdecke (Betondecke) mit Rahmendübel
- 2 Holzdämmplatte, als Putzträger
- 3 Wandaufbau Typ II

Bei Durchstoßpunkten ist darauf zu achten, dass diese anschließend sorgfältig abgedichtet werden – bei Unterspannbahnen mit den entsprechenden Klebebändern und bei Vorhangfassaden mit den entsprechenden Fugendichtmitteln. Zwischenräume sind mit Stopfdämmung zu versehen.

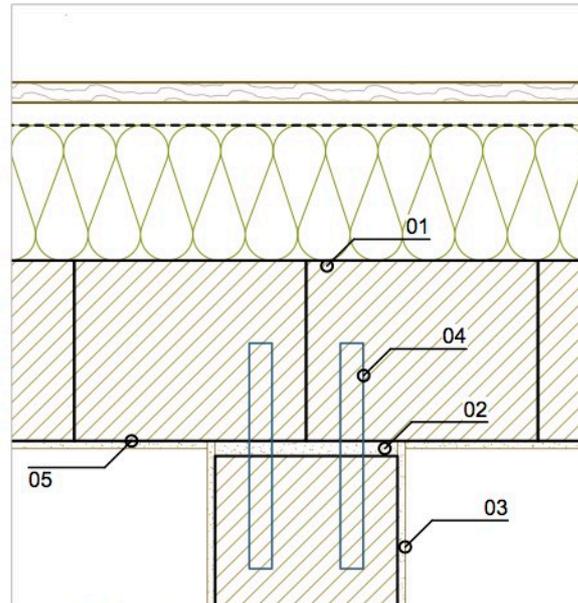
4.3 An- und Einbindung tragender und nichttragender Wände

Stoßende Innen- und Außenwände, tragend und nichttragend, werden mit den gängigen Ausführungsmethoden an- oder eingebunden. Mauerwerksanker werden in den Lagerfugen eingelegt.

Gebäudeecken werden durch Steinversatz miteinander verbunden. Innenwände können ebenfalls durch Steinversatz ins stoßende Mauerwerk eingebunden werden.



Außenwand – Wohnungstrennwand



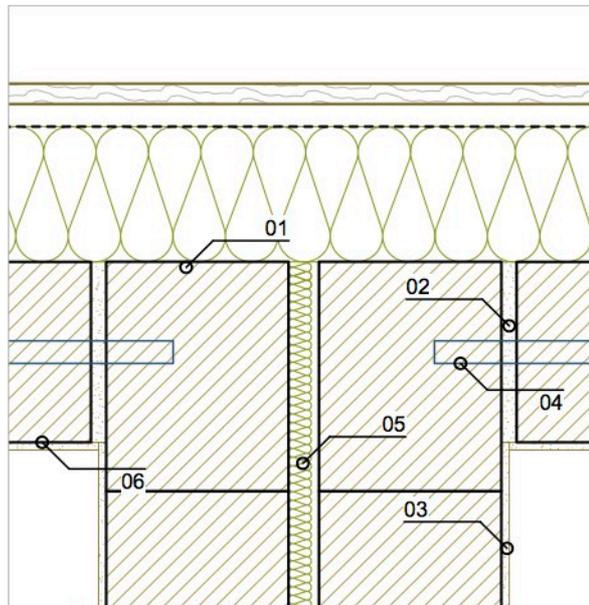
Außenwand – Innenwand, tragend

- 1 Lehm-Planstein 24 z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehmörtel, Stoßfuge
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Flachanker, Edelstahl
- 5 Außenwandaufbau, Typ I oder Typ II möglich

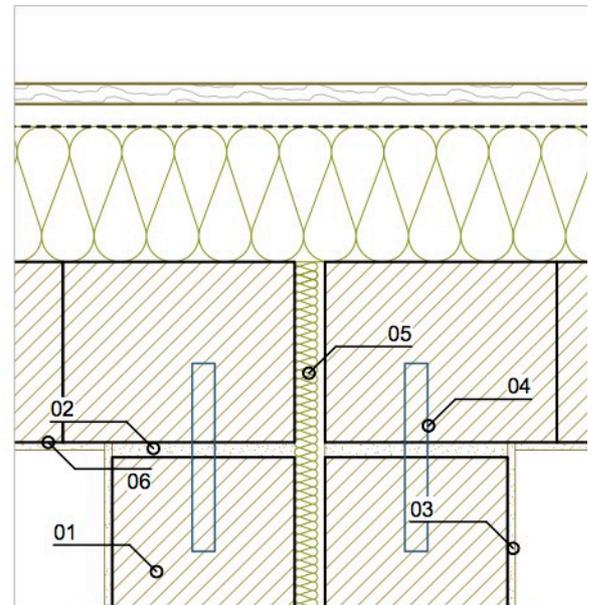
- 1 Lehm-Planstein 24 z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehmörtel, Stoßfuge
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Flachanker, Edelstahl
- 5 Außenwandaufbau, Typ I oder Typ II möglich

4.3.1 Wandinbindung Haustrennwände

Die tragenden Außenwände von Anschlussbebauungen können mittels Flachanker in den Mauerwerkslagen stumpf anbindend und direkt eingebunden werden. Die entsprechenden Fugen sind mit Mörtel zu verfüllen.



Außenwand – Haustrennwand, einbindend



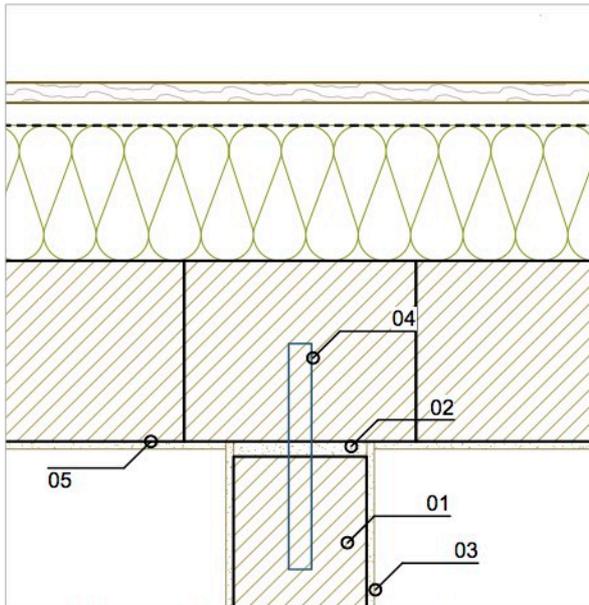
Außenwand – Haustrennwand, stumpf stoßend

- 1 Lehm-Planstein 24 z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehmmörtel, Stoßfuge
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Flachanker, Edelstahl
- 5 Dämmplatte 30mm, Fingerspalt
- 6 Außenwandaufbau, Typ I oder Typ II möglich

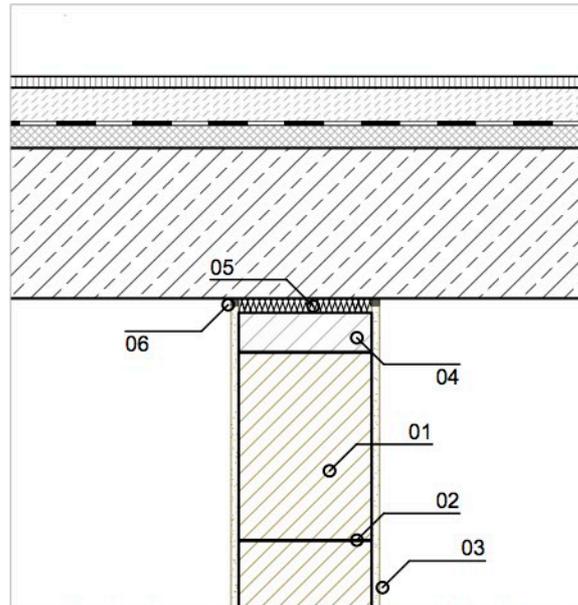
- 1 Lehm-Planstein 24 z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehmmörtel, Stoßfuge
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Flachanker, Edelstahl
- 5 Dämmplatte 30mm, Fingerspalt
- 6 Außenwandaufbau, Typ I oder Typ II möglich

4.3.2 Wand-Deckenanschlüsse

Wand-Decken-Anschlüsse von nichttragenden Wänden können je nach Anforderung mit den gängigen Methoden gleitend oder starr angeschlossen werden. Bei beiden Varianten ist als Abschlusslage aus wasserfesten Steinen z.B. Leichtbetonsteinen aufzubringen. Auftretendes Wasser während der Bauphase kann dann nicht in die Mauerwerkskrone eindringen.



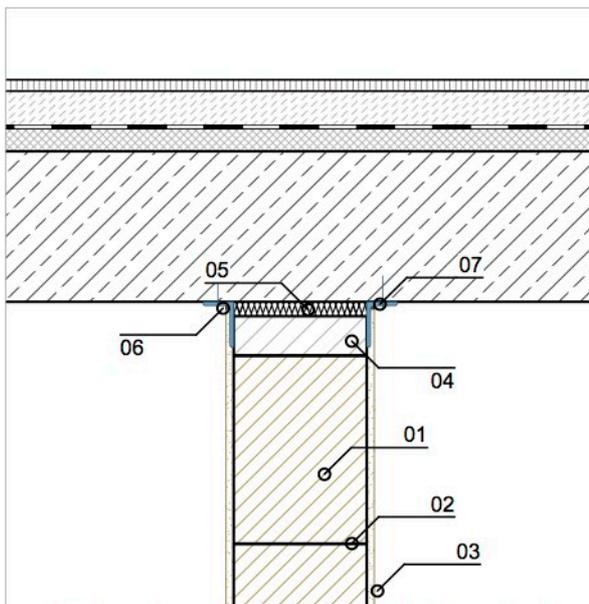
Außenwand – Innenwand, nicht tragend



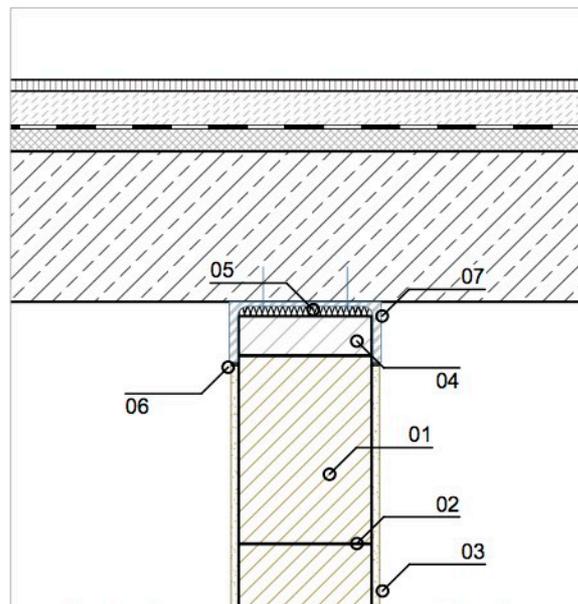
Decke – Innenwand, nicht tragend, gleit. Anschluss a

- 1 Lehm-Planstein 17,5 z.B. 8DF, 1,4RD
- 2 Lehm- oder Kalkputz
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Flachanker, Edelstahl
- 5 Außenwandaufbau, Typ I oder Typ II möglich

- 1 Lehm-Planstein z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehm- oder Kalkputz
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Wandkronenstein z.B. Leichtbeton
- 5 Mineralwolldämmstreifen
- 6 dauerelastische Fuge



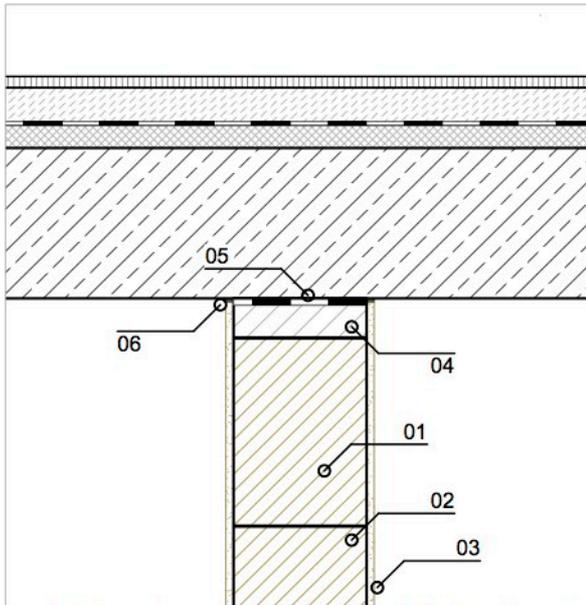
Decke – Innenwand, nicht tragend, gleit. Anschluss b



Decke – Innenwand, nicht tragend, gleit. Anschluss c

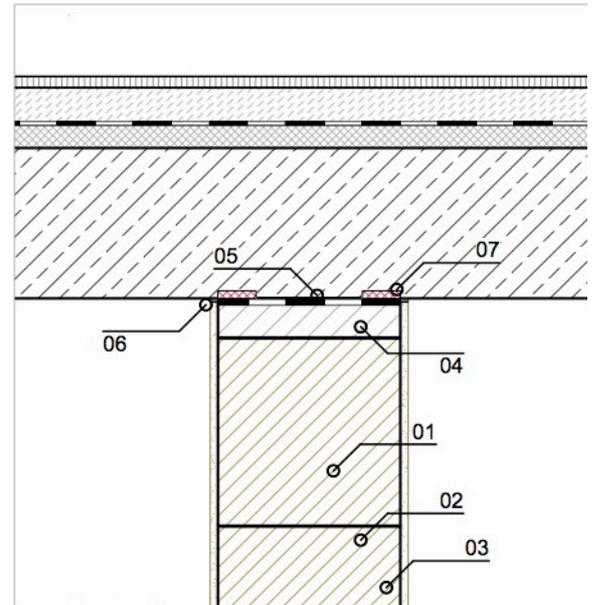
- 1 Lehm-Planstein z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehm- oder Kalkputz
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Wandkronenstein z.B. Leichtbeton
- 5 Mineralwolldämmstreifen
- 6 dauerelastische Fuge
- 7 Stahl-Halte-Winkel

- 1 Lehm-Planstein z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehm- oder Kalkputz
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Wandkronenstein z.B. Leichtbeton
- 5 Mineralwolldämmstreifen
- 6 dauerelastische Fuge
- 7 Stahl-C-Profil



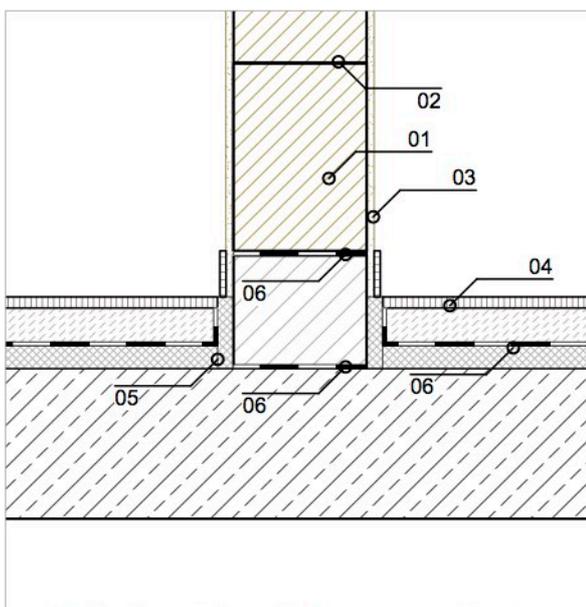
Decke – Innenwand, nicht tragend, gleit. Anschluss d

- 1 Lehm-Planstein 17,5 z.B. 8DF, 1,4RD
- 2 Lehmdünnbettmörtel 1-3mm
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Wandkronenstein z.B. Leichtbeton
- 5 Sperrbahn
- 6 dauerelastische Fuge



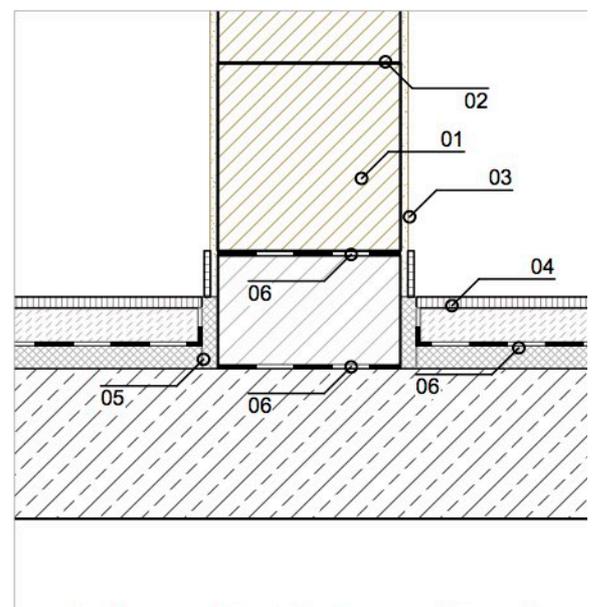
Decke – Innenwand, tragend

- 1 Lehm-Planstein 24 z.B. 10DF, 1,4RD
- 2 Lehmdünnbettmörtel 1-3mm
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Wandkronenstein z.B. Leichtbeton
- 5 Sperrbahn
- 6 dauerelastische Fuge
- 7 Zentriestreifen, Elastomerlager / Holzweichfaserstreifen



Fußbodenanschluss FBA – Innenwand, nicht tragend

- 1 Lehm-Planstein 17,5 z.B. 8DF, 1,4RD
- 2 Lehmdünnbettmörtel 1-3mm
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Fußbodenbelag + Estrich
- 5 Trittschalldämmung / Randstreifen
- 6 Sperrbahn / Folie
- 7 Kimmsteinschicht wasserbeständig mind. H15cm



Fußbodenanschluss FBA – Innenwand, tragend

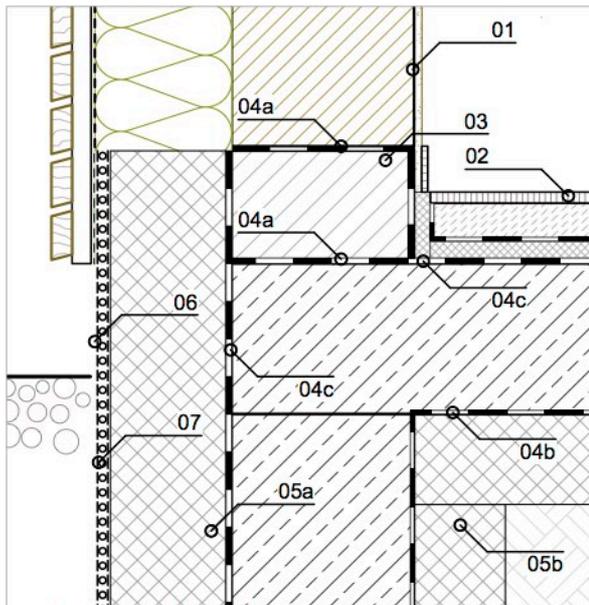
- 1 Lehm-Planstein 24 z.B. 8DF, 1,4RD
- 2 Lehmdünnbettmörtel 1-3mm
- 3 Lehm- oder Kalkputz
- 4 Fußbodenbelag + Estrich
- 5 Trittschalldämmung / Randstreifen
- 6 Sperrbahn / Folie
- 7 Kimmsteinschicht wasserbeständig mind. H15cm

4.4 Sockelanschlüsse

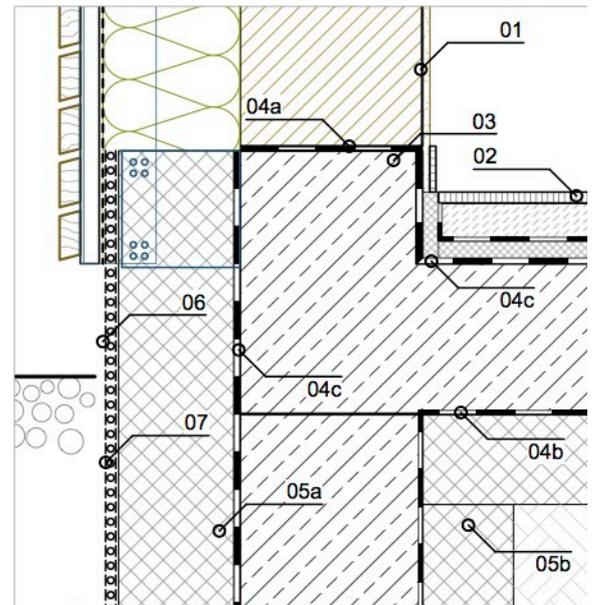
Nachfolgend werden Möglichkeiten für Sockelanschlüsse mit und ohne Keller dargestellt. Besonders ist bei den Sockelanschlüssen, dass das Sockeldämmmaterial bis zur OK Kimmlage geführt wird. Der Sockelrohbau ist bis zur OK Kimmlage flächenabgedichtet. Der Sockel beträgt von der OK Gelände ≥ 30 cm, bis zur OK Kimmsteinlage. Wenn die Sockellinie durch Angleichen des Geländes nach oben verschoben wird, muss die Kimmsteinlage entsprechend dieser Höhe angepasst werden. Die Perimeterdämmung darf nicht übers Lehmmauerwerk geführt werden.

4.4.1 Sockelanschlüsse ohne Keller

Sockelanschlüsse ohne Keller können mit den gängigen Ausführungsmethoden hergestellt werden. Es ist besonders bei den Unterspannbahnen der Vorhangfassade auf eine dichte Verklebung und Befestigung im Übergang auf den Sockelbereich zu achten. Durchstöße von Haltekonsolen sind entsprechend mit der Unterspannbahn abzudichten. Bei Doppelhaltekonsolen ist darauf zu achten, dass die ausgesparte Dämmung im Zwischenraum der Konsolenträger verfüllt wird.



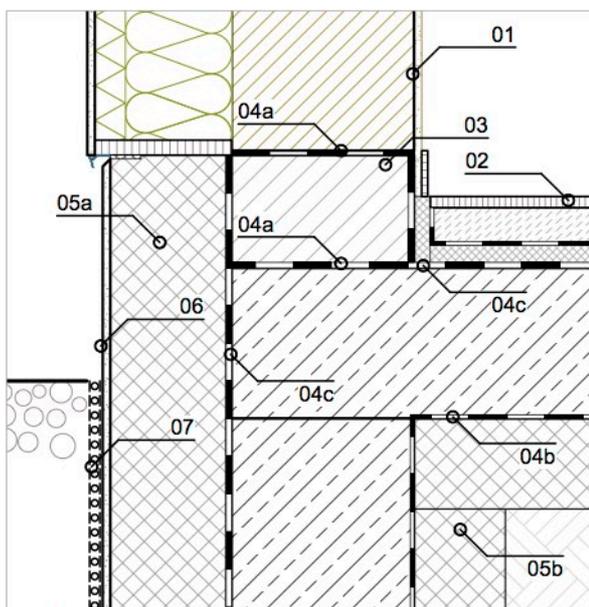
Sockelanschluss VHF – Typ I – a



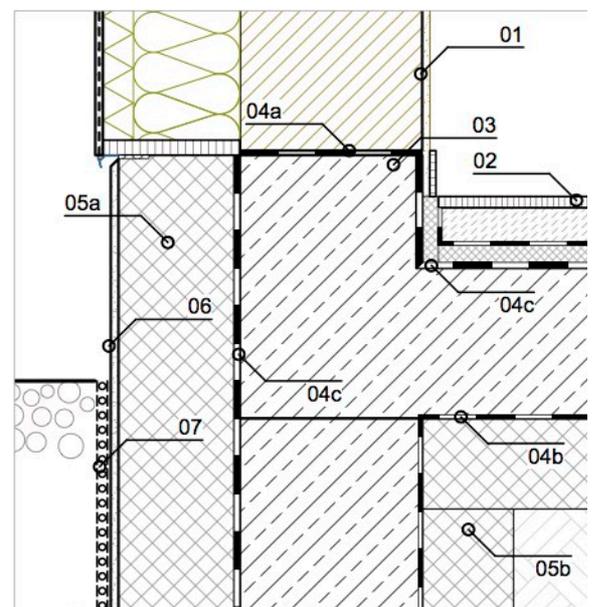
Sockelanschluss VHF – Typ I – b

- 1 Außenwandaufbau Typ II
- 2 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 3 Kimmsteinschicht wasserbeständig mind. H15cm
- 4 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 5 Schaumglasdämmung – a Perimeterd. / b Schüttung
- 6 Sockelblende
- 7 Noppenbahn / Drainschicht

- 1 Außenwandaufbau Typ II
- 2 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 3 Betonaufkantung mind. H15cm
- 4 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 5 Schaumglasdämmung – a Perimeterd. / b Schüttung
- 6 Sockelblende
- 7 Noppenbahn / Drainschicht



Sockelanschluss WDVS – Typ II – a



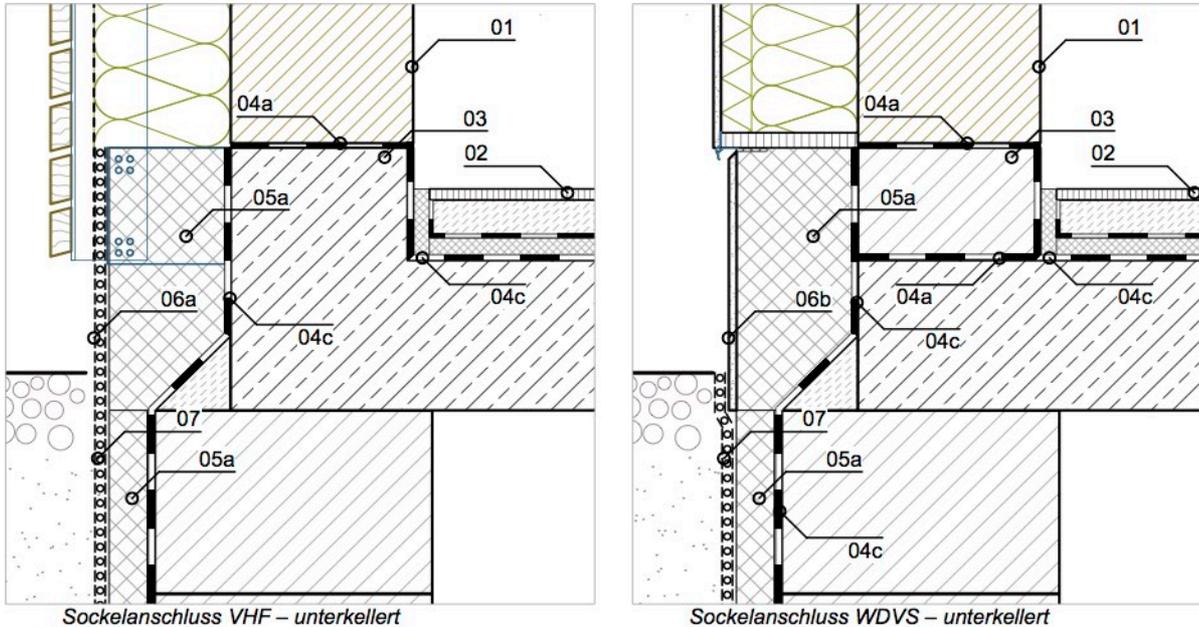
Sockelanschluss WDVS – Typ II – b

- 1 Außenwandaufbau Typ II
- 2 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 3 Kimmsteinschicht wasserbeständig mind. H15cm
- 4 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 5 Schaumglasdämmung – a Perimeterd. / b Schüttung
- 6 Sockelputz
- 7 Noppenbahn / Drainschicht

- 1 Außenwandaufbau Typ II
- 2 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 3 Betonaufkantung mind. H15cm
- 4 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 5 Schaumglasdämmung – a Perimeterd. / b Schüttung
- 6 Sockelputz
- 7 Noppenbahn / Drainschicht

4.4.2 Sockelanschlüsse mit Keller

Ausführung wie oben, nur dass im Bereich des Kelleranschlusses auf eine sorgfältige Abdichtungsführung im Übergangsbereichen geachtet werden muss.

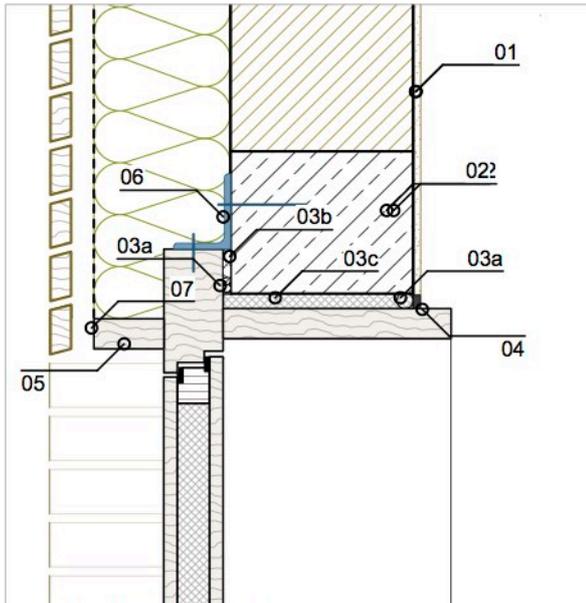


- | | |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich | 8 Überlappung Fassaden Unterspannbahn |
| 2 Fußbodenaufbau – siehe FBA | 9 Kehlausbildung |
| 3 Kimmstein bzw. Betonaufkantung – mind. H15cm | 10 Kellermauerwerk 36,5 |
| 4 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung | |
| 5 Schaumglasdämmung – a Perimeterd. / b Schüttung | |
| 6 a Sockelblende / b Sockelputz | |
| 7 Noppenbahn / Drainschicht | |

4.5 Fenster und Hauseingangstüren

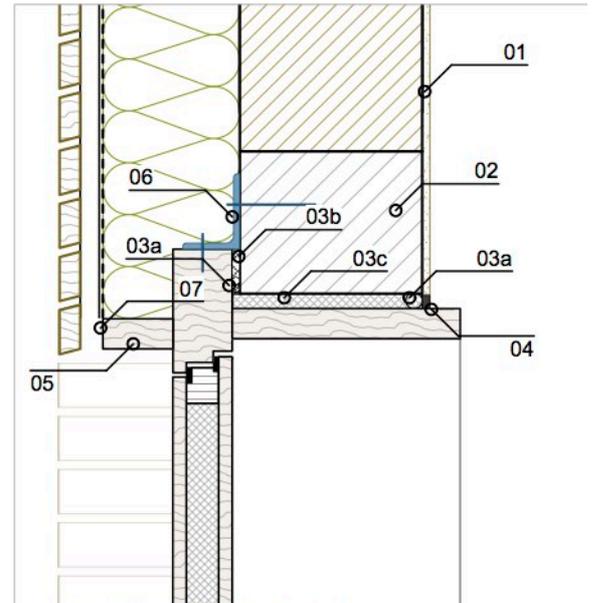
Fenster und Türen benötigen neben der sorgfältigen Eindichtung in die Fassadenebene ausreichend Festigkeit in der Verankerung. Es ist daher sinnvoll die Einbauteile mittels Haltewinkel direkt auf das Mauerwerk entfernt vom Rand zu befestigen um die größtmögliche Materialfestigkeit des Steins zu garantieren.

