2.1 Behaglichkeit

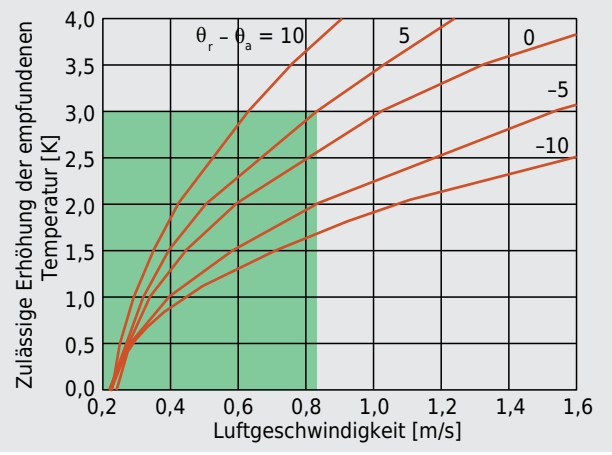


Bild 2.1.3: In der warmen Jahreszeit in Funktion der lokalen Luftgeschwindigkeit zulässige Erhöhung der empfundenen Temperatur; der Parameter ist die Differenz zwischen der mittleren Strahlungstemperatur θ_r und der Lufttemperatur θ_a; der grüne Bereich gibt den Grenzwert für eine leichte sitzende Tätigkeit an. Ohne spezielle Angaben über die Strahlungstemperatur muss die Kurve genommen werden, die der Differenz Null entspricht (Quelle: SN EN ISO 7730).

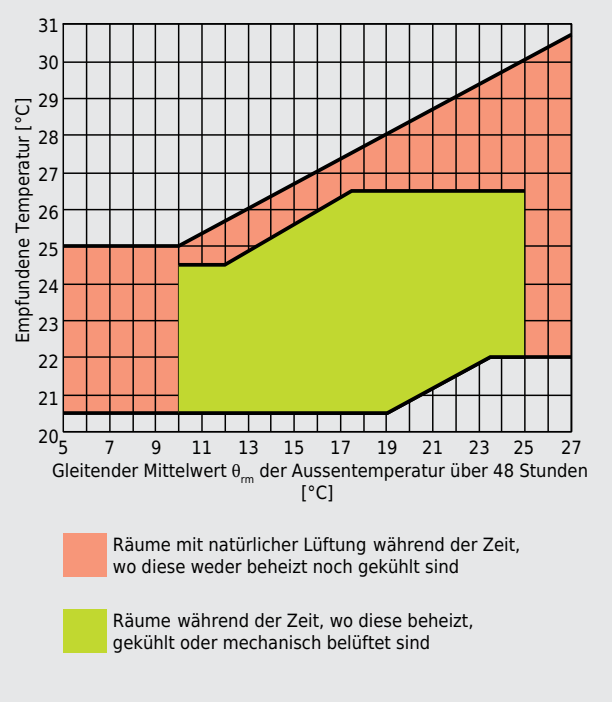


Bild 2.1.4: Zulässiger Bereich der empfundenen Temperatur in Wohn- und Büroräumen, je nach gleitendem Mittelwert der Aussentemperatur.

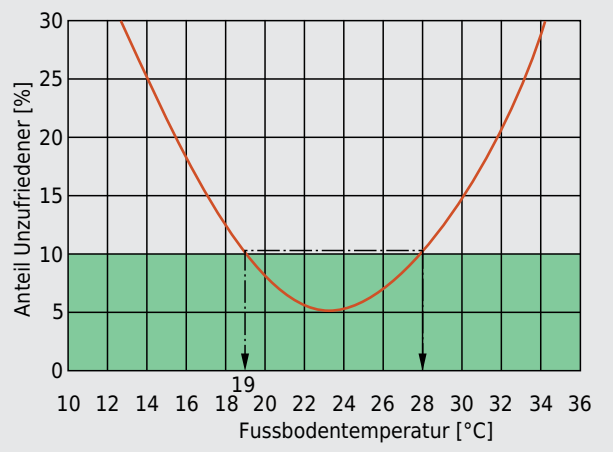


Bild 2.1.5: Anteil an Unzufriedenen infolge einer unangemessenen Fussbodentemperatur gemäss Norm SIA 180:2014; der zulässige Bereich ist grün unterlegt.

werden. Trotzdem kommt es teilweise zu Reklamationen, die meist zurückzuführen sind auf:

- Nutzung ohne Hausschuhe, im Extremfall barfuss.
- Bodenbeläge, die nicht «fusswarm» sind bzw. eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweisen, z.B. Plattenbeläge.

Wenn im Sommer mit der Bodenheizung «sanft gekühlt» wird, soll die Vorlauftemperatur nicht tiefer als etwa 18 °C gewählt werden, um einerseits den Behaglichkeitsanforderungen zu genügen und andererseits Oberflächenkondensat zu vermeiden.

Bei Böden über Aussenklima ohne Bodenheizung ist, bei Raumtemperaturen von 20 °C und Aussenlufttemperaturen von –10 °C, abhängig vom Wärmedämmstandard, mit Oberflächentemperaturen von 19,2 °C (U-Wert 0,2 $W/m^2 \cdot K$) bis 19,6 °C (U-Wert 0,1 $W/m^2 \cdot K$) zu rechnen. Bei gutem Wärmedämmstandard können somit Fussbodentemperaturen von über 19 °C auch ohne Bodenheizung erreicht werden.

