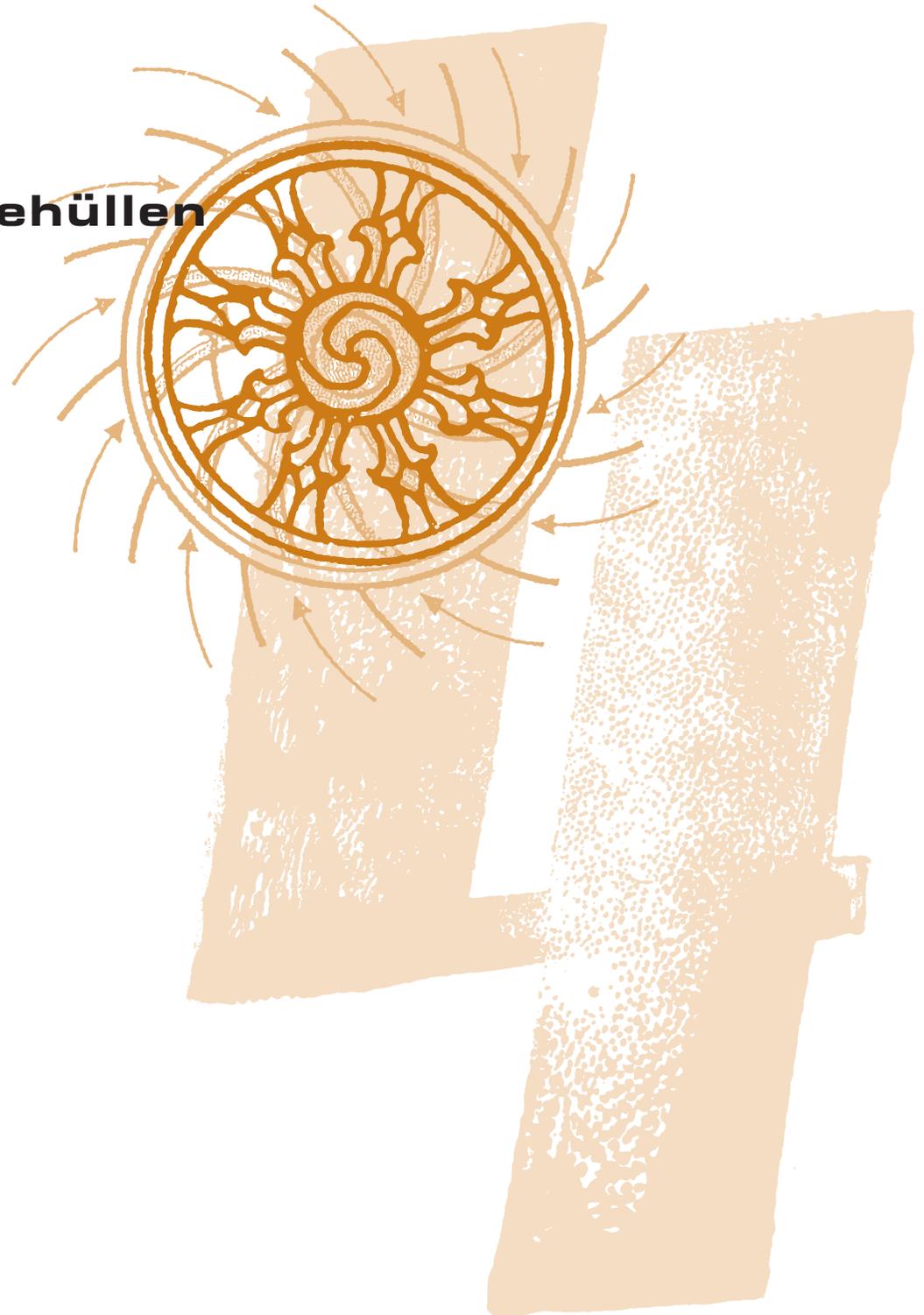


Energieeffiziente Gebäudehüllen

Energie im Unterricht, Module für Bauberufe: Modul 4

- 1 Einführung: Worum geht es ?
- 2 Lernziele
- 3 Vorschläge für den Unterricht
- 4 Fachinformation
 - Funktion der Gebäudehüllen
 - Wärmeverlust
 - Luftfeuchtigkeit
 - Luftdichtigkeit
 - Lärmschutz
 - Wärmebrücken
 - Konstruktionsbeispiele
- 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge
- 6 Weiterführende Literatur
- 7 Bild- und Textnachweis
- 8 Vorlagen





1 Einführung: Worum geht es ?

Seit Urzeiten ist es das Bestreben des Menschen, sich und seine Sippe gegen Kälte, Regen, Schnee, Sonne, gegen wilde Tiere und andere Feinde zu schützen. Er hat sich seit jeher Zufluchtsmöglichkeiten gebaut, geschlossene Räume, die ihm zuerst Sicherheit und Intimität und später auch Komfort geboten haben.

Dieser geschlossene Raum ist das Ziel der Baumeister, der Sinn des Bauens. In diesem gebauten Raum organisiert der Mensch sein Zuhause, sein soziales Leben, hier ernährt er sich, erzieht seine Kinder, arbeitet, schläft, träumt ...

Technisch betrachtet, ist der Innenraum ein Leer-raum, begrenzt durch die Gebäudehülle, bestehend aus Boden, Wänden und Dach. Die Gebäudehülle hat vielfältigen Anforderungen und Funktionen zu genügen, wie zum Beispiel statischen, bauphysikalischen, ästhetischen, usw. Die aktuellste davon ist heute diejenige der Energieeffizienz. Nur bei konsequenter Beachtung des energetischen Sparpotenzials besteht die Chance, den wachsenden Raumbedarf der Menschheit umweltverträglich und ressourcenschonend zu befriedigen.

2 Lernziele

Ziel des Moduls ist es, die Lernenden für die Konstruktion energieeffizienter Gebäudehüllen zu sensibilisieren. Einfache Skizzen erklären Wand-, Fassade- und Dachaufbau und betonen die Wichtigkeit eines wirkungsvollen Witterungsschutzes und einer hochwertigen Wärme- und Schalldämmung. Im einzelnen werden folgende Lernziele angestrebt:

Die Lernenden ...

- zeigen die energierelevanten Funktionen bei Fassaden und Bedachungen auf,
- nennen neuartige Elemente von Gebäudehüllen,
- erläutern die Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes,
- nennen die bauphysikalischen Anforderungen an die Gebäudehülle,
- legen die von Wärmebrücken verursachten Probleme dar und machen Verbesserungsvorschläge.

3 Vorschläge für den Unterricht

Alle Vorlagen in Kapitel 8 sind zur Weiterverwendung im Unterricht bestimmt (Folien für Overheadprojektion, Fotokopien für Schüler). Grundlegende Unterlagen bilden die SIA-Normen 180 «Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau», Ausgabe 1999, 181 «Schallschutz im Hochbau», Ausgabe 1988, 380/1 «Thermische Energie im Hochbau», Ausgabe 2001, und die eidgenössischen und kantonalen Energiegesetze.

4 Fachinformation

4.1 Funktion der Gebäudehülle

Die Gebäudehülle muss vor **äusseren Einwirkungen** schützen. Dazu gehören:

- Wind
- Regen
- Schnee und Kälte
- Sonne und Hitze
- Lärm etc.

Die Gebäudehülle muss vor **Wärmeverlusten** schützen. Sie treten auf:

- durch die Fassaden
- durch die Fenster
- durch das Dach
- durch den Boden
- durch den Kamin
- durch Lüfterneuerung etc.

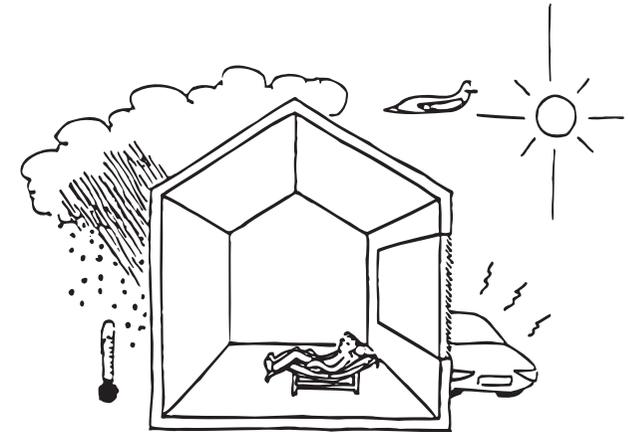


Abb. 1

4.2 Wärmeverluste

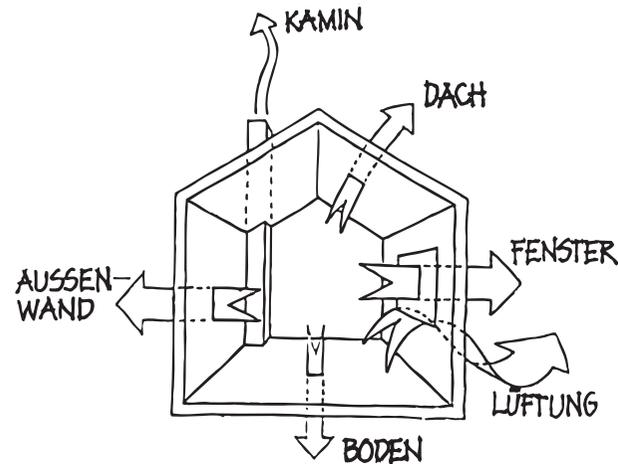


Abb. 2

Die benötigte Heizenergie eines Gebäudes kompensiert die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle. Der Wärmefluss findet immer vom energiereichen Zustand (Wärme) zum energiearmen Zustand (Kälte) statt. Je dicker und besser ein Bauteil wärmege-dämmt ist, desto kleiner ist der Wärmefluss.

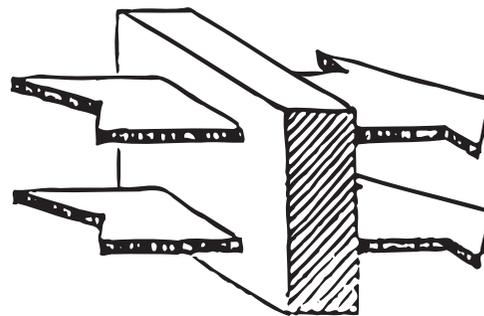


Abb. 3

Jeder Baustoff eines Bauteils besitzt seine spezifische Wärmeleitungs-eigenschaft, den **Wärmeleitkoeffizient** « λ ».

Der Wärmeleitkoeffizient entspricht der Wärmemenge, die durch einen Baustoff von 1 m² Fläche und 1 m Dicke fließt, wenn die Temperaturdifferenz der beiden angrenzenden Räume 1 Kelvin (entspricht 1 Grad Celcius) beträgt. Als Einheit gilt W/mK.

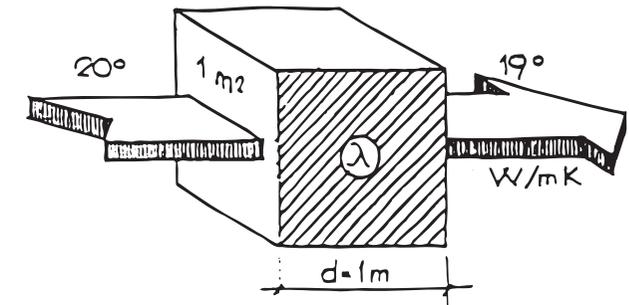


Abb. 4

Der Wärmeleitkoeffizient λ steigt, wenn ein Baustoff feucht ist (Kondenswasser, eindringendes Wasser), weil die Wärmeleitfähigkeit des Wassers 15 mal grösser als die eines Dämmstoffes ist. Feuchte Dämmstoffe dämmen wesentlich schlechter als trockene.

Baustoffe mit einem λ kleiner als 0,095 W/mK werden als Dämmstoffe bezeichnet.

Dämmstoffe sind Materialien mit eingeschlossener, unbewegter Luft. Beispiele dafür sind Mineralwolle

und Zellulosefasern mit Millionen von sehr kleinen gekreuzten Fasern oder Kunststoffschäume mit mikroskopisch kleinen eingeschlossenen Luftbläschen. Kunststoffe können auch mit CO₂ oder Spezialgasen geschäumt werden und erreichen damit noch tiefere Wärmeleitfähigkeiten.

Wärmeleitkoeffizienten verschiedener Materialien

	λ [W/mK]
Dämmstoffe (im allgemeinen)	0,024 – 0,04
Spanplatten	0,11
Fichten- Tannenholz	0,14
Eichenholz	0,21
Gipsplatten	0,40
Backsteine gelocht	0,47
Innenverputz	0,70
Aussenverputz	0,87
Kalksandstein	0,80
Fensterglas	0,81
Zementstein	1,10
Zementüberzug	1,40
Stahlbeton	1,80
Luft trocken	0,02
Wasser (20°)	0,58

Der Quotient aus der Materialdicke «d» und der Wärmeleitfähigkeit « λ » wird als thermischer Widerstand «R» bezeichnet.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

Bei mehrschichtigen Bauteilen werden die einzelnen Quotienten aus Materialstärken und Wärmeleitkoeffizienten addiert.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_n}{\lambda_n} = \sum \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

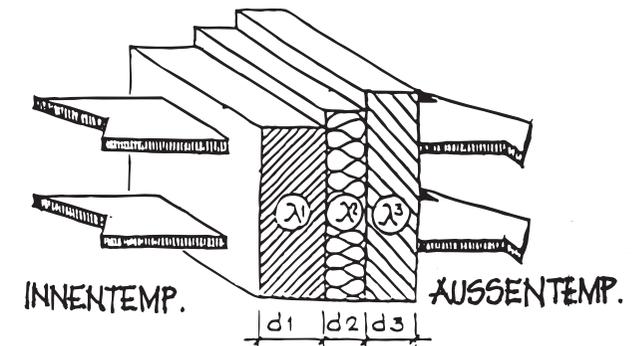


Abb 5

Um den gesamten thermischen Widerstand durch die Gebäudehülle zu erhalten, müssen noch die entsprechenden **Wärmeübergangskoeffizienten** (innen und aussen) in W/m^2K berücksichtigt werden. Jeder Bauteil grenzt an seinen beiden Seiten entweder an Luft (Innenraumlufte, Aussenraumlufte) oder an feste Materie (Erdreich). Beim Übergang des Wärmeflusses vom Bauteil zur beispielsweise angrenzenden Aussenluft wird ein kleiner thermischer Widerstand erzeugt, der als Wärmeübergangskoeffizient bezeichnet wird.

$\frac{1}{h_i}$ = innerer Wärmeübergangskoeffizient

$\frac{1}{h_e}$ = äusserer Wärmeübergangskoeffizient

Der gesamte thermische Widerstand eines m^2 Wand ist:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{1}{h_e} \quad [m^2K/W]$$

Der **Wärmedurchgangskoeffizient U** ist der reziproke Wert des gesamten thermischen Widerstandes R und bezeichnet die Wärmemenge, die durch einen m^2 Bauteil fliesst, wenn der Unterschied der Lufttemperaturen der beiden angrenzenden Räume 1 Kelvin beträgt.

Die Einheit des Wärmedurchgangskoeffizienten ist: W/m^2K .

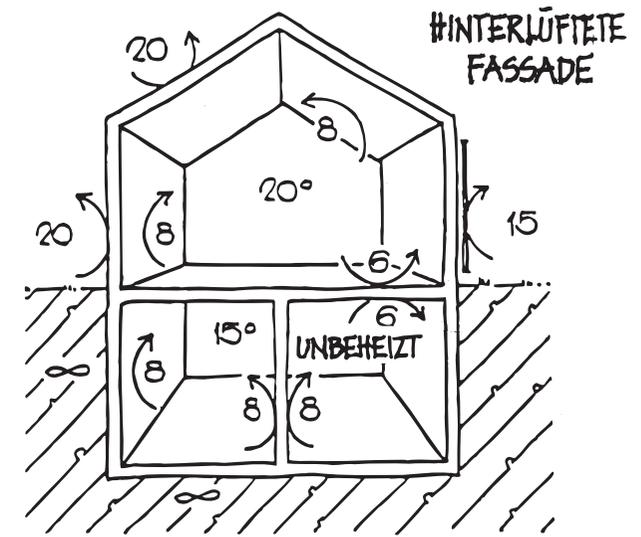


Abb. 6

Beispiel einer U-Wert-Berechnung

Gegeben Aussenwand:

- Innenputz $d_1 = 1 \text{ cm}$
- Backstein $d_2 = 15 \text{ cm}$
- Wärmedämmung $d_3 = 12 \text{ cm}$
- Zementstein $d_4 = 12 \text{ cm}$
- Aussenputz $d_5 = 2 \text{ cm}$

(in der Formel werden die Masse in Meter angegeben)

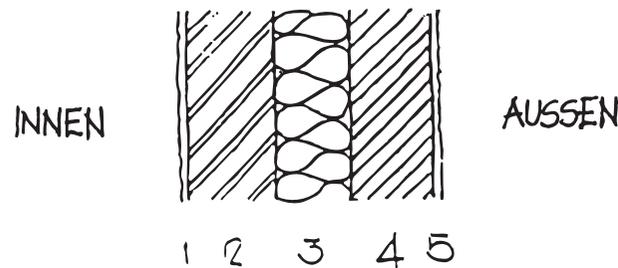


Abb 7

Wärmedurchlasswiderstand

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{1}{h_e} \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$$

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,15}{0,47} + \frac{0,12}{0,04} + \frac{0,12}{1,10} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{1}{20}$$

$$R = 0,125 + 0,014 + 0,32 + 3,0 + 0,11 + 0,023 + 0,05$$

$$R = 3,642 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

U-Wert

$$U = \frac{1}{R} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$$

$$U = \frac{1}{3,642} = 0,2746 = 0,27 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Bemerkung

0,27 W/m²K entspricht einem heutigen Standardwert. Minergiehäuser erreichen Werte um 0,20 W/m²K.