Die zweite Besonderheit stellt hier die Einbindung des Sturzkörpers dar. Da dieser aus einem festeren Material, das weniger elastisch ist, sein wird, kann dies zu Setzungsrisen führen. Um die Setzung zu kompensieren, wird unterhalb der Sturzauflegerflächen ein Elastomerbahnlager mit geringerem E-Modul ausgelegt.



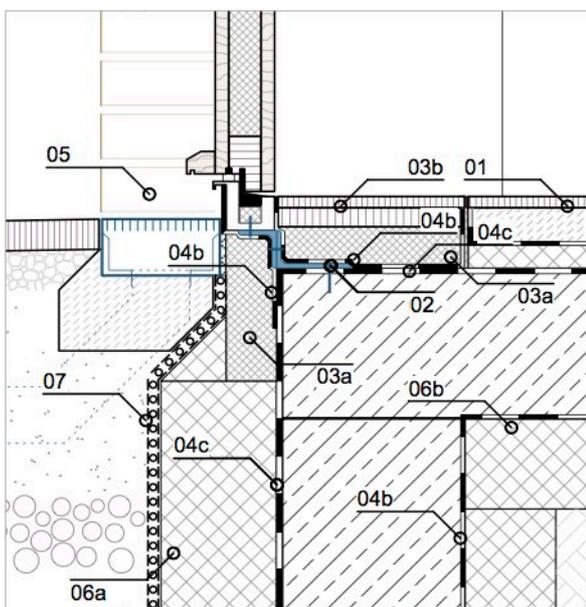
Anschluss Haustür oben – a

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Betonbalken-Sturz
- 3 a Dichtungsstreifen / b Kompriband / c Stopfdämmung
- 4 dauerelastische Fuge
- 5 Anschlussbrett
- 6 Stahlwinkelbefestigung
- 7 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn



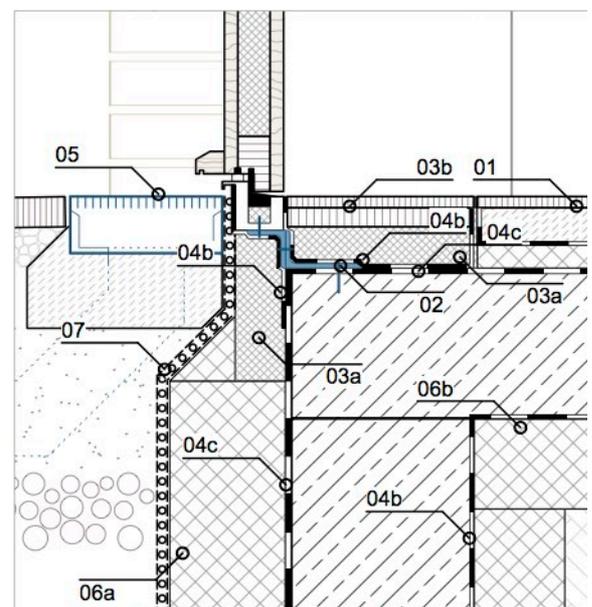
Anschluss Haustür oben – b

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Mauerwerk-Sturz
- 3 a Dichtungsstreifen / b Kompriband / c Stopfdämmung
- 4 dauerelastische Fuge
- 5 Anschlussbrett
- 6 Stahlwinkelbefestigung
- 7 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn



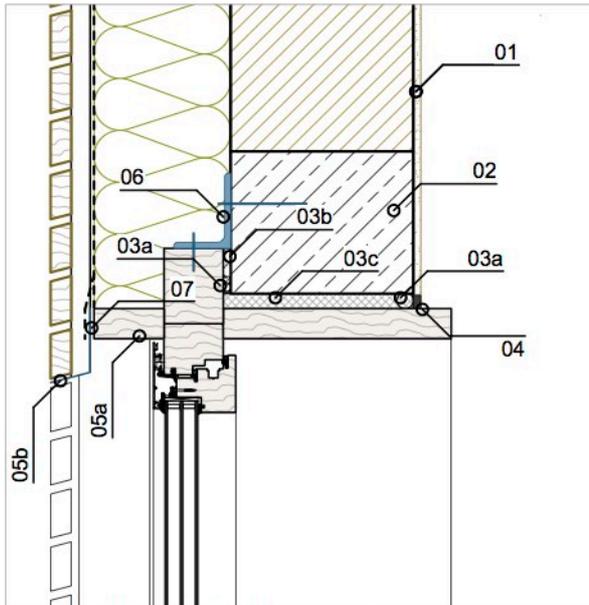
Haustürschwelle nach DIN 18531-1

- 1 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 2 Stahlwinkelbefestigung
- 3 a trittfeste Dämmung / b entkoppelter Bodenaufbau
- 4 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 5 Entwässerungsrinne mind. 15cm mit dir. Anschluss
- 6 Schaumglasdämmung – a Perimeterd. / b Schüttung
- 7 Noppenbahn / Drainschicht



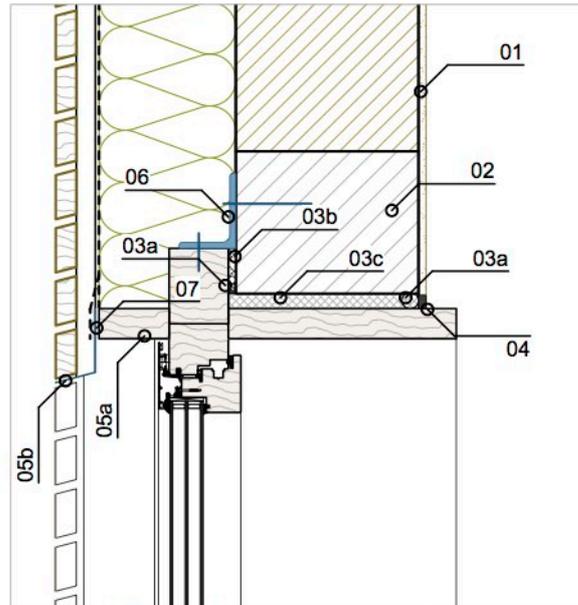
Haustürschwelle nach DIN 18040-2

- 1 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 2 Stahlwinkelbefestigung
- 3 a trittfeste Dämmung / b entkoppelter Bodenaufbau
- 4 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 5 Entwässerungsrinne ca. 20cm mit dir. Anschluss
- 6 Schaumglasdämmung – a Perimeterd. / b Schüttung
- 7 Noppenbahn / Drainschicht



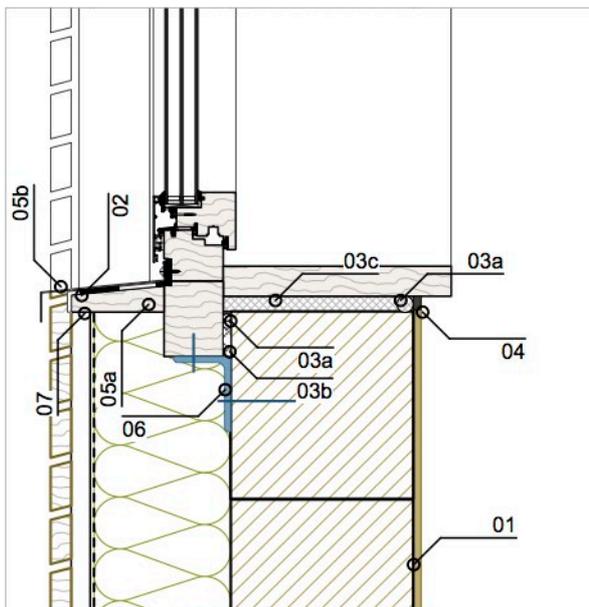
Anschluss Fenster oben – a

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Betonbalken-Sturz
- 3 a Dichtungsstreifen / b Kompriband / c Stopfdämmung
- 4 dauerelastische Fuge
- 5 a Anschlussbrett / b Wasserleitprofil
- 6 Stahlwinkelbefestigung
- 7 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn



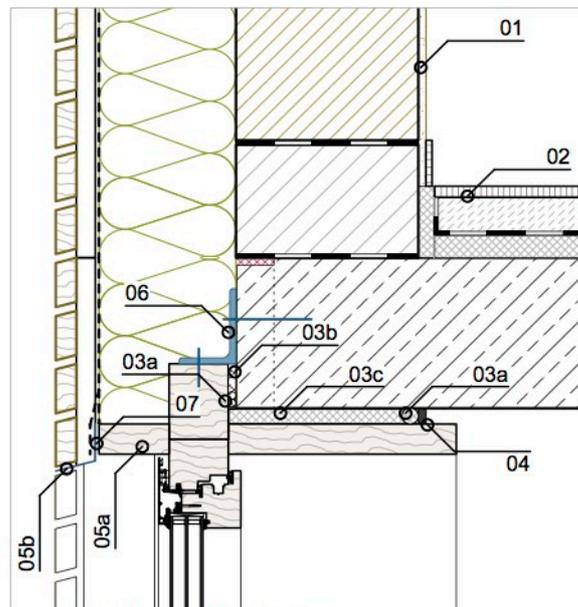
Anschluss Fenster oben – b

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Mauerwerk-Sturz
- 3 a Dichtungsstreifen / b Kompriband / c Stopfdämmung
- 4 dauerelastische Fuge
- 5 a Anschlussbrett / b Wasserleitprofil
- 6 Stahlwinkelbefestigung
- 7 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn



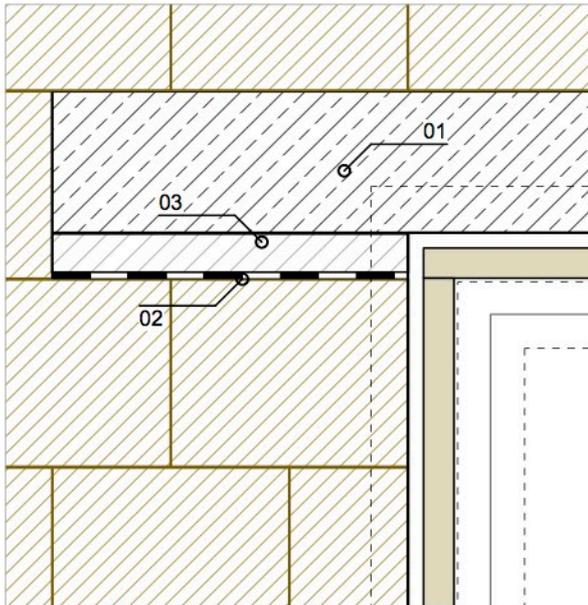
Anschluss Fenster Brüstung

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 EPDM-Dichtungsbahn
- 3 a Dichtungsstreifen / b Kompriband / c Stopfdämmung
- 4 dauerelastische Fuge
- 5 a Anschlussbrett / b Wasserleitprofil
- 6 Stahlwinkelbefestigung
- 7 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn

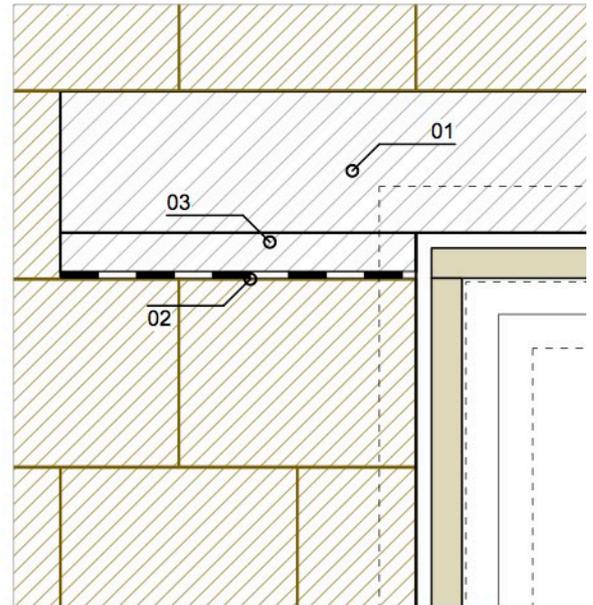


Anschluss Fenster oben – c

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Fußbodenaufbau Typ FBA
- 3 a Dichtungsstreifen / b Kompriband / c Stopfdämmung
- 4 dauerelastische Fuge
- 5 a Anschlussbrett / b Wasserleitprofil
- 6 Stahlwinkelbefestigung
- 7 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn



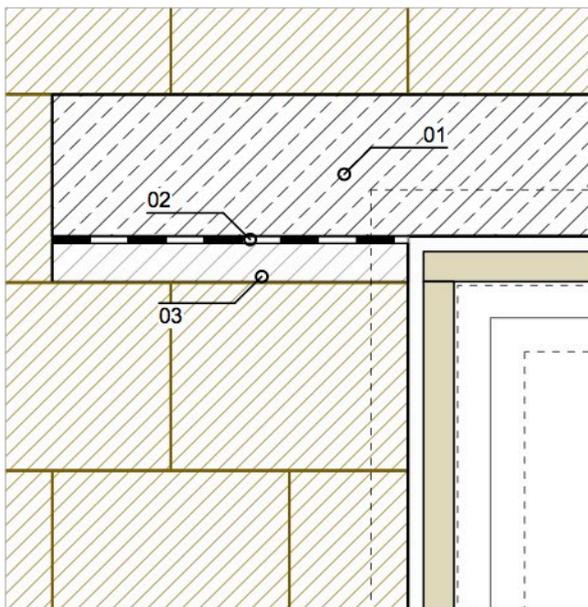
Anschluss Fenster Sturzeinbindung Typ I – a



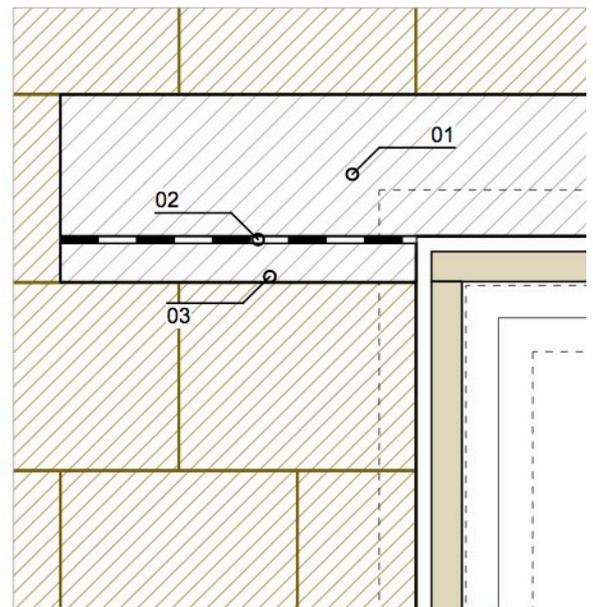
Anschluss Fenster Sturzeinbindung Typ I – b

- 1 Betonbalken-Sturz
- 2 Elastomerbahn als Setzungslager
- 3 Füllsteinauflager z.B. Leichtbeton

- 1 Mauerwerk-Sturz
- 2 Elastomerbahn als Setzungslager
- 3 Füllsteinauflager z.B. Leichtbeton



Anschluss Fenster Sturzeinbindung Typ II – a



Anschluss Fenster Sturzeinbindung Typ II – b

- 1 Betonbalken-Sturz
- 2 Elastomerbahn als Setzungslager
- 3 Füllsteinauflager z.B. Leichtbeton

- 1 Mauerwerk-Sturz
- 2 Elastomerbahn als Setzungslager
- 3 Füllsteinauflager z.B. Leichtbeton

4.6 Deckenanschlüsse

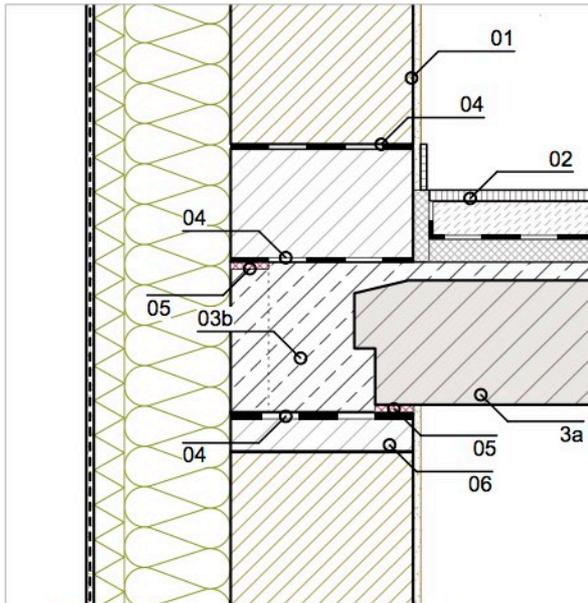
Es werden unterschiedliche Bauweisen vorgestellt. Die erste Gruppe beinhaltet alle gängigen Ausführungsvarianten Fertig-, Teilfertig und Ortbetondecken. Alle Varianten der Steindecken werden schlussendlich bauseitig mit Beton endvergossen.

Holzbalkendecken stellen die zweite Gruppe dar, wobei sich die Varianten in der Anschlussausführung unterscheiden.

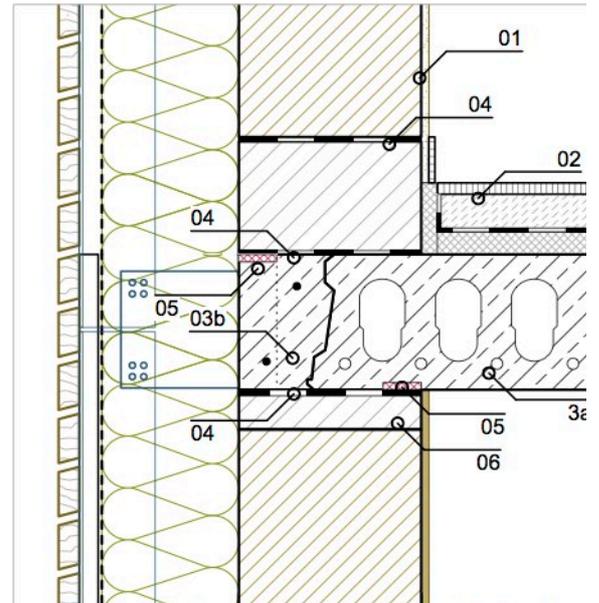
Besonders ist bei allen Konstruktionen, dass es bei allen Varianten eine balkenartige Ausbildung der Deckeneinbindung gibt. Mittels eines elastischen Zentrierstreifens soll, durch das Eigengewicht der Decke auftretende Biegemomente, eine Lastexzentrizität möglichst verhindert werden. Zum anderen soll die Kantenpressung und Schäden am Mauerwerk verhindert werden.

4.6.1 Deckenanschlusstypen – Steindecken

Nachfolgend die Varianten der Steindecken



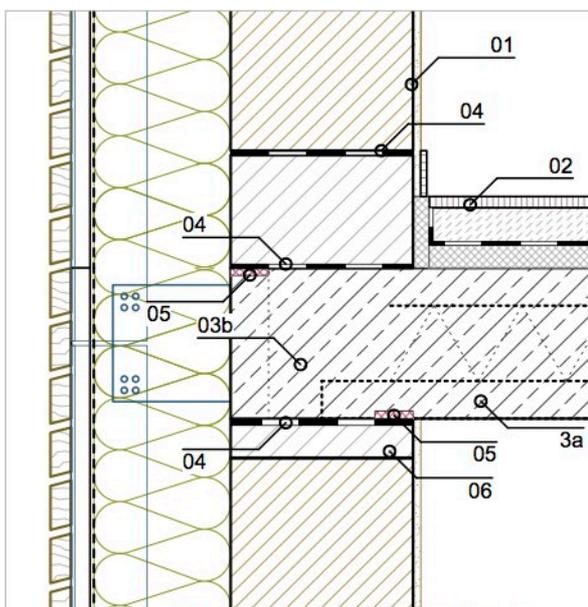
Deckenanschluss Typ III – Ziegeleinhangdecke – a



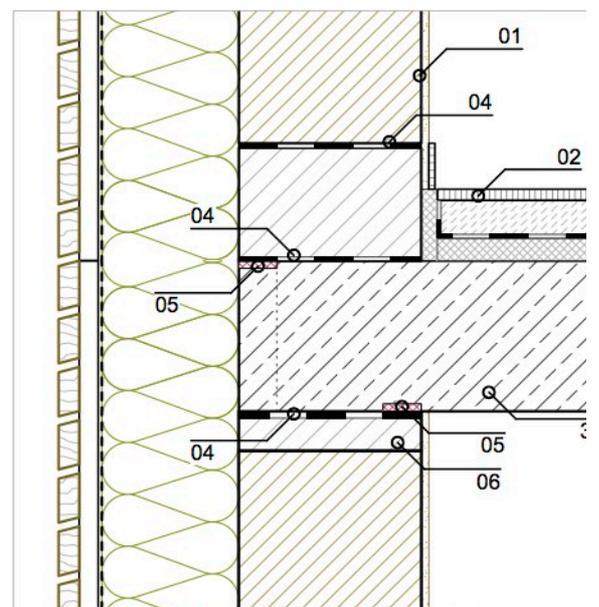
Deckenanschluss Typ I – Hohldielen-FT-Decke – b

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Fußbodenaufbau – Typ FBA
- 3 a Ziegeleinhangkörper / b Ortbetonverguss
- 4 Sperrbahn
- 5 Zentriestreifen, Elastomerlager / Holzweichfaserstreifen
- 6 Wandkronenstein wasserbeständig z.B. Leichtbeton

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Fußbodenaufbau – Typ FBA
- 3 a Hohldielenfertigteile / b Ortbetonverguss
- 4 Sperrbahn
- 5 Zentriestreifen, Elastomerlager / Holzweichfaserstreifen
- 6 Wandkronenstein wasserbeständig z.B. Leichtbeton



Deckenanschluss Typ I – Filigran-HFT-Decke – b



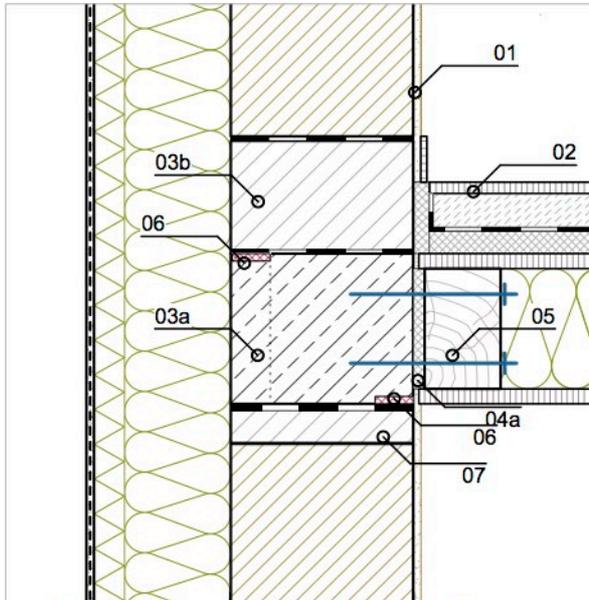
Deckenanschluss Typ I – Ortbeton-Decke – a

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Fußbodenaufbau – Typ FBA
- 3 a Halbfertigteilelement / b Ortbetonverguss
- 4 Sperrbahn
- 5 Zentriestreifen, Elastomerlager / Holzweichfaserstreifen
- 6 Wandkronenstein wasserbeständig z.B. Leichtbeton

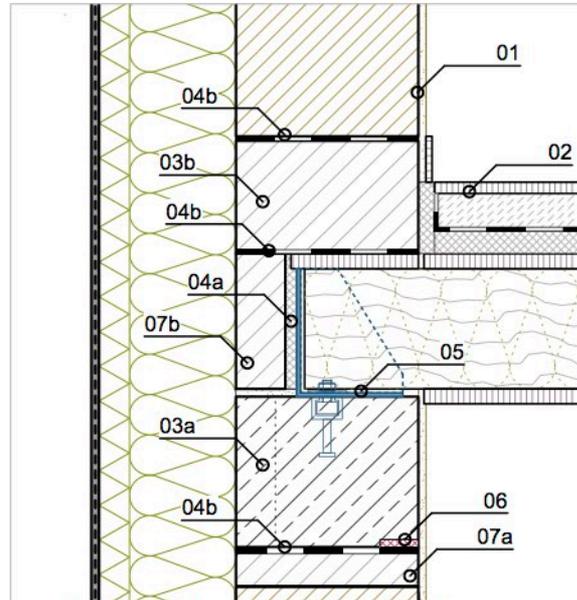
- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Fußbodenaufbau – Typ FBA
- 3 Ortbetondecke
- 4 Sperrbahn
- 5 Zentriestreifen, Elastomerlager / Holzweichfaserstreifen
- 6 Wandkronenstein wasserbeständig z.B. Leichtbeton

4.6.2 Deckenanschlüsse – Holzbalkendecken

Nachfolgend die Anschlussvarianten der Holzbalkendecken. Holzbalkendecken müssen je nach Anforderung feuerhemmend bis feuerbeständig ausgebildet werden.



Deckenanschluss Typ II – Holzbalkendecke – a

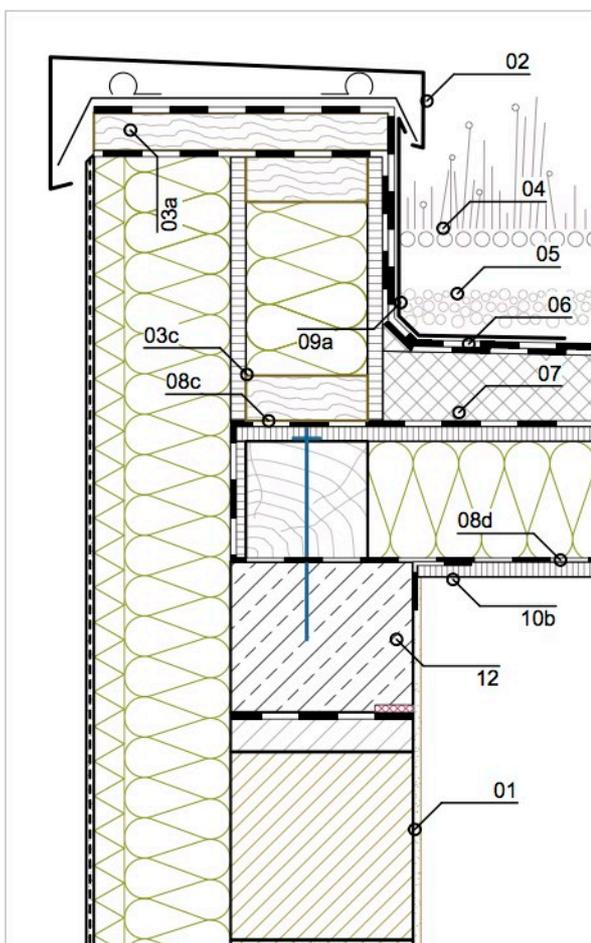
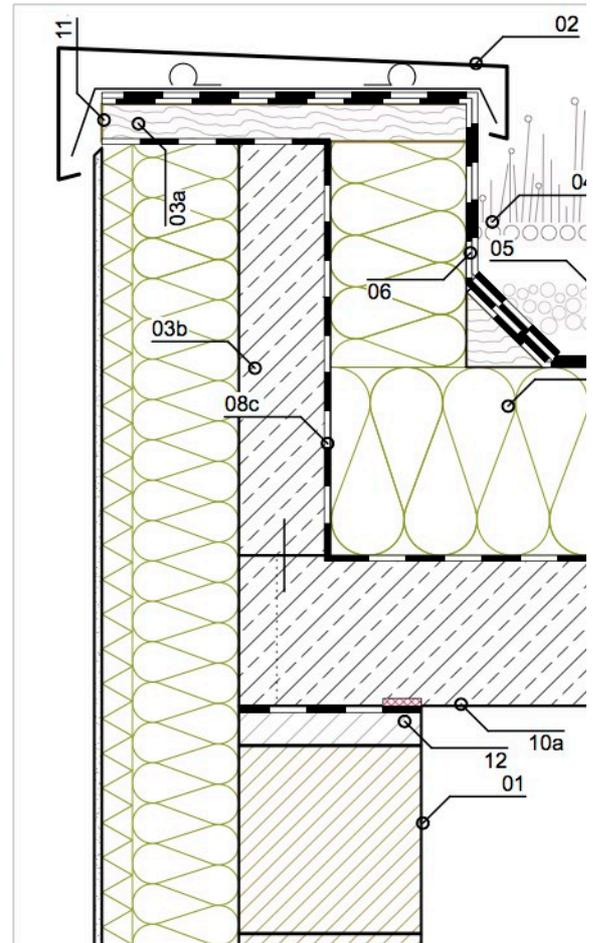
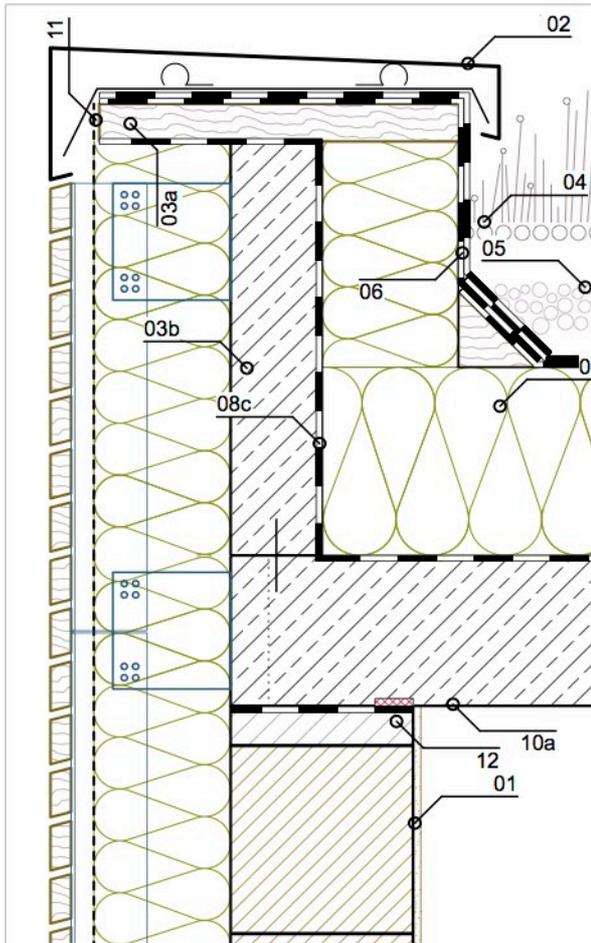


Deckenanschluss Typ II – Holzbalkendecke – b

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich 2 Fußbodenaufbau – Typ FBA 3 a Beton-Ringbalken / b Kimmsteinlage mind. H15cm 4 a Randstreifen / b Sperrbahn 5 Balkendirektbefestigung (od. über Balkenschuh) 6 Zentriestreifen, Elastomerlager / Holzweichfaserstreifen 7 Wandkronenstein wasserbeständig z.B. Leichtbeton | <ol style="list-style-type: none"> 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich 2 Fußbodenaufbau – Typ FBA 3 a Beton-Ringbalken / b Kimmsteinlage mind. H15cm 4 a Randstreifen / b Sperrbahn 5 Stahlwinkelbefestigung / Balkenschuh 6 Zentriestreifen, Elastomerlager / Holzweichfaserstreifen 7 a Kronenstein / b Randstein wasserbeständig |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

4.6.3 Dachanschlüsse – Flachdachtypen

Nachfolgend die verschiedenen Anschlussvarianten von Flachdächern. Flachdächer in Verbindung mit Lehmmauerwerk können in mit den gängigen Ausführungsmethoden hergestellt werden. Die Dachhaut als sensibles Bauteil muss besonders sorgfältig verlegt werden. Rissbildungen und oder Faltenbildungen sind mit geeigneten Maßnahmen zu verhindern. Die Dachentwässerung erfolgt zentral über Schachtwände nichttragender Schachtwandkonstruktionen – bspw. direkt eingebunden in eine Sanitärschachtwand. Flachdächer sind in regelmäßigen Abständen zu Warten und deren korrekte Funktionsweise zu kontrollieren.