Zugluft

Selbst wenn die optimale empfundene Temperatur erreicht wird, können lokale Unbehaglichkeitsquellen, zum Beispiel Zugluft, den Anteil der unzufriedenen Personen erhöhen. Für eine leichte sitzende Tätigkeit geht der zu erwartende Anteil an Unzufriedenen, die sich trotz optimaler empfundener Temperatur über Zugluft beklagen, aus Bild 2.1.6 hervor und die zulässige lokale Luftgeschwindigkeit ist in Bild 2.1.7 dargestellt. Einerseits ist die

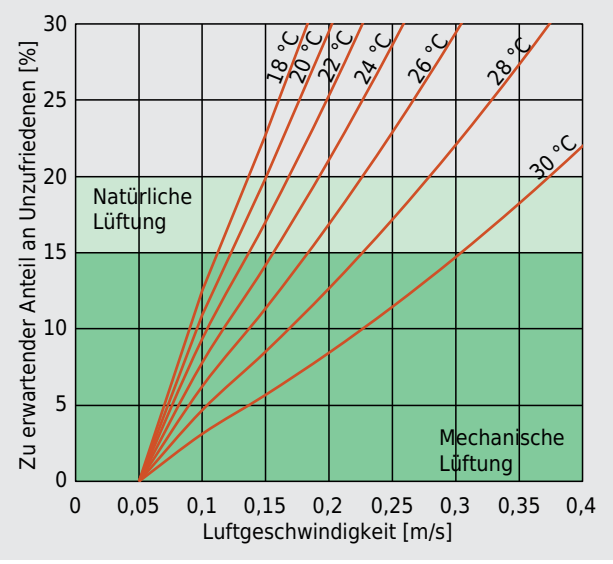


Bild 2.1.6: Anteil an Unzufriedenen wegen Zugluft in Funktion der mittleren lokalen Luftgeschwindigkeit für verschiedene lokale Lufttemperaturen und für einen Turbulenzgrad von 50 % (nach SN EN ISO 7730); grün unterlegt sind die zulässigen Bereiche in Räumen mit natürlicher bzw. mechanischer Lüftung.

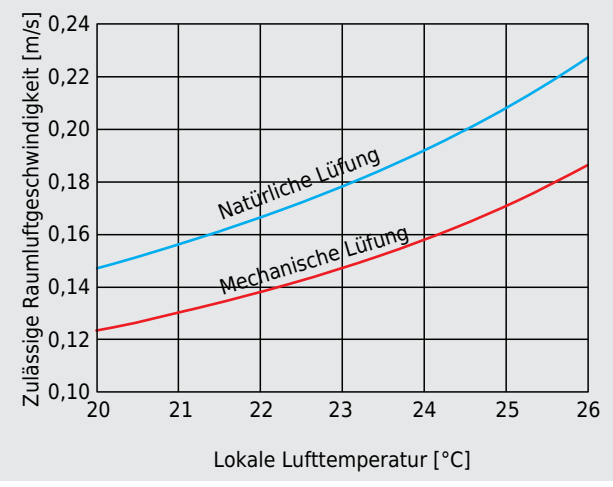


Bild 2.1.7: Zulässige mittlere lokale Luftgeschwindigkeit am Aufenthaltsort in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur, bei einem Turbulenzgrad von 50 % für Räume mit mechanischer (DR = 15 %) und natürlicher Lüftung (DR = 20 %) nach SN EN ISO 7730.

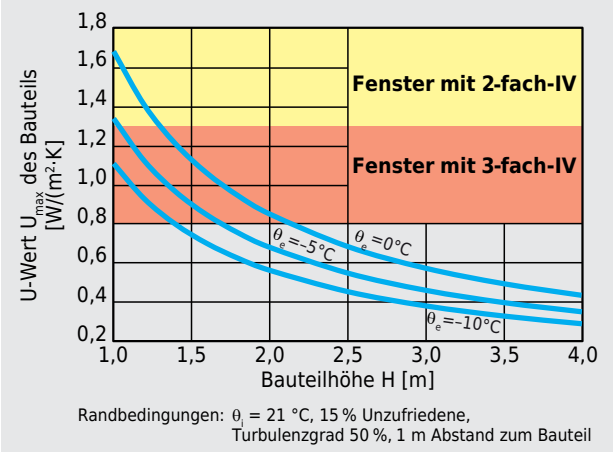


Bild 2.1.8: Max. zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient U_{max} eines Bauteils, bei verschiedenen Aussenlufttemperaturen θ_e, in Abhängigkeit der Bauteilhöhe H, zur Vermeidung von Behaglichkeitsproblemen durch Kaltluftabfall ohne weitere Massnahmen, für einen Raum mit internen Wärmelasten (nicht gültig für über Eck verglaste Räume; Quelle: Norm SIA 180:2014).

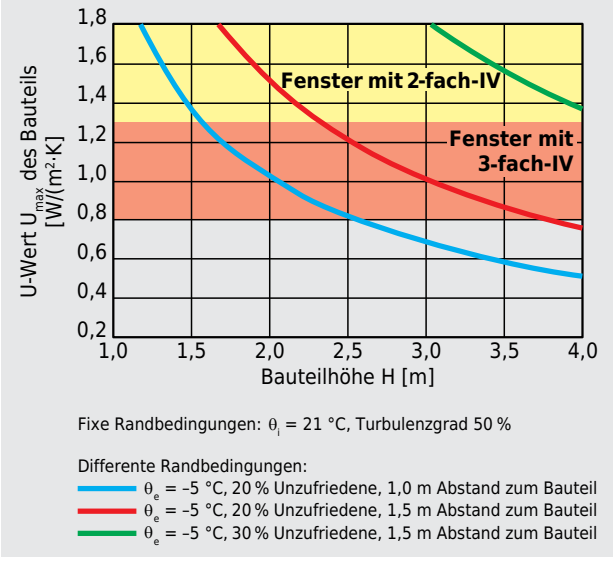


Bild 2.1.9: Max. zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient U_{max} eines Bauteils, bei differenten, objektspezifisch zu vereinbarenden Randbedingungen (Zielvereinbarung). Nur so können heute übliche Konstruktionen legitimiert werden.

Lüftung so zu konzipieren, dass diese nicht zu Zugluft führt. Andererseits gilt es, Zugluft im Aufenthaltsbereich vor Aussenwänden und Fenstern zu vermeiden, z.B. durch:

- Aussenbauteile mit genügendem Wärmeschutz (U-Werte vgl. Bilder 2.1.8 und 2.1.9).
- Wärmequellen vor Aussenbauteilen, die einen «Warmluftvorhang» bilden (Konvektor, Radiator, Warmluftstrom).

in eine etwas aufwendigere Steuerung des Sonnenschutzes zu investieren. Insbesondere bei nicht windfestem Sonnenschutz kann damit vermieden werden, dass der Sonnenschutz bei einem kurzen Windstoss hochgefahren wird und dann nicht mehr selbsttätig nach unten fährt.