Weiteres Beispiel einer U-Wert Berechnung:

Gegeben Aussenwand hinterlüftet:

- | | |
|---------------------|------------------------|
| - Innenputz | $d_1 = 1 \text{ cm}$ |
| - Kalksandstein | $d_2 = 15 \text{ cm}$ |
| - Wärmedämmung | $d_3 = 20 \text{ cm}$ |
| - Hinterlüftung | $d_4 = 4 \text{ cm}$ |
| - Aussenverkleidung | $d_5 = 2,5 \text{ cm}$ |

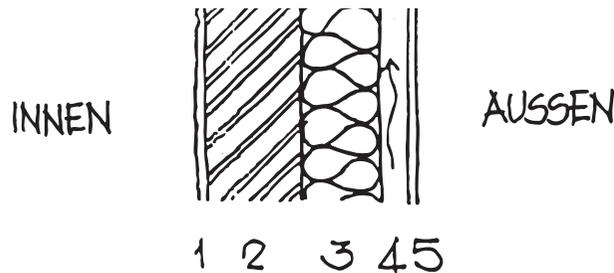


Abb 8

Wärmedurchlasswiderstand

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{1}{h_e} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,15}{0,80} + \frac{0,12}{0,04} + 0,08 + \frac{1}{15}$$

$$R = 0,125 + 0,014 + 0,187 + 5,0 + 0,08 + 0,067$$

$$R = 5,473 \text{ m}^2\text{K/W}$$

U-Wert

$$U = \frac{1}{R} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

$$U = \frac{1}{5,473} = 0,183 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Bemerkungen

Bei hinterlüfteten Fassaden und Dächern entspricht der Widerstandskoeffizient d/λ der Hinterlüftungsschicht einer bewegten Luftschicht mit dem konstantem Wert $0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Der Widerstandskoeffizient der Aussenverkleidung d/λ ist gleich Null.

Dampfbremsen und Dampfsperren, Flachdachabdichtungen etc. werden bei der U-Wert Berechnung nicht berücksichtigt. Inhomogene Bauteile, z.B. Dächer, unterliegen einer «eigenen» Berechnungsgrundlage.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Gebäudehülle ist es, im Innenraum eine angenehme Luftfeuchtigkeit zu erhalten und einen genügende Lüfterneuerung zu gewährleisten.

4.3 Luftfeuchtigkeit

Die Luft, die wir atmen, ist ein Gemisch mehrerer Gase (Stickstoff, Sauerstoff etc.) mit Wasserdampf in unterschiedlicher Menge (Luftfeuchtigkeit). Im Hausinnern wird diese Luftfeuchtigkeit von den Bewohnern durch Atmen und Schwitzen erzeugt (jede Person produziert ungefähr 50 Gramm Wasserdampf pro Stunde) sowie durch die verschiedenen Haushaltsaktivitäten (Kochen, Baden etc.) und die Zimmerpflanzen.

Oberflächenkondensation

Es ist ein Naturgesetz, dass Gasgemische wie unsere Luft nur eine beschränkte Menge Wasserdampf aufnehmen können. Der Wasserdampfgehalt hängt stark von der Temperatur ab. Je kälter die Luft ist, desto weniger Wasserdampf kann sie aufnehmen. Wenn Luft mit einem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt auf einen kälteren Gegenstand, z.B. eine schlecht gedämmte Aussenwand oder ein ungedämmtes Fensterglas trifft, wird ein Teil des in Luft enthaltenen Wassers kondensieren. Schäden wie Schimmelpilzbildung und ein Ablösen der Innenwandverkleidung können die Folge sein.

Wasserdampfdiffusion

Im Winter sind in der Regel die Innenraumtemperaturen höher als die Aussenraumtemperaturen. Damit ist auch die Wasserdampfmenge in der Innenraumluft wesentlich grösser als in der Aussenraumluft. Ein grosser Wasserdampfgehalt in der Luft erzeugt auch einen grossen Wasserdampfdruck. Es entsteht ein Wasserdampfdruckgefälle von innen nach aussen. Die einzelnen Wasserdampfmoleküle wandern in

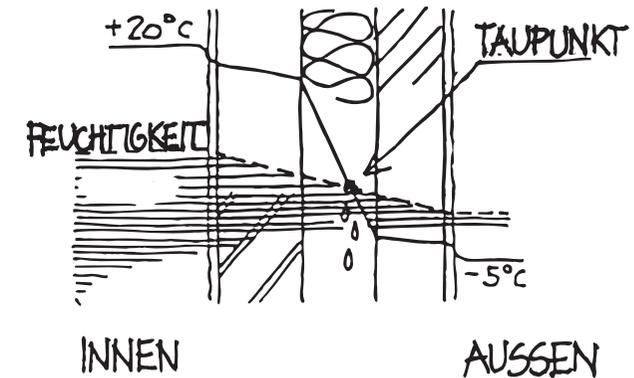


Abb. 9

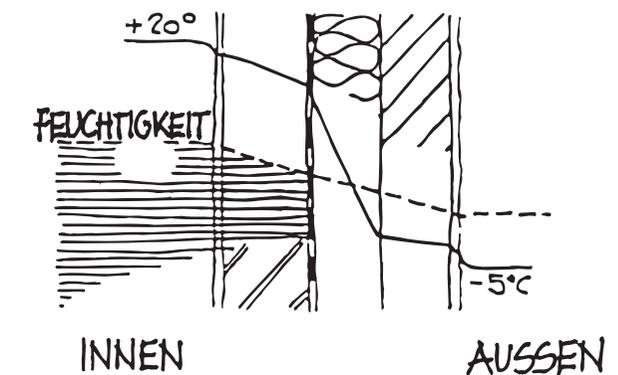


Abb. 10

der Folge durch die verschiedenen Schichten des Bauteils. Treffen sie auf eine kalte Oberfläche, beispielsweise eine Sichtbetonaussenwand, kann eine Kondensation innerhalb des Wandquerschnittes stattfinden. Um massive Bauschäden zu vermeiden, muss eine richtig konstruierte Gebäudehülle diese physikalischen Tatsachen berücksichtigen.

Grundsätzlich sind heute zwei Konstruktionsprinzipien möglich:

1. Ein **dampfdiffusionsdichter Querschnitt**, mit einer auf der Warmseite der Wärmedämmung platzierten Folie mit einem hohen Wasserdampfdruckwiderstand (man spricht hier von Dampfbremse resp. Dampfsperre).
2. Ein **dampfdiffusionsoffener Querschnitt**, mit einem auf der Warmseite der Wärmedämmung platzierten Kraftpapier mit einem niedrigen Wasserdampfdruckwiderstand (man spricht hier von Luftdichtigkeitsschicht). Bei dieser Konstruktion ist es unabdingbar, dass der Wasserdampfdruckwiderstand der einzelnen Schichten von innen nach aussen abnimmt.

Wichtig bei beiden Konstruktionsmöglichkeiten ist eine absolut luftdichte Ausführung der Folie oder des Kraftpapiers.

Eine genaue bauphysikalische Berechnung mit Bestimmung des sogenannten Taupunktes ermittelt den nötigen Wasserdampfdruckwiderstand dieser Luftdichtigkeits- oder Dampfbremsschicht und gibt Auskunft über die anfallende Tauwassermenge im Winter und die mögliche Austrocknungskapazität der Konstruktion im Sommer.

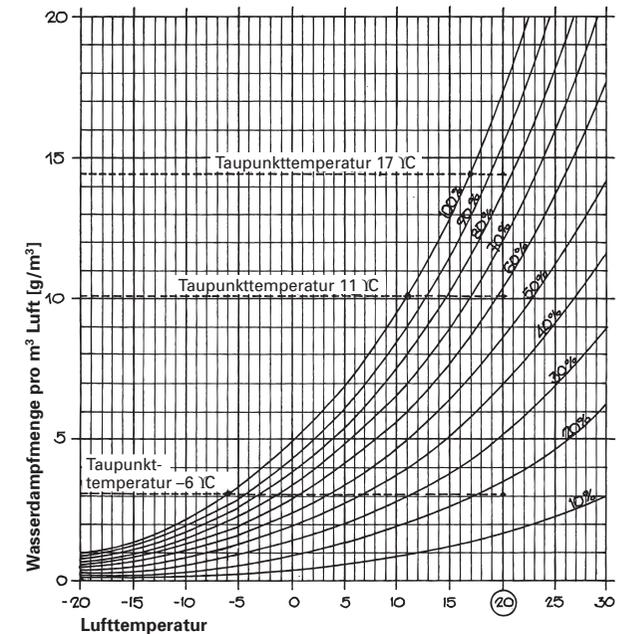


Abb. 11

4.4 Luftdichtigkeit und Winddichtigkeit

Um den Wohnkomfort der Bewohner zu gewähren und Bauschäden zu vermeiden, ist eine allseitig dichte Gebäudehülle Voraussetzung. Neben einer durchgehenden Luftdichtigkeitsebene auf der Warmseite der Konstruktion ist eine lückenlose Winddichtigkeitsschicht auf der Kaltseite der Gebäudehülle nötig. Eine Winddichtung kann aus verschiedenen Materialien bestehen (Folien, bitumierte Weichfaserplatten etc.). Winddichtungen sind im Gegensatz zu Luftdichtungen wasserdampfdurchlässig und sollen ein Eindringen von Kaltluft und damit eine Kondensationsgefahr im Konstruktionsquerschnitt vermeiden.

Die aus bauphysikalischer Sicht unbedingt nötigen Luftdichtigkeits- und Winddichtigkeitsebenen führen zu Gebäudehüllen ohne natürlichen Luftaustausch (Ritzenlüftung). Die daraus resultierende schlechte und mit Schadstoffen angereicherte Innenraumluft muss daher mit anderen Mitteln ersetzt werden (Stosslüftung, kontrollierte Belüftung), um den nötigen Frischluftbedarf des Menschen (ungefähr 12 bis 15 m³ Frischluft pro Stunde und pro nichtrauchende Person) zu gewährleisten. Aus heutiger Sicht ermöglicht die kontrollierte Belüftung mit Wärmerückgewinnung (Komfortlüftung) eine optimale Frischluftzufuhr bei gleichzeitiger Reduktion von Heizenergie pro m² Wohnfläche.

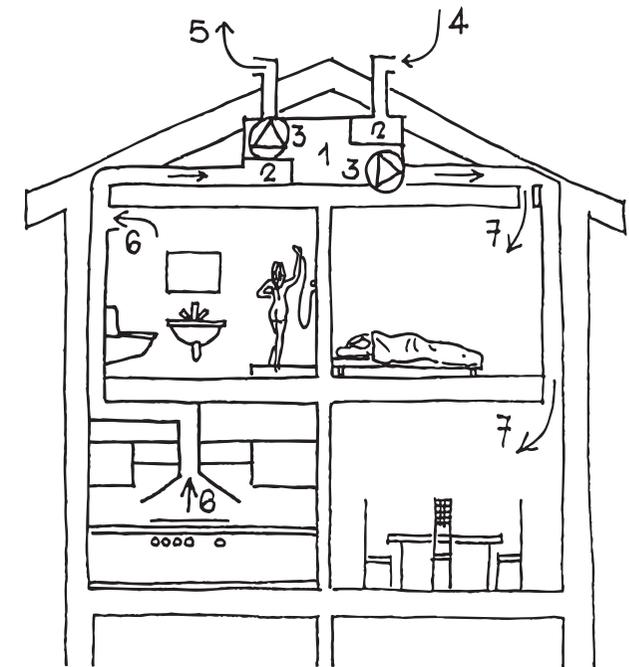


Abb. 12

- 1 Wärmeaustauscher
- 2 Filter
- 3 Ventilator
- 4 Frischluft
- 5 Verbrauchte Luft
- 6 Nassräume
- 7 Wohnräume

4.5 Lärmschutz

Die Gebäudehülle muss gegen Lärm von aussen (Strassenverkehr, Schienenverkehr, Flugverkehr, Industrie, Schiessstand etc.) gut schalldämmend werden. Das Mass der menschlichen Schallempfindung bezeichnet man den **Schalldruckpegel**, gemessen in Dezibel (dB). Die Dezibel-Skala klassiert die verschiedenen Lärmarten und reicht von 0 dB (Hörschwelle) bis 120 dB (Schmerzschwelle).

0	dB	Hörschwelle
20	dB	Gemurmel
20 – 50	dB	schwacher Lärm
50 – 70	dB	Gespräche
70 – 90	dB	Verkehr, Industrie
90 – 110	dB	Flugverkehr
120	dB	Schmerzschwelle

Die Lärmempfindung des menschlichen Ohres hängt nicht nur von der Schallenergie der Schallquelle und der Distanz der Schallquelle zum Hörer ab, sondern zusätzlich auch von der Frequenz, resp. Tonhöhe.

Um die **Luftschalldämmung** einer Gebäudehülle zu verbessern, ist es im allgemeinen am wirkungsvollsten, die Masse der Bauelemente zu erhöhen (Massivbau anstelle Leichtbau, dickeres Fensterglas etc.). In der nebenstehenden Tabelle werden die nutzungsabhängigen Schalldruckpegel-Reduktionswerte angeführt.

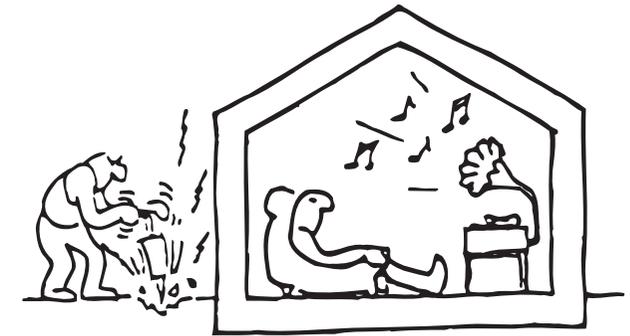


Abb. 13

-25 dB	Wenig lärmempfindliche Nutzungen (Gewerbe, Verkaufsläden, Restaurants etc.)
-50 dB	Lärmempfindliche Nutzungen (Wohnräume, Schlafräume, Schulräume, Hotelzimmer etc.)
-67 dB	Sehr lärmempfindliche Nutzungen (Ruheräume, Spitäler, Musikräume, Lesesäle etc.)

4.6 Wärmebrücken

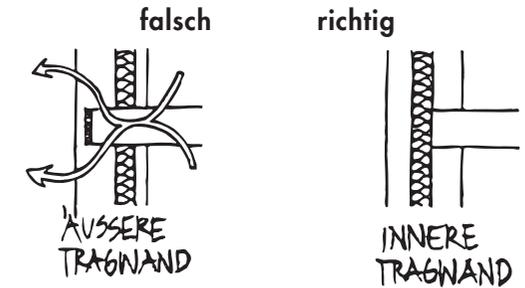
Unter Wärmebrücken verstehen wir Schwachstellen in der Wärmedämmung, welche zu erhöhter Wärmetransmission durch die Gebäudehülle führen, mit dem Risiko der Oberflächenkondensation und Schimmelpilzbildung.

Zur Verminderung von Wärmebrücken bieten sich folgende konstruktiven Lösungen an:

Ebene Decke

Innere Tragwand
Aussendämmung

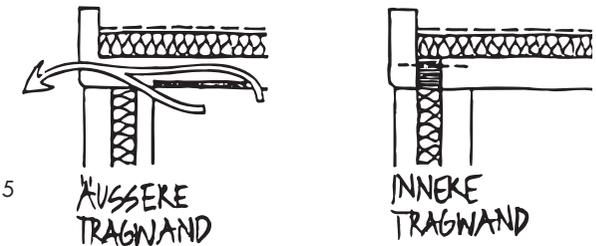
Abb. 14



Ebene Dach

Flachdach
Innere Tragwand
Durchgehende Wärmedämmung
Gedämmter Tragarm

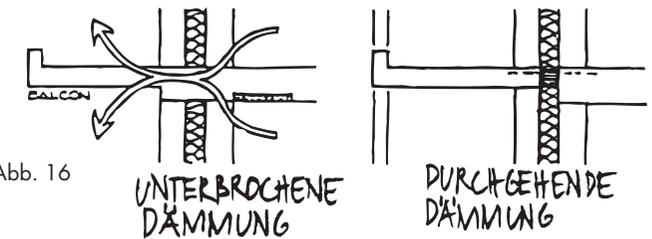
Abb. 15



Ebene Balkon

Durchgehende Wärmedämmung
Getrennter Balkon
Gedämmte Kragarmplatte

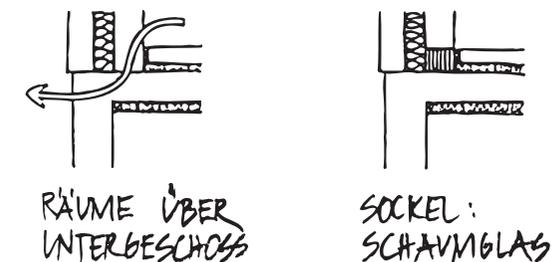
Abb. 16



Ebene Sockel

Gedämmter Mauerfuss

Abb. 17



4.7 Beispiele einiger Konstruktionsprinzipien

Die Gebäudehülle muss so konstruiert sein, dass der thermische Widerstand von Innen nach Aussen zunimmt und gleichzeitig der Dampfdiffusionswiderstand von innen nach aussen abnimmt. Die Wärmedämmung sollte sich wenn immer möglich auf der Kaltseite der Tragstruktur befinden.

Aussenwände

Tragwand innen mit Kerndämmung

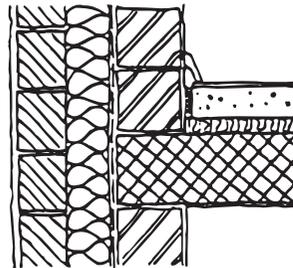


Abb. 18

Gute Wärmespeicherung
 Punktuelle Wärmebrücken bei den Verankerungen
 Spätere Erhöhung der Wärmedämmung problematisch
 Gute Schalldämmung
 Teuer und daher immer weniger ausgeführt

Tragwand innen mit Aussendämmung

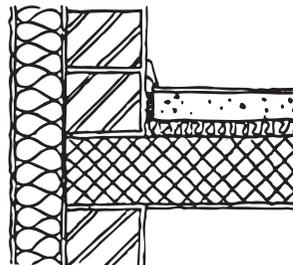


Abb. 19

Problematische spätere Erhöhung der Wärmedämmung
 Gute Wärmespeicherung
 Keine Wärmebrücken
 Mittlere bis gute Schalldämmung
 Vorteilhaft bei Sanierungen
 Anfällig für äussere Beschädigungen

Tragwand innen mit Aussendämmung (hinterlüftet)

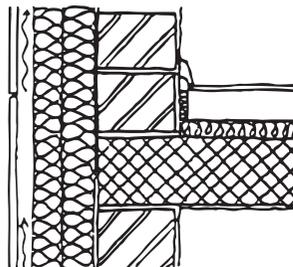


Abb. 20

Problemlose Erhöhung der Wärmedämmung möglich
 Verschiedene Befestigungsarten möglich
 Punktuelle Wärmebrücken bei den Verankerungen
 Gute Wärmespeicherung
 Verschiedene Aussenverkleidungen möglich
 Gute Schalldämmung

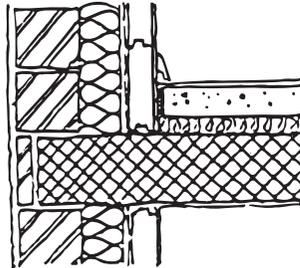
Schwere Aussentragwand mit Innendämmung

Abb. 21

Reduzierte Wärmespeicherung
 Schnelles Aufheizen und Auskühlen der Wohnräume
 Wärmebrücken auf der Deckenebene
 Gute Schalldämmung
 Keine Verbesserung durch Erhöhung der Wärmedämmung
 Kondensationsgefahr im Deckenbereich
 Lösung für denkmalpflegerisch geschützte Fassaden

Einsteinmauerwerk

Stark gelochte Backsteine

Dicke: 36,5 cm + Verputze

U-Wert = 0,30–0,35 W/m²K

Beispiele:

- ThermoCellit
- Optitherm
- Poroton
- Ytong
- etc.