Dachanschluss Flachdach Typ I – a (links oben)
Dachanschluss Flachdach Typ I – b (rechts oben)
Dachanschluss Flachdach Typ II (links unten)

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich
- 2 Attikablech
- 3 a Bohle / b Attika-UK Beton-FT / c Attika-UK Holzrahm
- 4 extensive Dachbegrünung mit durchwurzlungssicherer Dichtungsbahn unterhalb der Substratschicht
- 5 Dachauflast (Kies)
- 6 Dachabdichtungsbahn mind. zweilagig
- 7 Gefälledämmung / Dachdämmung
- 8 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung / d Dampfbrücke
- 9 a Wasserleitprofil / b dauerelastische Fuge
- 10 a Stahlbetondecke / b Holzbalkendecke mit Ringbalken
- 11 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn
- 12 siehe Deckenanschlussdetail

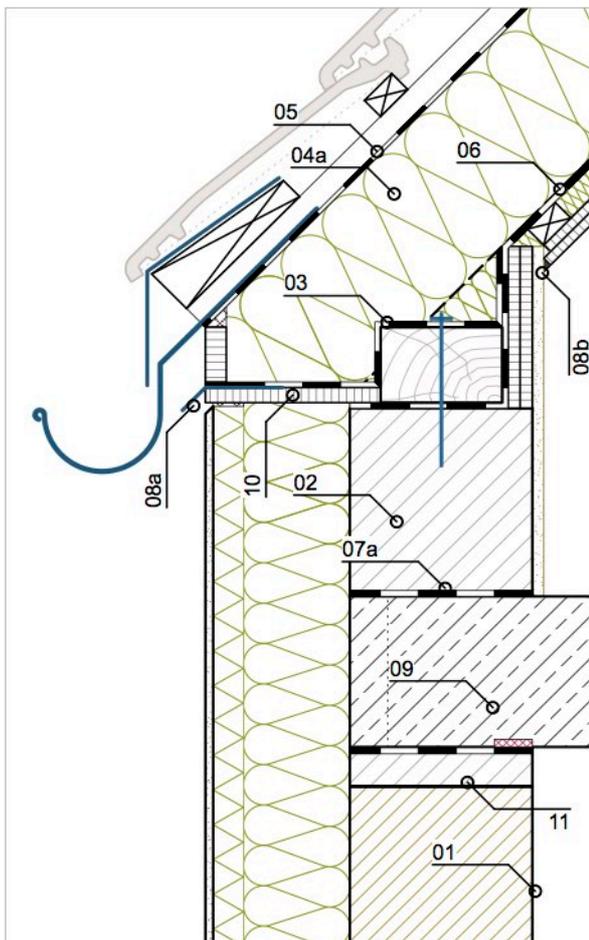
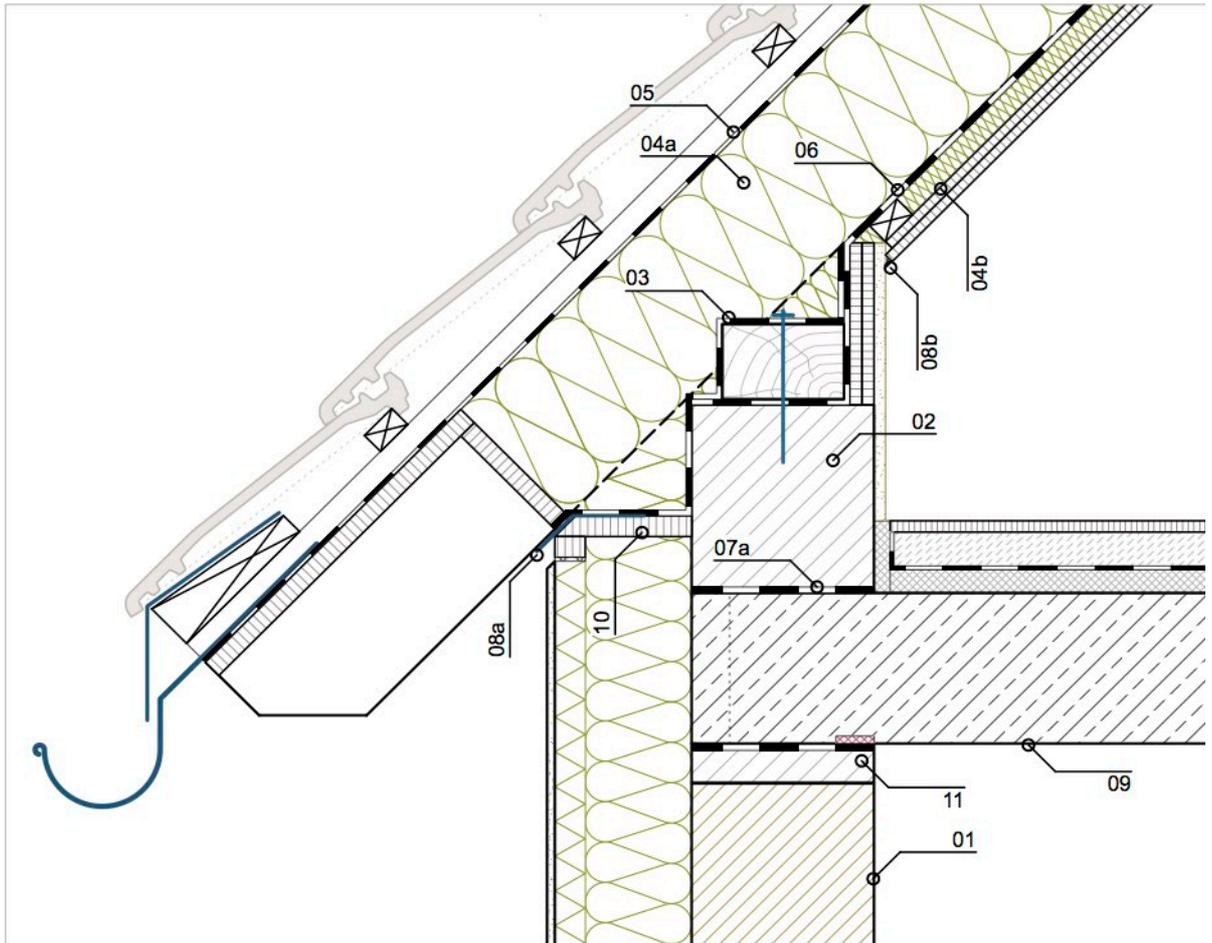
4.6.4 Dachanschlüsse – Satteldachtypen Fassadenübergänge

Die Ausführung der Satteldachanschlüsse erfolgen nach den gängigen Ausführungsmethoden. Die Besonderheit ist eine weitere redundante Abdichtungsbahn auf der Mauerkrone des Kniestocks bzw. der Pfettenauflage (Die Pfetten werden mit eingedichtet) um bei einem eventuellen Schaden oberhalb eindringendes Wasser am Mauerwerk zu verhindern. Die Abdichtungsbahn wird bis zur äußeren Fassadenhaut verlegt und an einem Wasserleitprofil befestigt. Die Unterspannbahn sollte diffusionsoffen und schlagregendicht sein, so dass eindringendes Wasser unterhalb der Deckung abgeleitet wird.

Es werden zwei verschiedene Satteldachtypen mit je einem anderen Fassadenmaterial vorgestellt:

1. Satteldach mit Dachüberstand
 - a. Diffusionsoffenes WDVS
 - b. Vorhangfassade mit diffusionsoffenem Aufbau
2. Satteldach ohne Überstand
 - a. Diffusionsoffenes WDVS
 - b. Vorhangfassade mit diffusionsoffenem Aufbau

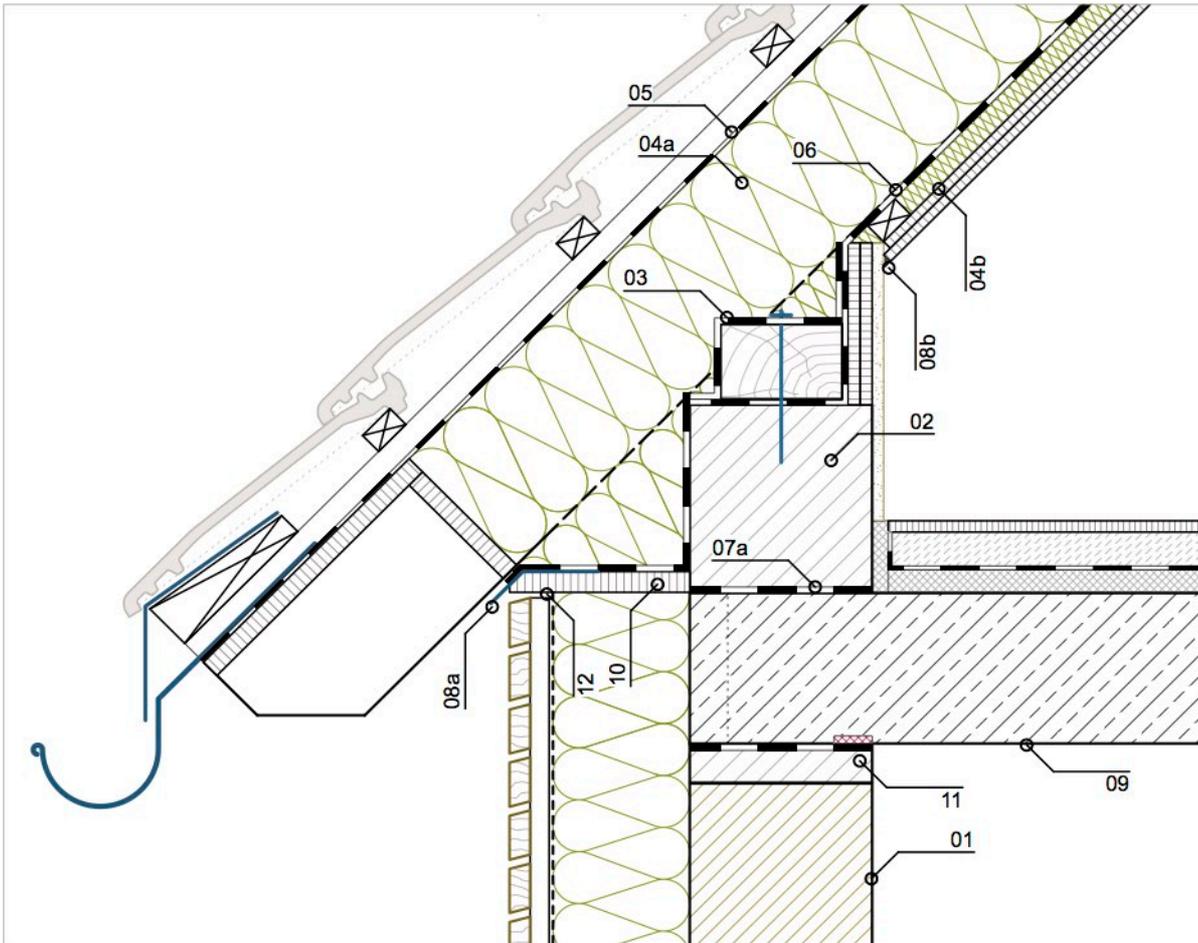
Für das Satteldach ohne Dachüberstand ist anzumerken, dass der Dachüberstand bei Ausführung einer redundanten Dichtung nicht notwendig ist. Zum anderen wird die Fassadenunterspannbahn bei der Vorhangfassadenkonstruktion an das Anschlussbrett so befestigt, dass kein Wasser in die Wandkonstruktion bei Schlagregen eindringen kann. Die Unterspannbahn ist diffusionsoffen und schlagregendicht.



Dachanschluss Satteldach Typ I a (oben)

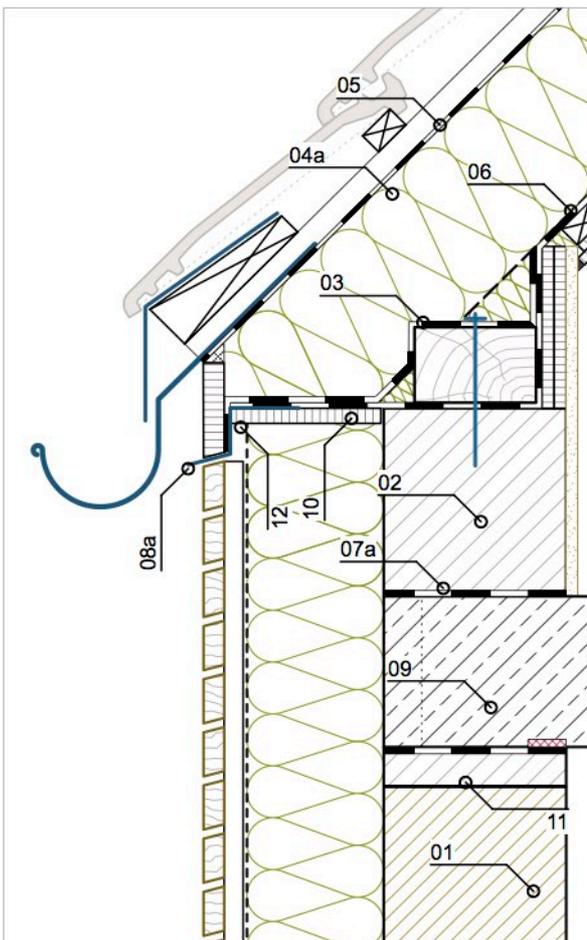
Dachanschluss Satteldach Typ II b (links unten)

- 1 Außenwandaufbau Typ II
- 2 Pfettenaufleger, Mauerwerkslage
z.B. U-Leichtbetonsteine verfüllt
- 3 EPDM-Bahn (redundanter Abdichtungsstreifen)
- 4 a Sparrendämmung / b UK Ausbau
- 5 Unterspannbahn
- 6 Dampfbremse
- 7 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 8 a Wasserleitprofil / b dauerelastische Fuge
- 9 Stahlbetondecke (Holzbalkendecke möglich)
- 10 Anschlussbrett / Klebeanschluss Fassadenunter-
spannbahn
- 11 siehe Deckenanschlussdetail



Dachanschluss Satteldach Typ I b (oben)

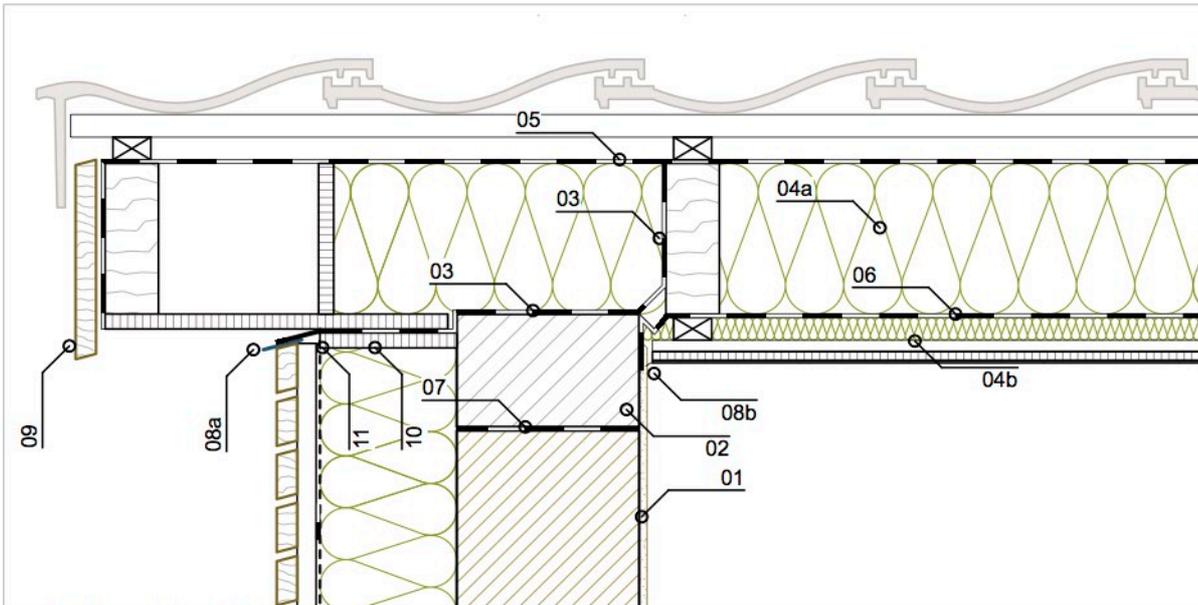
Dachanschluss Satteldach Typ II b (links unten)



- 1 Außenwandaufbau Typ I
- 2 Pfettenauflager, Mauerwerkslage
z.B. U-Leichtbetonsteine verfüllt
- 3 EPDM-Bahn (redundanter Abdichtungsstreifen)
- 4 a Sparrendämmung / b UK Ausbau
- 5 Unterspannbahn
- 6 Dampfbremse
- 7 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 8 a Wasserleitprofil / b dauerelastische Fuge
- 9 Stahlbetondecke (Holzbalkendecke möglich)
- 10 Anschlussbrett / Klebeanschluss Fassadenunter-
spannbahn
- 11 siehe Deckenanschlussdetail
- 12 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn

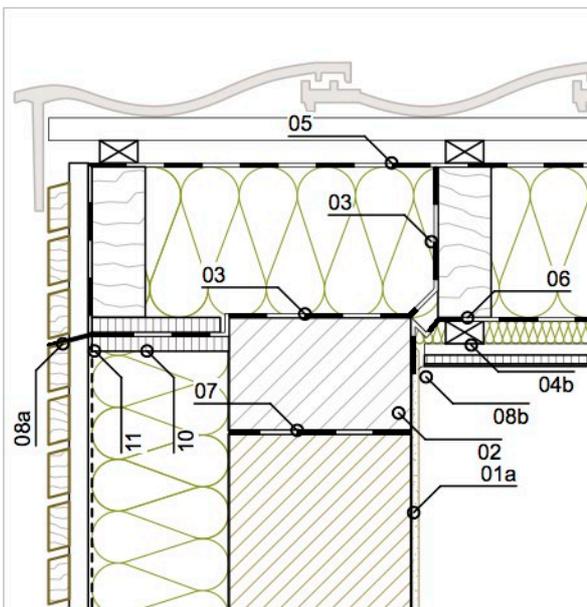
4.6.5 Dachanschlüsse – Satteldach Ortgangtypen

Die Ausführung der Ortganganschlüsse erfolgen nach den gängigen Ausführungsmethoden. Die Besonderheit ist eine weitere redundante Abdichtungsbahn auf der Mauerkrone des Giebels um bei einem eventuellen Schaden oberhalb eindringendes Wasser am Mauerwerk zu verhindern. Die Abdichtungsbahn wird bis zur äußeren Fassadenhaut verlegt und an einem Wasserleitprofil befestigt. Die Unterspannbahn sollte diffusionsoffen und schlagregendicht sein, so dass eindringendes Wasser unterhalb der Deckung abgeleitet wird.

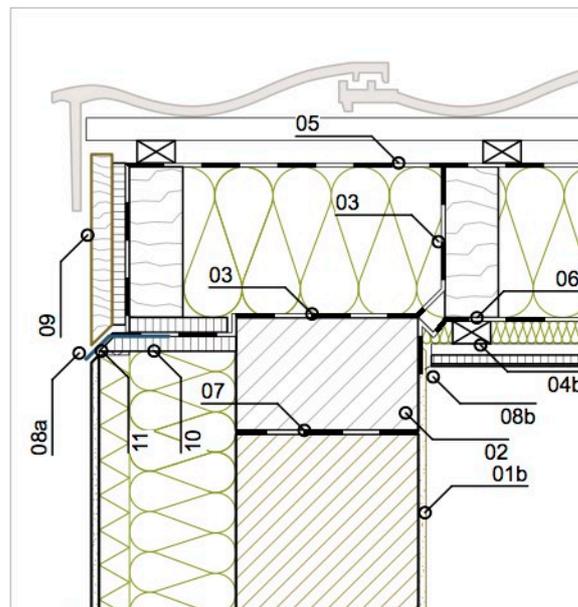


Dachanschluss Satteldach Typ I

- | | |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II möglich | 7 Trennlage |
| 2 Abgleichsschicht Giebelmauerwerk z.B. U-Leichtbetonsteine verfüllt | 8 a Wasserleitprofil / b dauerelastische Fuge |
| 3 EPDM-Bahn (redundanter Abdichtungsstreifen) | 9 Wetterbrett |
| 4 a Sparrendämmung / b UK Ausbau | 10 Anschlussbrett |
| 5 Unterspannbahn | 11 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn |
| 6 Dampfbremse | |



Dachanschluss Satteldach Typ II a

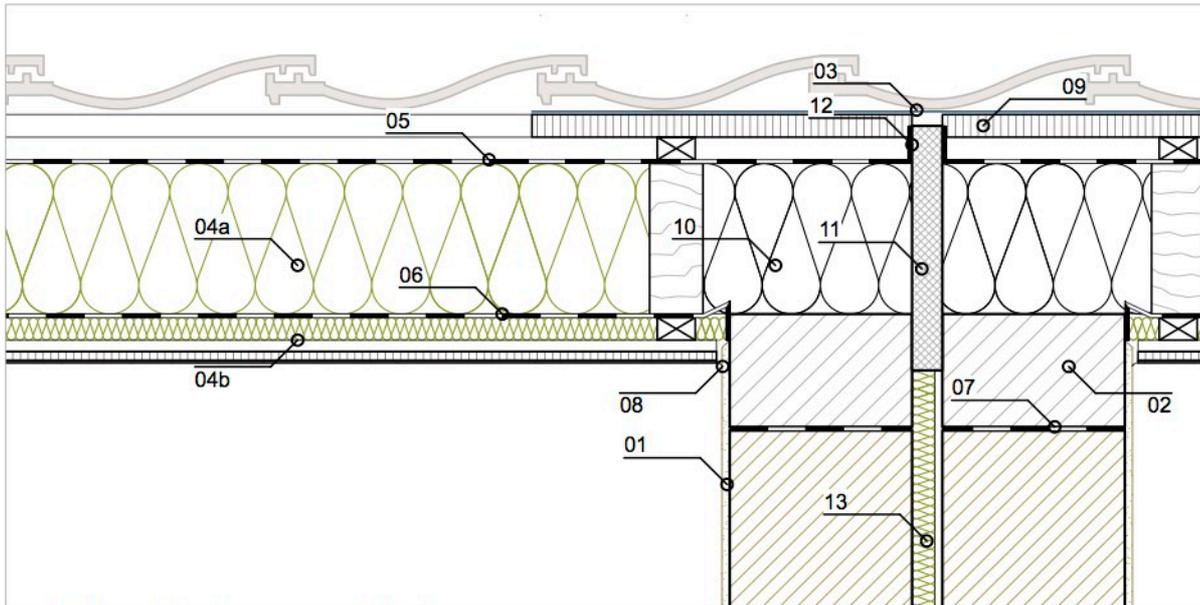


Dachanschluss Satteldach Typ II b

- | | |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 Außenwandaufbau a Typ I / b Typ II | 7 Trennlage |
| 2 Abgleichsschicht Giebelmauerwerk z.B. U-Leichtbetonsteine verfüllt | 8 a Wasserleitprofil / b dauerelastische Fuge |
| 3 EPDM-Bahn (redundanter Abdichtungsstreifen) | 9 Stahlbetondecke (Holzbalkendecke möglich) |
| 4 a Sparrendämmung / b UK Ausbau | 10 Anschlussbrett |
| 5 Unterspannbahn | 11 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn |
| 6 Dampfbremse | |

4.6.6 Dachanschlüsse – Haustrennwand Systemschnitt alle Geschosse

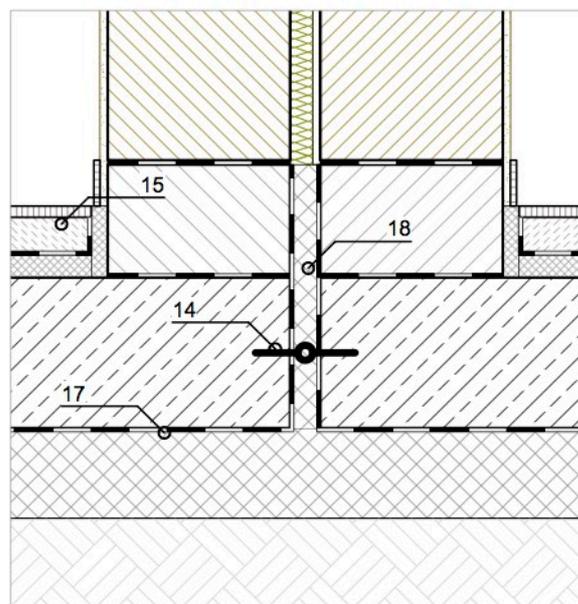
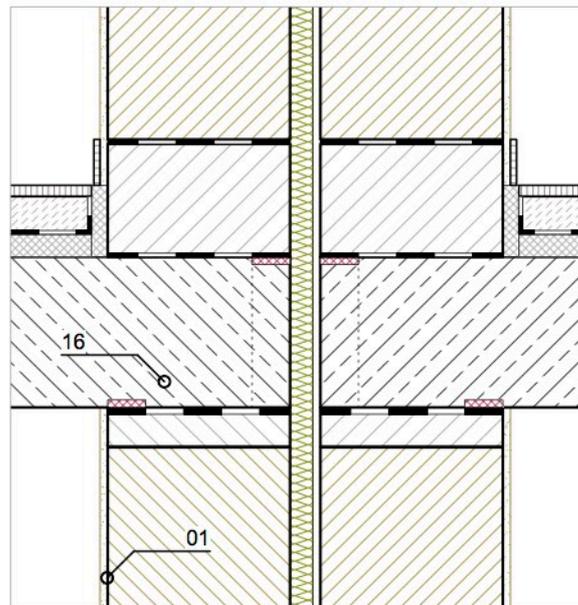
Werden z.B. Reihenhäuser hergestellt, sind diese konstruktiv voneinander getrennt zu errichten. Im Bereich des Dachs muss der Brandüberschlag verhindert werden. Darüber wird mit einem feuerfesten bahnflächigen Material eine redundante Abdichtung hergestellt. Darüber soll verhindert werden, dass im Spaltbereich der Häusertrennwand bei einem eventuellen Schadensfall der Dachdeckung Wasser eindringen und die Standfestigkeit gefährden kann. Im Bereich der Wand kann mit üblichen Schalldämmmatten der Spalt ausgefüllt werden. Im Bodenplattenanschlussbereich ist die wasserfeste Dämmung bis zur Oberkante Kimmstein zu führen. Der Sockelbereich ist im Spaltbereich vor Einbringung der Dämmung mit einer Flächenabdichtung bis zur OK Kimmsteinschicht abzudichten.