Windfestigkeit

Der Sonnenschutz muss den Windfestigkeiten gemäss SIA 342:2009 Ziff. B.2 entsprechen. Diese sehen in Abhängigkeit der Klimaregion (Mittelland, Voralpen, Föhntäler), der Geländekategorie (Seeufer, Ebene, Ortschaften, Stadtgebiet) sowie der Einbauhöhe unterschiedliche Windfestigkeiten vor. Die Anforderungen an die Windfestigkeiten für das Mittelland liegen grösstenteils im Bereich der Windklasse 3 bis 5. Für Einbauhöhen über 28 m ist eventuell die Windklasse 6 erforderlich. Einfache, seilgeführte, textile Sonnenschutzsysteme weisen meist eine Windklasse 2 auf. Damit können die Anforderungen gemäss dem Verfahren 2 nicht eingehalten werden. Werden die Anforderungen an die Windfestigkeit nicht eingehalten, muss der Nachweis gemäss dem Verfahren 3 erbracht werden.

Oberflächentemperatur

Die innere Oberflächentemperatur der Verglasungen darf maximal 5 Kelvin höher als die Raumtemperatur sein. Vor allem bei innen liegendem Sonnenschutz gilt es zu prüfen, ob das eingehalten werden kann. Bei heute üblichen Isoliergläsern und aussen liegendem Sonnenschutz lässt sich diese Anforderung einhalten.

Anforderung an den g-Wert g_{tot}

In Abhängigkeit der Fassadenorientierung sowie des Glasanteils werden unterschiedliche Anforderungen an den Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} gestellt (vgl. Bild 2.3.2). Für die Nord-, Nordwest- und Nordost-Fassaden ist zu beachten, dass im Fall von reflektierenden Nachbarfassaden die Anforderungen einer nach Süden orientierten Fassade eingehalten werden müssen.

Bei Eckräumen gelten für alle Verglasungen dieselben Anforderungen. Die Praxiserfahrungen zeigen, dass bei Räumen mit hohem Glasanteil (f_g ab 50 %) ein g_{tot} von 7 % erreicht werden muss.

Kleine Glasflächen einer dritten verglasten Fassade können auf die Hauptfassaden addiert werden, solange diese

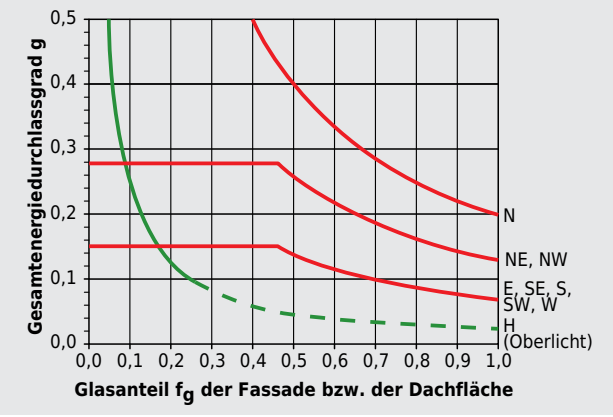


Bild 2.3.2: Anforderung an den Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot}, abhängig vom Glasanteil und der Orientierung (Quelle: Norm SIA 180:2014).

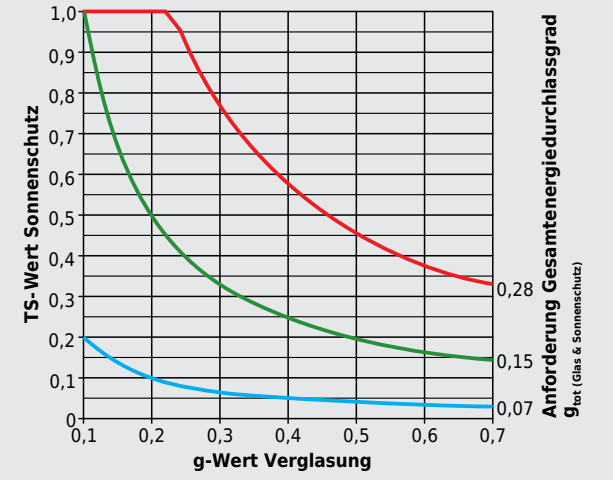


Bild 2.3.3: Abschätzung des benötigten TS-Werts (Sonnenschutz) in Abhängigkeit der Anforderung an den Gesamtenergiedurchlassgrad sowie der Verglasung (g-Wert). Detaillierte Berechnung gemäss EN 13363-1.

Flächen darauf Platz haben. Die detaillierte Berechnung der Anforderung erfolgt gemäss SIA 180:2014.

Je nach g-Wert der Verglasung gilt es, den vom Sonnenschutz zu leistenden TS-Wert zu ermitteln. Der TS-Wert ist der Direktstrahlungsdurchlassgrad vom Sonnenschutz und sagt aus, wie viel Solarstrahlung bzw. Solarenergie durch den Sonnenschutz auf die dahinter liegende Verglasung trifft. Handelsübliche Sonnenschutzsysteme weisen folgende TS-Werte auf:

- Rafflamellen (ganz geschlossen): 0,02 bis 0,3
- Rollladen: 0,01 bis 0,3
- Textiler Sonnenschutz: 0,04 bis 0,4

nicht überschritten werden, erfüllt die Baukonstruktion die Anforderungen, wenn:

- Die flächigen Bauteile die maximal zulässigen U-Werte einhalten (z.B. $U \leq 0{,}4\ W/m^2 \cdot K$ für Bauteile gegen Aussenluft).
- Bei konstruktiven Wärmebrücken bei Bauteilen (ausgenommen Fenster und Türen) und Bauteilübergängen der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} grösser oder gleich den Grenzwerten in Bild 2.4.3 ist.
- Sowohl bei zwei- wie auch bei dreidimensionalen Bauteilübergängen müssen die Anforderungen an die Oberflächentemperatur eingehalten werden. Weil Bauteilübergänge in der Regel mittels zweidimensionaler Wärmebrückenberechnungen analysiert werden, soll in Anbetracht der in dreidimensionalen Bereichen noch tieferen Oberflächentemperaturen (vgl. Bild 2.4.4: Temperaturdifferenz = 1,3 Kelvin und f_{Rsi}-Differenz = 0,04) und zur Berücksichtigung von Unwägbarkeiten bei der Bauausführung ein Sicherheitszuschlag erfolgen. Bei der Klimastation Luzern soll zum Beispiel bei einer zweidimensionalen Wärmebrückenberechnung statt einem f_{Rsi}-Faktor von 0,71 ein solcher von 0,75 erreicht werden.