Abb. 22

Ausführung des Mauerwerks in einer Etappe
 Keine Dampfdiffusionsprobleme
 Beschränkte Tragfähigkeit des Mauerwerks
 Empfindliche Verarbeitung
 Verhältnismässig grosse Wärmebrücken
 Gesamtstärke über 45 cm bei U= 0,3 W/m²K

Transparente Wärmedämmung

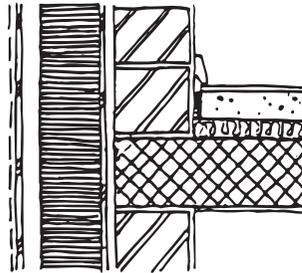


Abb. 23

Maximale Ausnützung der Sonnenenergie bei nicht-transparenten Fassadenteilen. Der vor der Fassade platzierte Absorber wandelt die Sonneneinstrahlung in Wärmeenergie um.

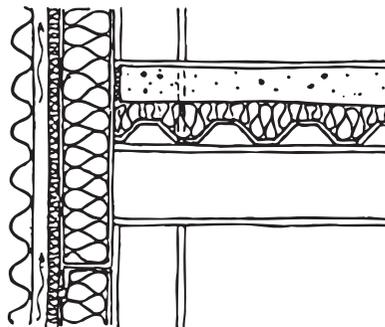
Innere Tragwand

Gute Wärmespeicherung

Sommerlicher (mobiler) Wärmeschutz nötig

Baustoffe für transparente Wärmedämmungen kennzeichnen sich durch eine möglichst hohe Sonnenenergiedurchlässigkeit (g-Wert) und einen möglichst niedrigen Wärmetransmissionswert (U-Wert) aus.

Leichte, nichttragende Fassade



1 2 3 4 5

1 Fassadenverkleidung

2 Hinterlüftung

3 Wärmedämmung

4 Gedämmtes Panel

5 Stahlkonstruktion

Dünnes, nichttragendes Fassadenelement mit vorgefertigter, tafelförmiger Verkleidung (aus Metall, Leichtbetonelementen, Glas etc.). Die Wärmedämmung kann in das Fassadenelement integriert werden oder davon unabhängig sein.

Keine Wärmebrücken

Keine Wärmespeichermasse

Alle Dämmstärken möglich

Verschiedene Aussenverkleidungen möglich

Schwache bis mittlere Schalldämmung

Holzkonstruktion mit tragenden Paneelen

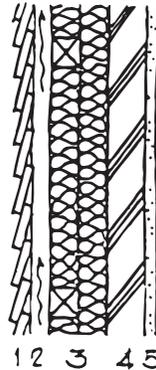


Abb. 25

- 1 Fassadenverkleidung
- 2 Hinterlüftung
- 3 Wärmedämmung
- 4 Tragendes Holzelement
- 5 Gipskarton

Die Paneele sind auf einen massiven Sockel gestellt, der die Holzkonstruktion vor aufsteigender Feuchtigkeit schützt. Verstrebungen, zur Aufnahme der Windkräfte sind nötig.

Aussendämmung

Keine Wärmebrücken

Geringe Wärmespeichermasse

Alle Dämmstärken möglich

Verschiedene Aussenverkleidungen möglich

Gute Schalldämmung

Holzkonstruktion in Fachwerk- oder Ständerbauweise

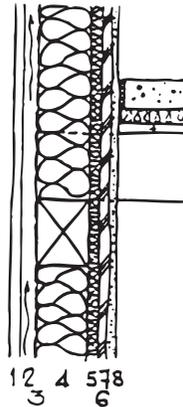


Abb. 26

- 1 Fassadenverkleidung
- 2 Hinterlüftung
- 3 Winddichtung
- 4 Wärmedämmung
- 5 Zusatzdämmung innen
- 6 Dampfbremse
- 7 Holzwerkstoffplatte
- 8 Gipsfaserplatte

Holzsystem im Stockwerkaufbau (Fachwerkbau) oder mit durchlaufenden Stützen (Ständerbau). Stützen und Balkenlage im Raster. Diagonalstreben als Windversteifung.

Wärmedämmung zwischen Tragstruktur

Zusätzliche Wärmedämmung innen

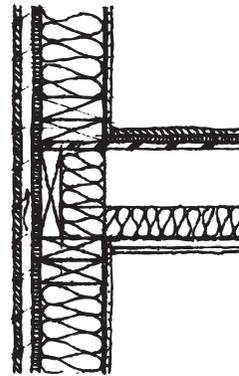
Geringe Wärmespeichermasse

Alle Dämmstärken möglich

Verschiedene Aussenverkleidungen möglich

Mittlere Schalldämmung

Holzkonstruktion in Rahmenbauweise



1 2 3 4 5 6

Abb. 27

1. Fassadenverkleidung
2. Hinterlüftung
3. Winddichtung
4. Wärmedämmung
5. Luftdichtung, Dampfbremse
6. Gipsfaserplatte

Holzsystem im Stockwerkaufbau mit hohem Vorfertigungsgrad. Stützen und Balkenlage im Raster. Keine Diagonalstreben nötig, Holzwerkstoffplatten als Windversteifung.

Wärmedämmung zwischen Tragstruktur

Weichfaserplatte als zusätzliche Dämmung aussen

Wärmespeichermasse durch Zellulosedämmung

Alle Dämmstärken möglich

Verschiedene Aussenverkleidungen möglich

Mittlere Schalldämmung

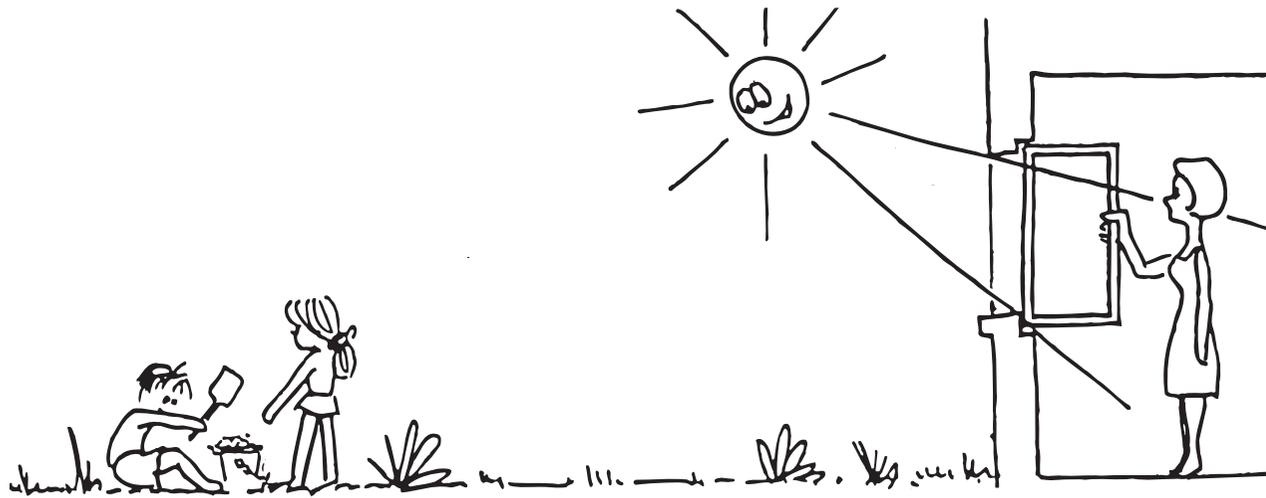


Abb. 28

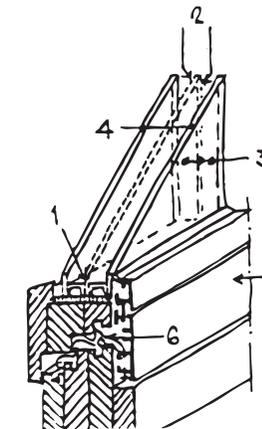
Fenster

Das Fenster ist ein wichtiges architektonisches Gestaltungselement und unentberliches Bindeglied zwischen innen und aussen. Zusätzlich muss das Fenster folgende Funktionen erfüllen:

- Lichteinlass
- Lüftung der Innenräume
- Passive Sonnenenergienutzung (im Winter)
- Lärmschutz

Das Fenster bleibt thermisch der schwächste Teil der Fassade, obwohl die aktuellen Fenster U-Werte erreichen, die vor ein paar Jahren noch für Wandquerschnitte galten. Die besten durchschnittlichen U-Werte (Gesamtwert von Fenster und Rahmen) erreichen heute Fenster mit möglichst kleinem Rahmenanteil.

Die Sonneneinstrahlung im Sommer bewirkt ein Ansteigen der Raumtemperatur. Bei Häusern mit passiver Sonnenenergienutzung und hohem Fensteranteil im Süden akzentuiert sich dieses Phänomen proportional zur Fensterfläche. Bei Schrägverglasungen (Wintergarten etc.) können an sonnigen Tagen bis zu 500 W/m^2 Wärmeenergie einfallen. Während der Wärmebedarf eines Gebäudes 30 W/m^2 nicht übersteigen sollte, können durch die Sonneneinstrahlung bis zu 100 W/m^2 erreicht werden. Neue IV-Gläser mit selektiver Beschichtung und mit U-Werten um $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ reduzieren die einstrahlende Energie wesentlich (g-Wert).



- 1 «Golden stripe» Wärmedämm-Folie
- 2 Hauchdünner 2- HM-Film
- 3 Gedämmte Glaszwischenräume
- 4 Floatgläser beschichtet
- 5 4-schichtiger Holzrahmen
- 6 3-fache Lippendichtung
- 7 Aluminiumprofil

Abb. 29 Holz-Metall-Fenster

2-IV-IR-Glas: U-Wert = $1,0 - 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$; g-Wert = 45 – 65 %

3-IV-IR-Glas: U-Wert = $0,5 - 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; g-Wert = 35 – 50 %

U-Wert Glas: $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert Rahmen: $0,70 - 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Schutz vor Überhitzung

Um Wohn- und Arbeitsräume im Sommer vor Überhitzung zu schützen, sind verschiedene Sonnenschutzmassnahmen in Erwägung zu ziehen.

Vordach, Markise, Brise-soleil

Als integraler Bestandteil des Gebäudes sind diese Massnahmen effizient gegen Direktbestrahlung im Sommer, aber weniger gegen die diffuse Einstrahlung. Bewegliche Lamellen erlauben eine Regulierung bei direkter Einstrahlung.

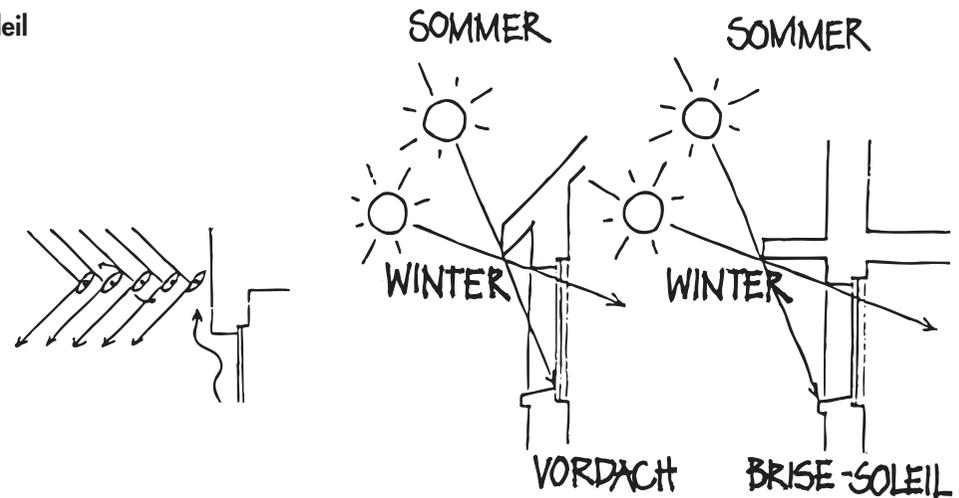


Abb. 30

Storen aus Gewebe, Lamellenstoren (ausser)

Ausgezeichnete Lösung durch die Beschattung des Fensters im Sommer sowie eine präzise Lichtregulierungsmöglichkeit. Die Lüftung des Wohnraumes ist auch bei geschlossenen Storen möglich.

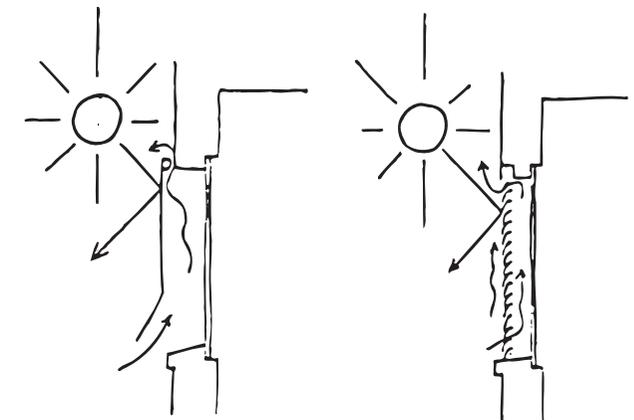


Abb. 31

Storen aus Gewebe, Lamellenstoren (innen)

Kein Schutz vor Ueberhitzung, da die Sonneneinstrahlung bereits das Fensterglas durchquert hat und sich durch Konvektion im Raum verteilt. Die Lüftung des Wohnraumes ist bei geschlossenen Storen reduziert. Bei einem nachträglichem Einbau können innere Rollos mit reflektierender Oberfläche zweckmässig sein.

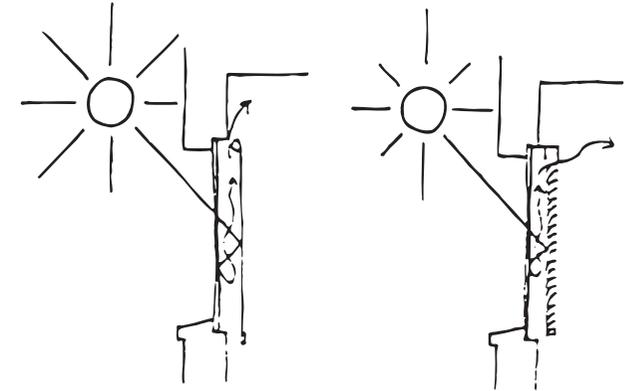


Abb. 32

Reflektierende Gläser

Bei schönem Wetter halten reflektierende Gläser den Grossteil der einstrahlenden Wärmeenergie ab, reduzieren aber gleichzeitig die einfallende Lichtmenge massiv. Das Anbringen eines Sonnenschutzes erübrigt sich. Generell wird die Wahl der verschiedenen Gläser durch die Architektur bestimmt.

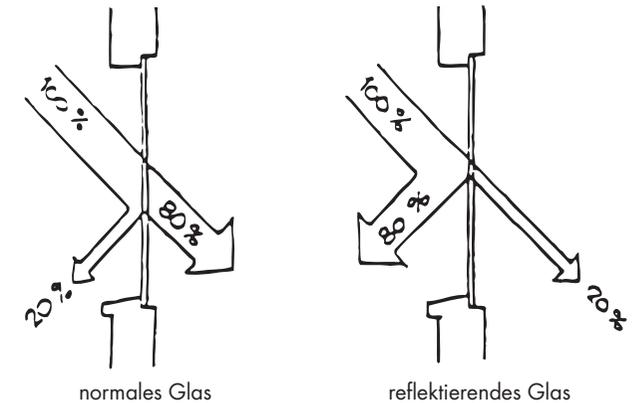


Abb. 33

Eingangstüre

Der Wärmedurchgang einer modernen Türe darf $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschreiten. Gut konzipierte Türen erreichen Werte unter $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Mit einer Wärmedämmung von 20 mm erreicht die abgebildete Türe einen U-Wert von $0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$.

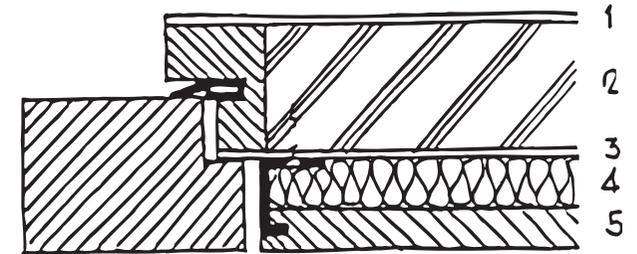


Abb. 34

- 1 Innere Verkleidung
- 2 Furnierte Spanplatte 40 mm
- 3 Furnierplatte
- 4 Wärmedämmung
- 5 Äussere Verkleidung 21 mm

Flachdach

Man unterscheidet Flachdachkonstruktionen in Massivbauweise (vor allem Stahlbeton) und Leichtbauweise (Holz und Stahl). Der Aufbau eines Flachdaches mit einer Holzkonstruktion erfolgt wie beim Steildach. Flachdächer in Holzbauweise sind mit einem Gefälle auszuführen (2 – 5 %) und die Hinterlüftung ist massiv zu erhöhen (abhängig von der Grösse des Daches, jedoch min. 10 cm). Der Einbau einer Dampfbremse oder Dampfsperre ist unerlässlich.

Flachdächer mit Stahlbetondecken werden in verschiedenen Systemen ausgeführt. Konstruktiv werden diese Flachdächer in Warmdächer, Umkehrdächer und Plusdächer unterteilt. Von der Nutzung her unterscheidet man: nicht begehbare, begehbare, befahrbare und begrünte Flachdächer. Die bauphysikalischen Anforderungen in Bezug auf Wärme ($U\text{-Wert} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$), Dampfdiffusion und Schall werden in den SIA-Normen geregelt.