Dachanschluss Haustrennwand (oben)

Haustrennwand Deckenanschluss (mittig)

Haustrennwand Bodenplattenanschluss (unten)



- 1 siehe Detail Innenwandaufbau Haustrennwand
- 2 Abgleichsschicht Giebelmauerwerk z.B. U-Leichtbetonsteine verfüllt
- 3 Deckblechstreifen A1 (redundanter Abdichtungsstreifen)
- 4 a Sparrendämmung / b UK Ausbau
- 5 Unterspannbahn
- 6 Dampfbremse
- 7 Trennlage
- 8 dauerelastische Fuge
- 9 mineralische Feuerschutzplatte A1
- 10 Mineralwolle A1
- 11 mineralische Dämmstoffplatte A1
- 12 Klebeanschluss Fassadenunterspannbahn
- 13 Dämmplatte 30mm / Fingerspalt
- 14 Fugenband mit angeformter Mittelschlauchummantelung
- 15 siehe Fußbodenanschlussdetail FBA
- 16 siehe Deckenanschlussdetail
- 17 siehe Schichtaufbau Sockelanschluss
- 18 Perimeterdämmung z.B. Schaumglas

4.7 Treppenanschlüsse

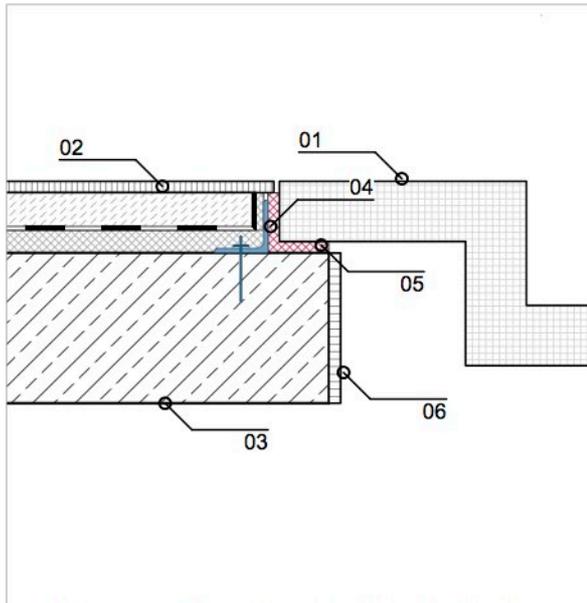
Nachfolgend werden zwei Treppenarten gezeigt. Die Besonderheit liegt hier in den Zwischenbefestigungen von Treppen oder Treppenpodesten.

4.7.1 Innenliegende Treppenanschlüsse

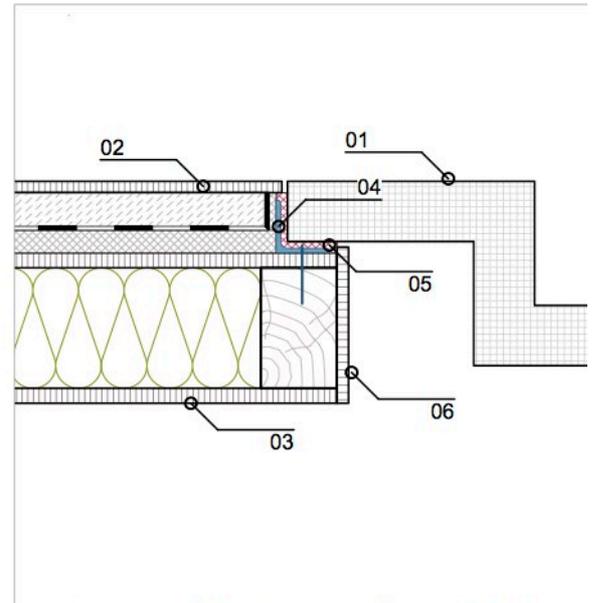
Bei innenliegenden Treppen für die Gebäudeklassen 1-2 können leichte Treppenbauarten verwendet werden, die:

- entweder keine Zwischenbefestigung benötigen, oder
- deren bspw. Holzpodeste oder Wangen mit gängigen Methoden im Lehmmauerwerk verankert werden können (z.B. mit chemischen Verankerungen und einer Winkelbefestigung).

Darüber hinaus ist es denkbar eine Lage z.B. Leichtbetonsteine oder bei zu erwartenden höheren Punktlasten einen Betonbalken mit Elastomerbahnlagerung einzubringen. Das Elastomer kompensiert das Setzungsverhalten unterschiedlicher Materialien mit unterschiedlicher Elastizität.



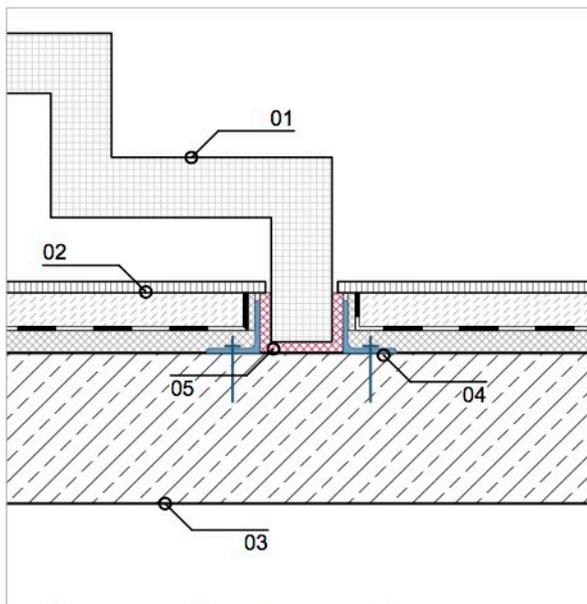
Treppenanschluss oben – innenliegend – Typ I a



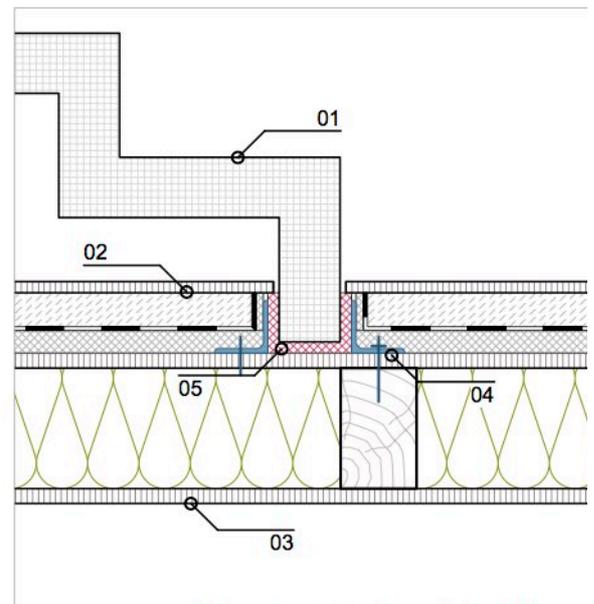
Treppenanschluss oben – innenliegend – Typ I b

- 1 Faltwerktreppe z.B. aus Faserbeton nach DE102010018348 A1
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Stahlbetondecke
- 4 Stahlwinkelanschluss
- 5 Elastomerlager (Schallenkopplung)
- 6 Blende

- 1 Faltwerktreppe z.B. aus Faserbeton nach DE102010018348 A1
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Holzbalkendecke
- 4 Stahlwinkelanschluss
- 5 Elastomerlager (Schallenkopplung)
- 6 Blende



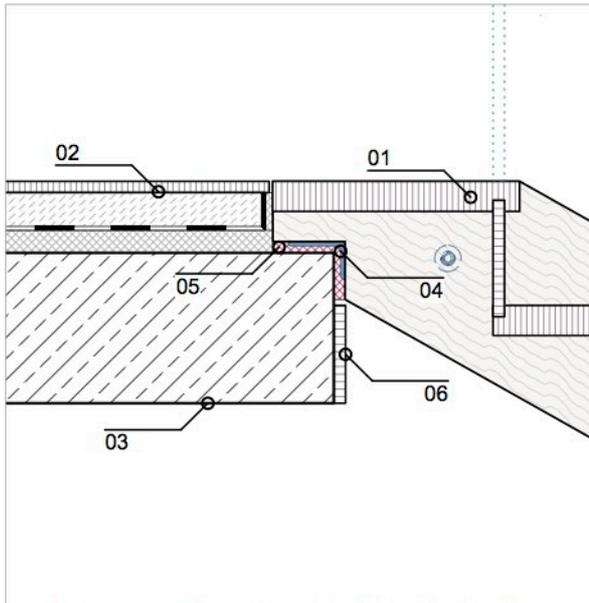
Treppenanschluss unten – innenliegend – Typ I a



Treppenanschluss unten – innenliegend – Typ I b

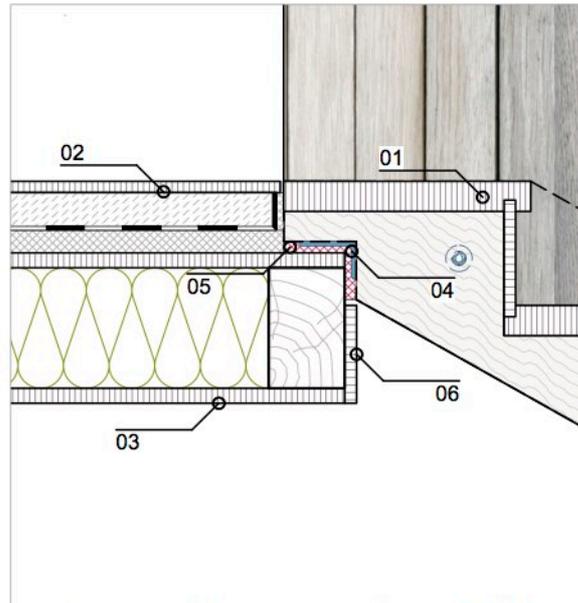
- 1 Faltwerktreppe z.B. aus Faserbeton nach DE102010018348 A1
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Stahlbetondecke
- 4 Stahlwinkelanschluss
- 5 Elastomerlager (Schallenkopplung)
- 6 Blende

- 1 Faltwerktreppe z.B. aus Faserbeton nach DE102010018348 A1
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Holzbalkendecke
- 4 Stahlwinkelanschluss
- 5 Elastomerlager (Schallenkopplung)
- 6 Blende



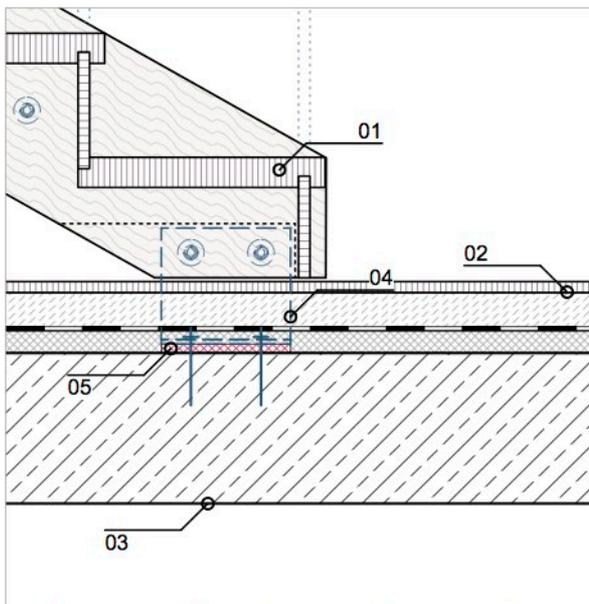
Treppenanschluss oben – innenliegend – Typ II a

- 1 Holzwangentreppe
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Stahlbetondecke
- 4 Stahlwinkelanschluss
- 5 Elastomerlager (Schallkopplung)
- 6 Blende



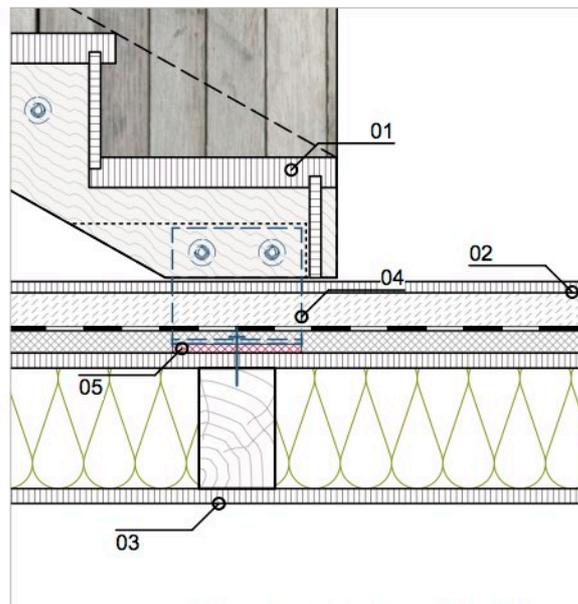
Treppenanschluss oben – innenliegend – Typ II b

- 1 Holzwangentreppe
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Holzbalkendecke
- 4 Stahlwinkelanschluss
- 5 Elastomerlager (Schallkopplung)
- 6 Blende



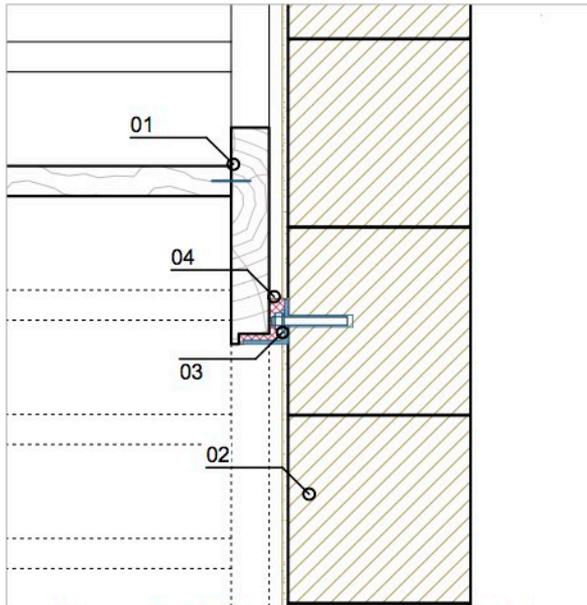
Treppenanschluss unten – innenliegend – Typ II a

- 1 Holzwangentreppe
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Stahlbetondecke
- 4 Stahlwinkelanschluss
- 5 Elastomerlager (Schallkopplung)
- 6 Blende

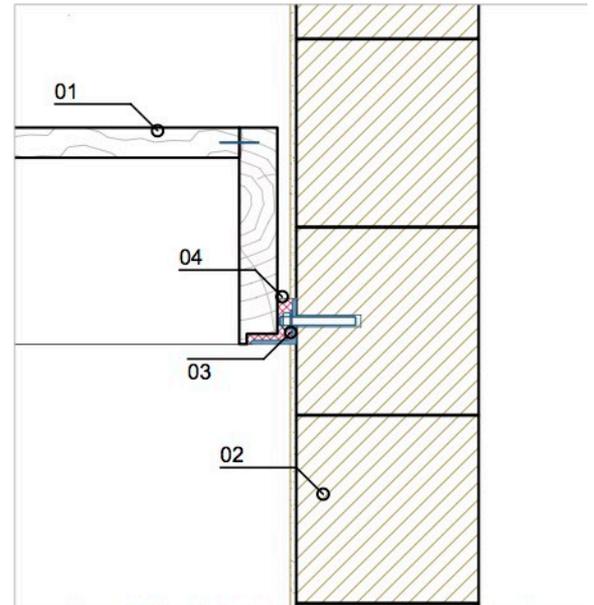


Treppenanschluss unten – innenliegend – Typ II b

- 1 Holzwangentreppe
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Holzbalkendecke
- 4 Stahlwinkelanschluss
- 5 Elastomerlager (Schallkopplung)
- 6 Blende



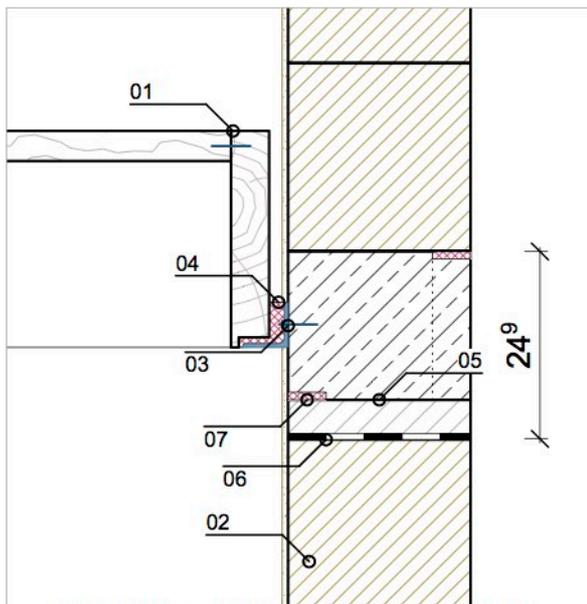
Treppen-Wandbefestigung – innenliegend – Typ I



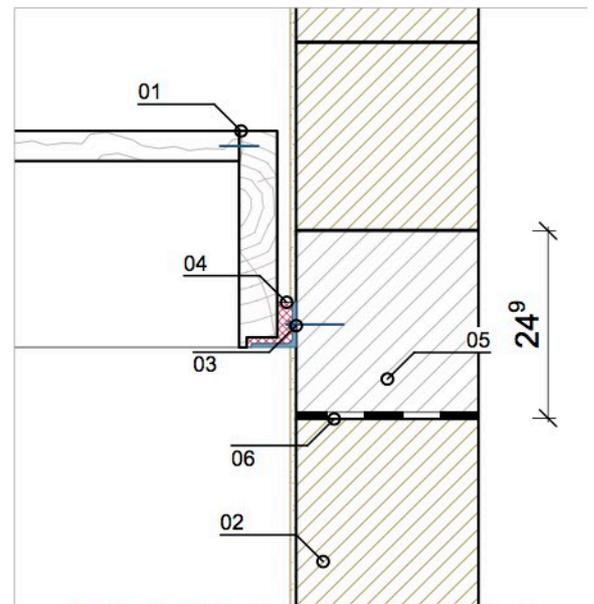
Podest-Wandbefestigung – innenliegend – Typ I

- 1 Holzwangentreppe
- 2 Lehmmauerwerk
- 3 Ankerstange mit Injektionsmörtel, Stahlwinkelanschluss
- 4 Elastomerlager (Schallenkopplung)

- 1 Holzwangentreppe Podest
- 2 Lehmmauerwerk
- 3 Ankerstange mit Injektionsmörtel, Stahlwinkelanschluss
- 4 Elastomerlager (Schallenkopplung)



Podest-Wandbefestigung – innenliegend – Typ II a



Podest-Wandbefestigung – innenliegend – Typ II b

- 1 Holzwangentreppe Podest
- 2 Lehmmauerwerk
- 3 Rahmendübelverankerung, Stahlwinkelanschluss
- 4 Elastomerlager (Schallenkopplung)
- 5 Betonbalken, Leichtbetonsteinlage
- 6 Elastomerbahn als Setzungsaufnahme
- 7 Zentriestreifen, Elastomerlager / Holzweichfaserstreifen

- 1 Holzwangentreppe Podest
- 2 Lehmmauerwerk
- 3 Rahmendübelverankerung, Stahlwinkelanschluss
- 4 Elastomerlager (Schallenkopplung)
- 5 z.B. Leichtbetonstein
- 6 Elastomerbahn als Setzungsaufnahme

4.7.2 Treppenanschlüsse für notwendige Treppen

Notwendige Treppen werden üblicherweise mit Fertigteiltreppenläufen errichtet. Die größte Belastung ist am Treppenaufleger des Podests zu erwarten. Die Kräfte sollen mittels eines Betonbalkenankers im Podestbereich oder durch ein im Mauerwerk eingebundenes Treppenpodest im Mauerwerk verteilt werden. Im Deckenbereich ist das unproblematisch, da die Deckenlage aus dem gleichen Material besteht.

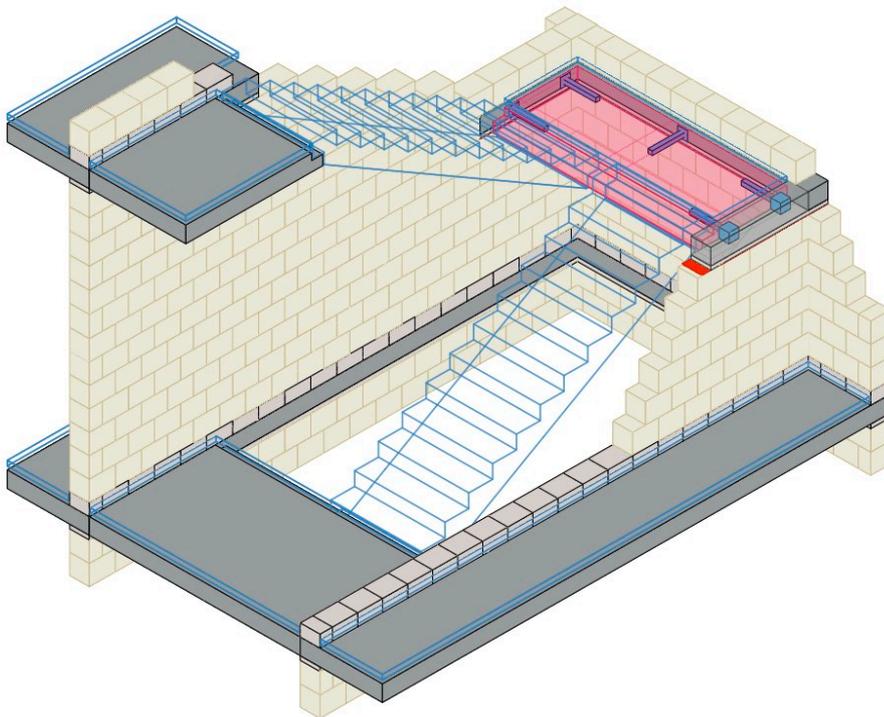
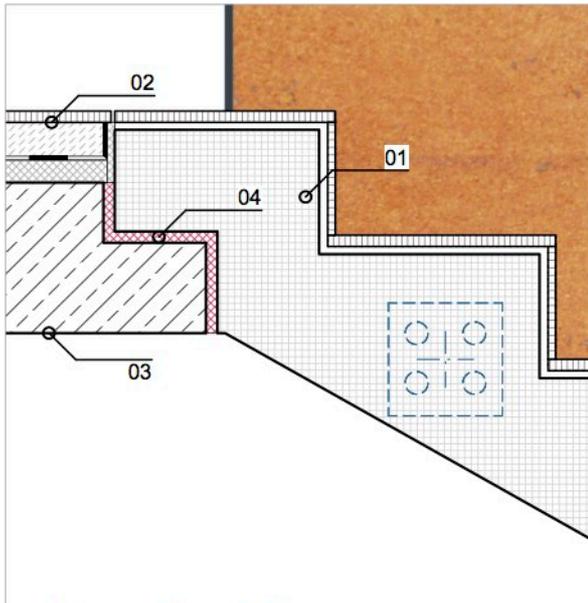
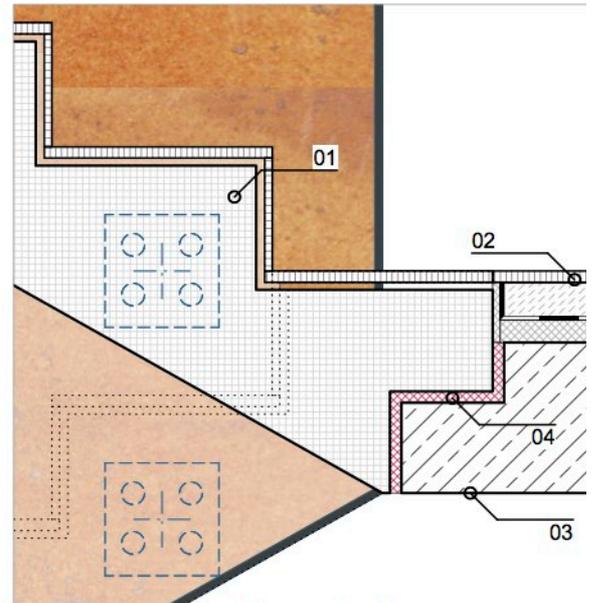


Abb. 21 Skizze Treppenaufleger und Einbausituation Treppenpodest mit Fertigteilelementen

Beton hat ein wesentlich höheres E-Modul als Lehm-mauerwerk. Es ist daher ein ungleiches Setzungsverhalten zu erwarten. Das Setzungsverhalten wird durch unterlegen eines Elastomerlagers gesteuert. Das Elastomer kompensiert das Setzungsverhalten unterschiedlicher Materialien mit unterschiedlicher Elastizität. Zu erwarten ist, dass das Elastomer sich um den Betrag der Setzung zusammendrückt.



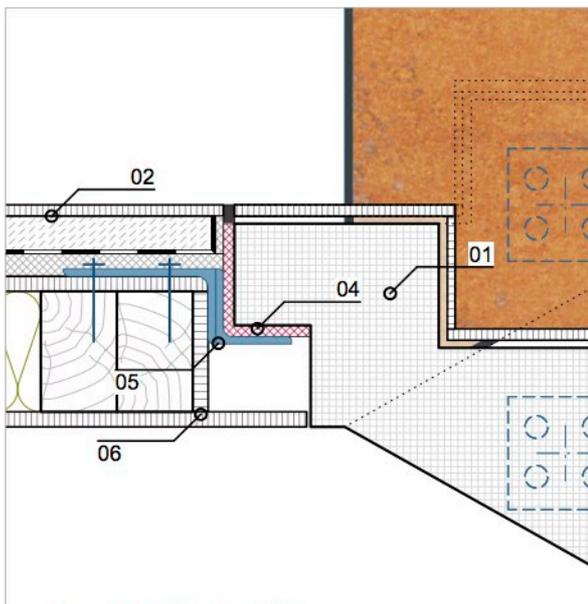
Treppenaufleger – Typ I



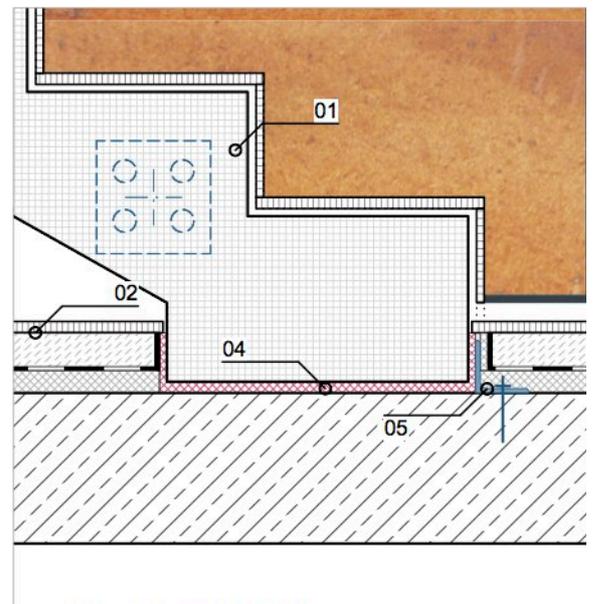
Treppen-Podest-Auflager – Typ I

- 1 Fertigteilterrasse, mit Treppenbelag
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Stahlbetondecke
- 4 Elastomerlager (Schallenkopplung)

- 1 Fertigteilterrasse, mit Treppenbelag
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Stahlbetonpodest
- 4 Elastomerlager (Schallenkopplung)



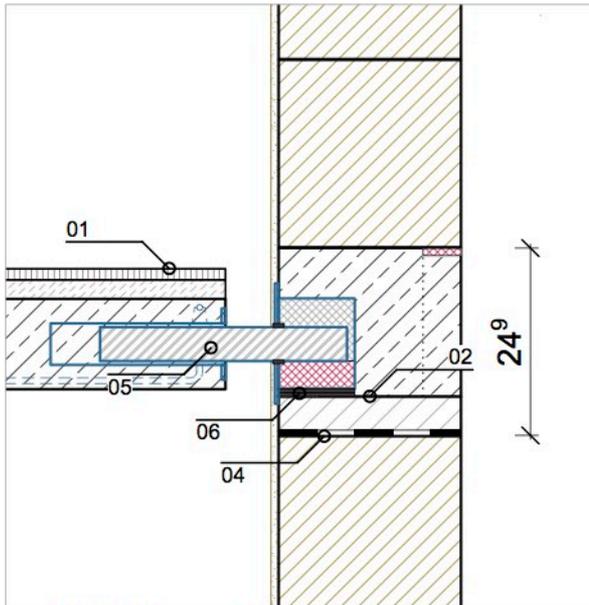
Treppenaufleger – Typ II



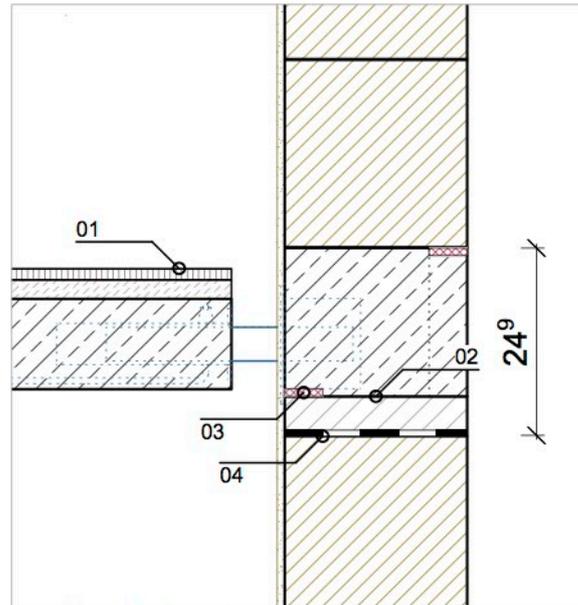
Treppenfußpunkt – Typ I

- 1 Fertigteilterrasse, mit Treppenbelag
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Holzbalkendecke
- 4 Elastomerlager (Schallenkopplung)
- 5 Stahlwinkelkonsole
- 6 mineralische Feuerschutzplatte A1

- 1 Fertigteilterrasse, mit Treppenbelag
- 2 siehe Fußbodenaufbau
- 3 Stahlbetonpodest
- 4 Elastomerlager (Schallenkopplung)
- 5 Stahlwinkelkonsole