Raumluftfeuchte (unkontrollierte Raumluftfeuchte, Sicherheitsfaktor 1,25)	Vermeidung von Schimmelpilzbefall	Oberflächenkondensat
Klimastation	$f_{Rsi,min}$	$f_{Rsi,min}$
Basel-Binnigen	0,71	0,60
Bern Liebefeld	0,71	0,60
Chur	0,73	0,61
Davos	0,70	0,62
Genève-Cointrin	0,72	0,59
La-Chaux-de-Fonds	0,70	0,61
Lugano	0,73	0,58
Luzern	0,71	0,60
Samedan	0,71	0,63
Schaffhausen	0,71	0,61
Sion	0,74	0,60
Zürich SMA	0,71	0,60

Bild 2.4.3: Minimale Oberflächentemperaturfaktoren f_{Rsi} bei ausgewählten Klimastandorten zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Oberflächenkondensat (Quelle: Norm SIA 180:2014).

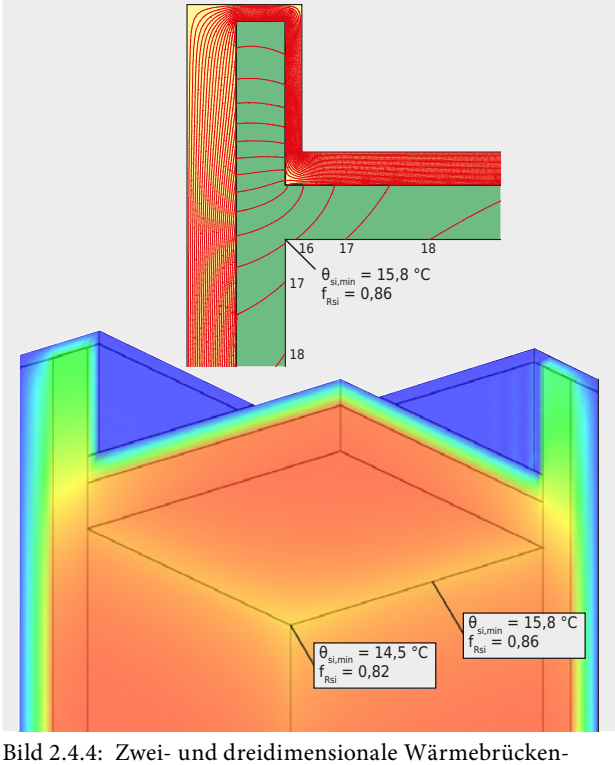


Bild 2.4.4: Zwei- und dreidimensionale Wärmebrückenberechnung einer Dachrandausbildung. Wenn gewährleistet werden soll, dass auch in dreidimensionalen Eckbereichen genügend hohe Oberflächentemperaturen erreicht werden, ist bei einer zweidimensionalen Wärmebrückenberechnung ein höherer Grenzwert einzuhalten als in Bild 2.4.3 gefordert.

2.4.2 Verhinderung von unzulässiger Feuchte in Bauteilen durch Diffusions- und Kapillarprozesse

Es darf keine schädliche Anreicherung von Feuchte in der Konstruktion auftreten, verursacht durch konvektive Luftströme, Kapillarleitung und Wasserdampfdiffusion.

Konstruktive Massnahmen

Der Bauablauf ist so zu gestalten, dass vor dem Bezug eine Austrocknung der Konstruktion erfolgen kann.
Die Bauteile sind so zu konzipieren, dass ihre eigene Baufeuchte nicht auf andere Bauteile schädigend übertragen wird. Feuchtewanderungen von Bauteil zu Bauteil (z.B. zwischen Wand und Decke) sind zu unterbinden.
Kaltseitig der Wärmedämmung angeordnete, nicht belüftete Hohlräume erfordern eine kritische Prüfung: Extreme Temperaturänderungen können zu Kondenswasserausscheidung führen.
Flächen, die Wärme gegen den klaren Nachthimmel abstrahlen und als äusserste Schicht der Konstruktion nur

Bild 2.5.7: Rund um das Fenster verlaufender, luftdichter Anschluss mit einem «dampfdichten», einputzbaren Luftdichtheitsband. Für den Anschluss an das Mauerwerk ist vorgängig ein Glattstrich auszuführen.

Luftdichtheitskonzepte, die zu möglichst wenigen An- und Abschlüssen führen, z.B. durch die Vordachausführung mit Stichern anstelle von Sparren, welche die luftdichte Schicht durchdringen.

Unabhängig vom Konzept gilt es bei jedem Bauvorhaben, die Fenster luftdicht einzubauen. Es ist dabei in der Regel vorteilhaft, den luftdichten Anschluss von innen her, zwischen Wand und innerer Rahmenpartie, zu gewährleisten. Nur bei genügender Überdämmung kann die Luftdichtheit von aussen her, durch das Abkleben der Fuge zwischen Aussenwand und Fenster erfolgen. Bei solchen Detailausbildungen ist der rechnerische Nachweis zu erbringen, dass der luftdichte Anschluss warmseitig zu liegen kommt bzw. dass bei den Klebeflächen je nach Klimastandort ein «f_{Rsi}- bzw. Temperaturfaktor» von 0,70 bis 0,76 erreicht wird (vgl. Bild 2.5.8).