Beispiele:

Flachdach massiv in Stahlbetonkonstruktion (Warmdach)

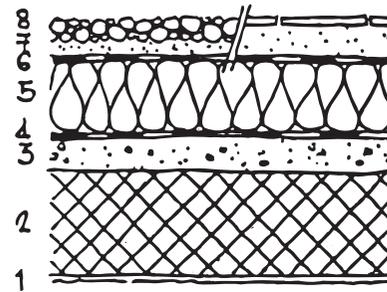


Abb. 37

- 1 Innenverputz
- 2 Stahlbetonplatte
- 3 Gefällsbeton
- 4 Dampfsperre
- 5 Wärmedämmung
- 6 Abdichtung
(Polymerbitumenbahnen, Kunststoffdichtungsbahnen)
- 7 Schutzfolie
- 8 Schutzschicht (Sand/Kies, Platten)

Flachdach leicht in Holzbauweise (Kaltdach)

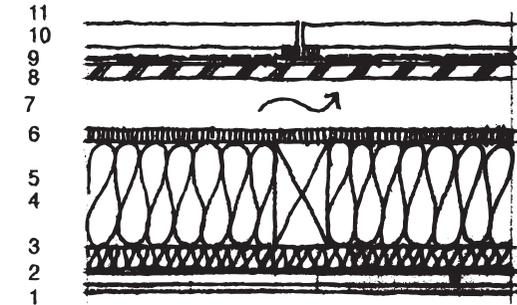


Abb. 38

- 1 Deckenverkleidung, Lattung, Installationsebene
- 2 Luftdichtung Dampfsperre
- 3 1. Schicht Wärmedämmung unter den Balken
- 4 2. Schicht Wärmedämmung zwischen den Balken
- 5 Balkenlage aus Brettschichtholz
- 6 Dampfdurchlässige bitumierte Weichfaserplatte
- 7 Lattung, Hinterlüftung (min. 10 cm)
- 8 Spanplatte
- 9 Abdichtung
(Polymerbitumenbahnen, Kunststoffdichtungsbahnen)
- 10 Schutzfolie
- 11 Schutzschicht (Sand/Kies, Platten)

Boden

Als einziges Element der Gebäudehülle ist der Boden immer in Berührung mit dem Menschen, und muss daher erhöhten thermischen Anforderungen genügen. Wie auch immer die Wärmeabgabe erfolgt (Bodenheizung, Radiatoren, Heizwände etc.), Ziel ist es, eine Bodenoberflächentemperatur zu erreichen, die sich möglichst nahe der Raumtemperatur befindet. Einen erheblichen Einfluss spielt dabei die Wärmeleitung des Bodenmaterials.

Anforderungen:

1. Boden gegen Aussenklima $U \approx 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
(Auskragung, Erker etc.)
2. Boden gegen unbeheizten Raum $U \approx 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
(Keller, Garage etc.)
3. Boden gegen Erdreich $U \approx 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Beispiele:

Bei einer Ausführung mit Bodenheizung muss die Wärmedämmung (Pos. 4) entsprechend erhöht werden, um die Wärmeverluste zu reduzieren.

Boden gegen Aussenklima oder unbeheizten Raum

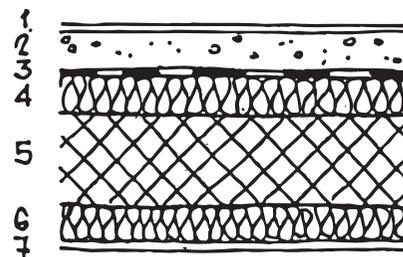


Abb. 39

- 1 Bodenbelag
- 2 Zementüberzug
- 3 Dampfsperre
- 4 Wärmedämmung
- 5 Stahlbetondecke
- 6 Wärmedämmung (geklebt)
- 7 Aussenverputz

Boden gegen Erdreich

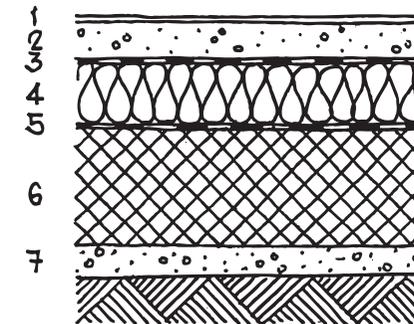


Abb. 40

- 1 Bodenbelag
- 2 Zementüberzug
- 3 Dampfsperre
- 4 Wärmedämmung
- 5 Feuchtigkeitssperre
- 6 Stahlbetonplatte
- 7 Magerbeton

5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

Lernauftrag 1

Bestimmen Sie den U-Wert dieser Wand.

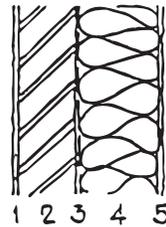


Abb. 41

- 1 Innenverputz 1 cm
- 2 Backstein 12 cm
- 3 Dampfsperre 0,01 mm
- 4 Wärmedämmung Steinwolle 18 cm
- 5 Aussenverputz 1,5 cm

Lernauftrag 2

Eine bestehende hinterlüftete Fassade soll saniert werden. Dabei soll die bestehende Blechverkleidung durch eine Lärchenholzschalung ersetzt werden und die Wärmedämmung (Mineralwolle) soll auf einen U-Wert von $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert werden. Welche Dämmstärke wird dazu benötigt?

Bestehender Wandaufbau:

- 2 cm Innenverputz
- 15 cm Backstein
- 6 cm Mineralwolle
- 4 cm Hinterlüftung
- Blechverkleidung

Lernauftrag 3

Für eine denkmalgeschützte Fassade aus Bruchsteinmauerwerk ($d = 70 \text{ cm}$) werden Lösungen zur Verbesserung der Wärmedämmung gesucht. Skizzieren Sie einen oder mehrere Vorschläge.

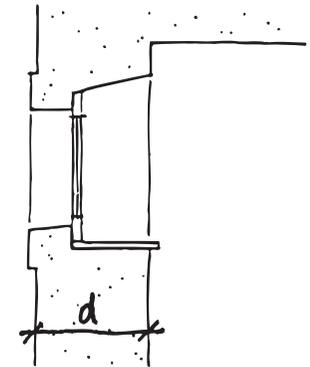


Abb. 42

Lernauftrag 4

Machen Sie einen Vorschlag, um den Dachrand dieses Flachdaches aus den 60-er Jahren thermisch zu verbessern.

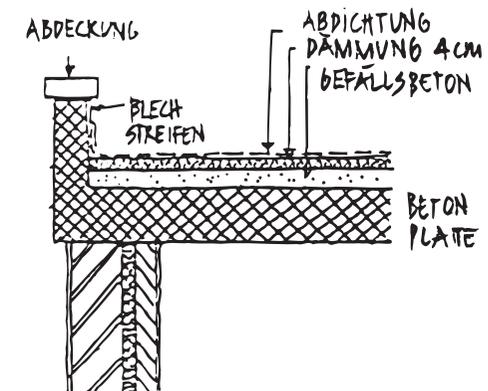


Abb. 43



Lösungen

Lösung 1:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + 0 + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{1}{h_e}$$

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,12}{0,47} + 0 + \frac{0,18}{0,035} + \frac{0,015}{0,87} + \frac{1}{20}$$

$$R = 5,604 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{5,604} = 0,178 = \mathbf{0,18 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Lösung 2:

Thermischer Widerstand bestehende Wand:

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,70} + \frac{0,15}{0,47} + \frac{0,06}{0,04} + 0,08 + \frac{1}{15}$$

$$= 2,12 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Thermischer Widerstand neuer Wandaufbau mit $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$:

$$R = \frac{1}{0,25} = 4,0 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Differenz: } 4,0 - 2,12 = 1,88 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Zusätzlich nötige Dämmdicke:

$$1,88 \text{ m}^2\text{K/W} \cdot 0,04 \text{ W/mK} = 0,075 \text{ m} = \mathbf{7,5 \text{ cm}}$$

Lösung 3:

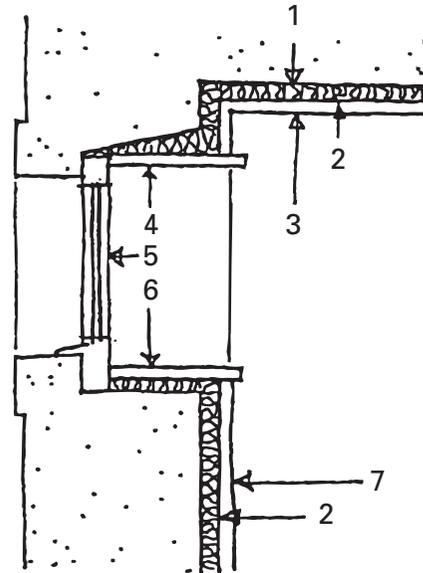


Abb. 44

- 1 Wärmedämmung
- 2 Dampfbremse
- 3 Deckenverkleidung (z.B. Gipsplatten auf Holzrost)
- 4 Vorhangbrett
- 5 Neues Fenster mit Isolierverglasung
- 6 Fenstersims
- 7 Wandverkleidung (analog Deckenverkleidung)

Lösung 4:

Variante 1

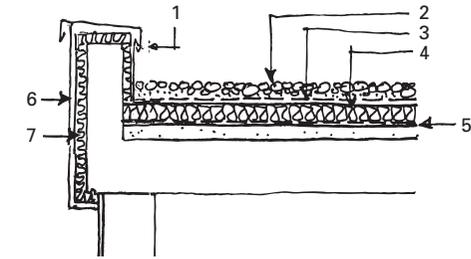


Abb. 45

- 1 Brüstungsabdeckung (Spenglerarbeit)
- 2 Schutzschicht (Sand, Kies)
- 3 Dichtungsbahnen
- 4 Neue, dickere Dämmschicht
- 5 Dampfsperre
- 6 Verputz
- 7 Dämmschicht (auf Betonbrüstung geklebt)

Variante 2

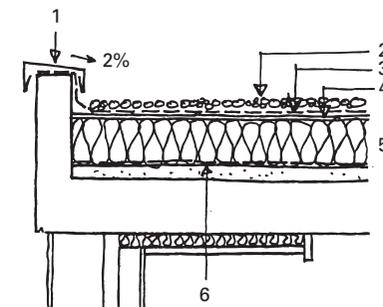


Abb. 46

- 1 Brüstungsabdeckung (Spenglerarbeit)
- 2 Schutzschicht (Sand, Kies)
- 3 Dichtungsbahnen
- 4 Abdeckfolie
- 5 Neue, dickere Dämmschicht
- 6 Dampfsperre

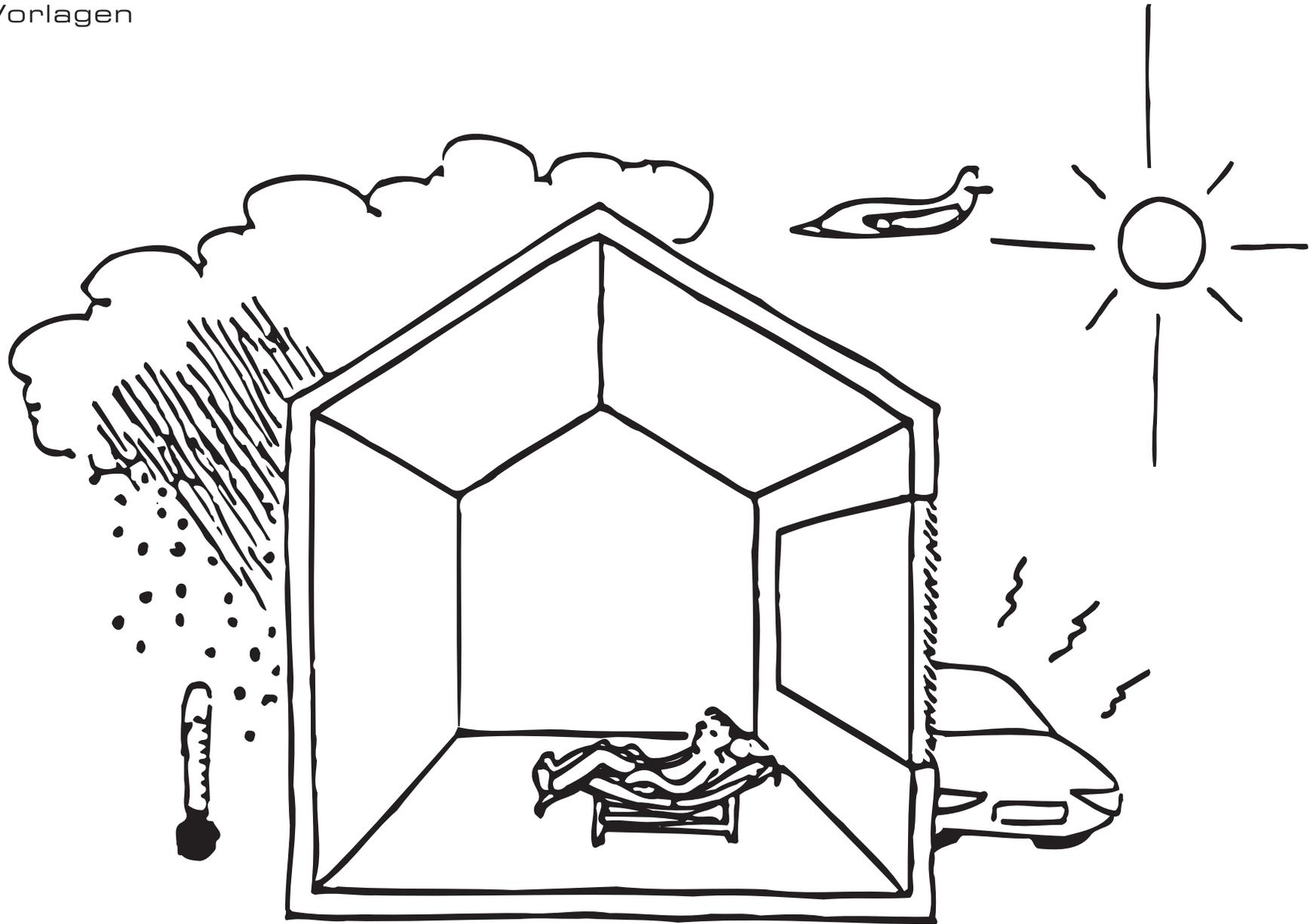
6 Weiterführende Literatur

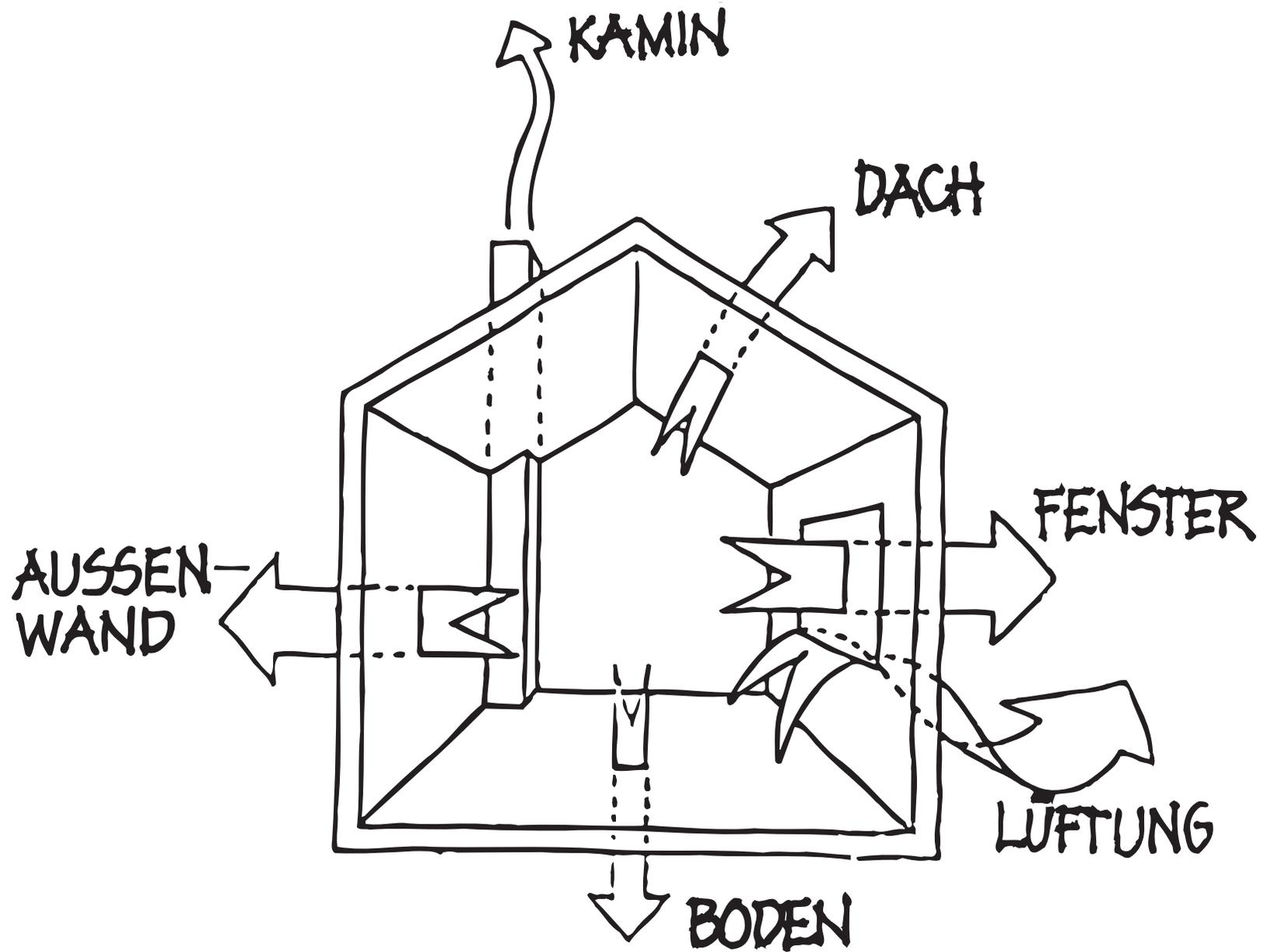
- Konstruktionslehre Hochbau 1 und 2, 7. Auflage 1997, verschiedene Autoren, P. Herzog Druck, Solothurn
- Baustoffkunde für Bauberufe, 11. Auflage 2001, verschiedene Autoren, P. Herzog Druck, Solothurn
- Technische Dokumentationen verschiedener Bauprodukte
- SIA Normen
- Lignum Holzbulletin