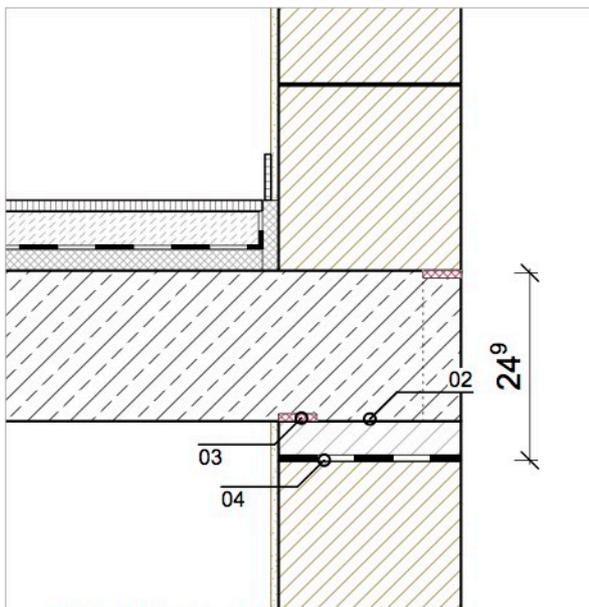
Podestaufleger – Typ I b



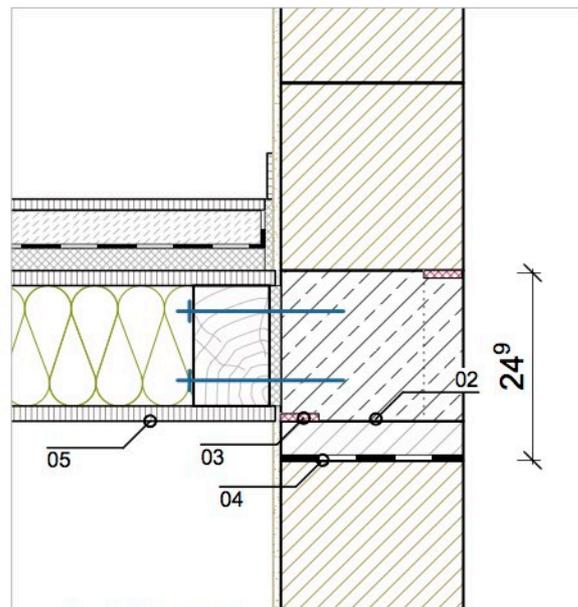
Podestaufleger – Typ I b

- 1 Fertigteil-Podest mit Bodenbelag
- 2 Stahlbetonbalken mit Leichtbetonsteinlage
- 3 Zentrierstreifen
- 4 Elastomerbahn (Setzungsaufnahme)
- 5 schallentkoppeltes Trägerelement z.B. von Schöck
- 6 Unterlegplatten

- 1 Fertigteil-Podest mit Bodenbelag
- 2 Stahlbetonbalken mit Leichtbetonsteinlage
- 3 Zentrierstreifen
- 4 Elastomerbahn (Setzungsaufnahme)



Podestaufleger – Typ I a



Podestaufleger – Typ II

- 1 siehe Fußbodenaufbau
- 2 Stahlbetondecke mit Leichtbetonsteinlage
- 3 Zentrierstreifen
- 4 Elastomerbahn (Setzungsaufnahme)

- 1 siehe Fußbodenaufbau
- 2 Stahlbetonbalken mit Leichtbetonsteinlage
- 3 Zentrierstreifen
- 4 Elastomerbahn (Setzungsaufnahme)
- 5 Holzbalkendecke, mit mineralischer Feuerschutzplatte

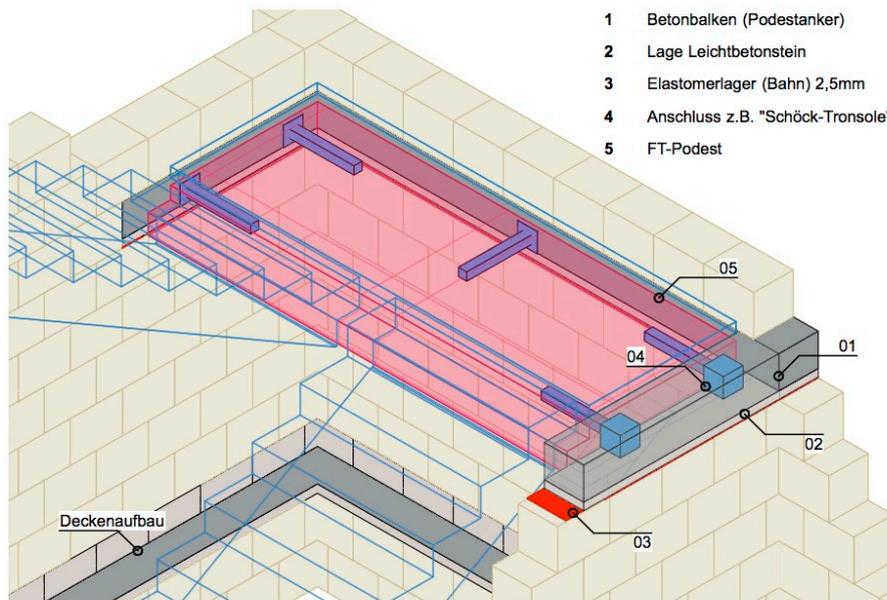


Abb. 22 Einbausituation – Verankerung / Lagerung Treppenpodest

4.8 Entwässerungsanschlüsse – Nassbereiche und Nasszellen

Für Räume bzw. Bereiche mit besonderer Anforderung, wie Bäder, Hauswirtschaftsraum (Nasszelle) oder Küchen (Nassbereiche) werden nachfolgend zwei Notentwässerungstypen vorgestellt. Beide Varianten nutzen einen separaten Notentwässerungsstrang, der ausschließlich für den Notfall installiert wird. Diese darf nicht dauergenutzt werden, um die Schadensfreiheit im Notfall garantieren zu können.

4.8.1 Technische Systeme zur Verhinderung von Havarien

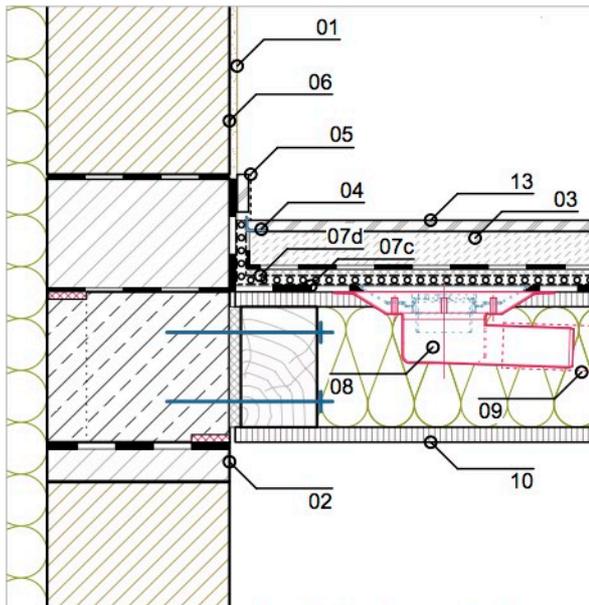
Darüber hinaus sollten Alle zuführenden Leitungen mit Druckwächtern und oder digitale Wasseruhrsteuerung mit Abschaltungsautomatik installiert werden, um bei einem möglichen Havariiefall während Abwesenheit bspw. fließendes Wasser automatisch nach einem gewissen Durchlauf abstellen zu können. Solche Systeme sind mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung auszurüsten.

4.8.2 Notentwässerung Typ Unterflurnotentwässerung

Diese Variante nutzt eine Drainageschicht unterhalb des Fußbodenaufbaus, die auf einer Flächenabdichtung bis zum Rand der Oberkante Fertigfußboden geführt wird. Am Rand des Fußbodens befindet sich eine Abschlussleiste (Anlaufwinkel), die eine Staubsichere Verzahnung mit der wasserdurchlässigen Dichtung der Randleiste bildet. Außerdem wird verhindert, dass z.B. Wischwasser unter den Fußbodenaufbau gelangt. Die Randleisten sind revisionierbar und dadurch wartungsfreundlich. Der Fußbodenaufbau ist wasserfest auszuführen.

Die Flächenabdichtung wird auf dem Rohbauboden hergestellt und umlaufend bis zur Oberkante Kimmstein ≥ 15 cm geführt. Die Dichtung ist mit dem Rohboden zu verkleben. In günstiger Position – üblicherweise in der Nähe der Schachtwand – wird im Rohfußboden ein Entwässerungs-Einbautopf verbaut. Die Flächendichtung wird mittels eines Pressflansches in den Einbautopf eingebaut. Die Flächenabdichtung und das Notrohrsystem kann im Nullgefälle hergestellt werden, da mögliche der Anstieg über den Kimmstein hinaus verhindert werden soll. Für die Küche wird ein Teilbereich des Fußbodens wie beschrieben aufgebaut.

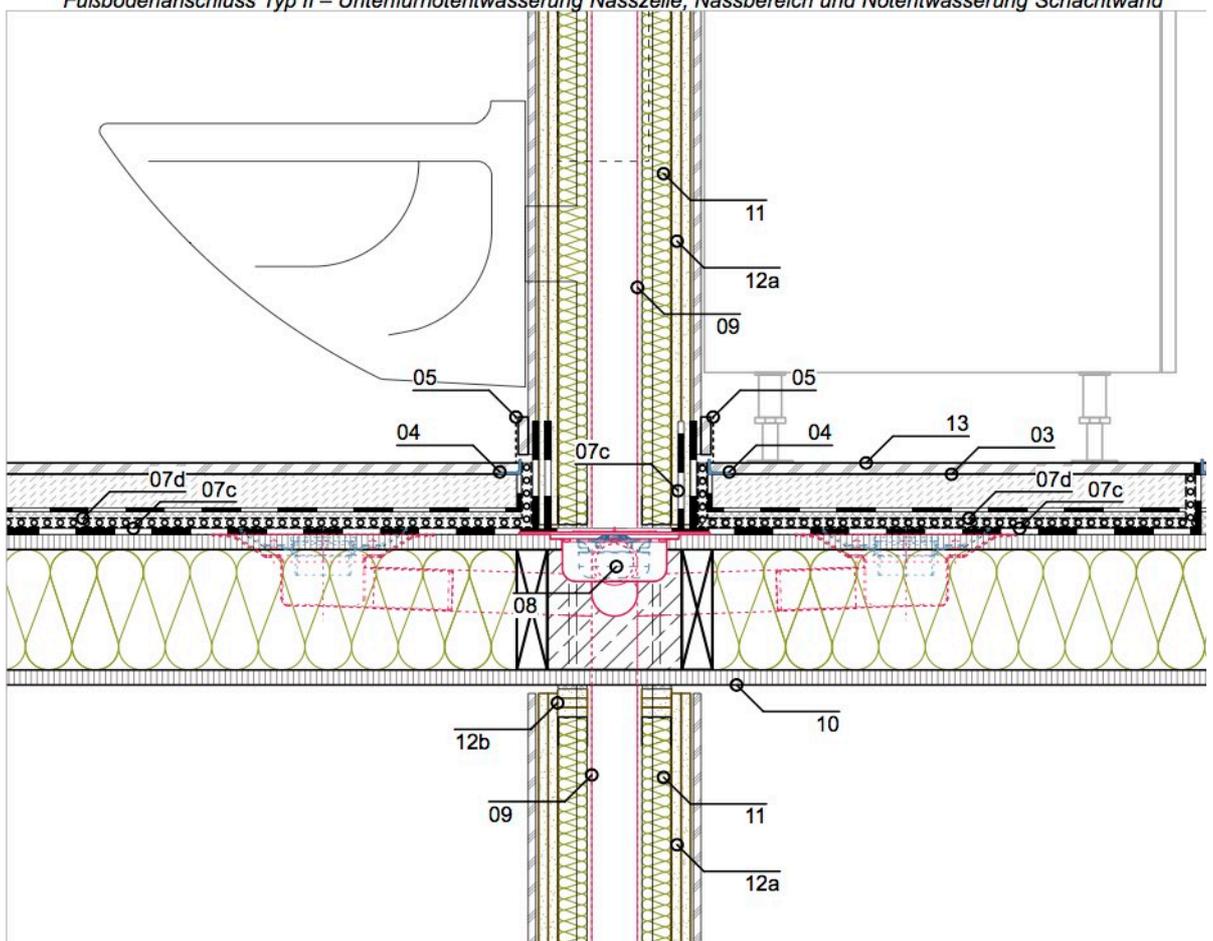
Die Schachtwand wird innen ebenfalls mit einer separaten Flächenabdichtung ausgeführt und ein Entwässerungs-Einbautopf eingebaut, der an das Notentwässerungssystem angeschlossen wird. Die technischen Systeme sorgen für den Hinweis auf einen möglichen Schaden, dass z.B. die Wasserzuführung unterbrochen wurde. Die Schachtwände sind mit leicht zugänglichen Revisionsöffnungen herzustellen.

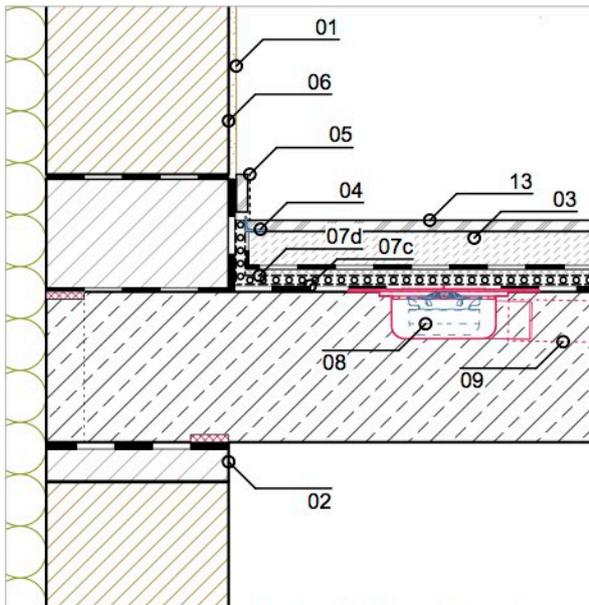


Fußbodenanschluss Typ II – Unterflurnotentwässerung

- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II oder Innenwand möglich
- 2 siehe Deckenanschluss Holzdecke
- 3 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 4 Anlaufwinkel (Wasserlaufschutz)
- 5 Randsockelleiste mit wasserdurchlässige Staubdichtung / Ungezieferschutz
- 6 Sol-Gel-Anstrich, als diffusionsoffene Hydrophobierung nasszelleninnenseitig aller Lehm-mauerwerksflächen (bauseitig am Rohbau aufzutragen)
- 7 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung / d Noppenbahn bzw. Drainschicht
- 8 Entwässerungseinbautopf DN50 (Auslauf seitlich) mit Manschettenpressdichtung mit Silikonlippendichtung Geruchs- und Ungezieferschutz, z.B. von TECE od. ACO
- 9 redundante Rohrführung DN50 (ausschließlich für Notentwässerung vorzuhalten)
- 10 mineralische Feuerschutzplatte A1
- 11 mineralische Dämmwolle A1
- 12 a Trockenbausystemwand für Sanitär Beplankung A1 z.B. Fermacell / b gleitender Anschluss
- 13 Fliesenpiegel, Fußbodenfliesen
- 14 Brandschutzmanschette am Notentwässerungsrohr

Fußbodenanschluss Typ II – Unterflurnotentwässerung Nasszelle, Nassbereich und Notentwässerung Schachtwand

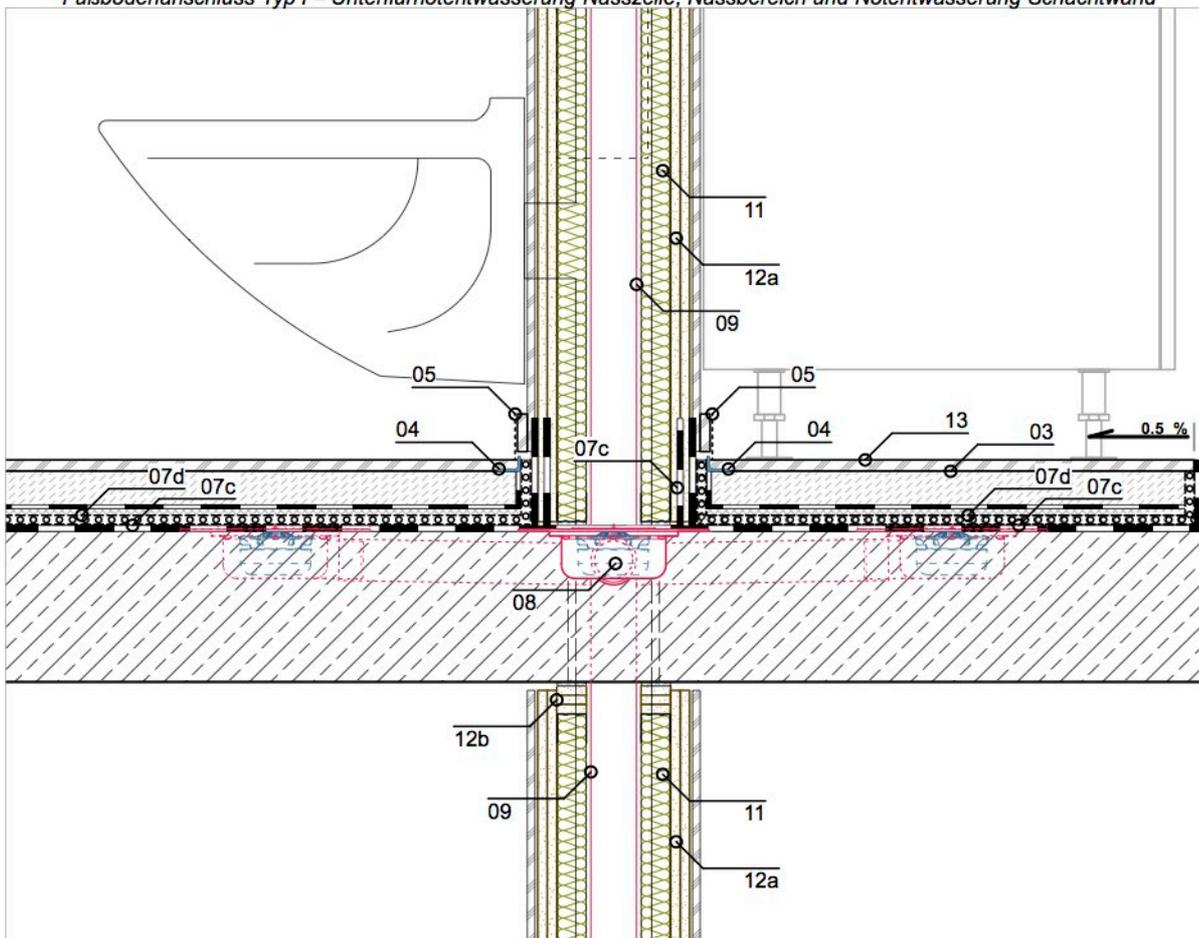


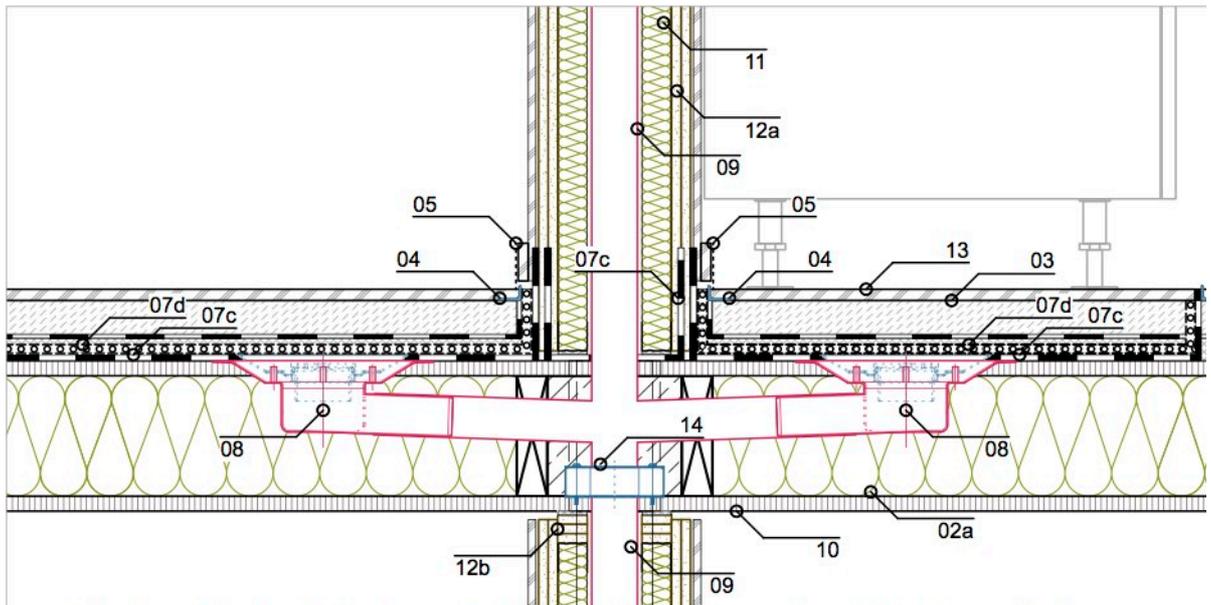


Fußbodenanschluss Typ I – Unterflurnotentwässerung

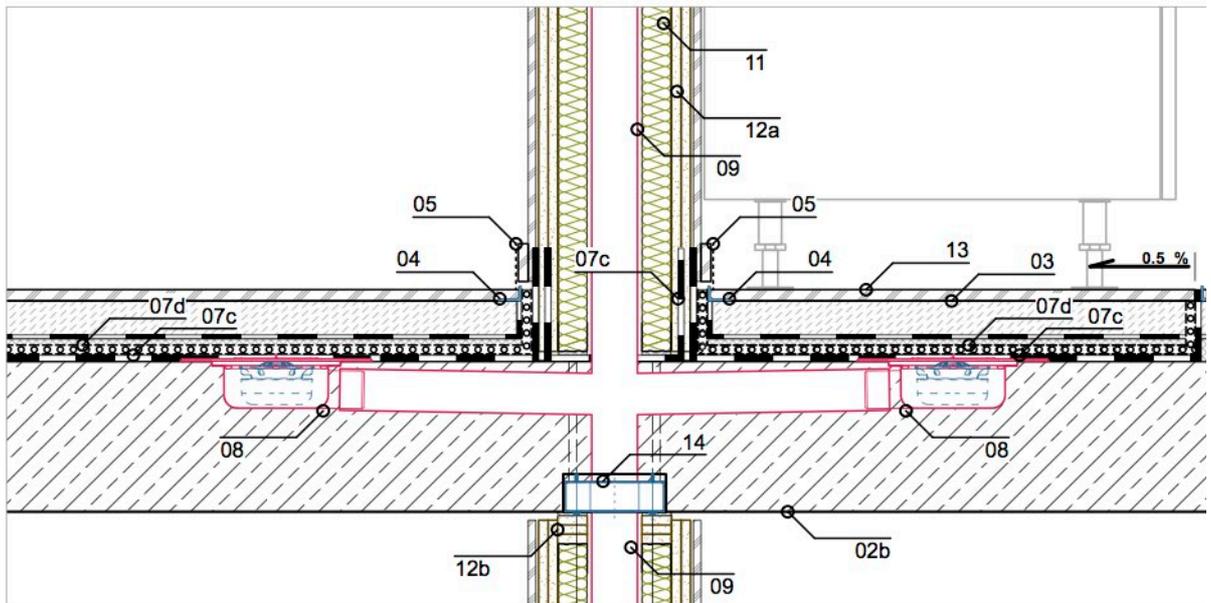
- 1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II oder Innenwand möglich
- 2 siehe Deckenanschluss Betondecke
- 3 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 4 Anlaufwinkel (Wasserlaufschutz)
- 5 Randsockelleiste mit wasserdurchlässige Staubdichtung / Ungezieferschutz
- 6 Sol-Gel-Anstrich, als diffusionsoffene Hydrophobierung nasszelleninnenseitig aller Lehm-mauerwerksflächen (bauseitig am Rohbau aufzutragen)
- 7 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung / d Noppenbahn bzw. Drainschicht
- 8 Entwässerungseinbautopf DN50 (Auslauf seitlich) mit Manschettenpressdichtung mit Silikonlippendichtung Geruchs- und Ungeziefer-schutz, z.B. von TECE od. ACO
- 9 redundante Rohr-führung DN50 (ausschließlich für Notentwässerung vorzuhalten)
- 10 mineralische Feuerschutzplatte A1
- 11 mineralische Dämmwolle A1
- 12 a Trockenbausystemwand für Sanitär Beplankung A1 z.B. Fermacell / b gleitender Anschluss
- 13 Fliesenspiegel, Fußbodenfliesen
- 14 Brandschutzmanschette am Notentwässerungsrohr

Fußbodenanschluss Typ I – Unterflurnotentwässerung Nasszelle, Nassbereich und Notentwässerung Schachtwand



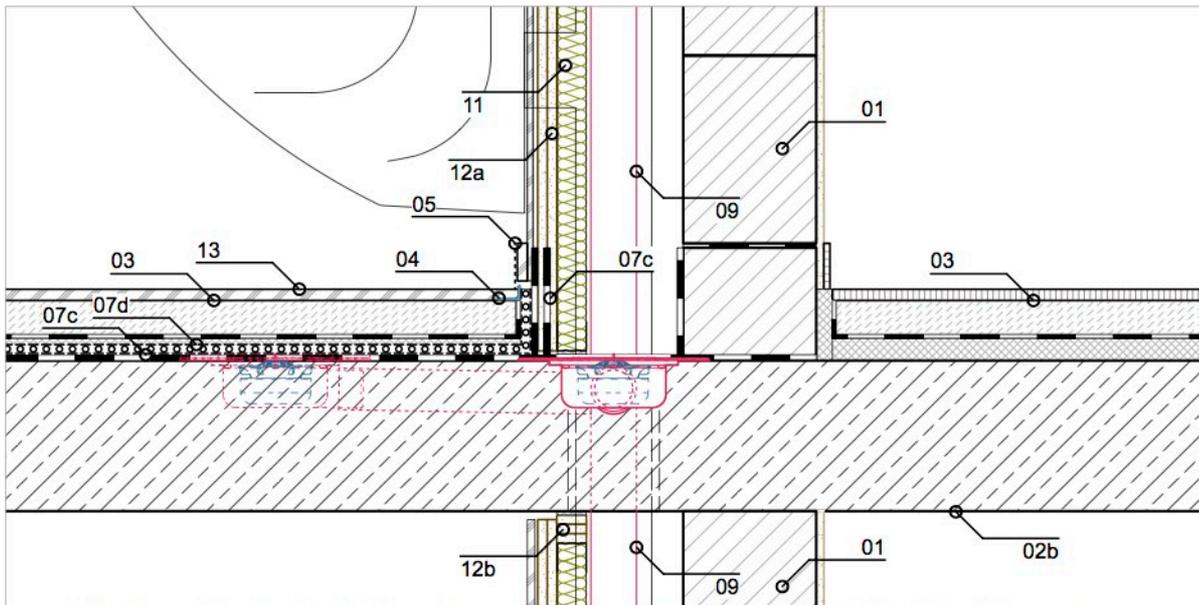


Fußbodenanschluss Typ II – Unterflurnotentwässerung Nasszelle, Nassbereich und Schachtwand – Rohrführung

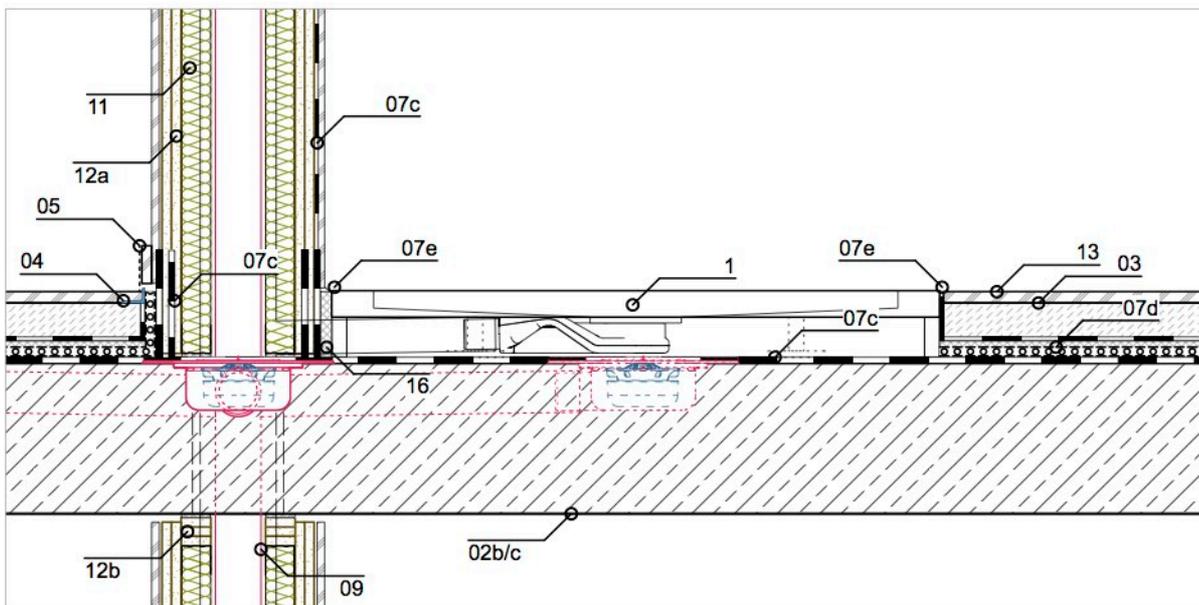


Fußbodenanschluss Typ I – Unterflurnotentwässerung Nasszelle, Nassbereich und Schachtwand – Rohrführung

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 Außenwandaufbau Typ I und Typ II oder Innenwand möglich</p> <p>2 a Holzdecke / b Betondecke</p> <p>3 Fußbodenaufbau – siehe FBA</p> <p>4 Anlaufwinkel (Wasserlaufschutz)</p> <p>5 Randsockelleiste mit wasserdurchlässige Staabdichtung / Ungezieferschutz</p> <p>6 Sol-Gel-Anstrich, als diffusionsoffene Hydrophobierung nasszelleninnenseitig aller Lehm-mauerwerksflächen (bauseitig am Rohbau aufzutragen)</p> <p>7 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung / d Noppenbahn bzw. Drainschicht</p> <p>8 Entwässerungseinbautopf DN50 (Auslauf seitlich) mit Manschettenpressdichtung mit Silikonlippendichtung Geruchs- und Ungezieferschutz, z.B. von TECE od. ACO</p> | <p>9 redundante Rohrführung DN50 (ausschließlich für Notentwässerung vorzuhalten)</p> <p>10 mineralische Feuerschutzplatte A1</p> <p>11 mineralische Dämmwolle A1</p> <p>12 a Trockenbausystemwand für Sanitär Beplankung A1 z.B. Fermacell / b gleitender Anschluss</p> <p>13 Fliesenspiegel, Fußbodenfliesen</p> <p>14 Brandschutzmanschette am Notentwässerungsrohr</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Fußbodenanschluss Typ I – Unterflurnotentwässerung Nasszelle, Nassbereich und Schachtwand Mauerwerk



Fußbodenanschluss Typ I – Unterflurnotentwässerung Nasszelle, Nassbereich und Schachtwand – Duschwanne

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 Schachtwand aus wasserbeständigem Mauerwerk</p> <p>2 a Holzdecke / b Betondecke / c Holzdecke möglich</p> <p>3 Fußbodenaufbau – siehe FBA</p> <p>4 Anlaufwinkel (Wasserlaufschutz)</p> <p>5 Randsockelleiste mit wasserdurchlässige Staubdichtung / Ungezieferschutz</p> <p>6 Sol-Gel-Anstrich, als diffusionsoffene Hydrophobierung nasszelleninnenseitig aller Lehm-mauerwerksflächen (bauseitig am Rohbau aufzutragen)</p> <p>7 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung / d Noppenbahn bzw. Drainschicht / e dauerelast. Fuge</p> <p>8 Entwässerungseinbautopf DN50 (Auslauf seitlich) mit Manschettenpressdichtung mit Silikonlippendichtung Geruchs- und Ungeziefer-schutz, z.B. von TECE od. ACO</p> | <p>9 redundante Rohrführung DN50 (ausschließlich für Notentwässerung vorzuhalten)</p> <p>10 mineralische Feuerschutzplatte A1</p> <p>11 mineralische Dämmwolle A1</p> <p>12 a Trockenbausystemwand für Sanitär Beplankung A1 z.B. Fermacell / b gleitender Anschluss</p> <p>13 Fliesenspiegel, Fußbodenfliesen</p> <p>14 Brandschutzmanschette am Notentwässerungsrohr</p> <p>15 Duschwanne mit DN40 Abfluss (seitlich) z.B. TECE</p> <p>16 Randdämmstreifen</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

4.8.3 Notentwässerung Typ Türschwellennotentwässerung

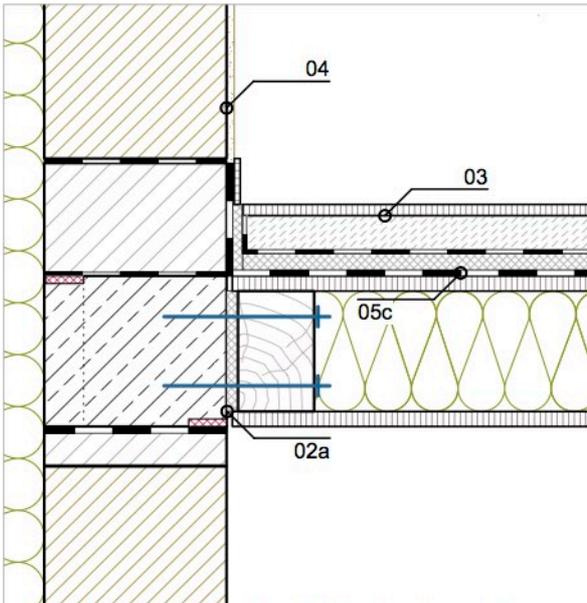
Diese Variante nutzt die Schwellen der Türbereiche (z.B. einer Badtür) um havariebedingt anfallendes Wasser abzuführen.