Durchdringungen bei Installationen

Es ist sinnvoll, die Installationen, ausser den nach aussen führenden Leitungen, innerhalb der luftdichten Gebäudehülle, in einer hierfür geschaffenen Installationsebene zu führen. Von der Forderung nach solchen Installationsräumen wird im vorfabrizierten Elementbau abgewichen, ohne dass dadurch Probleme auftreten. Durch entsprechende Abklebungen, unter optimalen Bedingungen im Werk, lässt sich die Luftdichtheit auch dann gewähr-

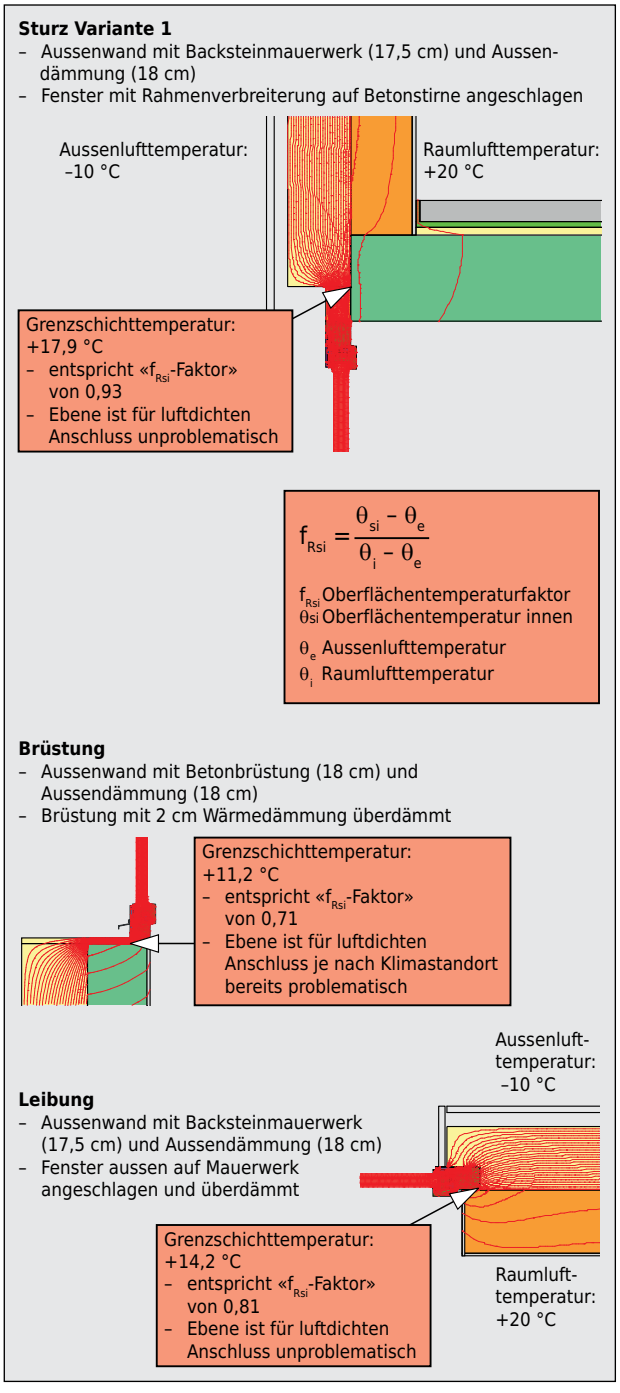
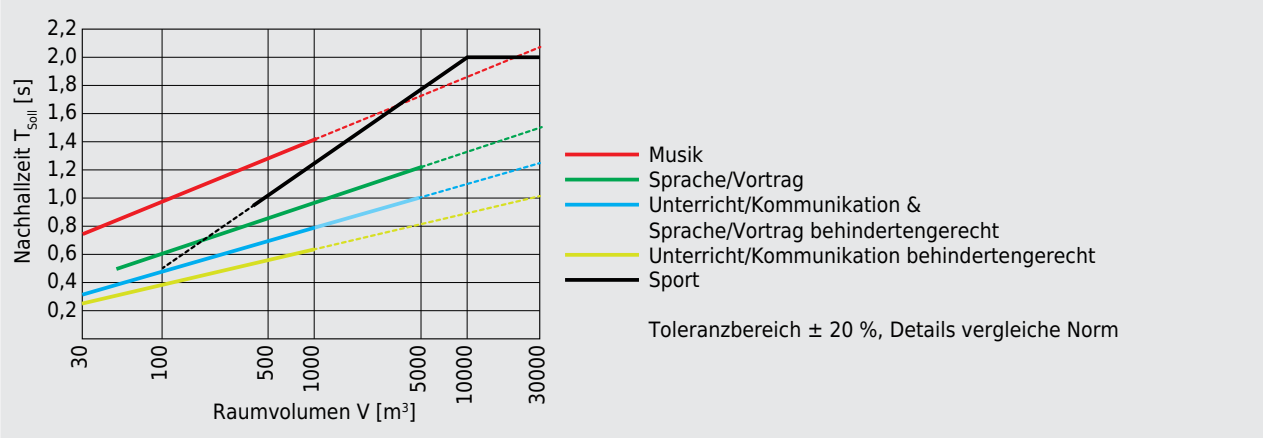


Bild 2.5.8: Durch Überdämmungen kann im äusseren Übergangsbereich vom Fensterrahmen auf das Bauwerk eine Oberflächen- bzw. Grenzschichttemperatur erreicht werden, die genügend hoch ist (f_{Rsi}-Faktor ≥ 0,70 bis 0,76, je nach Klimastandort), um dort luftdicht abkleben zu können. Hierbei ist aber zu beachten, dass der luftdichte Anschluss (Verklebung) zwingend im «warmen» Eckbereich Fensterrahmen/Aussenwand erfolgen muss.

2.6 Schallschutz, Lärmschutz und Raumakustik



Raum/Tätigkeit	Nachhallzeit T_{soll} [s] (± 20 %)	Raumvolumen V [m³]					
		50	100	500	1'000	5'000	10'000
Musik	0,45 · log(V) + 0,07	0,83	0,97	1,28	1,42	1,73	1,87
Sprache/Vortrag	0,37 · log(V) – 0,14	0,49	0,60	0,86	0,97	1,23	1,34
Unterricht/Kommunikation & Sprache/Vortrag behindertengerecht	0,32 · log(V) – 0,17	0,37	0,47	0,69	0,79	1,01	1,11
Unterricht/Kommunikation behindertengerecht	0,26 · log(V) – 0,14	0,30	0,38	0,56	0,64	0,82	0,90
Sport	0,75 · log(V) – 1,00	0,27	0,50	1,02	1,25	1,77	2,00

Bild 2.6.20: Nachhallzeit-Sollwerte für Gruppe A (Hörsamkeit über mittlere und grössere Entfernung), gemäss DIN 18041 2015 (Entwurf).