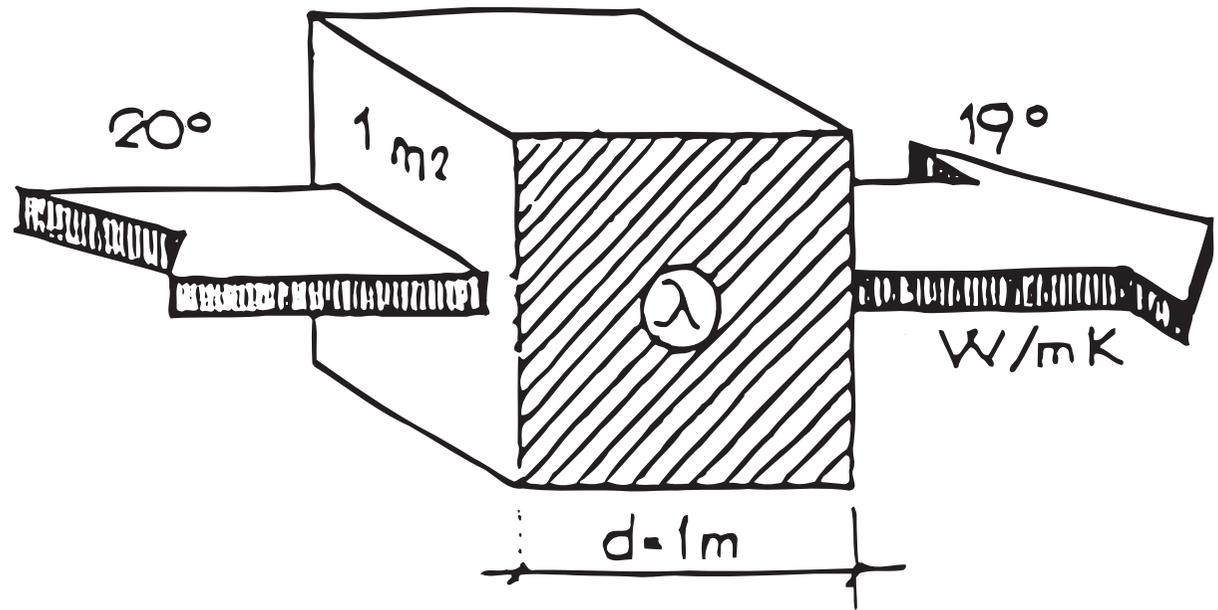
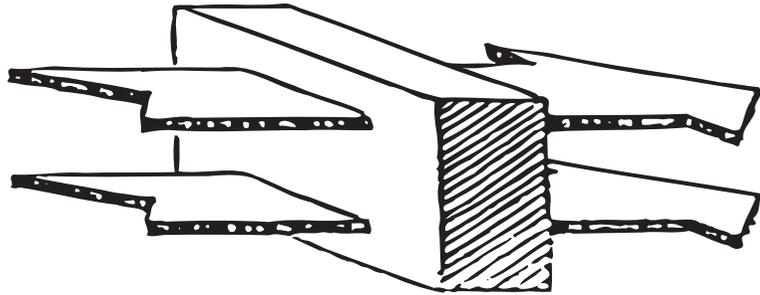
7 Bild- und Textnachweis

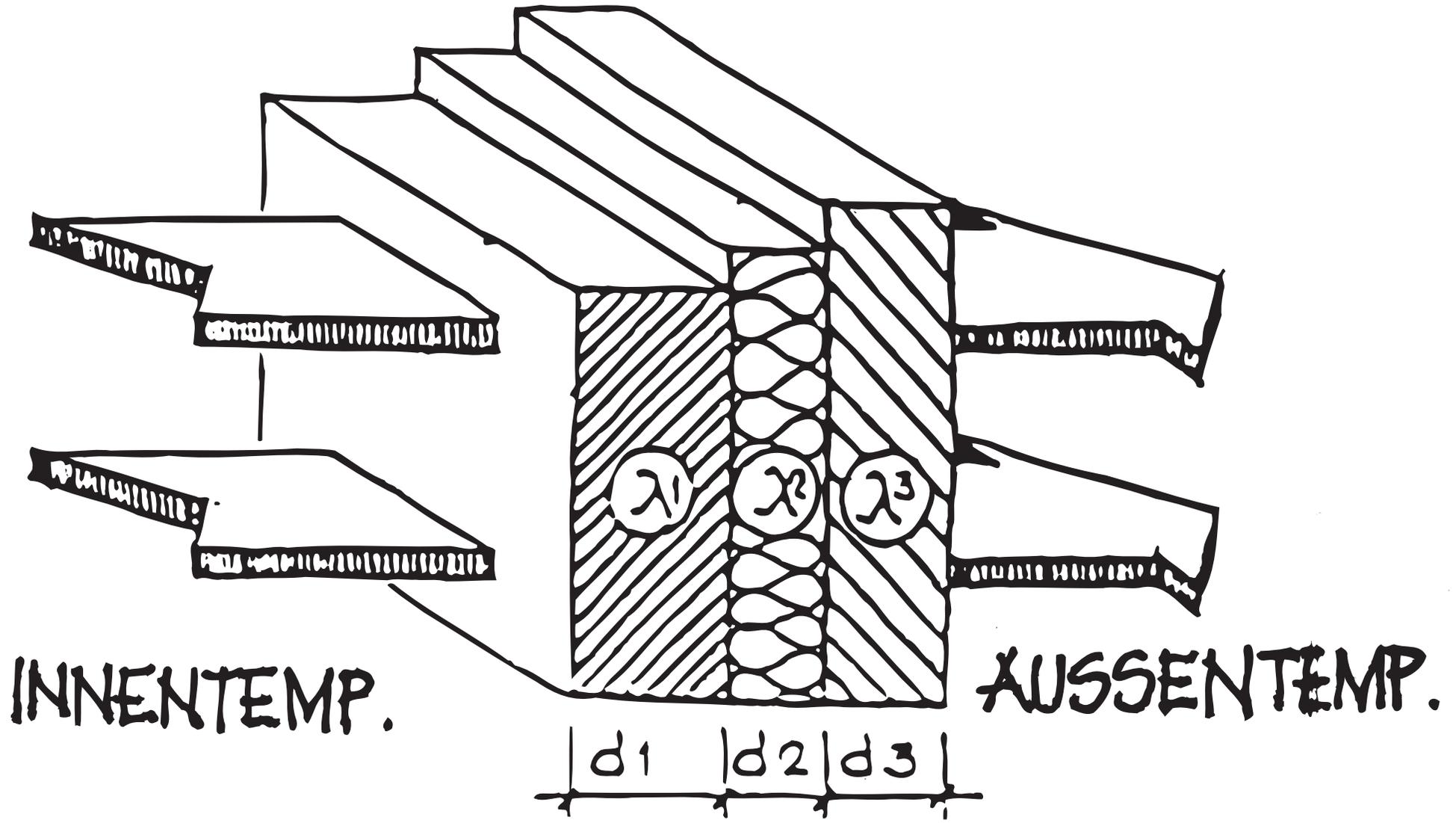
Sämtliche Zeichnungen ausser den Abb. 27, 38 und 45 stammen vom Autor, Joseph Simon.
Die Abb. 27, 38 und 45 steuerte Markus Rebmann bei, der auch bei der Textentwicklung mitwirkte.