Die Flächenabdichtung wird auf dem Rohbauboden hergestellt und umlaufend bis zur Oberkante Kimmstein ≥ 15 cm und bis zum Fußbodenaufbau des angrenzenden Raumes geführt. Die Dichtung ist mit dem Rohboden zu verkleben. In der Türschwelle wird im Fußbodenaufbau bis zur Flächenabdichtung eine Entwässerungsrinne mit Klebeflansch verbaut und unterhalb des Fußbodenbelags eingedichtet. Die Stoßkante des Fußbodens zum angrenzenden Wohnraum wird mit einer leicht überragenden Abschlussleiste eingedichtet. Diese soll überlaufendes Wasser in den Wohnraum verhindern. Der Fußbodenaufbau ist mit wasserfesten Materialien herzustellen. Alle Randanschlüsse sind elastisch abzudichten. Wenn mehr als 2000l/h Wasser abzuführen sind, sollte in der Türschwelle eine Wanne durch Flächenabdichtung ausgebildet werden und ein Einbau-Entwässerungstopf eingedichtet werden. Dieser ist dann im Rohbau einzubringen. Ein Abdeckgitter zur Türschwellenabdeckung kann flächenbündig aufgebracht werden.

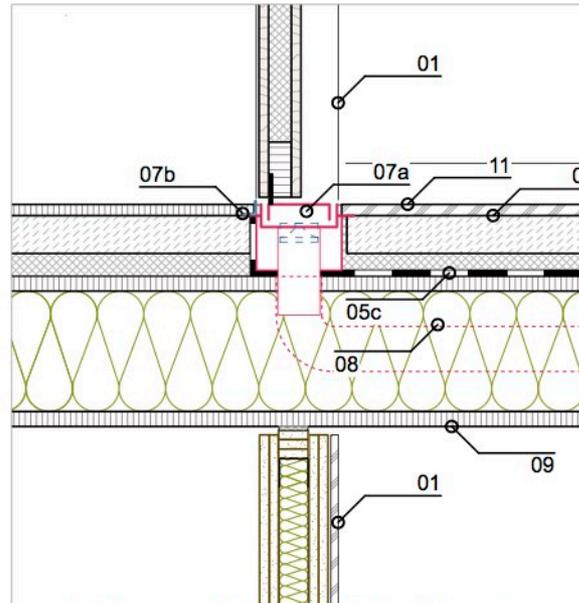
Die Flächenabdichtung und das Notrohrsystem kann im Nullgefälle hergestellt werden, da mögliche der Anstieg über den Kimmstein hinaus verhindert werden soll.

Die Schachtwand wird innen ebenfalls mit einer separaten Flächenabdichtung ausgeführt und ein Entwässerungs-Einbautopf eingebaut, der an das Notentwässerungssystem angeschlossen wird. Die technischen Systeme sorgen für den Hinweis auf einen möglichen Schaden, dass z.B. die Wasserzuführung unterbrochen wurde. Die Schachtwände sind mit leicht zugänglichen Revisionsöffnungen herzustellen.

Holzdeckendurchdringungen sind durch entsprechende Maßnahmen – den Brandschutzanforderungen entsprechend – herzustellen. Genannt seien hier die Beplankung der Holzdeckenunterseite durch entsprechendes Feuerschutzmaterial und Verfüllen der Rohrschachtführung mit Beton o.ä. Material im Bereich des Deckenhohlraums. An den Rohren sind entsprechende brandschützende Maßnahmen vorzusehen bspw. eine Brandschutzmanschette.



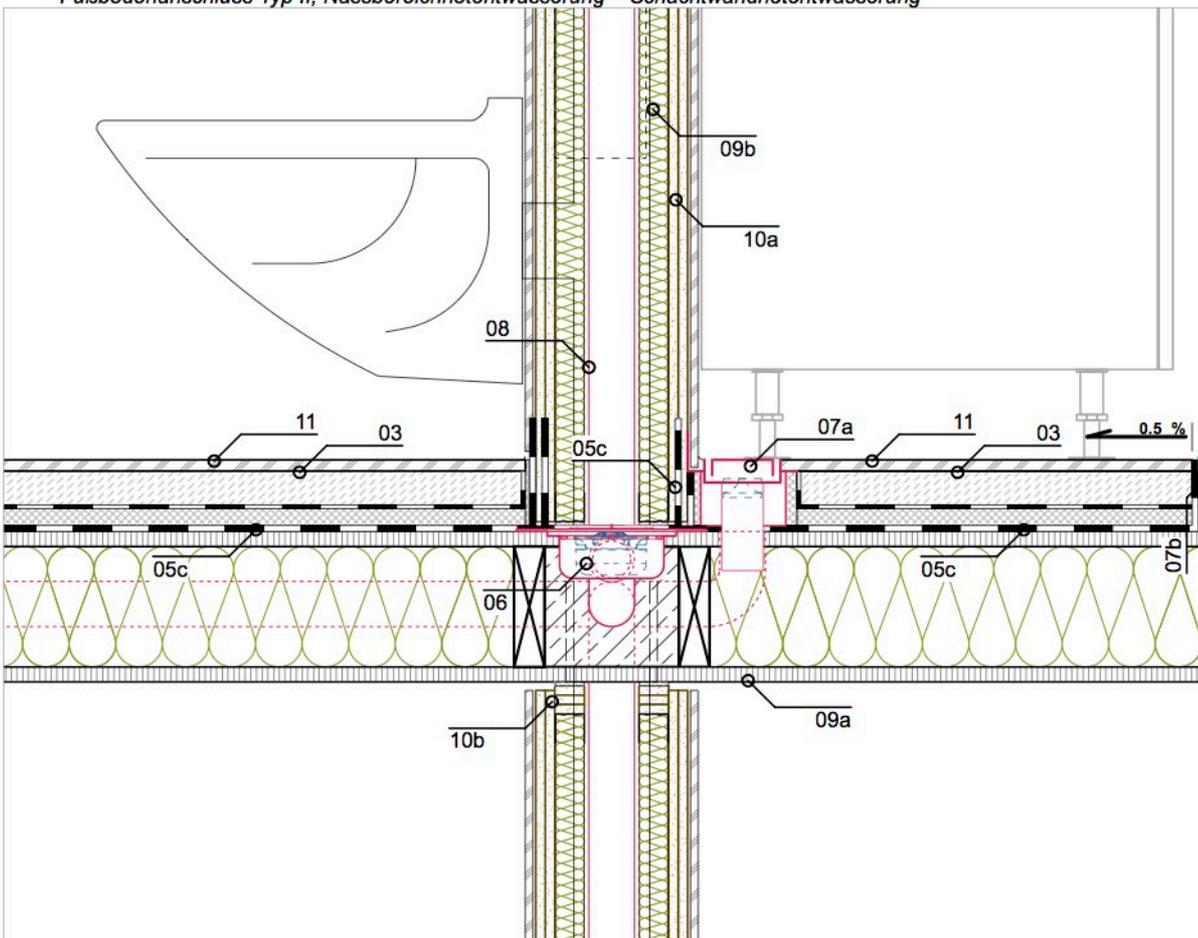
Fußbodenanschluss Typ II, Türschwellenentwässerung

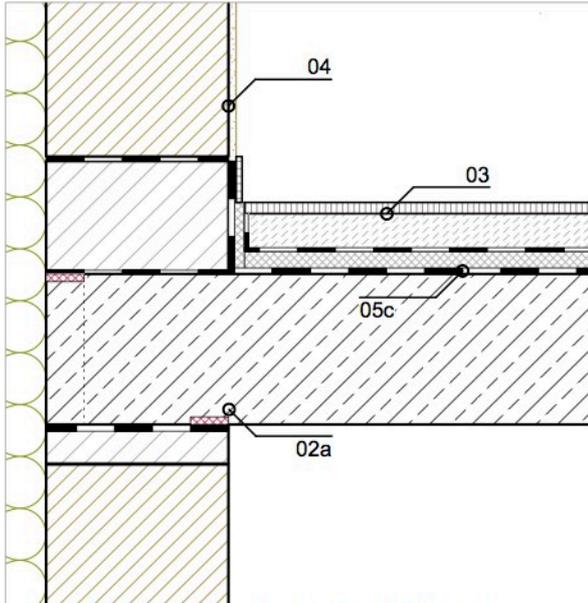


Fußbodenanschluss Typ II, Türschwellenentwässerung

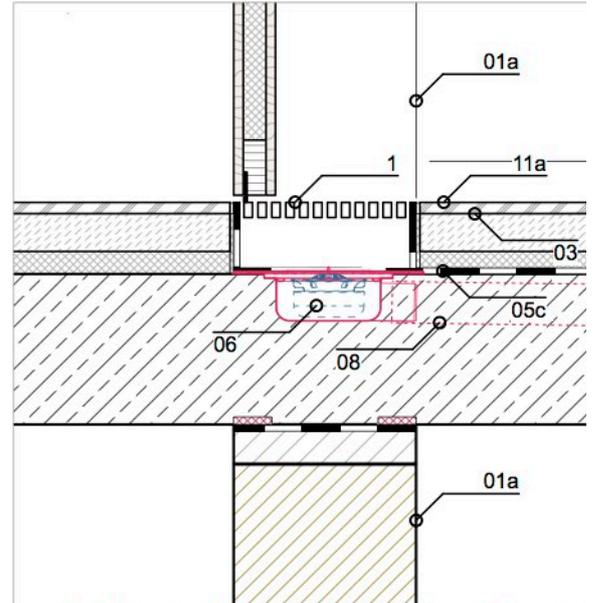
- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 nichttragende Innenwand, Lehm-mauerwerk möglich</p> <p>2 siehe Detailanschluss: a Holzdecke / b Betondecke</p> <p>3 Fußbodenaufbau – siehe FBA</p> <p>4 Sol-Gel-Anstrich, als diffusionsoffene Hydrophobierung in der Nasszelle (bauseitig am Rohbau aufzutragen)</p> <p>5 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung</p> <p>6 Entwässerungseinbautopf DN50 (Auslauf seitlich) mit Silikonlippendichtung Geruchs- und Ungeziefer-schutz, z.B. von TECE od. ACO</p> | <p>7 a Einbau Entwässerungsrinne (DN50) mit Manschette, mit Geruchs- und Ungeziefer-schutz / b Anlaufwinkel</p> <p>8 redundante Rohrführung DN50 (ausschließlich für Not-entwässerung vorzuhalten)</p> <p>9 a mineralische Feuerschutzplatte A1 / b Dämmwolle A'</p> <p>10 a Trockenbausystemwand für Sanitär Beplankung A1 z.B. Fermacell / b gleitender Anschluss</p> <p>11 Fliesen-spiegel, Fußboden-fliesen</p> <p>12 Brandschutz-manschette am Notentwässerungs-rohr</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fußbodenanschluss Typ II, Nassbereichnotentwässerung – Schachtwandnotentwässerung

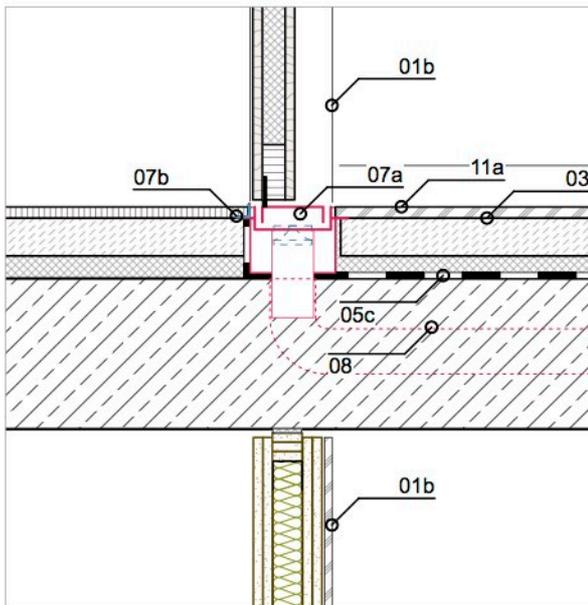




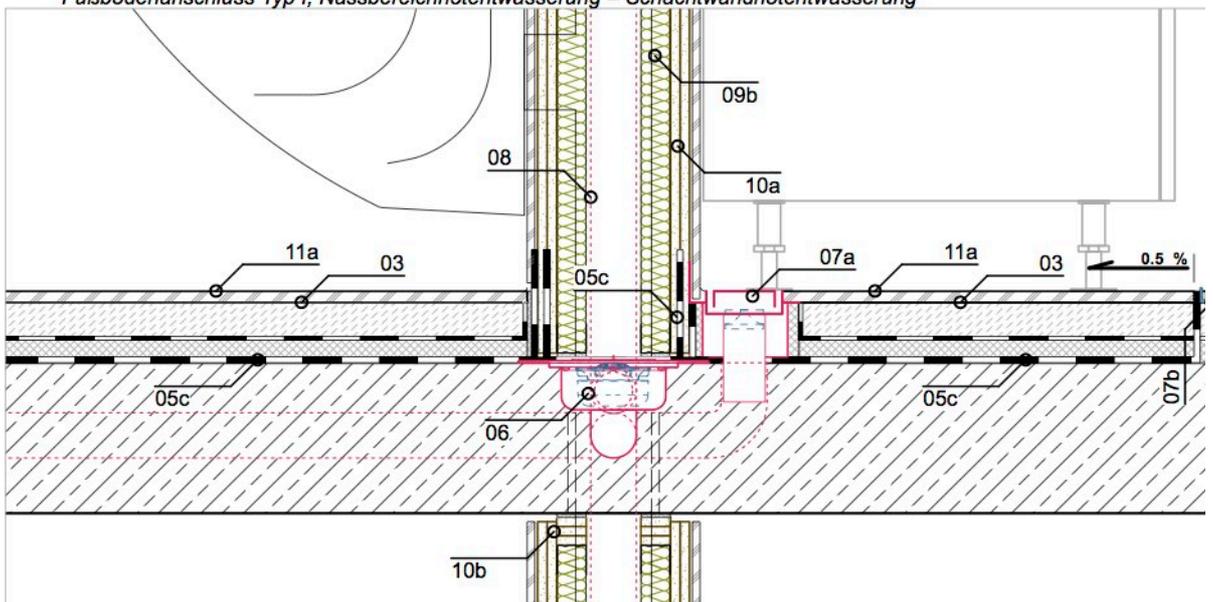
Fußbodenanschluss Typ I, Türschwellenentwässerung



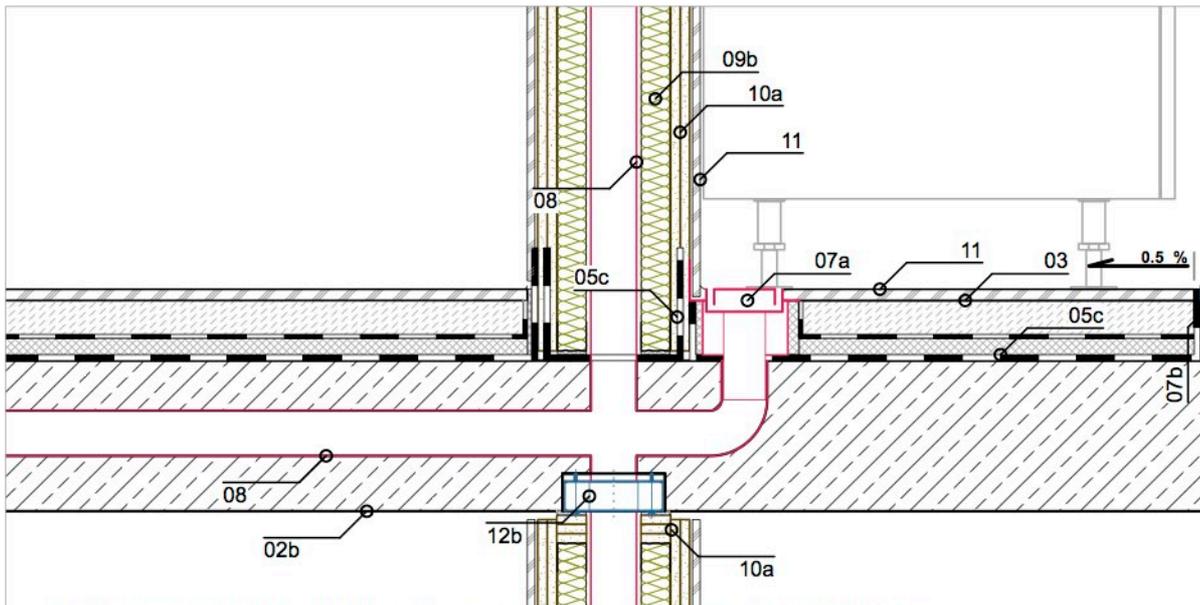
Fußbodenanschluss Typ I, Türschwellenentwässerung



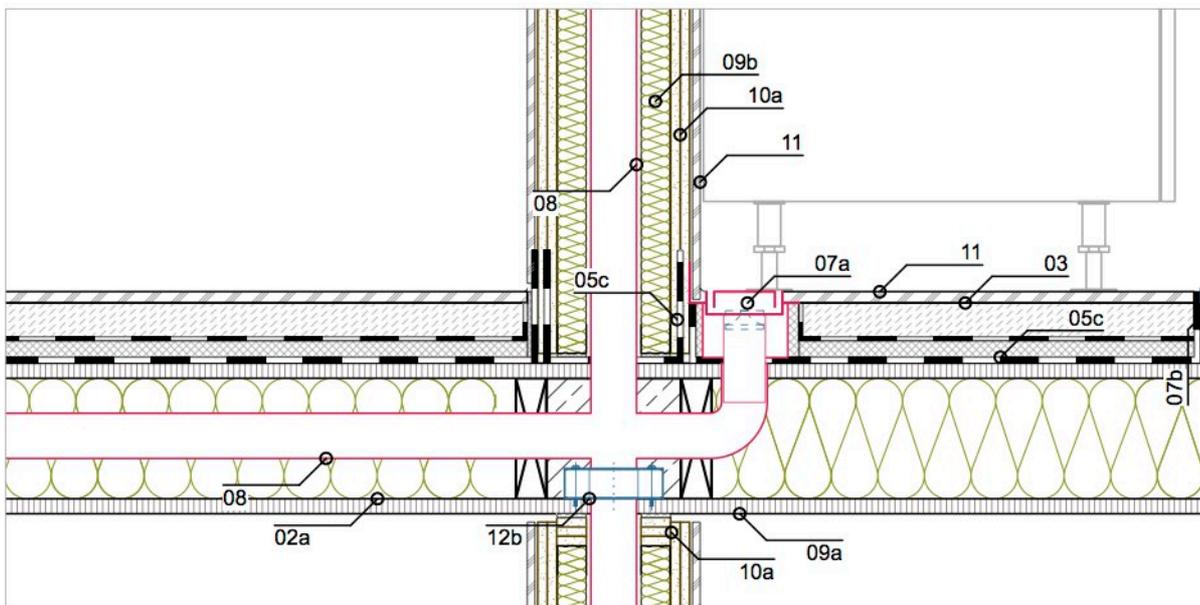
Fußbodenanschluss Typ I, Nassbereichnotentwässerung – Schachtwandnotentwässerung



- 1 a tragende Innenwand / b Lehm-mauerwerk möglich
- 2 siehe Detailanschluss: a Holzdecke / b Betondecke
- 3 Fußbodenaufbau – siehe FBA
- 4 Sol-Gel-Anstrich, als diffusionsoffene Hydrophobierung in der Nasszelle (bauseitig am Rohbau aufzutragen)
- 5 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung
- 6 Entwässerungseinbautopf DN50 (Auslauf seitlich) mit Silikonlippendichtung Geruchs- und Ungeziefer-schutz, z.B. von TECE od. ACO
- 7 a Einbau Entwässerungsrinne (DN50) mit Manschette, mit Geruchs- und Ungeziefer-schutz / b Anlaufwinkel
- 8 redundante Rohr-führung DN50 (ausschließlich für Notentwässerung vorzuhalten)
- 9 a mineralische Feuerschutzplatte A1 / b Dämmwolle A'
- 10 a Trockenbausystemwand für Sanitär Beplankung A1 z.B. Fermacell / b gleitender Anschluss
- 11 a Fliesenspiegel, Fußbodenfliesen / b Gitterabdeckung
- 12 Brandschutzmanschette am Notentwässerungsrohr

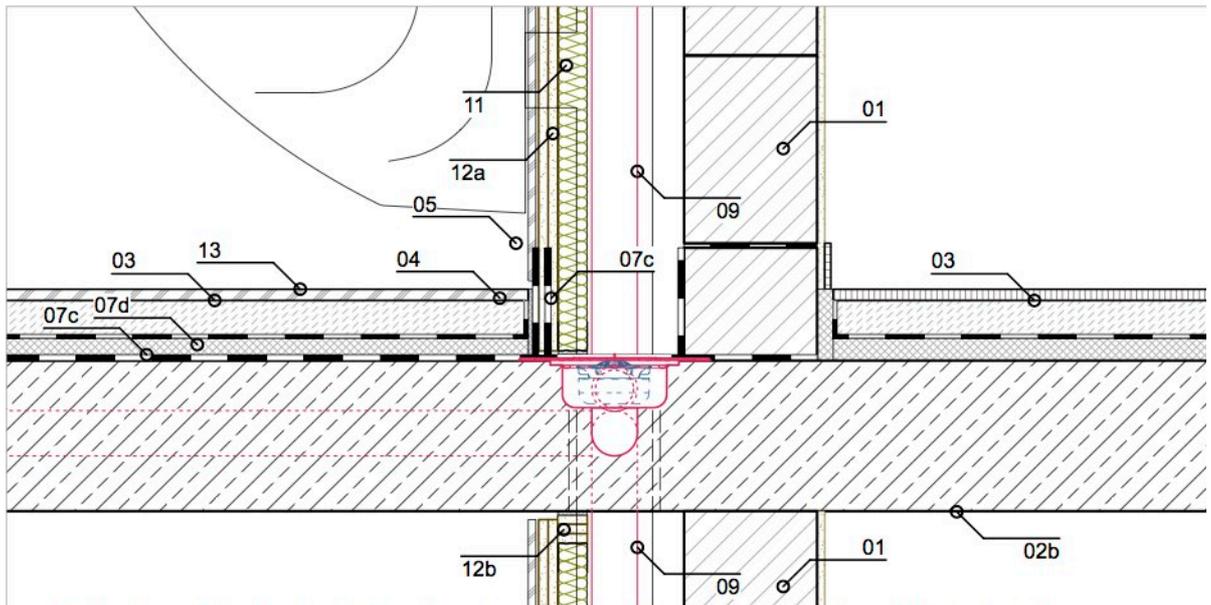


Fußbodenanschluss Typ I, Nassbereichnotentwässerung – Schachtwandnotentwässerung

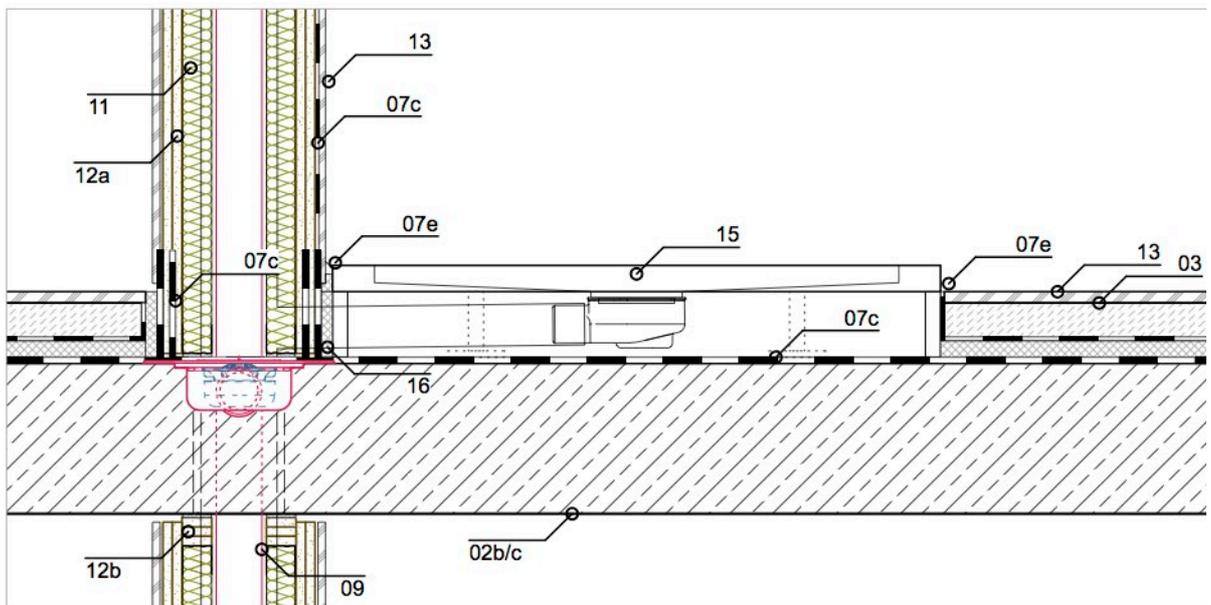


Fußbodenanschluss Typ II, Nassbereichnotentwässerung – Schachtwandnotentwässerung

- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 nichttragende Innenwand, Lehm-mauerwerk möglich siehe Detailanschluss: a Holzdecke / b Betondecke</p> <p>2 Fußbodenaufbau – siehe FBA</p> <p>3 Sol-Gel-Anstrich, als diffusionsoffene Hydrophobierung in der Nasszelle (bauseitig am Rohbau aufzutragen)</p> <p>4 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung</p> <p>5 Entwässerungseinbautopf DN50 (Auslauf seitlich) mit Siliconlippendichtung Geruchs- und Ungeziefer-schutz, z.B. von TECE od. ACO</p> | <p>7 a Einbau Entwässerungsrinne (DN50) mit Manschette, mit Geruchs- und Ungeziefer-schutz / b Anlaufwinkel</p> <p>8 redundante Rohrführung DN50 (ausschließlich für Notentwässerung vorzuhalten)</p> <p>9 a mineralische Feuerschutzplatte A1 / b Dämmwolle A'</p> <p>10 a Trockenbausystemwand für Sanitär Beplankung A1 z.B. Fermacell / b gleitender Anschluss</p> <p>11 Fliesenspiegel, Fußbodenfliesen</p> <p>12 Brandschutzmanschette am Notentwässerungsrohr</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Fußbodenanschluss Typ I – Türschwellennotentwässerung Nasszelle, Nassbereich und Schachtwand Mauerwerk



Fußbodenanschluss Typ I – Türschwellennotentwässerung Nasszelle, Nassbereich und Schachtwand – Duschwanne

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 Schachtwand aus wasserbeständigem Mauerwerk</p> <p>2 a Holzdecke / b Betondecke / c Holzdecke möglich</p> <p>3 Fußbodenaufbau – siehe FBA</p> <p>4 Anlaufwinkel (Wasserlaufschutz)</p> <p>5 Randsockelleiste mit wasserdurchlässige Staubdichtung / Ungezieferchutz</p> <p>6 Sol-Gel-Anstrich, als diffusionsoffene Hydrophobierung nasszelleninnenseitig aller Lehmmauerwerksflächen (bauseitig am Rohbau aufzutragen)</p> <p>7 a Sperrbahn / b Folie / c Flächenabdichtung / d Noppenbahn bzw. Drainschicht / e dauerelast. Fuge</p> <p>8 Entwässerungseinbautopf DN50 (Auslauf seitlich) mit Manschettenpressdichtung mit Silikonlippendichtung Geruchs- und Ungezieferchutz, z.B. von TECE od. ACO</p> | <p>9 redundante Rohrführung DN50 (ausschließlich für Notentwässerung vorzuhalten)</p> <p>10 mineralische Feuerschutzplatte A1</p> <p>11 mineralische Dämmwolle A1</p> <p>12 a Trockenbausystemwand für Sanitär Beplankung A1 z.B. Fermacell / b gleitender Anschluss</p> <p>13 Fliesenspiegel, Fußbodenfliesen</p> <p>14 Brandschutzmanschette am Notentwässerungsrohr</p> <p>15 Duschwanne mit DN50 Abfluss (seitlich) z.B. TECE</p> <p>16 Randdämmstreifen</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

5 Ökologische Aspekte

In der Gesamtbilanzierung, für die gewählten wesentlichen Mauerwerksmaterialien, ist festzustellen, dass der PEI gesamt beim Lehmstein geringer ist, gegenüber den konventionellen Vertretern. Außerdem ist festzustellen, dass die Aufwendung der erneuerbaren Primärenergie, durch die hauptsächliche Nutzung der Abwärme zum Trocknen etwa doppelt so hoch ist. Daher ergibt sich für den Lehmstein im Gesamtbild für den Einsatz von nichterneuerbaren Energien eine positive Bilanz – und damit einhergehend der verringerte Abbau von fossilen Ressourcen.