Raum/Tätigkeit	Nachhallzeit T_{soll} [s] (± 20 %)	Raumhöhe h [m]					
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	4,00
Ohne Aufenthaltsqualität	ohne Anforderung						
Kurzfristiges Verweilen	0,78 + 0,76 · log(h)	1,08	1,11	1,14	1,17	1,19	1,24
Langfristiges Verweilen	0,51 + 0,76 · log(h)	0,81	0,84	0,87	0,90	0,92	0,97
Arbeitsräume	0,35 + 0,76 · log(h)	0,65	0,68	0,71	0,74	0,76	0,81
Besondere Anforderung an Lärmminderung	0,24 + 0,76 · log(h)	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,70

Bild 2.6.21: Nachhallzeit-Sollwerte für Gruppe B (Hörsamkeit über geringere Entfernung), gemäss DIN 18041 2015 (Entwurf).

	Schlechte akustische Bedingungen	Mittlere akustische Bedingungen	Gute akustische Bedingungen
Räumliche Abklingrate $D_{2,5}$	$D_{2,5} < 5$ dB	5 dB $\leq D_{2,5} < 7$ dB	$D_{2,5} \geq 7$ dB
A-bewerteter Pegel $L_{p,A,S,4m}$	$L_{p,A,S,4m} > 50$ dB	50 dB $\geq L_{p,A,S,4m} > 48$ dB	$L_{p,A,S,4m} \leq 48$ dB
Ablenkungsabstand r_D	$r_D > 10$ m	10 m $\geq r_D > 5$ m	$r_D \leq 5$ m

Bild 2.6.22: Bedingungen für die Akustik in Grossraumbüros gemäss ISO 3382-3 (Anhang A).

- Vermeidung von Schallreflexionen über Wände und Fensterfronten.
- Eventuell muss ein erhöhter Grundschallpegel erzeugt werden (akustisches Maskierungssystem). Ein solcher «Fremdgeräuschpegel» darf gemäss SECO/SUVA aber maximal 45 dB betragen.

Weiterführende Angaben zur raumakustischen Optimierung für Büroräume sind hier zu finden:

- ISO 17624, Akustik – Leitfaden für den Schallschutz in Büros und Arbeitsräumen durch Schallschirme (2005). Beschreibung verschiedener Arten von dünnen Raumteilern und Abschätzung von deren Schallschirmwirkung. Berechnungsmodelle und Erfahrungswerte.
- VDI 2569 Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro (erscheint neu 2015), die aktualisierte Version bezieht sich auf ISO 3382-3 (2012).

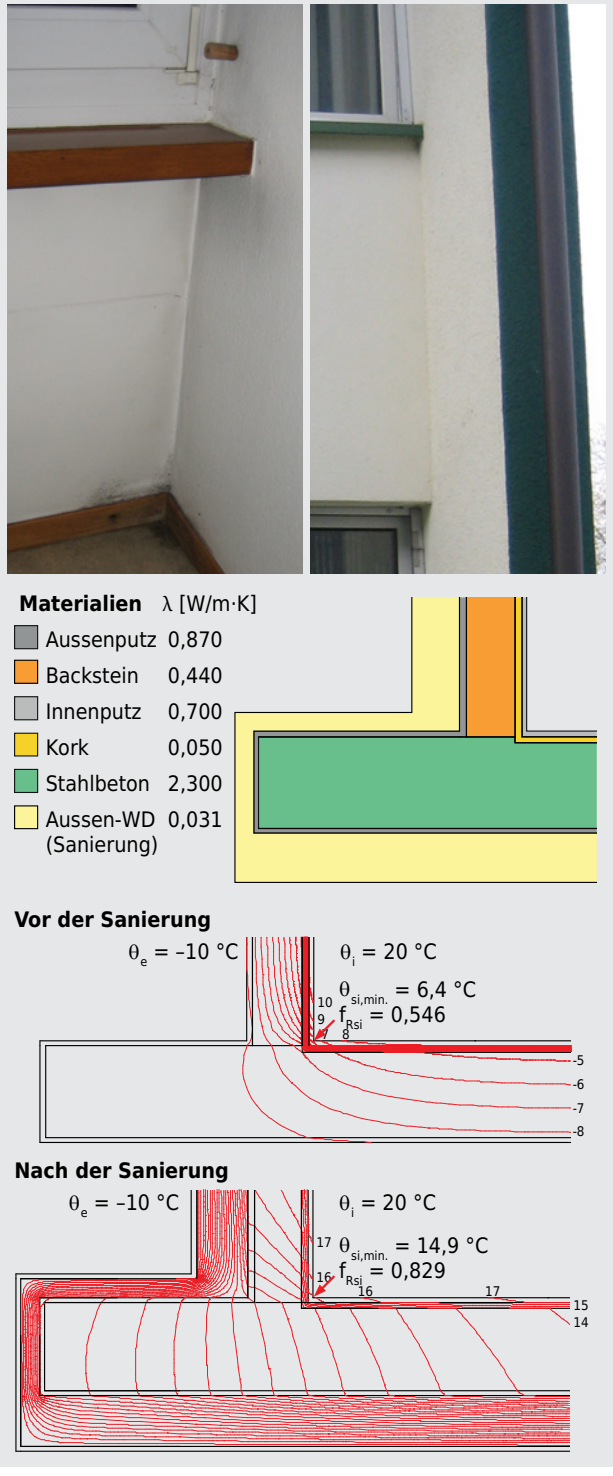


Bild 2.9.26: Schimmelbefall bei Wärmebrücke. Dauerhaft kann ein Schimmelbewuchs nur auf konstruktivem Weg (Vermeidung von Wärmebrücken), das Eliminieren von übermässigen Feuchtequellen und durch einen ausreichenden Luftwechsel verhindert werden.