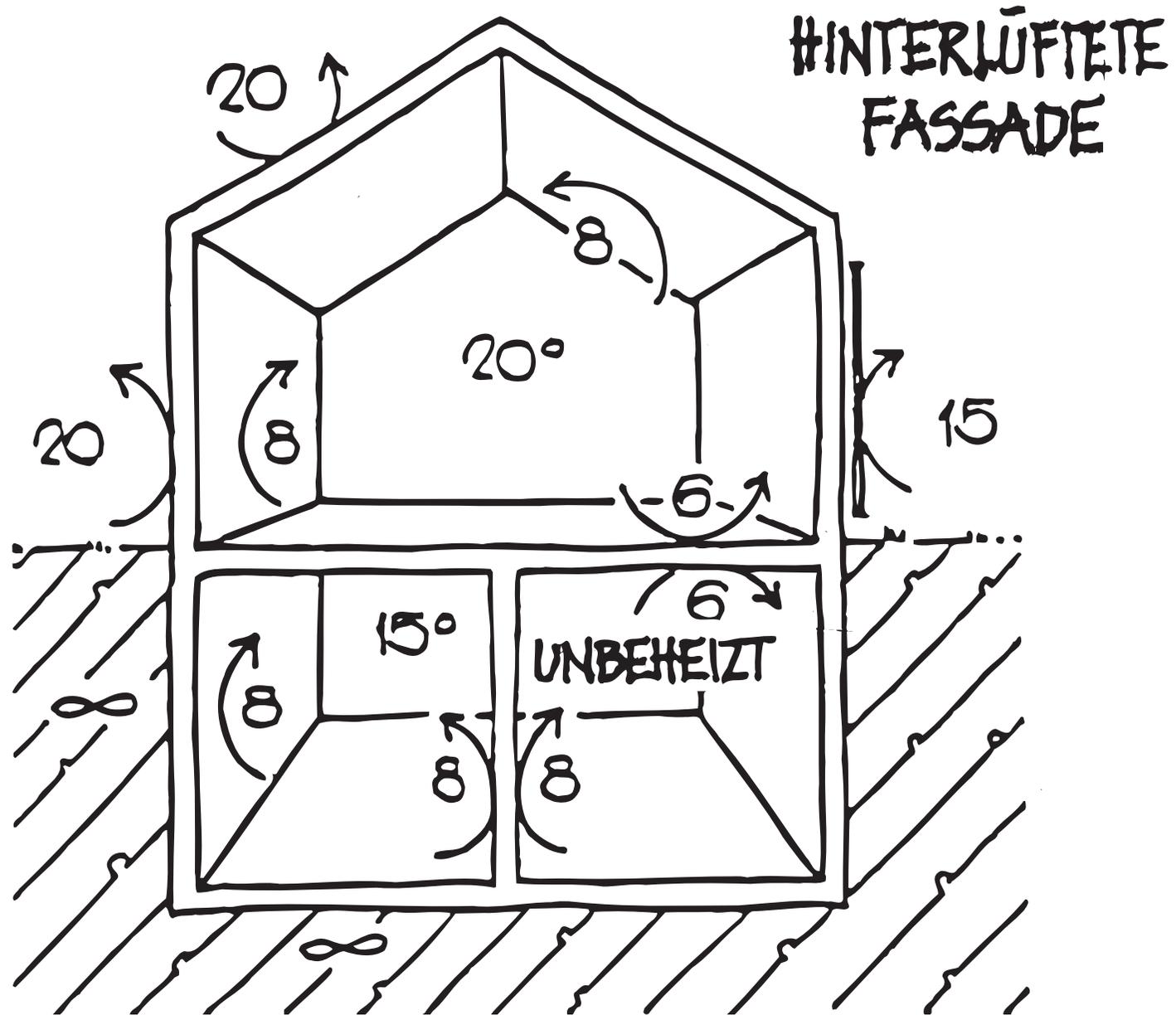
8 Vorlagen

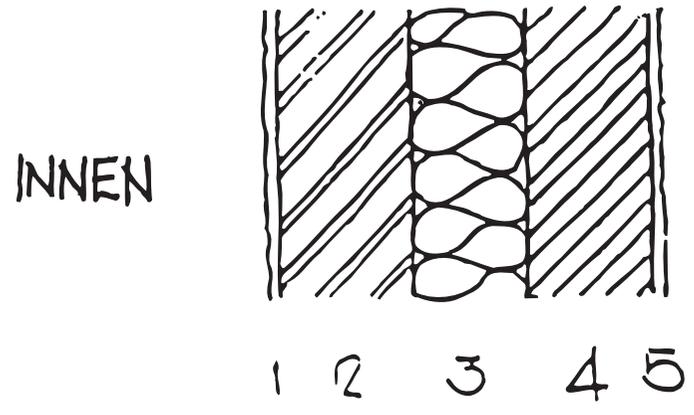




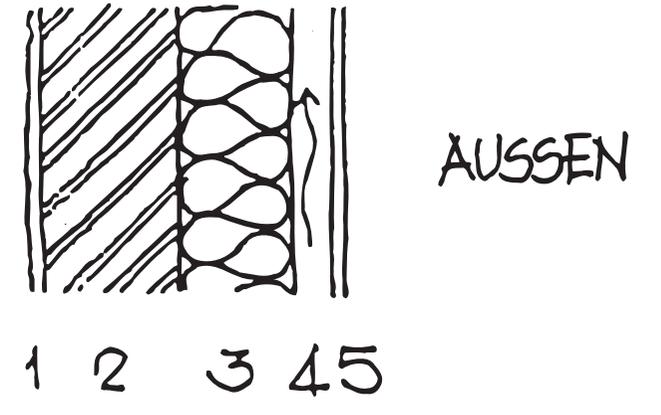


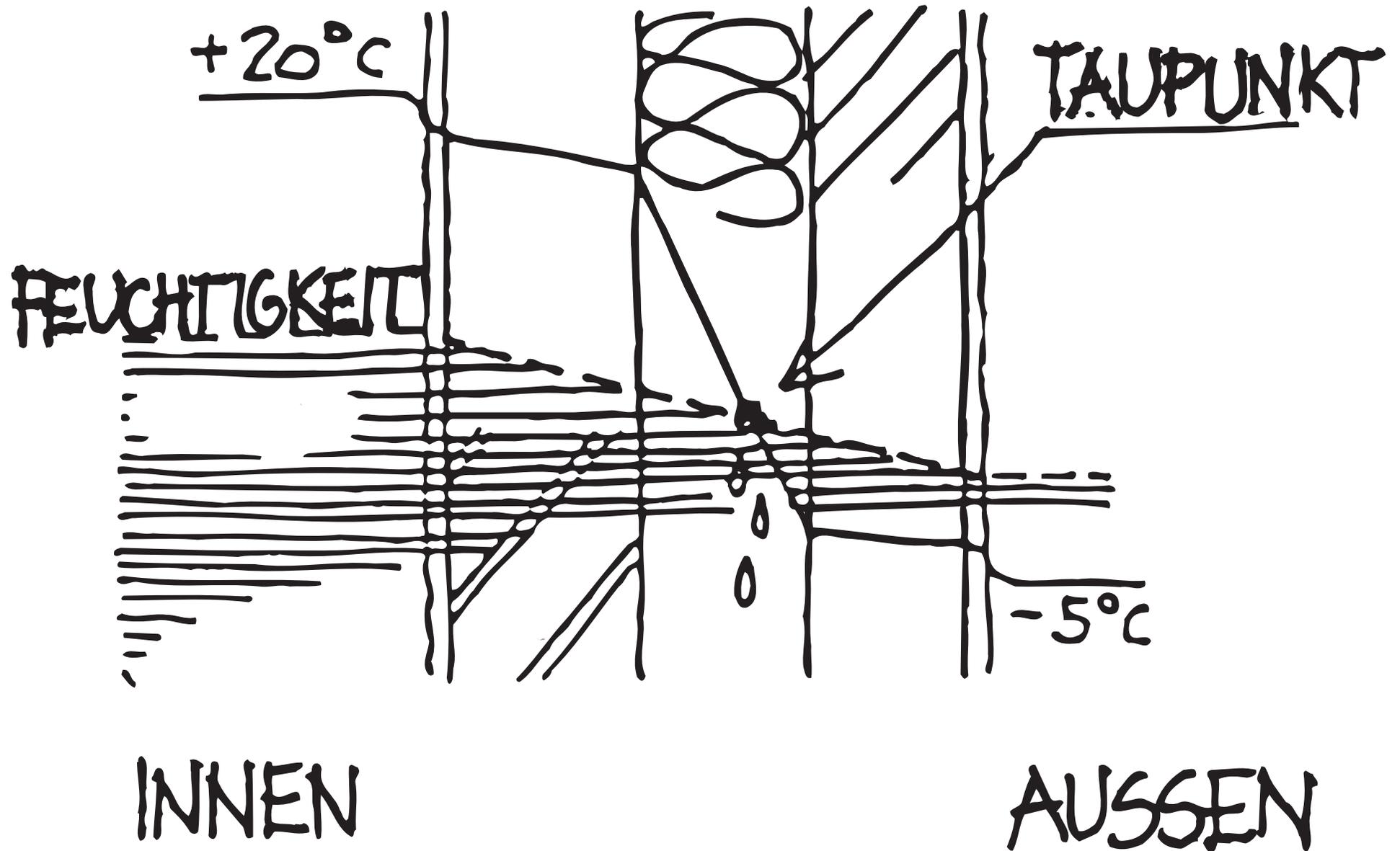


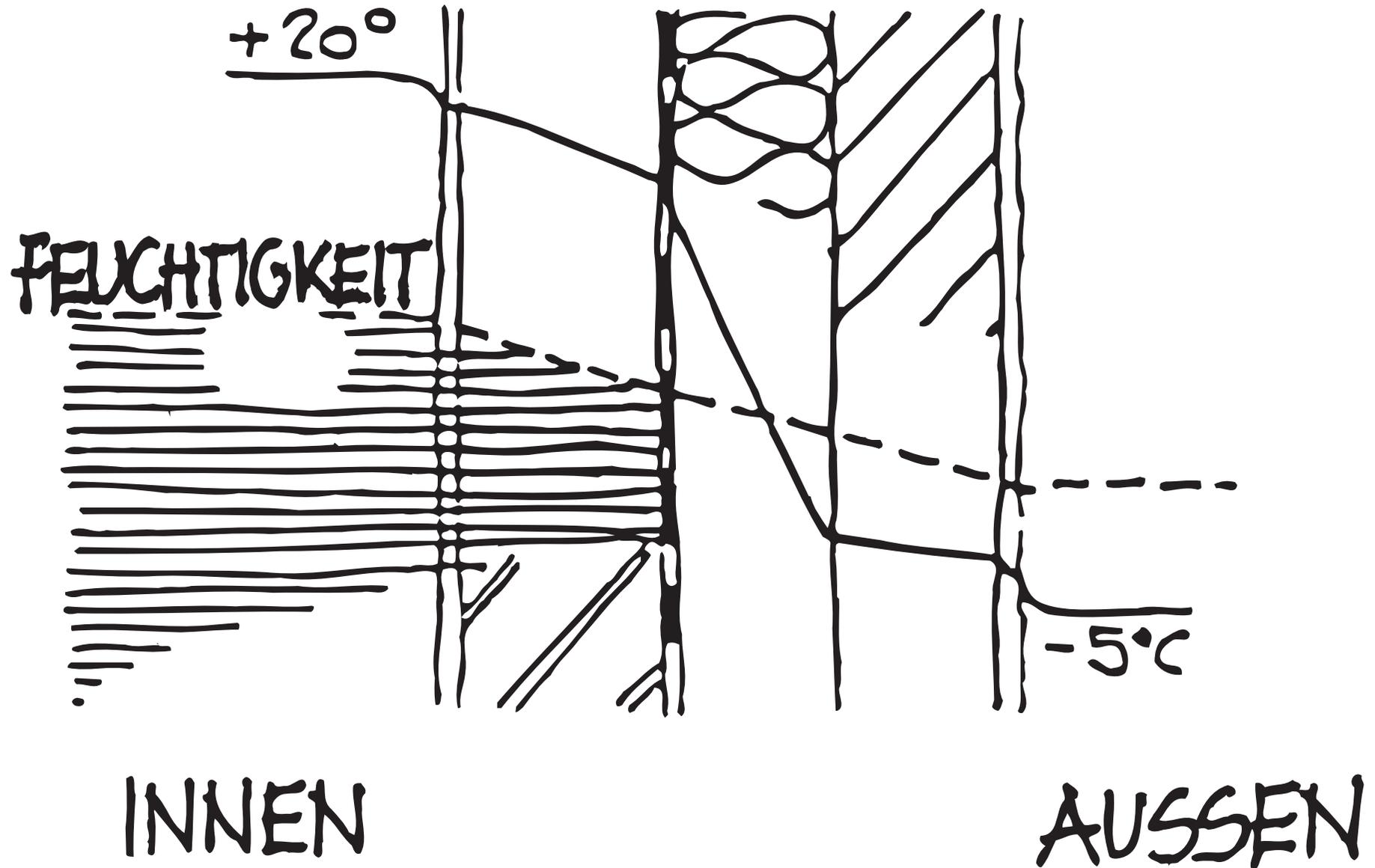


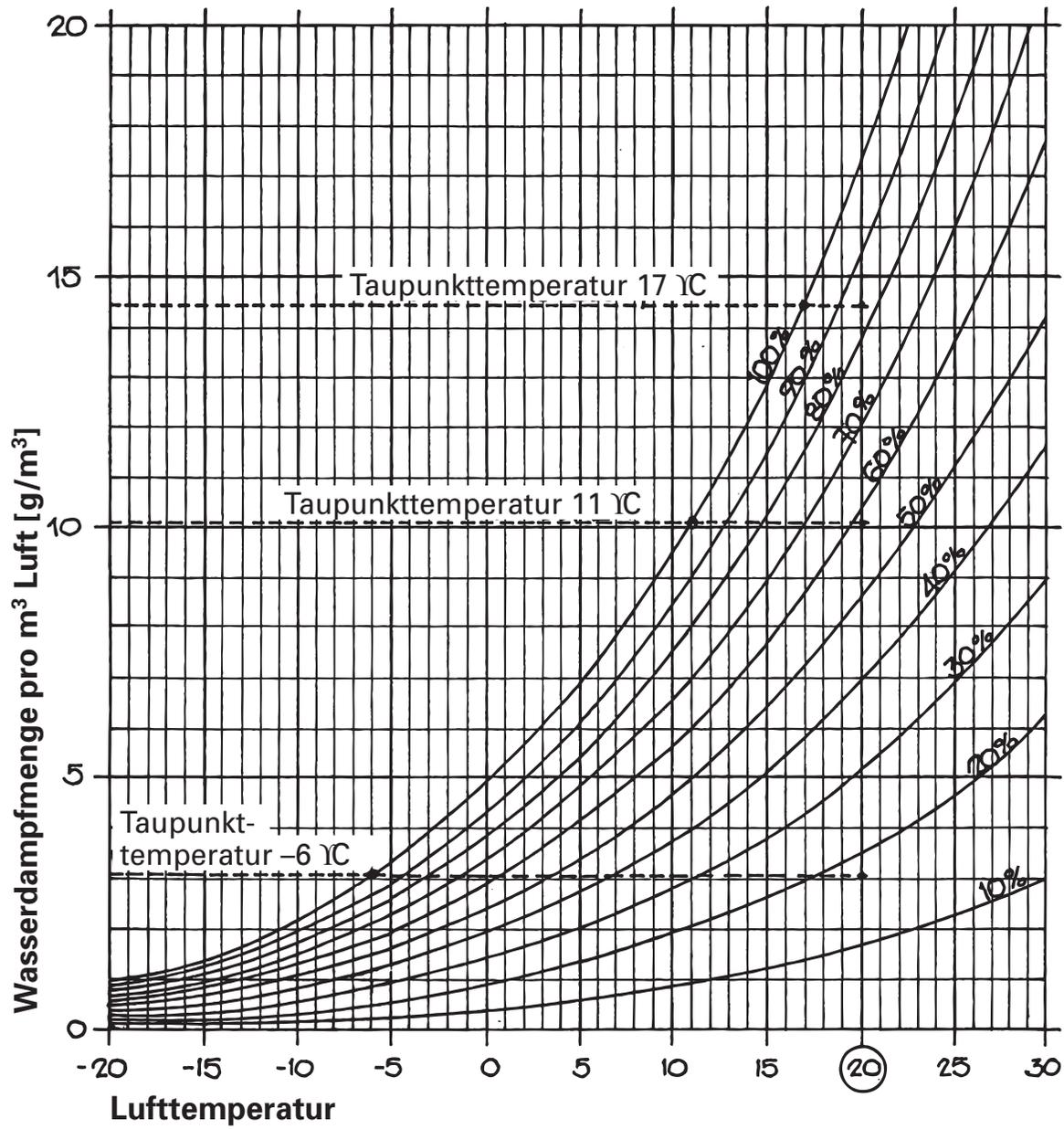


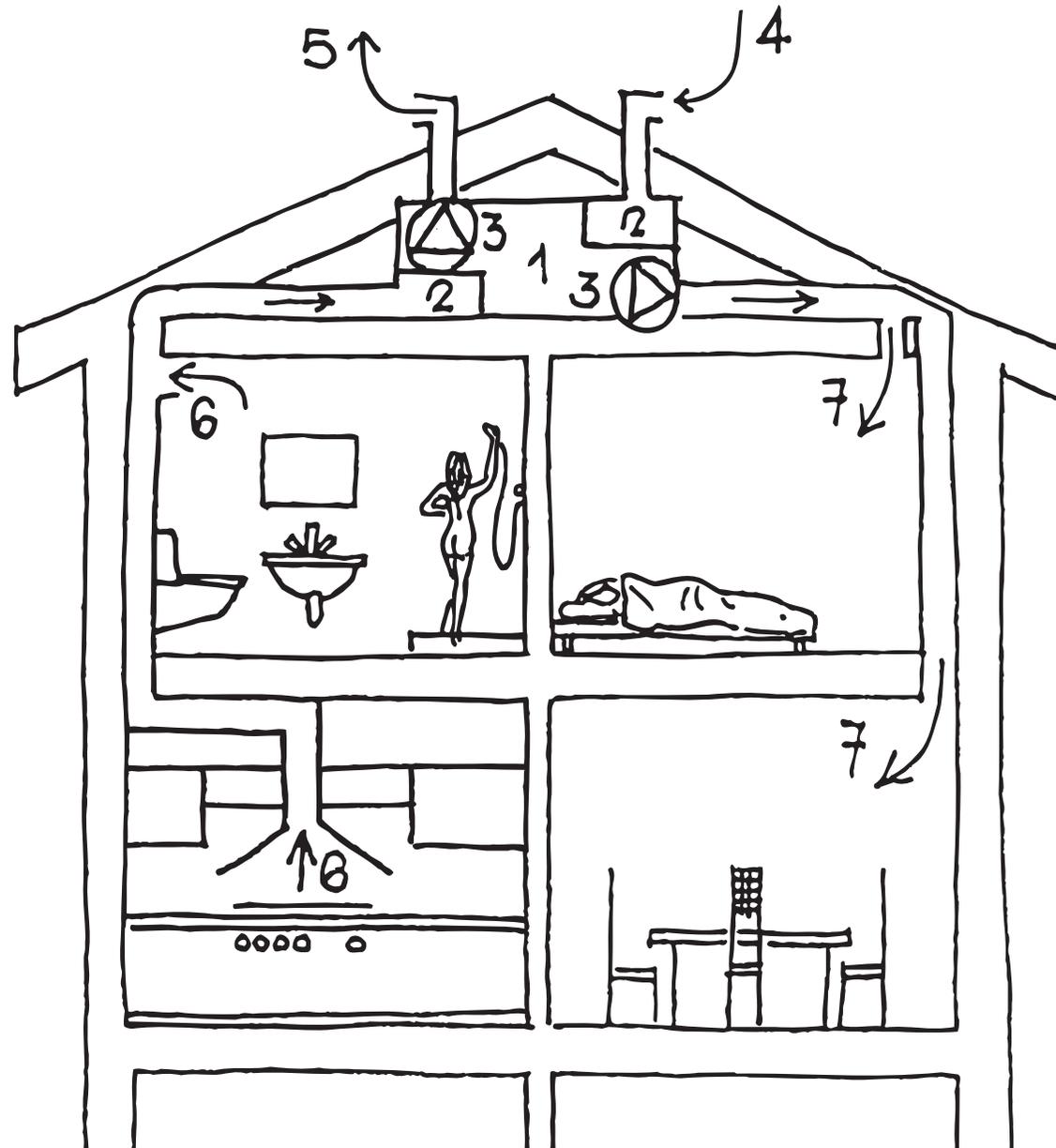
AUSSEN INNEN

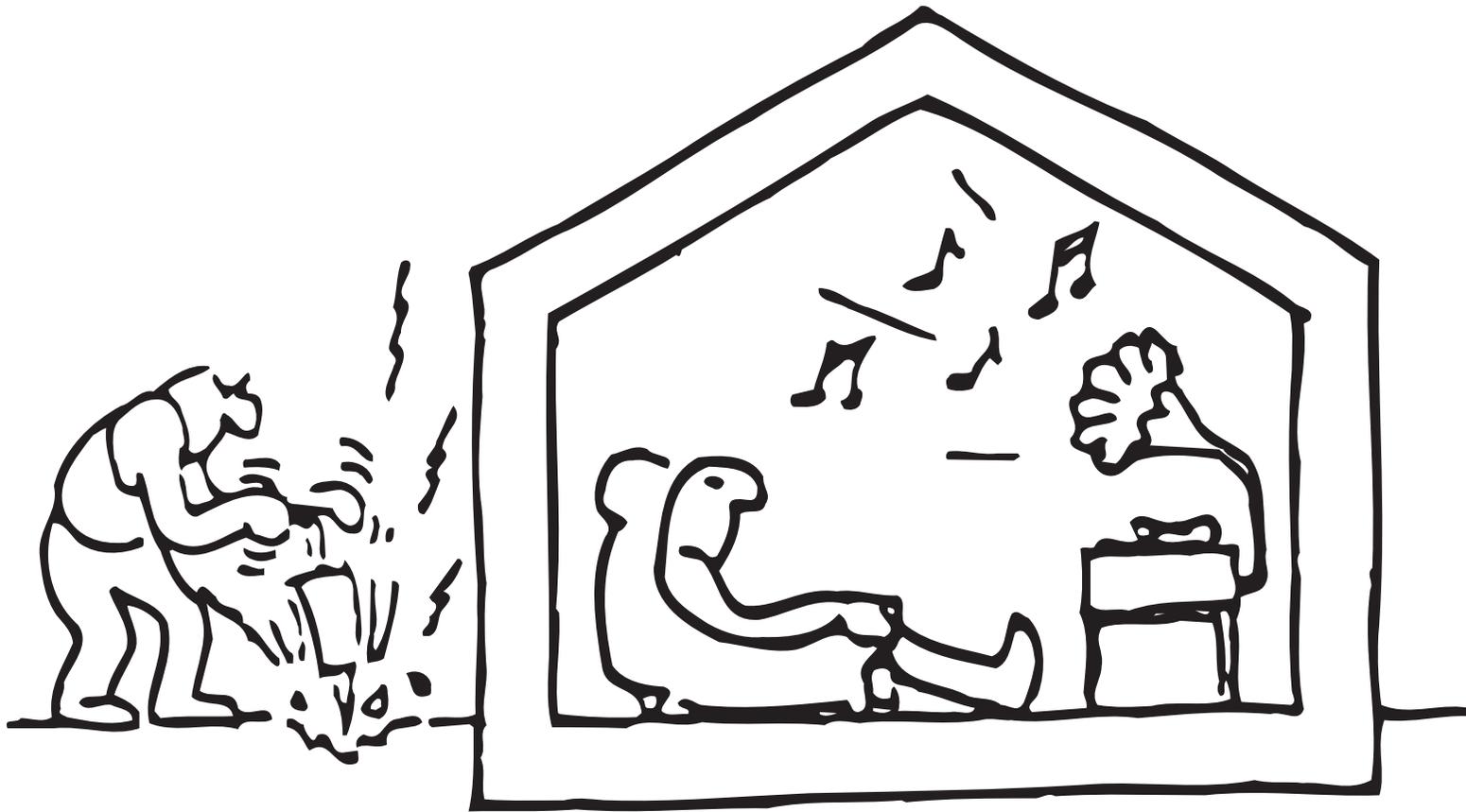




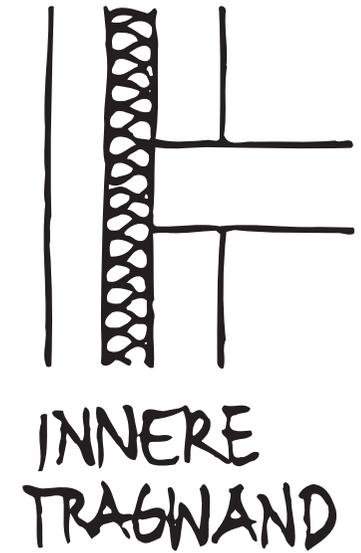
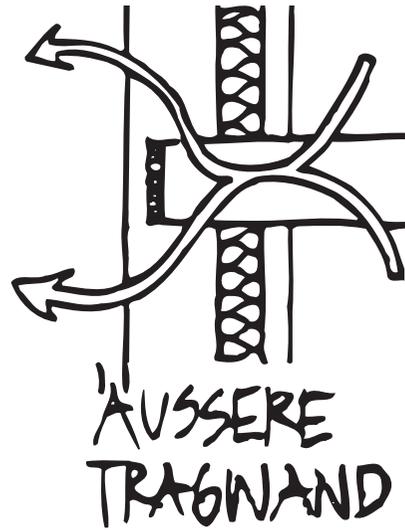




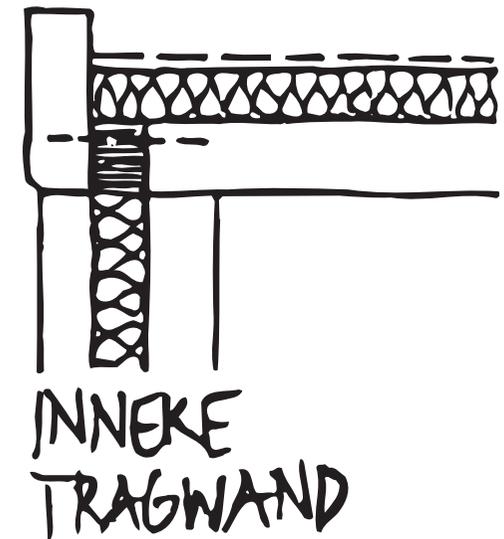
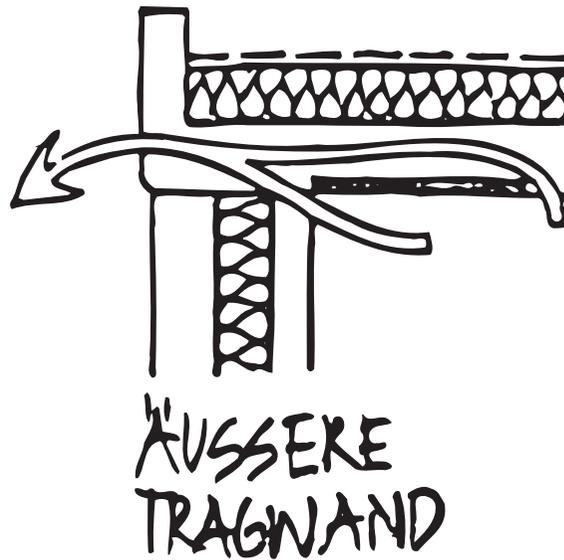




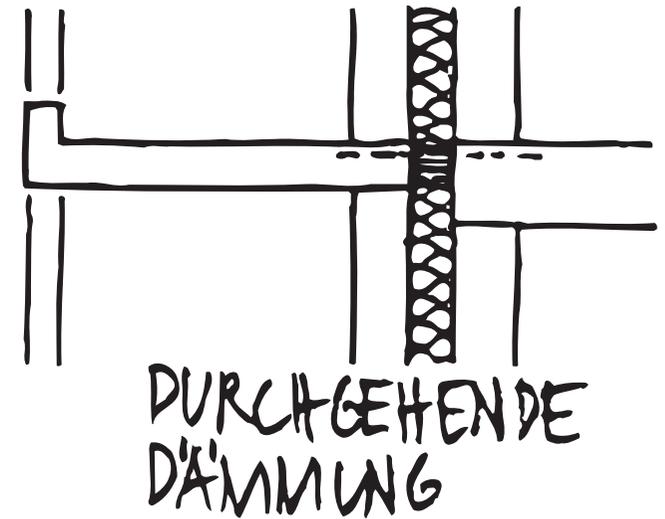
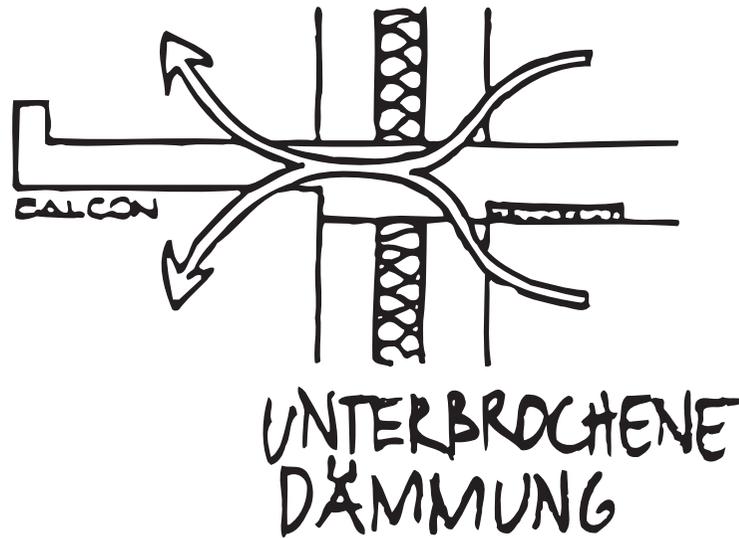
Ebene Decke