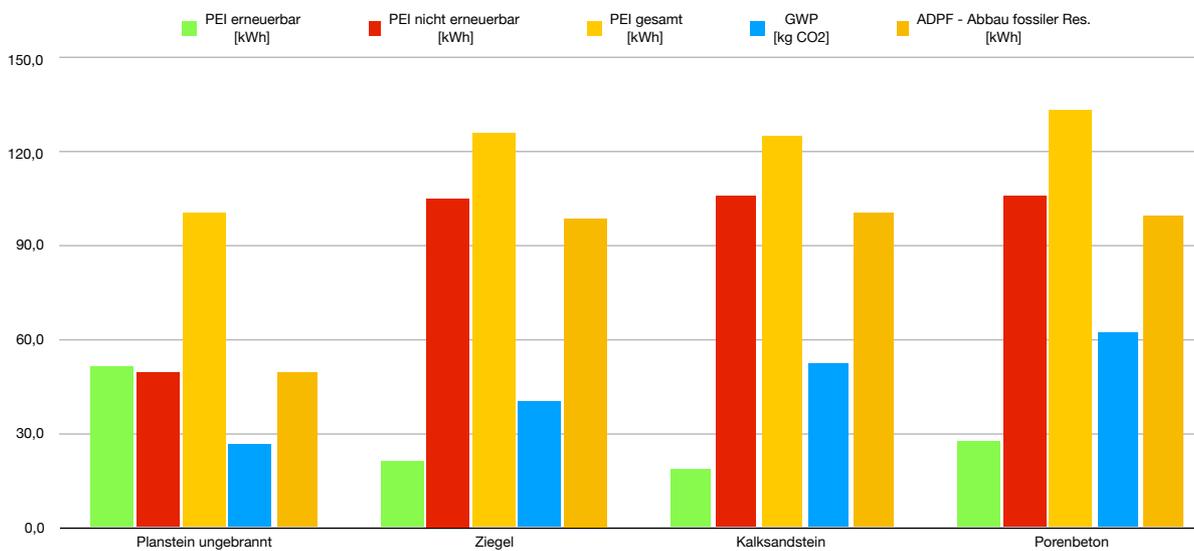


Abb. 23 Diagramm: Vergleich Ökobilanz üblicher konventioneller Mauerwerkssteine zum Lehmstein

Ökobilanz Gesamtaufbau 1 m² Wand im Vergleich

Nachfolgend werden verschiedene Wandaufbautypen und -varianten von Außenwänden auf den Primärenergiegehalt hin untersucht. Der gesamte Primärenergiebedarf beinhaltet neben den für die Einzelprozesse notwendige Energien als auch Primärenergie zur stofflichen Nutzung. Deshalb ist die alleinige Betrachtung des PEI-Gesamtwerts von Wandaufbauten mit organischen Baustoffen nicht zielführend. Es wird daher in erneuerbare und nicht erneuerbare PEI unterschieden und die erneuerbare stoffliche Energie getrennt betrachtet, um eine aussagefähige Betrachtung zu erhalten. Von großem Interesse ist die nähere Untersuchung der Energiegehalt erneuerbarer Energie, da davon ausgegangen werden kann, dass Baustoffe mit nachwachsenden Rohstoffen zum Großteil aus stofflicher erneuerbarer Energie bestehen und die Energie durch Wachstum aus gespeicherter Sonnenenergie besteht. Zudem speichern nachwachsende Baustoffe CO₂. Baustoffe aus oder mit organischen Bestandteilen, als

Baustoff verwendete Kunststoffe, hingegen entstammen aus fossilen Energieträgern. Diese besitzen ebenfalls Energie stofflicher Nutzung. Jedoch wird bei Verbrennung weiteres CO₂ frei. Aus diesen Gründen wird die fossile stoffliche Energie Baustoffe nicht gesondert betrachtet bzw. ausgewiesen. Und die nicht erneuerbare PEI wird unter anderem im Potential Abbau abiotischer fossiler Ressourcen hauptsächlich angerechnet. [131]

Gesamtenergieaufwand zur Herstellung der Materialien von Wandaufbauten mit vorgehängter Fassade.

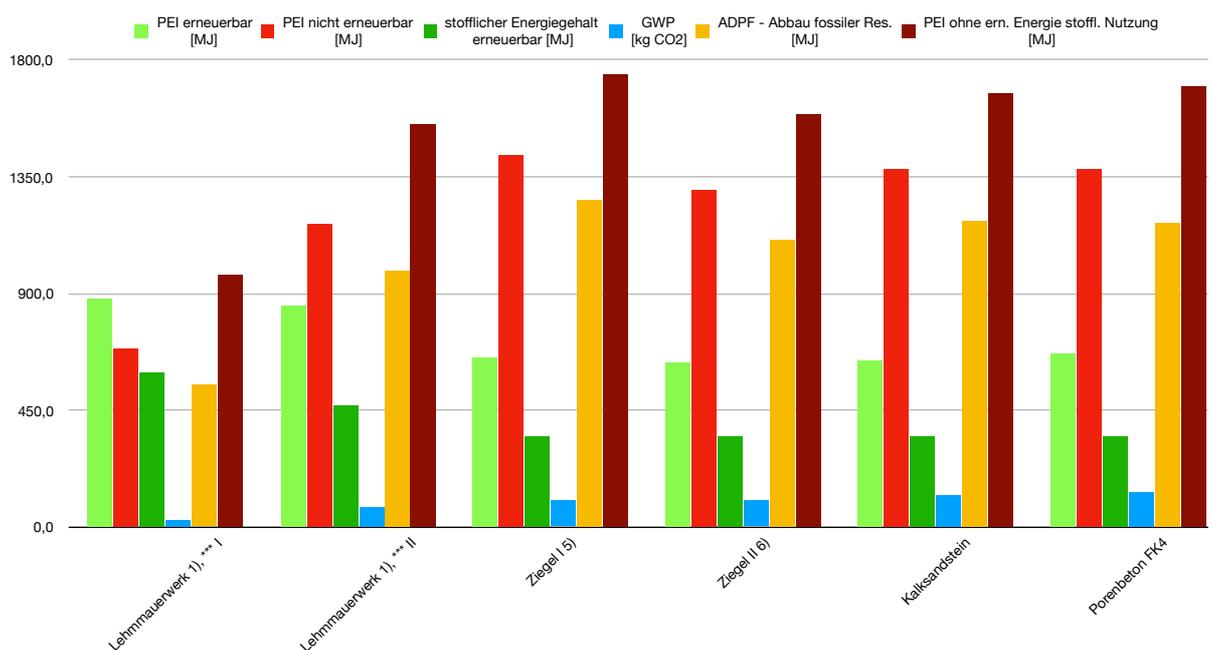


Abb. 24 Diagramm: Vergleich der Wandaufbauten im Hinblick der energetischen Aufwendungen

5.1 Sachbilanzen und Umweltkriterien

Industriell gefertigte Lehmsteine schneiden in der Ökobilanzierung, trotz anteilig höherer Masse im verwendeten Mauerwerk, positiv ab. Hervorzuheben ist hier die CO₂-Bilanz, die aufgrund des Sicherheitszuschlags aus dem generischen Datensatz signifikant gering ist. Die Bilanzierung des PEI erneuerbar trifft allerdings nur zu, wenn industriell gefertigte Lehmsteine in einem bestehenden Werk zur Herstellung keramischer Erzeugnisse parallel gefertigt werden und durch die Abwärme durch Brennenergie anderer keramischer Produkte genutzt wird. So werden derzeit Rohlinge schon heute in den Werken vor dem Brennen mit Abwärme getrocknet. Es ist deshalb davon auszugehen, dass bestehende Werke in der Lage sind die Produktion von Lehmsteinen ohne große Investitionen und Umbaumaßnahmen zu beginnen. Die Herstellung ist in die Herstellung keramischer Erzeugnisse integrierbar.

Die Außenwandkonstruktion mit der Vorhangfassade aus nachwachsenden Rohstoffen und Lehmmauerwerk schließt in der Ökobilanzierung in allen Bereichen signifikant unter den Werten der konventionellen Außenwandaufbauten. Das trifft insbesondere auf die Verwendung von konventionellen Fassadenunterkonstruktionen aus Aluminium zu. Bei Verwendung der Metall-UK verschlechtert sich die Ökobilanz des Gesamtaufbaus auch mit Lehmmauerwerk. Die Ökobilanz des WDV-Systems aus den nachwachsenden Rohstoffen nimmt wesentlich mehr Primärenergie bei der Herstellung in Anspruch. Da aber ein wesentlicher Anteil auf die stoffliche Energie der nachwachsenden Rohstoffe zurückzuführen ist und CO₂ gespeichert auf Dauer werden kann, ergibt sich im Gesamtbild eine positive Ökobilanz.

Für die Materialien, die der Witterung ausgesetzt sind, ist für die Haltbarkeit nach [134] folgendes festzustellen, dass die verwendeten Witterungsmaterialien für alle WDV-Systeme oder auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen eine Lebensdauer von 40 Jahren aufweisen.

5.2 Rezyklierung / Verwertung / Entsorgung der Einzelmaterialien

In der Recherche zeigt sich, dass Wandaufbauten mit Nachwachsenden Rohstoffen in der Verwertung/Entsorgung im Durchschnittspreis von 10-20€/t liegen. Hingegen liegen die Kunststoffe bei 150-200€/t. Die Entsorgung von bspw. Ziegeln liegen mit etwa 15€/t vergleichsweise niedrig. [132]

Bei Lehmbaustoffen fallen keine Entsorgungskosten an.

Wandaufbauten mit nachwachsenden Rohstoffen lassen sich mit wesentlich weniger Aufwand recyceln bzw. ist die Entsorgung aus ökologischer Sicht unproblematisch. Lehmmauerwerk lässt sich zu dem vollständig in den Herstellungsstoffkreislauf zurückführen.

5.2.1 Rezyklierung / Verwertung / Entsorgung

Mineralische Baustoffe:

Mineralische Baustoffe sind thermisch nicht verwertbar.

Lehmmauerwerk:

Das Lehmmauerwerk besteht aus Lehmsteinen und Lehmdünnbettmörtel und kann vollständig wiederverwendet und ggf. in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden. Die Entsorgung ist unproblematisch, da es sich im weitesten Sinne um Erdaushub handelt. Zudem ist Lehmmauerwerk kein Verbundstoff mit z.B. Kunststoffen oder ähnlichem. Wie die Versuche

zeigen, können Reste von Verankerungen bei Abbruch des Lehm-mauerwerks sehr gut aus-sortiert werden.

Mauerwerkssteine wie Ziegel, Kalksandstein und Porenbeton:

Die Wiederverwendung von bspw. von Ziegeln ist zwar möglich, da sie über die Dauer ihre Eigenschaften für die baulichen Anforderungen kaum verändern. Aber es ist kaum möglich, gerade im Hinblick der sehr filigran hergestellten Scherben, die Ziegel zerstörungsfrei rückzu-bauen. Deshalb wird der überwiegend mineralische Bauschutt aufbereitet und als Verfüllma-terial für den Unterbau von z.B. Straßen und Wegen wiederverwertet. Eine Rückführung in den Herstellungsprozess ist nur bedingt möglich. Ziegelbruch wird zum kleinen Teil als Zu-schlagsstoff für die Herstellung neuen Ziegeln oder von Beton verwendet. [132]

Mineralische Dämmstoffe:

Es wurde zwar begonnen saubere Baustellenreste zurückzunehmen. Aber derzeit existiert kein Verfahren um Mineralfaserdämmung zu recyceln. [132]

Kunststoffe:

Kunststoffe enthalten stoffliche Energie und sind theoretisch thermisch verwertbar. Aufgrund des mineralölichen Ursprungs wäre die thermische Verwertung nicht CO₂-neutral.

Fassadenunterspannbahn aus PET mit PUR beschichtet:

Einzelne Bestandteile wie PET-Vlies ist recycelbar. Die verwendeten Fassadenunterspannbah-nen sind mit Polyurethan beschichtet. Ob die Fassadenunterspannbahn recycelfähig sind ist nicht bekannt.

EPS-Dämmstoffe:

Expandiertes Polystyrol ist zwar theoretisch recycelbar, aber aufgrund der Zusätze von Flamm-schutzmitteln und aufgrund ökonomisch schlechten Transportbilanz für bspw. Rücknahmen existieren aktuell keine Verfahren für ein geeignetes Recycling oder Wiederverwertung. Eine thermische Verwertung ist aufgrund der meist bromhaltigen Flammschutzmittel toxisch und daher nur unter gewissen Voraussetzungen möglich. [132] Nach [133] wird EPS zum größten Teil thermisch verwertet, wobei stoffliches Recycling möglich ist.

Metalle:

Metalle sind thermisch nicht verwertbar.

Alu-Metallunterkonstruktion:

Aluminiumprofile für Baustoffe werden aufgrund der spezifischen Eigenschaften mit einer bestimmten Legierung hergestellt. Daher stammen beinahe alle für den Bau hergestellte Alu-Profile aus Neuproduktionen. Die Herstellung von Aluminium nimmt den größten Energiebedarf in Anspruch. Alt-Aluminium von der Baustelle lässt sich recyceln und wieder einschmelzen. [132]

Nachwachsende Rohstoffe:

Nachwachsende Rohstoffe besitzen einen hohen Anteil an gespeicherter Energie. Bei der thermischen Verwertung wird das durch das Wachstum gebundene CO₂ wieder frei. Die thermische Verwertung ist damit CO₂-neutral und grundsätzlich möglich.

Bauholz und Holzwerkstoffe:

Ein Viertel des Bauholzes wird derzeit wiederverwertet z.B. als Späne für Spanplatten. Alle weiteren Reste werden thermisch verwertet. [132]

Holzfaserdämmung und Hanfdämmvlies:

Werden aufgrund der Flammschutzzusätze thermisch verwertet.

6 Ausblick

6.1 Weiterentwicklung des Lehmmauerwerksteins

Die Versuche mit den Teststeinen haben gezeigt, dass wegen der gestellten hohen Anforderungen an das Lehmmauerwerk eine gleichbleibend hohe Qualität der Steine sichergestellt werden muss. Die Teststeine wiesen zum Teil starke Vorschädigungen auf, die die Versuchsergebnisse beeinträchtigte. Für die Weiterentwicklung des Lehmmauerwerkssteins für tragendes Lehmmauerwerk gibt es Forschungsbedarf hinsichtlich der:

Steinqualität

Das Schwindverhalten muss bei der Herstellung berücksichtigt werden, so dass Vorschädigungen des Steingefüges vermieden werden. Dafür muss die passende Stein-geometrie gefunden werden, die zum ein Festigkeitsverhalten mit minimaler Streuung aufweist und als geeigneter Befestigungsuntergrund dienen kann.

Das Mischungsverhältnis Steinmaterials sollte experimentell verbessert werden. Der Teststein von Wienerberger enthielt Porosierungsmittel, die sich negativ auf das Brandverhalten des Steins auswirken. Tragende Lehmsteine sollten keine Porosierungsmittel als Zuschlagsstoff enthalten. Die Teststeine von GIMA sind insgesamt sehr fest, aber durch Zuschläge wie Splitt sehr spröde und neigte zu Ausbrüchen und Abplatzen. Zudem quillt das Steinmaterial bei Wassereinwirkung stark.

Die Steinmischung sollte so eingestellt werden, dass die leichten Sprödbrüche und starkes Schwinden durch Trocknung auf ein Mindestmaß begrenzt werden können. Die Abstimmung der Steinmischung nach Eigenschaften der Tonminerale (Quellen-Schwinden) ist ebenfalls vorzunehmen.

6.2 Testphase – genutztes Wohnhaus

Bauteilanschlüsse

In einem Testhaus, das z.B. von einer Familie genutzt wird, sollen alle wesentlichen Anschlüsse hergestellt und auf Praxistauglichkeit werden.

Baustelle / Herstellung

Während der Bauphase müssen alle erforderlichen Schritte dokumentiert werden und Hindernisse herausgestellt werden.

Baukosten / Bauplanung

Für die Bauplanung ist es wichtig die Bauzeiten und Abläufe zu dokumentieren und mit konventionellen Bauablaufdaten abzugleichen. Die Baukosten sind zu dokumentieren und aufzuschlüsseln, um präzise Baukostenplanungen durchführen zu können.

Langzeituntersuchungen

Verformung, wie Längenänderung bedingt durch bauphysikalische Einflüsse, müssen im Langzeitverhalten untersucht und aufgezeichnet werden. Aufzeichnungen von Feuchte- und Temperaturmessung an den Wandinnenseiten und an der Wandaußenseite zwischen Dämm- und Mauerwerksebene sollten ganzjährig erfolgen. Ganzjährige raumklimatische und außenklimatische (der direkten Gebäudeumgebung mit anschließendem Wetterdatenabgleich) Messwertaufzeichnung sollen Aufschluss darüber geben, wie sich der Wandaufbau im wechselseitigen Bezug zum Außen- und Innenraumklima verhält.

Unterputzdehnmessstreifen sollen zur Messung und Aufzeichnung der Langzeitverformung, wie Kriechverhalten und Längenänderungen, am Mauerwerk installiert werden. Des weiteren soll die Langzeitverformung in der Fläche mind. eine Außenwand von Innen durch ein fest installiertes photogrammetrisches System erfasst werden.

Feuchtemessungen Sockelübergänge, Dachanschlüsse und Fassadenbereiche sollen zudem potentielle Schwachstellen aufzeigen.

Potentielle Baufehlerquellen

Während der Nutzung sollen die wesentlichen Anschlusspunkte, mittels vorher definierte Kontrollstellen / -öffnungen, regelmäßig beobachtet und dokumentiert werden. Mögliche Schäden müssen nach Art klassifiziert und Herkunft unterschieden werden.

Radioaktive Strahlung

Lehm als Stoff an sich ist nicht radioaktiv.

Nach dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) enthalten aber alle mineralischen Baustoffe natürlich vorkommende Radionuklide. Eine gesundheitlich relevante Strahlenbelastung entsteht dadurch normalerweise nicht. [146]

Eine natürliche Strahlung tritt durch verschiedene Radionuklide auf. Die radioaktive Strahlung ist dann zum einen abhängig von der jeweiligen Herkunft des Grundstoffs Lehm. Je nach Herkunft schwanken die Einlagerungen der verschiedenen Nuklide erheblich. Durch Zerfallsprozesse eingelagerter radioaktiver Nuklide wird Radon und Thoron freigesetzt. Die Radonisotope werden nach Errichtung der Gebäude durch Auslüften der Wände langsam abgegeben, so dass auch lange nach der Fertigstellung von Gebäuden aus Lehm radonbedingte Strahlungsbelastung auftreten kann. Je nach Gebiet und Lagerstätte wurde in Wohngebäuden Radioaktivität durch freigesetztes Radon in der Raumluft gemessen. [145] und [146]

Der wesentliche Einfluss der potentiellen Strahlenbelastung durch Radonvorkommen in der Raumluft hat das Baugebiet – besonders in Bodennähe und im Keller. Der hauptsächliche Anteil des Radonvorkommens tritt durch den Zerfall natürlich vorkommender Radionuklide, wie Uran-238, Thorium-232 sowie Kalium-40, im Erdboden auf. Der Eintritt von Radon erfolgt dann im Keller oder in Räume in Bodennähe aufgrund von Rissen und leichten Schädigungen im Bauwerk. Nachfolgend die Untersuchungsempfehlung nach Gefährdungskarte. Es wird angemerkt, dass die Untersuchungen ebenfalls für Neubauten in Gefährdungsgebieten empfohlen werden, um Maßnahmen zur Sanierung bewerten zu können. [145] und [146]

Anders als bei Radon ist das Auftreten von Thoron, das den Eintritt ins Gebäude über das Erdreich wegen seiner kurzen Halbwertszeit von 55s kaum übersteht, ausschließlich über den Zerfall von eingelagertem Thorium im Baustoff zu erwarten – der raumabgrenzenden Wand. Die gesundheitliche Bedeutung von Thorium ist noch zu erforschen. Üblicherweise ist die auftretende Strahlung ausgehend von Thorium im Vergleich etwas höher als Ziegel aber deutlich geringer als Granit. [145] und [146]

Obwohl nach BfS keine gesundheitsschädigende Wirkung von Radon aus Lehmbaustoffen zu erwarten ist und gut erforscht sei, ist dennoch eine Langzeitmessung anzustreben, um die gesundheitliche Bedeutung von Thoron in Gebäuden mit modernen Lehm-mauerwerkswänden zu erforschen.

Über das Forschungsthema hinaus bedeutet das, dass der Baustoff ansich geprüft werden sollte. Welche Radionuklide sind in welcher Größenordnung vorhanden? Wieviel Strahlung kann je Isotop des Radons in der Raumluft gemessen werden? Wieviel Radonfreisetzung sind durch die Radonisotope perspektivisch zu erwarten?

Die Strahlenbelastung sollte daher über einen langen Zeitraum der Nutzung gemessen werden. Zu welchen Zeiten tritt die größte Strahlung auf? Und in welchen Räumen tritt die Strahlung auf?

7 Chancen – abschließend zusammengefasst

Industriestandort Deutschland

Wie in der Arbeit herausgestellt, ist der Mauerwerksziegel der im Wohnungsbau am meisten verwendete Baustoff mit einer bisher stabilen Marktposition. Begründet mit der Annahme, dass Baukeramik weiterhin benötigt und produziert werden wird, wäre es sinnvoll und technisch möglich die Produktion von Lehmsteinen in den vorhandenen Werken zu integrieren und die Abwärme des Brennprozesses für die Trocknung der Lehmsteine zu Nutze zu machen – wie es derzeit schon für die Trocknung der Ziegelrohlinge vor dem Brennen üblich ist. Es könnte dadurch nicht nur Energie gespart werden, sondern ein neuer Baustoffmarkt für die herstellende Industrie mit minimaler Neuinvestition erschlossen werden – die Infrastruktur ist schon vorhanden.

Gesellschaftliche Debatte Umweltbewusstsein

Vor dem Hintergrund der globalen Erwärmung und der zunehmenden Umweltverschmutzung, wird mit der vorliegenden Arbeit ein Beitrag geleistet sich der Erfüllung ökologischer Anforderungen unserer Gesellschaft anzunähern. Mit einem niedrigen Energieverbrauch bei der Produktion der Steine und bei der Verwendung nachwachsender Rohstoffe, ohne dabei die Anforderungen an zeitgemäßes Bauen zu vernachlässigen, ist es möglich den CO₂ Verbrauch aus fossilen Brennstoffen zu minimieren und zudem CO₂ aus der Umwelt durch Verwendung nachwachsender Rohstoffe zu binden. Es wird mit der Arbeit die Chance formuliert, dass es möglich ist umweltbewusst und mit konventionellen Methoden zeitgemäße Gebäude zu errichten, die einen Beitrag leisten können die globale Erwärmung zu begrenzen und wertvolle fossile Ressourcen zu schonen.

Wohnungsbau / Wohnungsmarkt

Mit der Arbeit wird ein Beitrag geleistet, für den Wohnungsmarkt einen weiteren Baustoff zugänglich zu machen, der für die Wohnbehaglichkeit von Vorteil ist und damit den Wohnwert im Sinne der Wohnqualität steigern kann. Mit dem modernen Lehmsteinmauerwerk entsteht ein neuer moderner Baustoff in alter Tradition, der viele Vorteile vereint:

| | Ziegel | Porenbeton | Kalksandstein | Beton | Holz und Holzbau- stoffe | Lehm | Glas | Metalle |
|-----------------------------------|--------|------------|---------------|-------|-----------------------------|------|------|---------|
| Natürliche Rohstoffe | + | + | + | - | + | + | + | + |
| Primärenergieinhalt | - | - | - | - | + | + | - | - |
| Transportweg | + | + | + | + | + | + | - | - |
| CO ₂ -Ausstoß | - | - | - | - | + | + | - | - |
| Recyclingfähigkeit | - | + | + | - | + | + | + | + |
| Druckfestigkeit/ Tragfähigkeit | + | + | + | + | + | - | - | + |
| Verarbeitung | + | + | - | - | + | + | - | - |
| Raumklima | + | + | + | + | + | + | - | - |
| Wärmedämmung | + | + | - | - | + | + | - | - |
| Schallschutz | + | - | + | + | - | + | - | - |
| Brandschutz | + | + | + | + | - | + | + | - |
| Feuchteschutz | + | - | + | + | - | + | - | - |

Abb. 25 Baustoffe zusammengefasst in Vorteilen und Nachteilen – überwiegend Vorteile von Lehm als Baustoff im Vergleich zu anderen Baustoffen, siehe [131]

Entgegen der Darstellung von Pfoh [131] konnte mit der vorliegenden Arbeit nachgewiesen werden, dass das Vertrauen in die Festigkeit von Lehm-mauerwerk im Zusammenspiel Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze nicht mehr als Nachteil gelten muss, sondern als Vorteil gewertet werden kann.