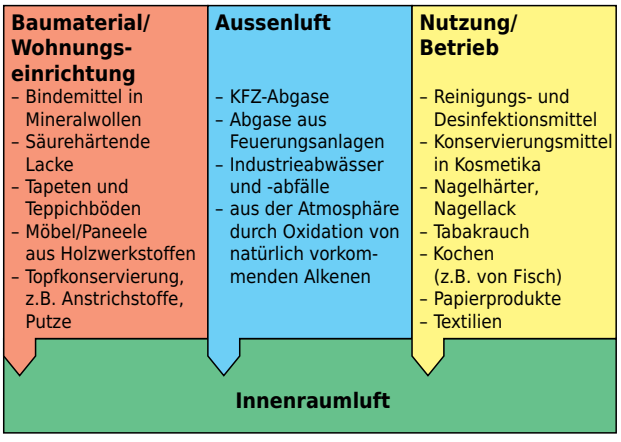


Bild 2.9.27: Quellen von Formaldehyd in der Innenraumluft (Quelle: Bundesamt für Gesundheit).

gen und Atemwege, wobei die Empfindlichkeit stark personenabhängig ist. Formaldehyd ist auch als «krebserregend für den Menschen» eingestuft. Diese Wirkung tritt allerdings erst bei sehr hohen Konzentrationen auf, wie sie in Innenräumen kaum je auftreten.

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) hat für Formaldehyd in der Raumluft einen Richtwert von 0,1 ppm (125 µg/m^3) empfohlen. Er stimmt ungefähr mit dem von der WHO postulierten Richtwert überein. Damit können chronische Gesundheitsrisiken vermieden werden.

Bei den Baustoffen wurde in den letzten Jahrzehnten eine wesentliche Reduktion der Formaldehydemissionen erreicht. Da aber gleichzeitig auch die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle verbessert und damit bei Gebäuden ohne Lüftungsanlage der Luftwechsel reduziert wurde, sind Formaldehyd-Immissionen nach wie vor eine relevantes Gesundheitsthema.

Alle in Europa gehandelten Holzwerkstoffe müssen die E1-Kriterien bezüglich Formaldehydemissionen erfüllen, und die meisten Produkte unterschreiten diese deutlich. Damit kann jedoch keinesfalls eine ausreichend tiefe Formaldehydkonzentration in der Raumluft garantiert werden, weil sie weder die Menge der verbauten Holzwerkstoffe noch den Luftwechsel im Raum berücksichtigen.

Am grössten ist das Risiko von hoher Formaldehydbelastung der Raumluft bei Verleimungen mit Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF). Es ist in der Herstellung kostengünstig und lässt sich einfach verarbeiten. Mit Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz (MUF) oder

3.1 Geneigte Dächer

Basis dieser Hinweise zum geneigten Dach ist die Wegleitung zur Norm SIA 232/1:2011, welche von den beiden Verbänden «Gebäudehülle Schweiz» und «suissetec» herausgegeben wird.

3.1.1 Definition

Als geneigte Dächer gelten solche, die Dachneigungen aufweisen, welche eine überlappend verlegte oder gefalzte Deckung zulassen. Es kommen hierfür verschiedene Dachformen infrage, einige werden in Bild 3.1.1 gezeigt. Überlappend oder gefalzt ausgeführte Deckungen sind aber nicht zwingend. Geneigte Dächer können z.B. auch begrünt werden. Sie sind dann aber, von der Funktion der Abdichtung her betrachtet, sinngemäss wie eine Flachdachkonstruktion auszubilden (vgl. Kapitel 3.2 «Flachdächer»).

3.1.2 Wahl des Konstruktionssystems

Die Dachform und die Dachneigung sind zentrale Randbedingungen, welche als Kriterien für die Konstruktionswahl zu beachten sind. Oft sind es baugesetzliche Rahmenbedingungen wie die Gebäudehöhe (z.B. Firsthöhe), welche diesbezüglich mitentscheidend sind.
Auch die konstruktiven Randbedingungen des Gebäudes bestimmen, wie der oberste Abschluss ausgeführt wird: Bei Holzbauten wird es mit Sicherheit eine Holztragstruktur und bei Stahlbauten in der Regel eine Stahltragstruktur sein. Bei Massivbauten wird das Steildach meist auch mit Holztragteilen (Pfetten, Sparren, Stützen u.Ä.) konstruiert. Bei hoher Aussenlärmbelastung (z.B. Fluglärm) kann aber z.B. auch eine schwere, geneigte Betonplatte sinnvoll sein.
Ein wichtiges Konstruktionskriterium ist die Art der Belüftung (vgl. Bild 3.1.2). Die meisten Dächer werden nur einfach belüftet. Es sind aber auch zweifach belüftete Dächer durchaus noch üblich, wobei deren Anteil aus Gründen des immer besser werdenden Wärmeschutzes nur noch sehr klein ist. Geneigte Dächer ohne Belüftung sind nur mit geeigneten Deckungen und speziellen Anforderungen/Nachweisen bezüglich Feuchteverhalten möglich. Der Wärmedämmstandard und somit die erforderliche Dicke der Wärmedämmschicht wirken sich ebenfalls auf die konstruktive Ausbildung aus. Wärmedämmschichten können zwischen dem Tragwerk (z.B. Holzbau) und/oder über sowie unter demselben verlegt werden.
Ein zentraler Faktor für die Dachkonstruktion ist das zwingend erforderliche Unterdach. Je nach Gebäudestandort, Dachneigung und Deckung genügt ein Unterdach für normale Beanspruchung oder es muss ein solches für erhöhte oder ausserordentliche Beanspruchung gewählt werden. Bei permanentem Wasseranfall muss