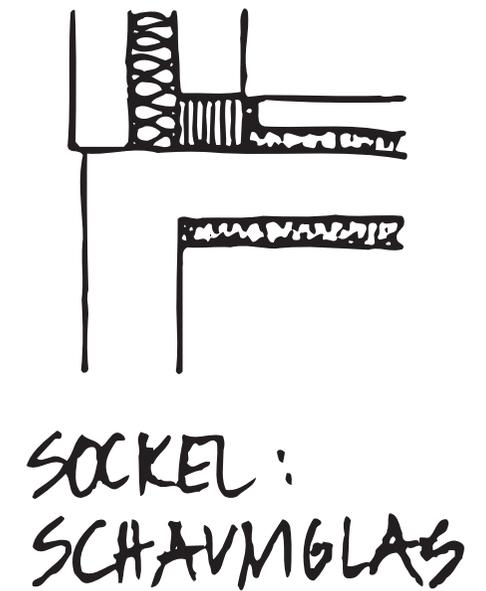
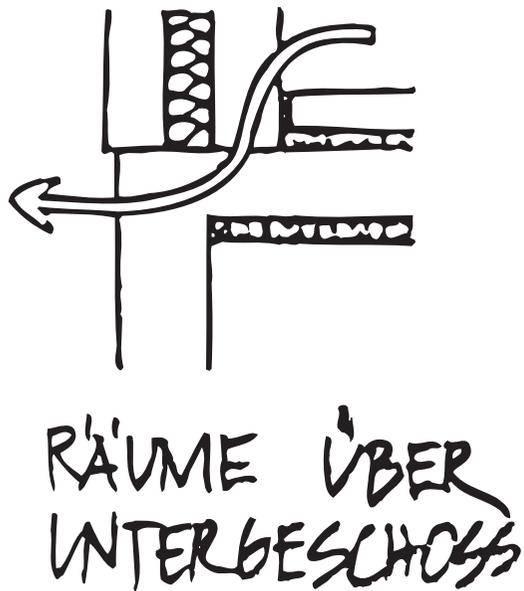
Ebene Dach

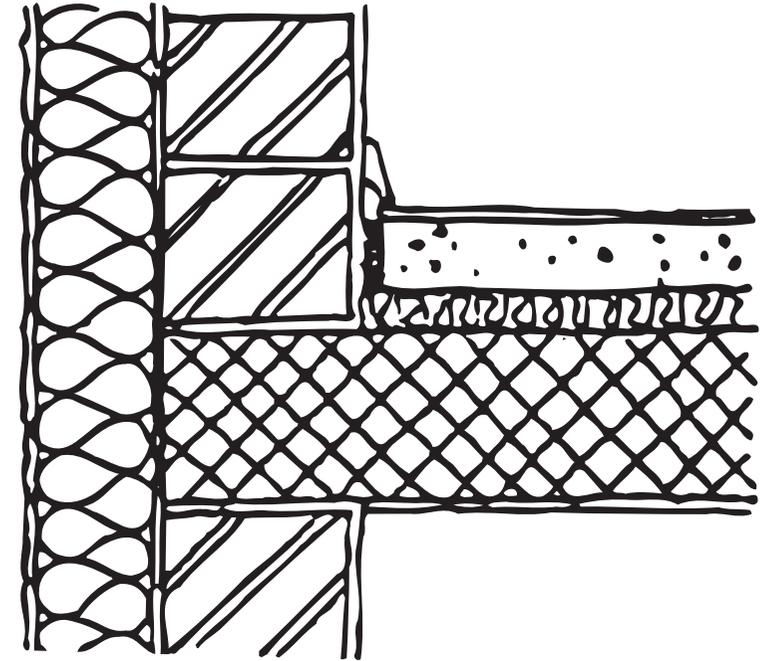
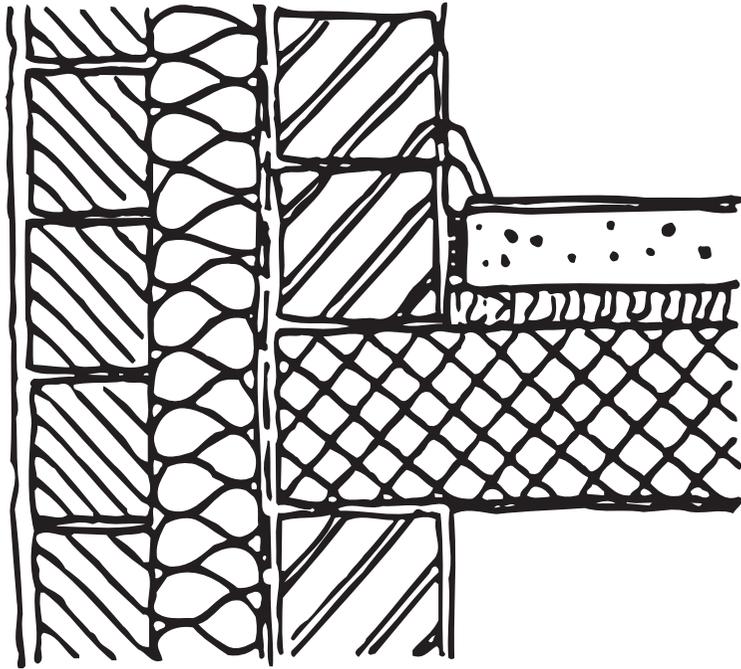


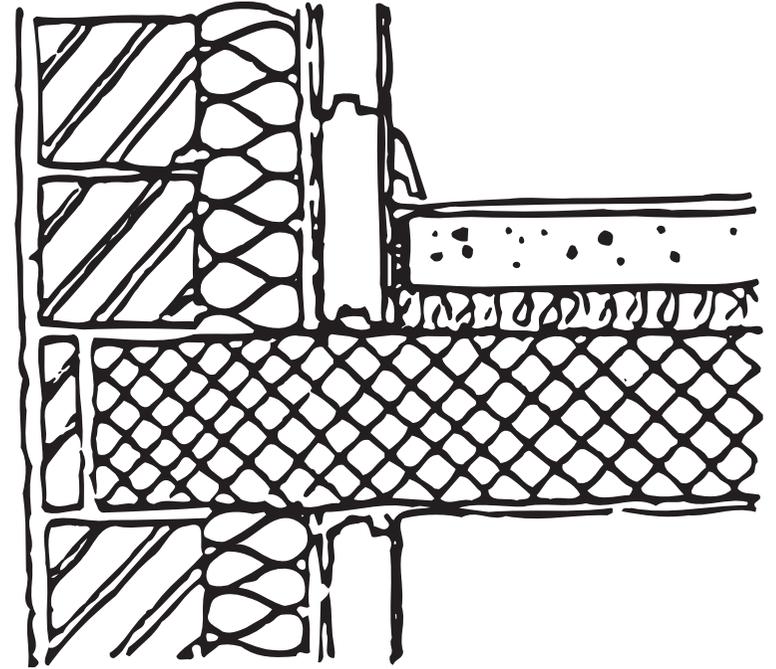
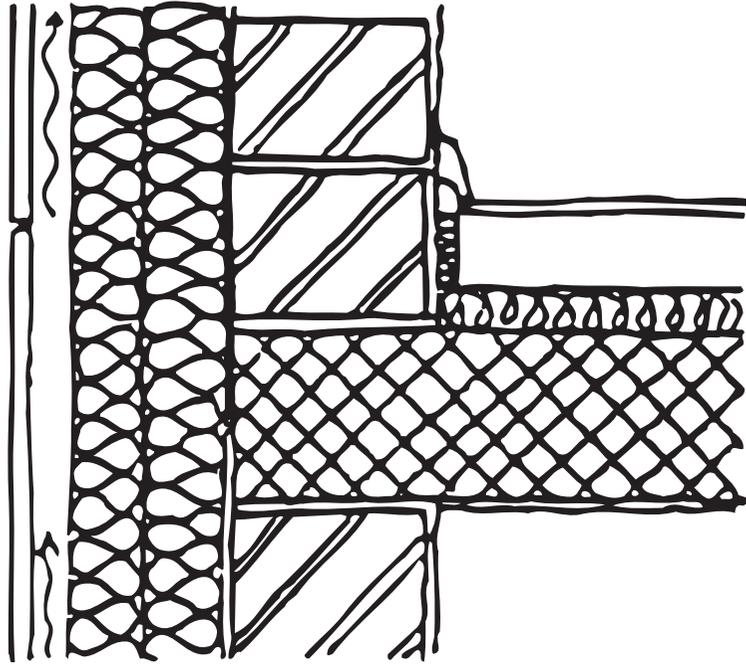
Ebene Balkon



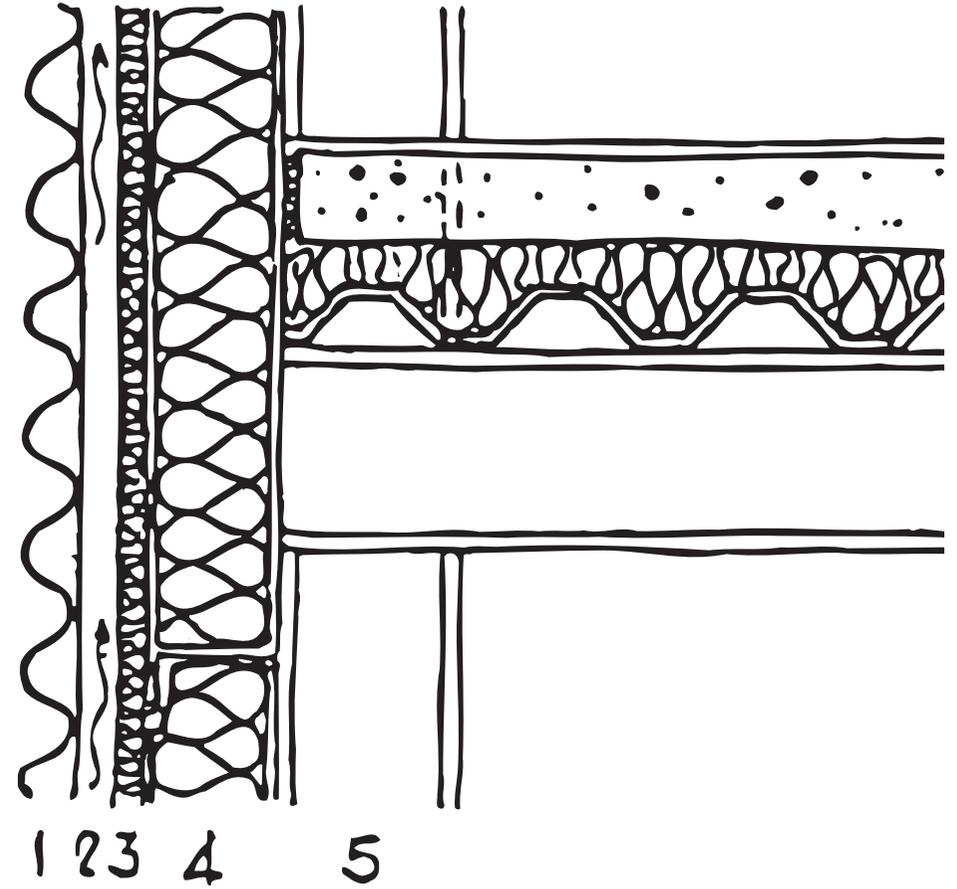
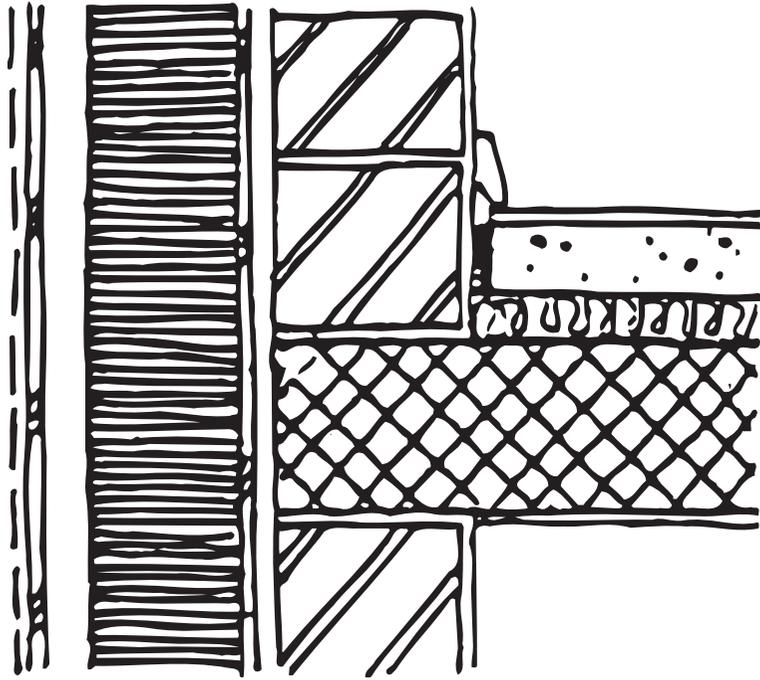
Ebene Sockel

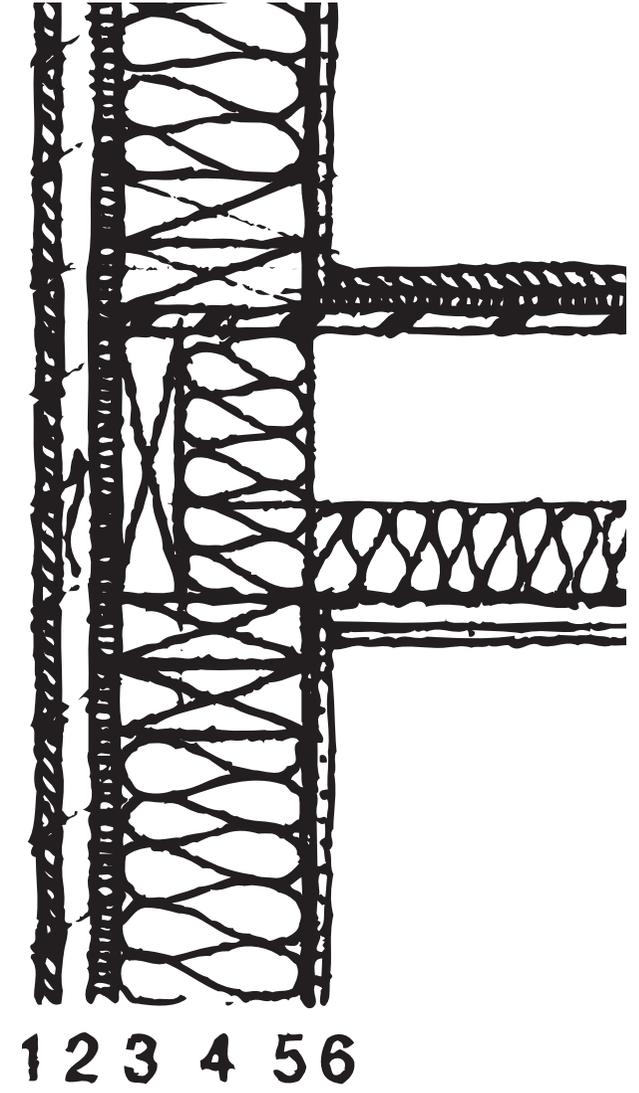
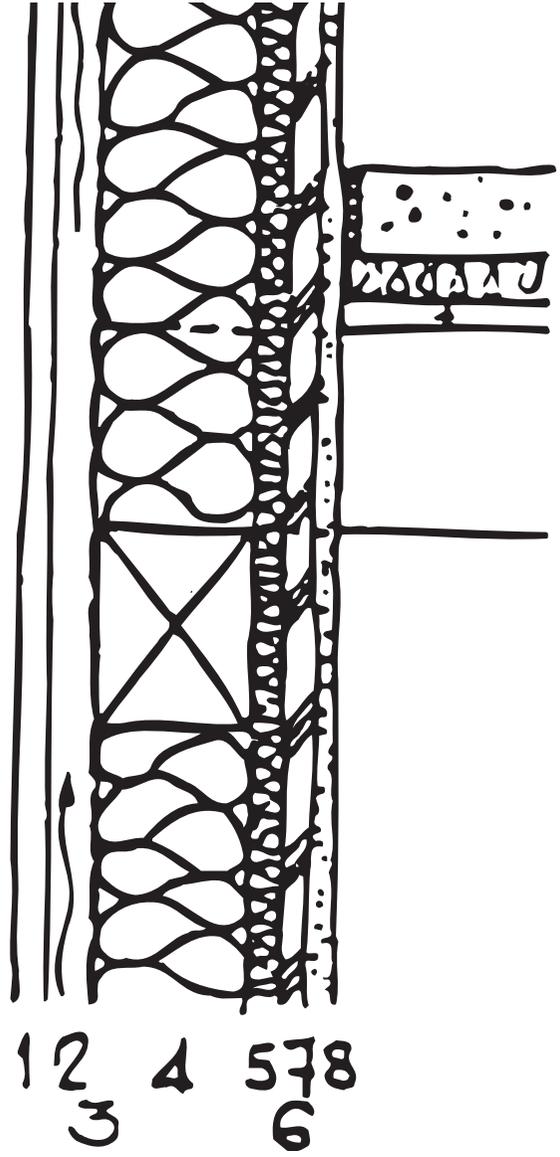
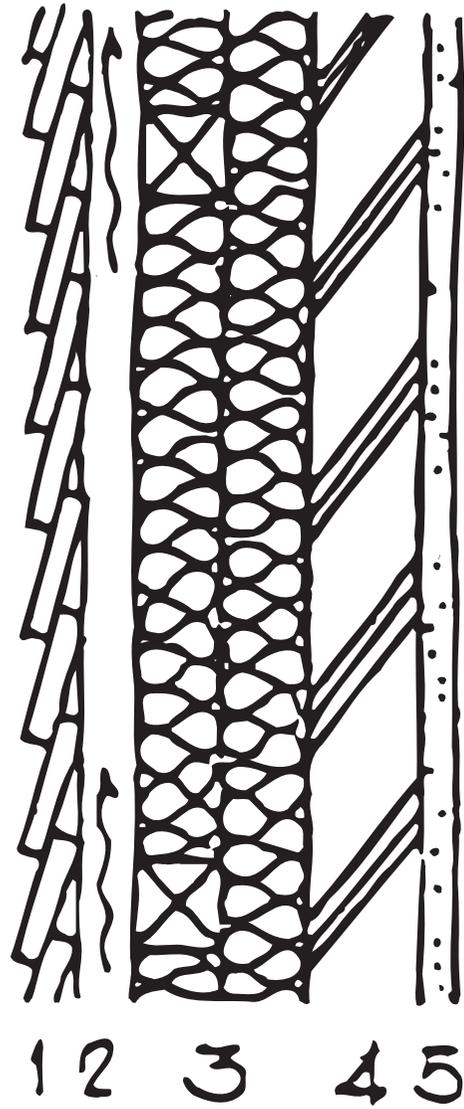