8 Quellen

Siehe Hauptdokument: EGsL – Abschlussbericht

8.1 VERZEICHNIS

- [1] Lehmhausbau. <http://www.lehmhaus.net/> Aufruf 21.07.2016
- [2] Alternative Baukonzepte: Ein Haus aus Lehm. <https://www.eccuro.com/artikel/308-alternative-baukonzepte-ein-haus-aus-lehm>. Aufruf 01.07.2016
- [3] <http://www.lehmbau-pritzl.de/> Aufruf 29.07.2016
- [4] Europäische Bildungsstätte für Lehmbau. <http://lernpunktlehm.de/wp3/?tag=denkmalpflege>, Aufruf 29.07.2016
- [5] Gilly, D.: Handbuch der Land-Bau-Kunst: vorzüglich in Rücksicht auf die Construction der Wohn- und Wirthschafts-Gebäude für angehende Kameral-Baumeister u. Ökonomen. Friedrich Vieweg: Braunschweig
- [6] Braun, J.: Beitrag zur Sanierung von erdbebengeschädigtem Lehmmauerwerk - Untersuchungen zur Sanierung von erdbebengeschädigtem Lehmmauerwerk, zur Erhöhung der Schubfestigkeit, Erdbebensicherheit und zur Verbesserung des Witterungsschutzes. In: Bauforschung – Baupraxis. Schriftenreihe des Lehrstuhls Tragwerksplanung. Band 11. Techn. Univ. Lehrstuhl Tragwerksplanung, Fak. Architektur: Dresden, 2012
- [7] Volhard, F.; Röhlen, U.: Lehm-Bau-Regeln / Begriffe - Baustoffe - Bauteile. Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.).Vieweg + Teubner, Wiesbaden 1999, 3. Überarbeitete Auflage 2009
- [8] Fontana, P.; Perrone C.; Miccoli, L., Ziegert, Ch., Röhlen U.: Charakterisierung und Modellierung der mechanischen Eigenschaften von Lehmsteinmauerwerk. Mauerwerk 16 (2012), H. 6, S. 279 - 292
- [9] Jäger, W.: Anlage zum Forschungsantrag - Lehmmauerwerk: Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze für eine Breitenanwendung im Wohnbau, unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen gemäßiger Zonen, am Beispielstandort Deutschland, Technische Universität Dresden, Lehrstuhl für Tragwerksplanung 2014
- [10] Jäger, W.; Khorramabadi, S. M. T.: The effects of bed joint and vertical reinforcement on adobe masonry (mud brick) walls under compressive and in-plane shear loading. Paper given at the 7th Int. Masonry Conference London 2006. British Masonry Society: Stoke-on-Trent 2006, Abstract Nr. 18 und CD
- [11] Müller, U.; Kaiser C.; Ziegert, Ch.; Röhlen U.: Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk. Mauerwerk 16 (2012), H 1, S. 17 - 28 “;

- [12] Minke, G: Lehm-Bau-Handbuch - Der Baustoff Lehm und seine Anwendung. Ökobuch: Stufen bei Freiburg, 1997
- [13] Möllerhenn, A.: Lehm - ein Baustoff mit Zukunft. Wissenschaftliche Arbeit, Fakultät Architektur, Lehrstuhl Tragwerksplanung, Technische Universität Dresden, 2014
- [14] Huber, A.-L., Kleespies, Th.: Regeln zum Bauen mit Lehm, SIA-Dokumentation D 0111, SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 1994
- [15] Röhlen, U.; Ziegert, Ch.: Lehm-Bau-Praxis - Planung und Ausführung - Beuth Praxis: Bauwesen. Beuth: Berlin, Wien, Zürich, 2014
- [16] Schroeder, H.: Lehm-Bau: Mit Lehm ökologisch planen und bauen. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2013
- [17] Datenbank für Ökobilanzen von Baustoffen – Lehmsteine. <http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/1.3.17/Mineralische%20Baustoffe/Steine%20und%20Elemente/Lehmsteine.html>, Aufruf 8.12.2015
- [18] Datenbank für Ökobilanzen von Baustoffen – Mauerwerksziegelsteine. <http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/1.3.02/Mineralische%20Baustoffe/Steine%20und%20Elemente/Ziegel.html>, Aufruf 8.12.2015
- [19] Environmental Product Declaration (EPD) – Mauerwerksziegelsteine. <https://epd-online.com/PublishedEpd/Detail/7330>, Aufruf 8.12.2015
- [20] Bilddateien – Hainallee 1 in Weilburg an der Lahn. [https://commons.wikimedia.org/wiki/Categorie:Hainallee_1_\(Weilburg\)?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/Categorie:Hainallee_1_(Weilburg)?uselang=de), Aufruf 18.12.2015
- [21] Verbraucherinformation der Dachverband Lehm e.V. http://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_verbraucherinfo_de.pdf, Aufruf 23.12.2015
- [22] Beck, K., http://www.moderner-lehmbau.com/deutsch/editorial/lr_d12a.htm, Aufruf 29.12.2015
- [23] Feiglstorfer, H (Hrsg.); Kubista, M: Earth Construction and Tradition: Volume I: Industrially produced adobe bricks: Austrian projects 2004–2008, IVA Institut für vergleichende Architekturforschung, Wien, 2016, S.233-245
- [24] ecoplus Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH Ökobau Cluster (Hrsg.), Geißlhofer A., LEHM.konkret - Schlussbericht, St. Pölten, 2006
- [25] DIN 18945: Lehmsteine – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren, Stand 08.2013, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2013
- [26] DIN 4102-4/A1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile; Änderung A1, Stand 11.2004, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2004

- [27] MA 64 – 1332/2008: Verordnung, des Magistrates der Stadt Wien vom 29. April 2008 über die bis zum 30. April 2009 befristete Zulassung von Wienerberger Lehmziegelwänden., Magistrat der Stadt Wien Magistratsabteilung 64, 1082 Wien, Lerchenfelder Straße 4
- [28] BGBAU BGI 695: Handhaben von Mauersteinen, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften Fachausschuß „Bau“, Ausgabe Oktober 1992
- [29] Welche Produkte betrifft die DIN bei conluto? - Lehmsteine DIN 18945. http://www.lehmprojekt.de/geladene_objekte/Welche%20Produkte%20betrifft%20die%20DIN%20bei%20conluto.pdf, bzw. <http://www.conluto.de/Neue-Lehmbau-DIN-Normen.356.0.html>, Aufruf 26.11.2015
- [30] Bilddateien über Ziegelherstellung. <http://www.ziegelwerk-bellenberg.de/unternehmen/ziegelherstellung.html>, Aufruf 23.12.2015
- [31] Holzabsatzfonds, Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn (Hrsg.), Dederich, L., Tichelmann, K., Jakob, P.: Holzbau Handbuch, Reihe 3 Bauphysik, Teil 2 Wärme- und Feuchteschutz, Merkblatt Bäder und Feuchträume im Holzbau und Trockenbau, Bonn 2007, inhaltlich unveränd. Nachdruck 08/2007
- [32] <http://informationsdienst-holz.de/publikationen/> Aufruf 14.12.2015
- [33] <http://www.luftfeuchtigkeit-raumklima.de/tabelle.html>, Aufruf 29.12.2015
- [34] <http://www.ib-rauch.de/Beratung/luftfeuchte2.html>, Aufruf 05.01.2016
- [35] Belz, W.: Zusammenhänge / Bemerkungen zur Baukonstruktion und dergleichen. Müller, Köln, 1993
- [36] Heisel, J. P.: Planungsatlas / das kompakte Praxishandbuch für den Bauentwurf; mit vielen Projektbeispielen. Bauwerk-Verl., Berlin, 2007
- [37] Jäger, W.: INITIATIVE BAUEN IN WEISS - Vorlesungsskript für Architekten im Mauerwerksbau. Technische Universität Dresden, 2007
- [38] Neufert, E., Neuwert, P.: Bauentwurfslehre / Grundlagen, Normen, Vorschriften über Anlage, Bau, Gestaltung, Raumbedarf, Raumbeziehungen, Maße für Gebäude, Räume, Einrichtungen, Geräte mit dem Menschen als Maß und Ziel ; Handbuch für den Baufachmann, Bauherrn, Lehrenden und Lernenden ; mit Tabellen. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2002
- [39] <https://www.bak.de/intranet/service/fluechtlinge-aktivitaeten-der-lakn/> Aufruf 02.01.2016
- [40] http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/e_text/k609.doc, Aufruf 04.01.2016
- [41] http://www.zukunft-metropole.at/Downloads/Praesentation_Wentz.pdf, Aufruf 04.01.2016
- [42] Gast, K.-P.: Wohn Pläne, neue Wege im Wohnhausbau. Birkhäuser, Basel, Berlin [u.a.], 2005

- [43] Heider, K.: Doppelhäuser und Reihenhäuser, aktuelle Beispiele zeitgenössischer Architektur. München, Dt. Verl.-Anst., 2006
- [44] Schittich, Ch. (Hrsg.): im DETAIL, Einfach Bauen Zwei, nachhaltig, kostengünstig, lokal. München, Ed. Detail - Inst. für Internationale Architektur-Dokumentation, 2012
- [45] Kompetenzzentrum „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“, IEMB Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. an der TU Berlin: Bauen für Kinder in der Stadt - Bestandsaufnahme. IEMB Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. an der TU Berlin 2008
- [46] Schittich, Ch. (Hrsg.), Musso, F.: im DETAIL, Einfach Bauen, Birkhäuser, Basel, Berlin [u.a.], 2005
- [47] Schneider, F.: Grundrissatlas Wohnungsbau. Birkhäuser, Basel, Berlin [u.a.], 2004
- [48] <https://www.vdz-online.de/publikationen/zahlen-und-daten/e-bruttoinlandsprodukt-bauwirtschaft/>, Aufruf 10.9.2018
- [49] https://www.dgfm.de/fileadmin/downloads/06_Verband/Jahresberichte/56112_DGfM_Jahresbericht_13_15_final.pdf, Aufruf 10.9.2018
- [50] Bundesinstitut für Bau, Stadt-, und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, BBSR-Analysen KOMPAKT 07/2015, Wohnungsmarktprognose 2030. http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2015/DL_07_2015.pdf?blob=publicationFile&v=5, Aufruf 13.05.2016
- [51] Bundesinstitut für Bau, Stadt-, und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, BBSR-Analysen KOMPAKT 01/2012, Wohnungs- und Immobilienmärkte in Deutschland, Kurzfassung. http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2012/DL_1_2012.pdf?blob=publicationFile&v=2, Aufruf 13.05.2016
- [52] Bundesinstitut für Bau, Stadt-, und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, BBSR Forschung im Blick 2015/2016. http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/Sonderveroeffentlichungen/2015/Forschung-im-Blick-15-16_DL.pdf?blob=publicationFile&v=4, Aufruf 13.05.2016
- [53] https://www.demografie-portal.de/SharedDocs/Informieren/DE/ZahlenFakten/Wanderungssaldo_Kreise.html, Aufruf 13.05.2016
- [54] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Wohnen und Bauen in Zahlen 2009/2010, 5. Auflage Stand: April 2010. <http://m.baulinks.de/webplugin/2010/i/1340-wohnen-bauen-2009-2010.pdf> Aufruf 13.05.2016
- [55] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Wohnen und Bauen in Zahlen 2012/2013, 8. Auflage Stand: September 2013.

- https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjRmP-fgdfMAhVLWRoKHQjoDJAQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.die-ter-bouse.de%2Fapp%2Fdownload%2F5795286752%2FBMVI_Wohnen-und-Bauen-in-Zahlen-2012-2013%2C%2BAusgabe%2B9-2013.pdf&usq=AFQjCNHvc_CpexJ6sJBZpgCMxnaud-nDKQ, Aufruf 13.05.2016
- [56] http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/EnEV/EnEV2013/Download/Lesefassung_EnEV2013.pdf?_blob=publicationFile&v=2, Aufruf 7.12.2015
- [57] <http://www.u-wert.net> Aufruf 26.11.2015 - Berechnungen siehe Anhang
- [58] <http://www.bic-brandschutz.de/baublatt.pdf>, Aufruf 12.01.2016
- [59] <http://www.adip.tu-berlin.de/wp-content/uploads/2012/01/TU-Grundlagen-d-baulichen-Brandschutzes-2012.pdf>, Aufruf 12.01.2016
- [60] http://www.grassi-coag.ch/UserFiles/Blog/Lehm_Ein_nachhaltiger_Baustoff/Broschuere-lehm.pdf, Aufruf 12.01.2016
- [61] Hartmann, R.: Moderner Lehm-bau im Wohnungsbau – Eine Erörterung von Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien für eine Breitenanwendung von Lehm-mauerwerk im Wohnungsbau. Techn. Univ. Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Fak. Architektur: Dresden, Diplomarbeit unveröffentlicht, 2016
- [62] Hrsg.: Huber, A.-L.: Huber, A.-L.; Kleespies, Th.; Schmidt, P.: Neues Bauen mit Lehm: Konstruktionen und gebaute Objekte. Ökobuch Verlag, Auflage 1, Staufen bei Freiburg 1997
- [63] Neuling, H. E.: Lehm-mauerwerk: Entwicklung eines Typenkatalogs unterschiedlicher Wandaufbauten – eine kritische Analyse von wesentlich verschiedenen Wandaufbautypen mit tragendem Lehm-mauerwerk nach baustatischen und bauphysikalischen Gesichtspunkten. Techn. Univ. Lehrstuhl Tragwerksplanung, Fak. Architektur: Dresden, Diplomarbeit unveröffentlicht, 2017
- [64] <https://www.google.de/search> 100 liter heizöl wieviel kwh: Abruf: 29.11.2017
- [65] Dehn F., König G., Marzahn G.: Konstruktionswerkstoffe im Bauwesen; Ernst & Sohn; Berlin; 1. Aufl. Juni 2003
- [66] DIN 105-6: Mauerziegel – Teil 6 Planziegel, Stand 06.2013, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2013
- [67] DIN EN 771-1: Festlegungen für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel; Deutsche Fassung EN 771-1:2011+A1:2015; Stand 11.2015, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2015
- [68] DIN EN 1996-1-1: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN

- 1996-1-1:2005+A1:2012; Stand 02.2013, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2013
- [69] DIN 18946: Lehmörtel – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren, Stand 08.2013, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2013
- [70] <http://www.lebensraum-ziegel.de/ziegelllexikon/mauerwerk/ausfuehrung/7-planziegelmauerwerk.html>, Aufruf am 5.2.2018
- [71] Schneider, U.; Schwimann M., Buckner H.: Lehm- und Ziegelbau, Konstruktion, Baustoffe und Bauverfahren, Prüfungen und Normen, Rechenwelt, Düsseldorf, 1996
- [72] www.feuertrutz.de; Hahn C.; DIN 4102-4 (neu) Hinweise für die Praxis, Aufruf am 23.07.2017 10:36 Uhr
- [73] Hrsg.: Hosser D.; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Materialprüfanstalt für das Bauwesen (MPA); Tagungsband Braunschweiger Brandschutztag; Braunschweig, 2012; S. 165
- [74] Ziegert, C.; Berichte aus dem konstruktiven Ingenieurbau, Technische Universität Berlin; Lehm- und Ziegelbau, Konstruktion, Schäden und Sanierung; Berlin, 2003
- [75] Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.; Baulicher Brandschutz im Wohnungsbau; Bonn; 2016
- [76] Lehmden A., Kubista M., Jäger A.; Einführung mineralwollegefüllter Ziegel in Österreich – Optimierung und Prüfung des Brandverhaltens; in: Mauerwerk 17 (2013), Heft 3, Berlin
- [77] Hahn C., Hause P.; Gibt es durch die harmonisierten europäischen Prüfnormen Auswirkungen auf das Brandverhalten von Mauerwerk; in: Mauerwerk 13 (2009), Heft 2, Berlin
- [78] Jäger Ingenieure GmbH: Brandschutzkonzept Neubau Zinzendorf-Gymnasium, unveröffentlicht, Radebeul/Weimar 2014
- [79] Sächsische Bauordnung (SächsBO) vom 11. Mai 2016
- [80] Sächsische Schulbaurichtlinie (SächsSchulBauR) vom
- [81] Sächsischen Versammlungsstättenverordnung vom 8.10.2014
- [82] DIN 4102-1, Mai 1998, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 1998
- [83] DIN 4102-2, September 1977, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 2: Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 1977

- [84] DIN 4102-4, Mai 2016, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2016
- [85] DIN EN ISO 13943, Mai 2016, Brandschutz Vokabular, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2016
- [86] DIN EN 1363-1, Oktober 2012, Feuerwiderstandsprüfung – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2012
- [87] DIN EN 1363-2, Oktober 1999, Feuerwiderstandsprüfung – Teil 2: Alternative und ergänzende Verfahren, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 1999
- [88] DIN EN 1364-1, September 2015, Feuerwiderstandsprüfung für nichttragende Bauteile – Teil 1: Wände, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2015
- [89] DIN EN 1365-1, August 2013, Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 1: Wände, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2013
- [90] DIN EN 13501-1, Januar 2010, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2010
- [91] DIN EN ISO 1182, Oktober 2010, Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten – Nichtbrennbarkeitsprüfung, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2010
- [92] DIN EN ISO 1716, November 2010, Prüfung zum Brandverhalten von Produkten – Bestimmung der Verbrennungswärme (des Brennwertes) , DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2010
- [93] DIN EN 1996-1-2/NA, Juni 2013, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall , DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2013
- [94] DIN EN 60584-1, Juli 2014, Thermoelemente – Teil 1: Thermospannungen und Grenzabweichungen, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2014
- [95] DIN EN 13501-2, Dezember 2016, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2016
- [96] Meyer, G.; Schiffner, E.: Technische Thermodynamik; 3. Aufl.; Leipzig: Fachbuchverlag, 1986
- [97] DIN EN 1052-1, Dezember 1998, Prüfverfahren für Mauerwerk Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 1998
- [98] <http://bauklimatik-dresden.de/delphin/index.php>, Aufruf 22.3.2018

- [99] Ortsgenaue Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse:
<http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2013/testreferenzjahre/01-start.html?nn=436654¬First=true&docId=1595620>, Aufruf 22.3.2018 bzw. <https://kunden.dwd.de/obt/index.jsp>, Aufruf 22.3.2018
- [100] http://www.gebsimu.de/Rouvel_Erdreich_Naeherungsformeln_in_Anlehnung_an_DIN_EN_ISO_13370.pdf, Download 20.3.2018
- [101] <https://www.pik-potsdam.de/cgi-bin/jahresgang?JAHR=2017&PARAMETER=boden&LANG=de>, 15.3.18
- [102] DIN EN 1052-3, Juni 2007, Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 3: Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit), DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2007
- [103] <http://www.mauerwerksbau-lehre.de/vorlesungen/2-festigkeits-und-verformungseigenschaft/23-formaenderungen-von-mauerwerk/232-kennwerte/>; 25.5.18
- [104] Schneider, U.; Schwimann M., Buckner H.: Lehm- und Ziegelbau, Konstruktion, Baustoffe und Bauverfahren, Prüfungen und Normen, Rechenwelt, Düsseldorf, 1996
- [105] Hrsg.: Dachverband Lehm e.V.; Volhard F., Röhlen U.; Lehm- und Ziegelbau Regeln: Begriffe Baustoffe, Wiesbaden, 1998
- [106] www.feuertrutz.de; Hahn C.; DIN 4102-4 (neu) Hinweise für die Praxis, Aufruf am 23.07.2017 10:36 Uhr
- [107] Hrsg.: Hosser D.; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Materialprüfanstalt für das Bauwesen (MPA); Tagungsband Braunschweiger Brandschutztag; Braunschweig, 2012; S. 165
- [108] Ziegert, C.; Berichte aus dem konstruktiven Ingenieurbau, Technische Universität Berlin; Lehm- und Ziegelbau, Konstruktion, Schäden und Sanierung; Berlin, 2003
- [109] https://www.meteoblue.com/de/wetter/vorhersage/archive/dresden_deutschland_2935022?fcstlength=1m&year=2017&month=10, 30.5.2017
- [110] <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101812&lv3=101906>, 30.5.2017
- [111] Cziesielski, E., Maerker, B.: Methode zur Erzeugung eines künstlichen Schlagregens für die Bauteilprüfung, Forschungsauftrag B I 5 - 80 01 77 - 31 TU Berlin 1981, F 1765 - 81 11 33 23, Fraunhofer IRB Verlag
- [112] DIN EN 1027, September 2016: Fenster und Türen - Schlagregendichtheit - Prüfverfahren
- [113] DIN EN 12208, Juni 2000: Klassifizierung der Schlagregendichtheit

- [114] DIN EN 12154, Juni 2000: Vorhangfassaden - Schlagregendichtheit - Leistungsanforderungen und Klassifizierung
- [115] DIN EN 12155, Oktober 2000: Vorhangfassaden - Schlagregendichtheit - Laborprüfung unter Aufbringung von statischem Druck
- [116] DIN EN 13050, September 2011, Vorhangfassaden – Schlagregendichtheit – Laborprüfung mit wechselndem Luftdruck und Besprühen mit Wasser
- [117] Künzel, H.M.: IBP-Mitteilung 263, Bestimmung der Schlagregenbelastung von Fassadenflächen. Fraunhofer Institut für Bauphysik 1994
- [118] DIN 4108-3, November 2014, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- [119] Meyer, U.; Schlundt, A.: Brandschutzbemessung von Mauerwerk nach Eurocode 6. Mauerwerk. 18 (2014) 3 / 4. ISSN 1432-3427
- [120] <https://help.gardena.com/hc/de/articles/115001179774-Welchen-Durchfluss-bzw-welchen-Wasserverbrauch-haben-die-einzelnen-Micro-Drip-System-Komponenten->, 5.7.2018
- [121] https://www.dibt.de/de/Fachbereiche/data/TR_Durchfuehrung_Auswertung_Injektionsankersysteme_Mauerwerk.pdf – 12.7.2018
- [122] <http://www.ecobine.de/glossar/de/baustoffe/Lehmbaustoffe.pdf> – 9.7.2018
- [123] <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/massivbaustoffe/lehmbaustoffe.html> – 28.8.2018
- [124] Kasser, U.; Pöll, M.: Graue Energie von Baustoffen: Daten zu Baustoffen, Bauchemikalien, Verarbeitungs- und Transportprozessen mit Erläuterungen und Empfehlungen für die Baupraxis. Büro für Umweltchemie. 1998
- [125] Hiese, W. (Hrsg.): Baustoffkenntnis. 16. Auflage. Werner, Köln 2007
- [126] Bruckner, H.; Schneider, U.: Naturbaustoffe. Erschienen in: Werner-Ingenieur-Texte, WIT. Werner, Düsseldorf 1998
- [127] Winkler, A.: Beschichtung erhöht Widerstand von Lehmbaustoffen gegen Wasser. Technical Paper | Fachbeitrag in ZI Ziegelindustrie International - Zi 6 2017, Bauverlag Gütersloh 2017
- [128] Ruzicka, J.; Divis, J.; Stanek, K.; Richter, J.; Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): Der Einfluss natürlicher Lehmbaustoffe und Lehmbauweisen auf die relative Luftfeuchte im Innenraum Mikroklima. LEHM2016 - Tagungsbeiträge der 7. Internationalen Fachtagung für Lehm bau. Eigenverlag Dachverband Lehm e.V., Weimar 2016

- [129] Klinge, A.; Roswag-Klinge, E.; Fontana, P.; Hoppe, J.; Richter, M.; Sjöström Chr.; Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): Reduktion von Lüftungstechnik durch den Einsatz klimasteuernder Naturbaustoffe – Ergebnisse aus dem EU Forschungsvorhaben H-House und der Baupraxis. LEHM2016 - Tagungsbeiträge der 7. Internationalen Fachtagung für Lehm-bau. Eigenverlag Dachverband Lehm e.V., Weimar 2016
- [130] Schroeder, H.; Lemke, M.; Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): Nachhaltige Lehm-baustoffe – umweltbezogene Produktangaben als Mittel zur Wettbewerbsförderung in der Baustoffindustrie. LEHM2016 - Tagungsbeiträge der 7. Internationalen Fachtagung für Lehm-bau. Eigenverlag Dachverband Lehm e.V., Weimar 2016
- [131] Pfoh S., Schneider P., Grimm F.: Projektplattform Energie: Leitfaden 01 Ökologische Kenndaten Baustoffe und Bauteile, Zentrum für Nachhaltiges Bauen, Technische Universität München, 2015: https://www.ppe.tum.de/fileadmin/w00bqx/www/content_uploads/151016_Leitfaden_OEkologische_Kenndaten.pdf – 5.9.2018
- [132] Becker, N., Pichlmeier, F.: VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 7: Ressourceneffizienz der Dämmstoffe im Hochbau, 3. aktualisierte Auflage, VDI Zentrum Ressourceneffizienz, Berlin 2016
- [133] Danner, H., Sauczek, T.: Leitfaden Dämmstoffe 3.0 mit Schwerpunkt Naturdämmstoffe, 3. Überarbeitete Auflage, Landeshauptstadt München Referat für Gesundheit und Umwelt Bauzentrum München, München 2017
- [134] https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededa-ten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf – Aufruf 20.8.2018
- [135] https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Konjunktur/2017-06-07_BBS_Zahlenspiegel_ONLINE.pdf – Aufruf 10.9.2018
- [136] <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-10.pdf> – Aufruf 10.9.2018
- [137] https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BautaetigkeitWohnungsbau/BaufertigstellungenBaustoffPDF_5311202.pdf?__blob=publicationFile – Aufruf 10.9.2018
- [138] https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BautaetigkeitWohnungsbau/Bautaetigkeit2050100177004.pdf?__blob=publicationFile – Aufruf 10.9.2018
- [139] https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Konjunkturdaten/ProduktionVj2040310183214.pdf?__blob=publicationFile, Aufruf 10.9.2018
- [140] Berndt, E., Opitz H., Popp T.: Auswertung der Kriechversuche an Mauerwerk aus Elbsandstein, Postaer Stein, nicht veröffentlichter Versuchsbericht der TU Dresden, Dresden 1996

- [141] Ross, A. D.: Concrete Creep data, In: The Structural Engineer 15, 1937, Nr. 8, S. 314 – 326
- [142] <https://www.ahoefler.de/maschinenbau/werkstoffkunde/werkstoffpruefung/zerstoerende-werkstoffpruefung-zwp/zeitstandversuch/257-kriechkurve.html>, Aufruf 12.9.2018
- [143] <http://apmonitor.com/che263/index.php/Main/ExcelDataRegression>, Aufruf 13.9.2018
- [144] Kvitsel, V.: Zur Vorhersage des Schwindens und Kriechens von normal- und hochfestem Konstruktionsleichtbeton mit Blähtongesteinskörnung, Dissertation 2010, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in: Karlsruher Reihe, Massivbau Baustofftechnologie Materialprüfung, Heft 80, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe 2017
- [145] <https://radon-info.de>, Aufruf 20.8.2018
- [146] <http://www.bfs.de>, Aufruf 10.11.2016 und 25.9.2018

8.2 BAUTEILKATALOG

Nachfolgend Quellen, die zur Entwicklung der Details genutzt wurden.

8.2.1 DETAILGRUNDLAGEN

- [147] Haupts H., Steingass P. (Hrsg.), Berlin Die Wille gGmbH (Hrsg.): Moderner Lehm- und Ziegelbau 2003: Tagungsband zur 4. Internationalen Fachtagung und Ausstellung vom 24. bis 26. Okt. 2003 im Umweltforum Berlin; Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003 – S.54-64
- [148] Herzog, Thomas; Institut für Internationale Architektur-Dokumentation: Holzbau-Atlas. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, München, 2003
- [149] Jäger, Wolfram, Schneider, Florian: Arbeitsblätter zur Baukonstruktion: Mauerwerk. Technische Universität Dresden, 2008
- [150] Schittich, Ch. (Hrsg.), Musso, F.: im DETAIL, Einfach Bauen, Birkhäuser, Basel, Berlin [u.a.], 2005
- [151] Pfeifer G., Institut für Internationale Architektur-Dokumentation: Edition Detail: Mauerwerk-Atlas, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, 2001
- [152] <http://www.elkage.de/src/public/showterms.php?id=2783>, Aufruf 11.12.2015
- [153] http://www.dbz.de/imgs/60912880_293b2730d1.jpg, Aufruf 12.12.2015
- [154] http://www.dgfm.de/fileadmin/downloads/04_Merkblaetter/32502_DGFM_Abdichtung_Druck.pdf, Aufruf 15.01.2016
- [155] <http://img.webme.com/pic/m/ma-k/detailattikaavr.jpg>, Aufruf 12.12.2015

- [156] <http://www.proholz.at/zuschnitt/47/flache-daecher-aus-holz/>, Aufruf 12.12.2015
- [157] http://www.hwk-luebeck.de/uploads/media/04_unbelueftete_Flachdaecher_01.pdf, Aufruf 12.12.2015
- [158] <http://www.elmenhorst.de/download/Grundlagen/Grundlagen%20Ringanker%20und%20Ringbalken.pdf>, Aufruf 14.12.2015
- [159] <http://www.wienerberger.de/wandloesungen/download-center/details/details-zweischalig>, Aufruf 14.12.2015
- [160] <http://informationsdienst-holz.de/publikationen/>, Aufruf 14.12.2015
- 08-10_Spezial_Flachdaecher_2008.pdf
- R01_T01_F05_Konstruktionen_in_Mischbauweise_2006.pdf
- R01_T01_F07_Holzrahmenbau_Bestellform.pdf
- R2_T1_F1_Navigationshilfe_EC5.pdf
- R04_T04_F01_KVH_Duo_Triobalken_2013.pdf
- [161] http://www.bv-porenbeton.de/attachments/article/44/Handbuch_Porenbeton_2008.pdf, Aufruf 16.12.2015
- [162] <http://www.claytec.de/produkte/technikblaetter/12-lehmsteinwaende.html>, Aufruf 06.01.2016
- [163] DIN 18195 Abdichtung von Bauwerken: Begriffe, Stand Juli 2017, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2017
- [164] DIN 18533-1 Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze, Stand Juli 2017, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2017
- [165] DIN 18534-1 Abdichtung von Innenräumen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze, Stand Juli 2017, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2017

8.2.2 DÄMMSTOFFE

- [166] http://www.waermeschutztag.de/media/pdf/wtag2013/ltzkendorf_fiw_wst2013.pdf, Aufruf 8.12.2015
- [167] <http://www.ibwind.at/download/GraueEnergie081121.pdf>, Aufruf 8.12.2015
- [168] <http://www.thermo-natur.de/naturdaemmstoffe/daemmung-mit-naturdaemmstoffen/>, Aufruf 8.12.2015

- [169] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.), Dorsch, L., Kaiser Ch., Niklasch, W., Schöppgens, H., Spritzendorfer, J.: MARKTÜBERSICHT - Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. FNR, Gülzow-Prüzen, 2014, <http://baustoffe.fnr.de>, Aufruf 17.03.2015
- [170] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Marktanalyse - Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow-Prüzen, 2014. <http://www.fnr.de>, Aufruf 17.03.2015
- [171] Auszug aus Filmbeitrag von Katharina Adick. <http://www1.wdr.de/fernsehen/wis-sen/quarks/sendungen/cannabis-pdf100.pdf>, Aufruf 17.12.2015

8.2.3 FASSADE

- [172] ibh Dr. Heller Ingenieurbuero, VHF DIN 18516 Vorgehängte Fassaden, ibhxws webservice. http://www.windimnet2.de/d/tf_s000x3_kh_chi.htm, Aufruf 25.11.15
- [173] DIN und Fachregeln - ACO Hochbau. <http://www.aco-hochbau.de/produkte/fassadenentwaesserung/fassadenentwaesserung/aco-profiline-aco-roofline-aco-greenline/daten-und-fakten/din-und-fachregeln/>, Aufruf 25.11.15
- [174] Aufbau und Technik der VHF - FVHF.de Fachportal, vorgehängte hinterlüftete Fassaden | VHF | Gestaltung Technik Wirtschaftlichkeit. <http://www.fvhf.de/Fassade/VHF-System/Aufbau-und-Technik.php>, Aufruf 25.11.15
- [175] Aufbau und Technik der VHF - FVHF.de Fachportal, Systemaufbau - Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF), FVHF_Systemaufbau-VHF.pdf. www.FVHF.de, Aufruf 25.11.15
- [176] mCon VHFplus UK_200 Datenblatt. http://www.mconag.com/fileadmin/user_upload/mCon_VHFplus_UK_200.pdf, Aufruf 26.11.15

8.2.4 DÄCHER

- [177] DIN 18531-1 Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 1: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze, Stand Juli 2017, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2017
- [178] Regeln für Dächer mit Abdichtung (Flachdachrichtlinie), Abs. 4.4. (1) Anschlüsse an Türen, Abb. 6.1 (Stand: 10/2008), Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2008 *siehe [182]*
- [179] FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.), Abs. 4.1.4. An- und Abschlüsse (Stand 05/2005), *siehe [182]*

- [180] DIN 18024 Teil 2, Abs. 7.2 Untere Türansläge und –schwelle, Stand 11.1996, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 1996 *siehe [182]*
- [181] DIN 18025 Teil 1 und 2, Abs. 5.2 Untere Türansläge und –schwelle, Stand 12.1992, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, 1992 *siehe [182]*
- [182] <http://www.aco-hochbau.de/produkte/fassadenentwaesserung/fassadenentwaesserung/aco-profile-aco-roofline-aco-greenline/daten-und-fakten/din-und-fachregeln/>, Aufruf 14.12.2015, *[Regeln für Dächer mit Abdichtung (Flachdachrichtlinie), Abs. 4.4 (2) Anschlüsse an Türen verringern, 6.2 - 6.4 (Stand 10/2008) FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.), Abs. 4.1.4 Anordnung der Abdichtung an Türen, Glasfronten und dergleichen (Stand 05/2005), Abs. 4.4 (3) Barrierefreie Übergänge (Stand 10/2008) FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.), Abs. 4.1.4. Anordnung der Abdichtung an Türen, Glasfronten und dergleichen (Stand 05/2005)]*