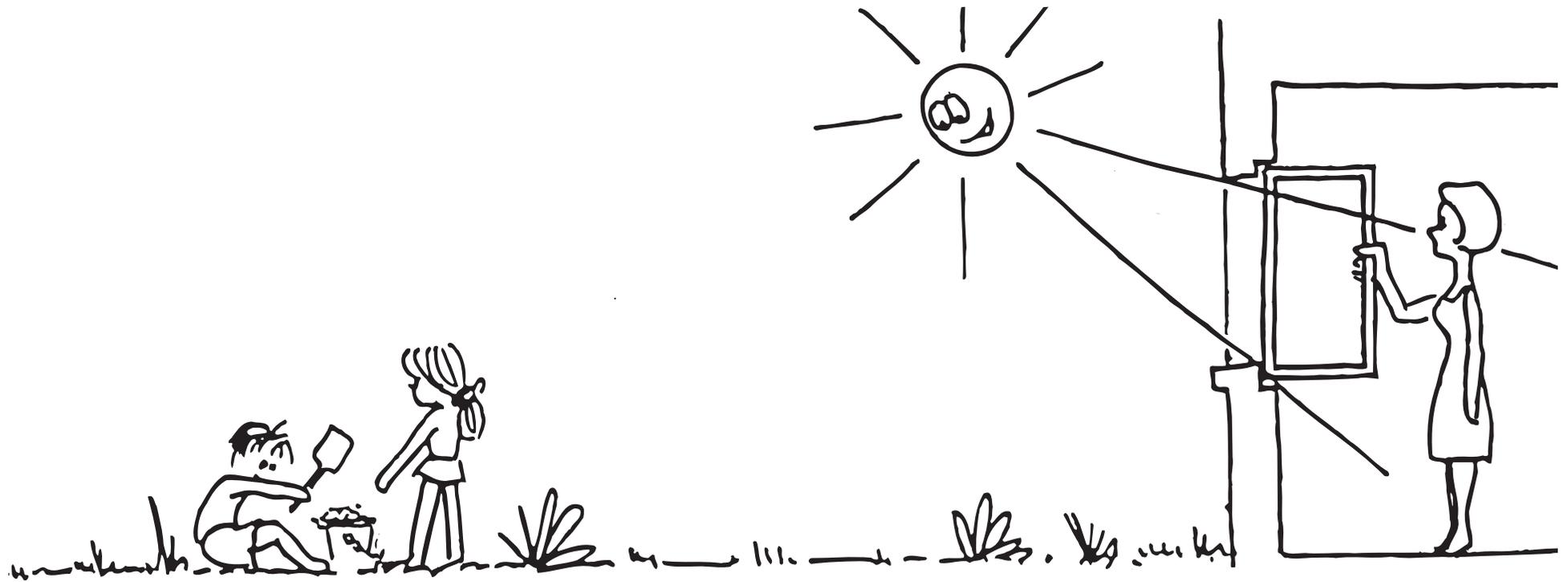


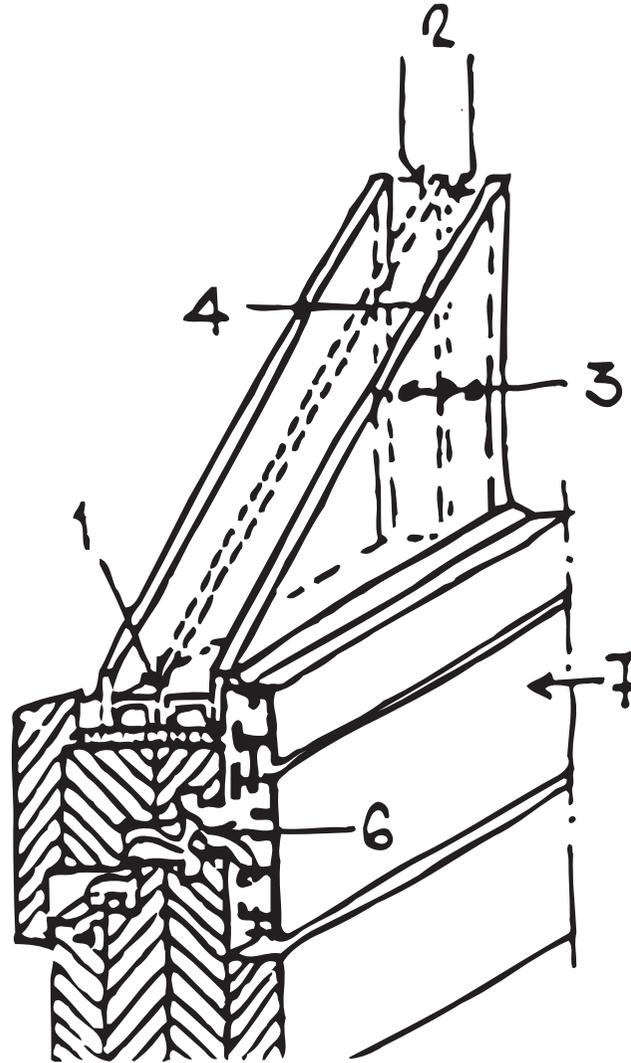


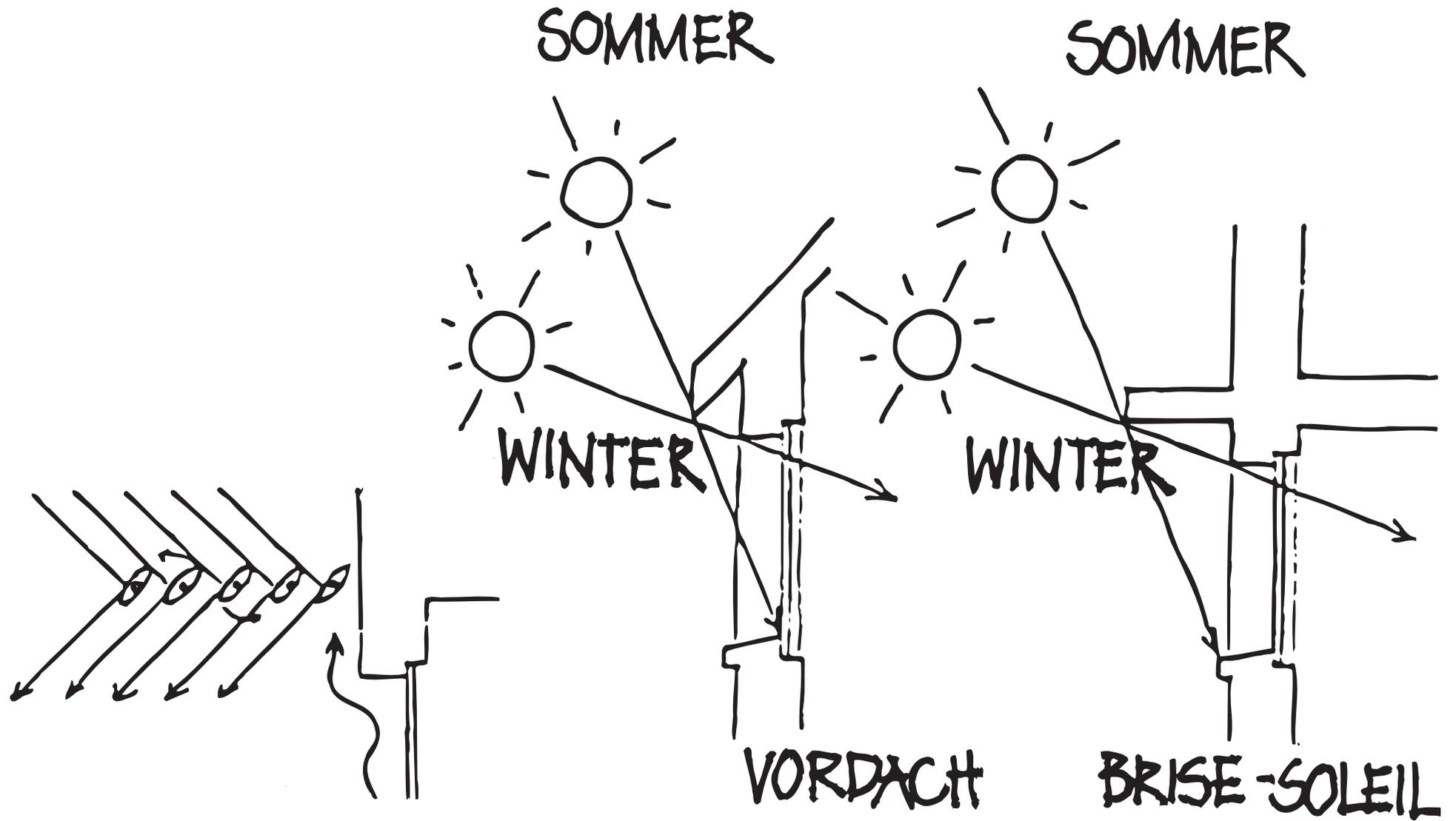


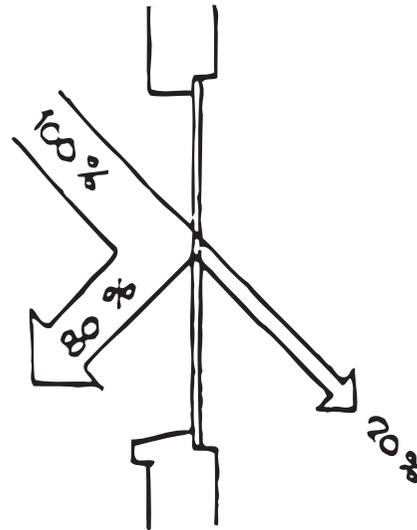
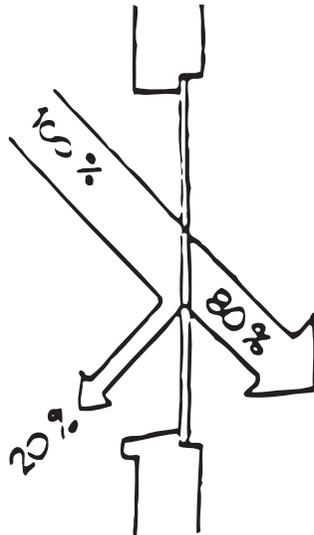
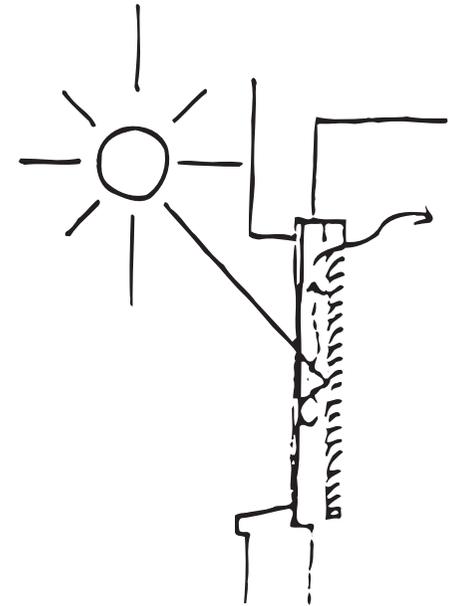
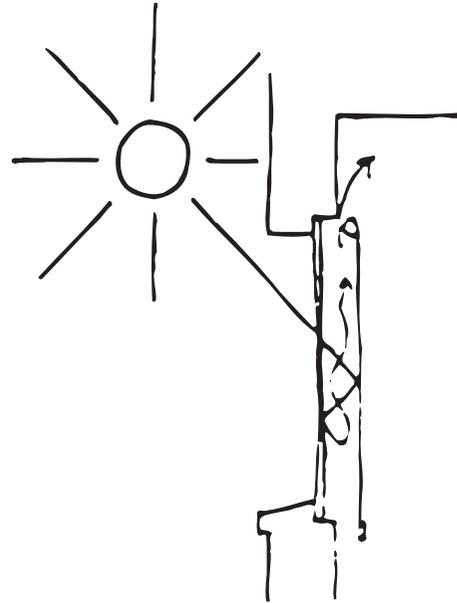
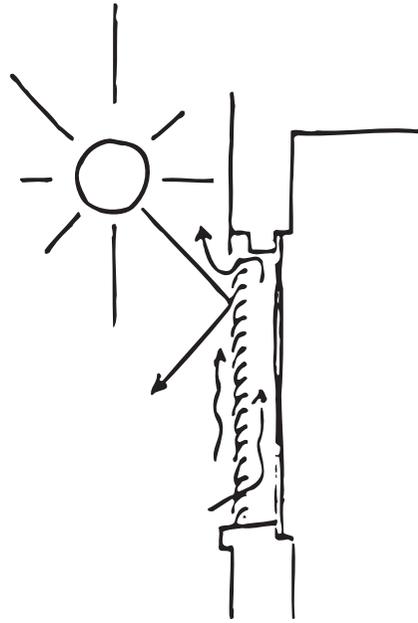
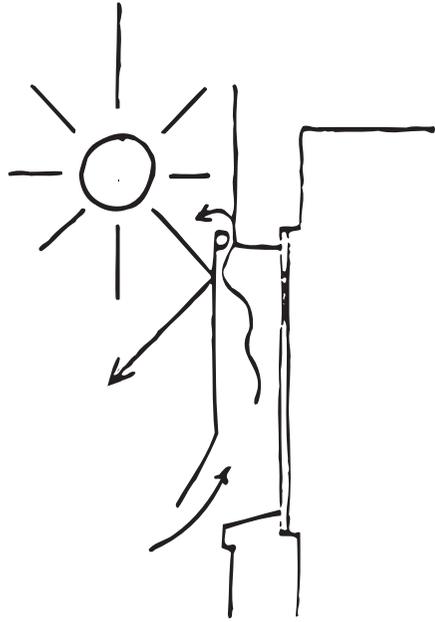


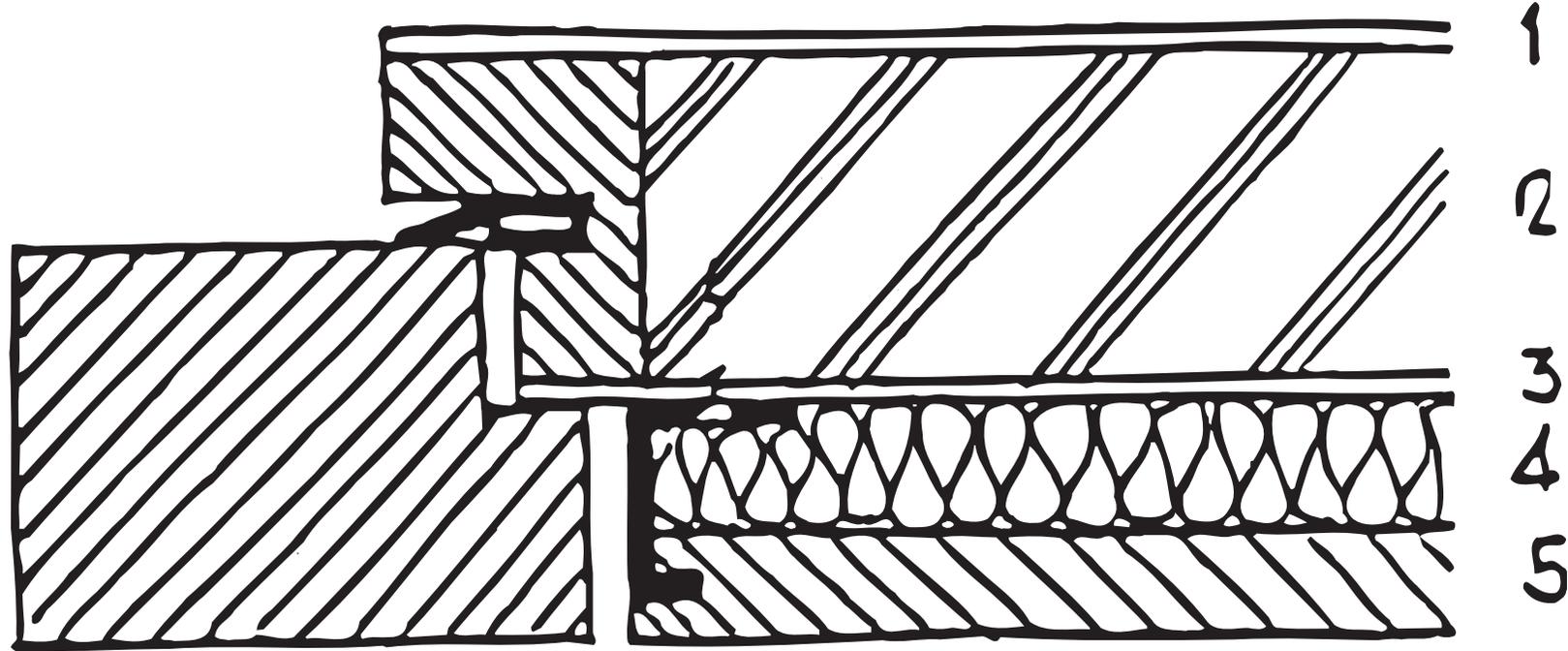




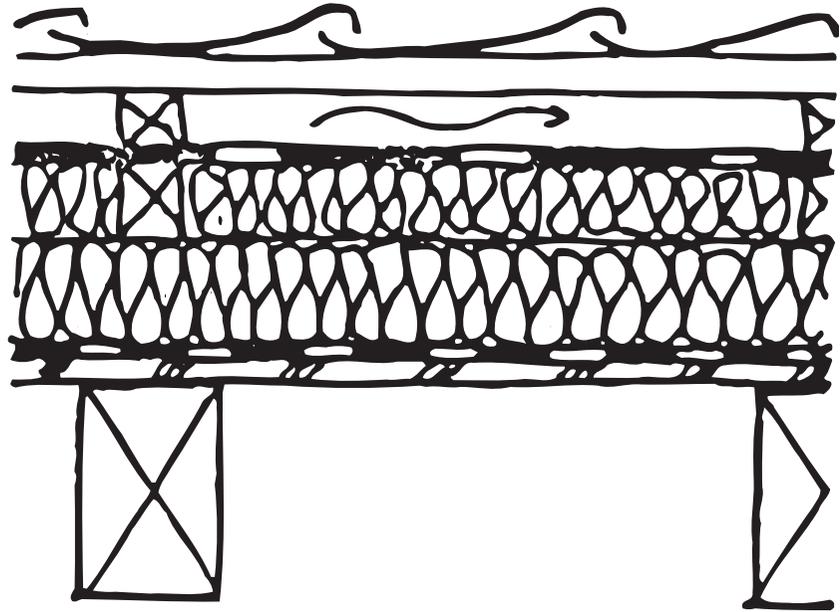








1
2
3
4
5
6
7
8
9
10



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