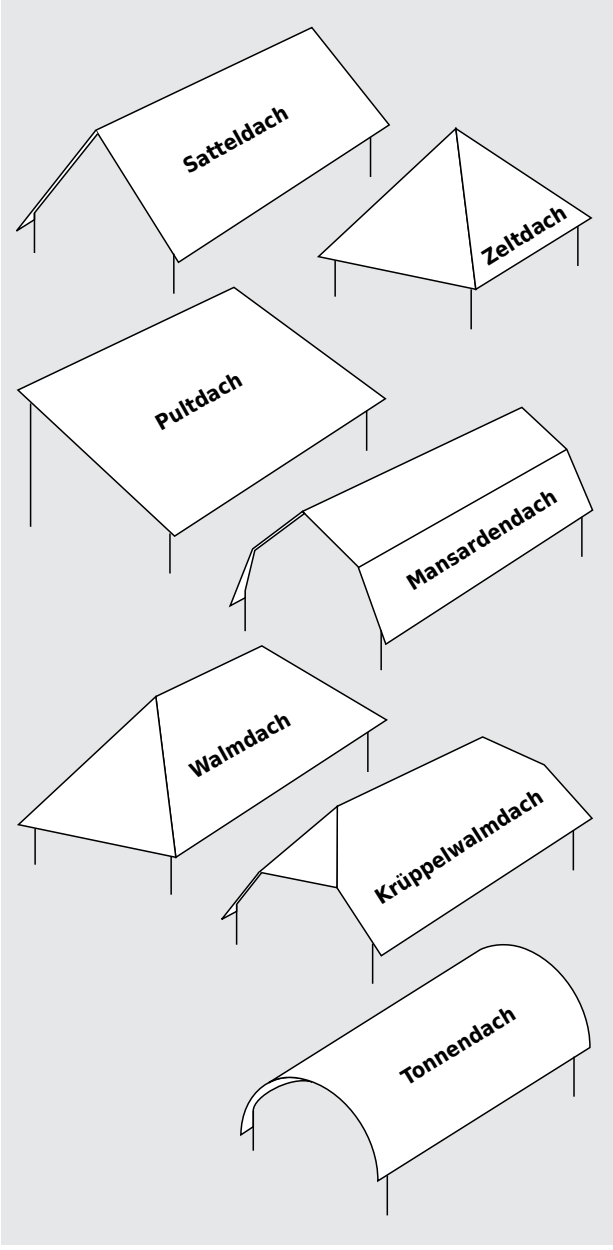


Bild 3.1.1: Dachformen für geneigte Dächer.

sogar eine spezielle Abdichtung, im Sinne einer Flachdachabdichtung gemäss Norm SIA 271, ausgeführt werden.
Wenn immer möglich soll ein geneigtes Dach so konzipiert werden, dass:
- ein diffusionsoffenes Unterdach möglich ist und keine «dampfdichte» Flachdachabdichtung ausgeführt werden muss und
- die Deckung unterlüftet werden kann.

3.1.3 Unterkonstruktion

Unter dem Begriff «Unterkonstruktion» werden alle Schichten und Bauteile der Dachkonstruktion subsumiert, die sich unter der Deckung befinden und nicht das Tragwerk des Daches bzw. des Gebäudes bilden. Abgesehen von der Deckung und der Tragkonstruktion (z.B. Sparren, Pfetten u.Ä.) bilden somit alle anderen Schichten die Unterkonstruktion von geneigten Dächern.
Die übliche Konstruktionssystematik unterscheidet die zwei in Bild 3.1.3 dargestellten Fälle:
- Das Tragwerk befindet sich innerhalb der Unterkonstruktion.
- Das Tragwerk befindet sich unterhalb der Unterkonstruktion.

Die Übertragung der Dachlasten wie Eigenlast, Schneelasten, Winddruck und -sog durch die Schichten der Unterkonstruktion in das Tragwerk des Daches bzw. des Gebäudes muss gewährleistet sein.
Es ist in der Regel sinnvoll, wenn der Holzbauingenieur die an die statisch wirksame Unterkonstruktion zu stellenden Randbedingungen festlegt und dann hierfür auch die planerische Verantwortung übernimmt.
Während der Bau- und Nutzungszeit ist der Feuchteschutz sicherzustellen. Neben der Deckung, die nicht zur Unterkonstruktion gehört, sind es vor allem das Unterdach (Auffeuchtung von aussen) und die Dampfbremse/Luftdichtung (Feuchteeintrag von innen, durch Konvektion und Wasserdampfdiffusion), die diesbezüglich relevant sind.
Während der Bauzeit müssen Schichten der Unterkonstruktion eventuell als Bauzeitabdichtung dienen (z.B. Unterdach, Dampfbremse/Luftdichtung oder Trennlagen). Sie müssen hierfür ausreichend dicht gegen frei abfliessendes Wasser sein und sturmsicher ausgeführt werden.

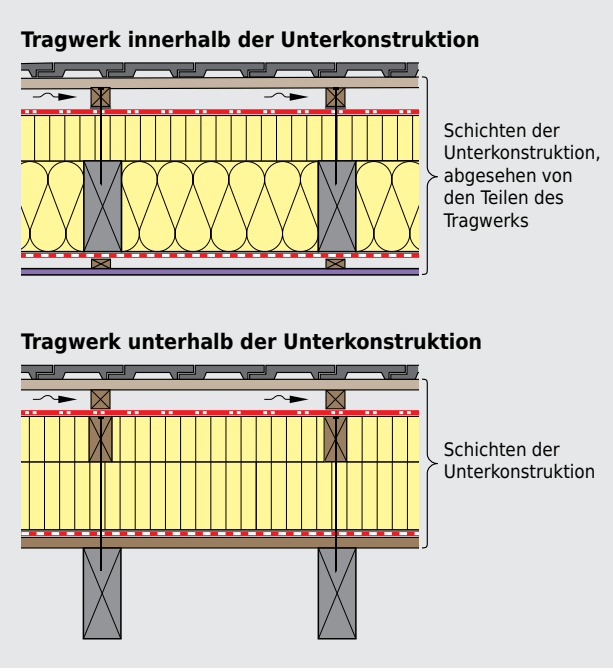


Bild 3.1.3: Schichten der Unterkonstruktion.

3.1.4 Verlegeunterlage für Luftdichtung und Dampfbremse

Wenn die Unterkonstruktion über der Tragkonstruktion aufgebaut wird, ist in der Regel über dem Tragwerk eine plane Verlegeunterlage erforderlich, über der die Luftdichtung/Dampfbremse verlegt wird.
Die Wahl der Verlegeunterlage hängt von vielfältigen Kriterien ab:
- Wenn die Verlegeunterlage die sichtbare Decke bildet, ist sie Teil des architektonischen Konzepts, was sich massgeblich auf die Materialwahl auswirkt.
- Die Verlegeunterlage bildet als raumabschliessendes Element auch die Wärmespeichermasse. Je besser die Wärmespeicherfähigkeit dieser Schicht ist, desto besser werden die raumklimatischen Bedingungen im Sommer (geringere Überhitzung).
- Die Verlegeunterlage kann wesentlich für den Schutz vor Aussenlärm sein. Zusammen mit der Wärmedämmschicht und der Deckung bildet sie ein System,

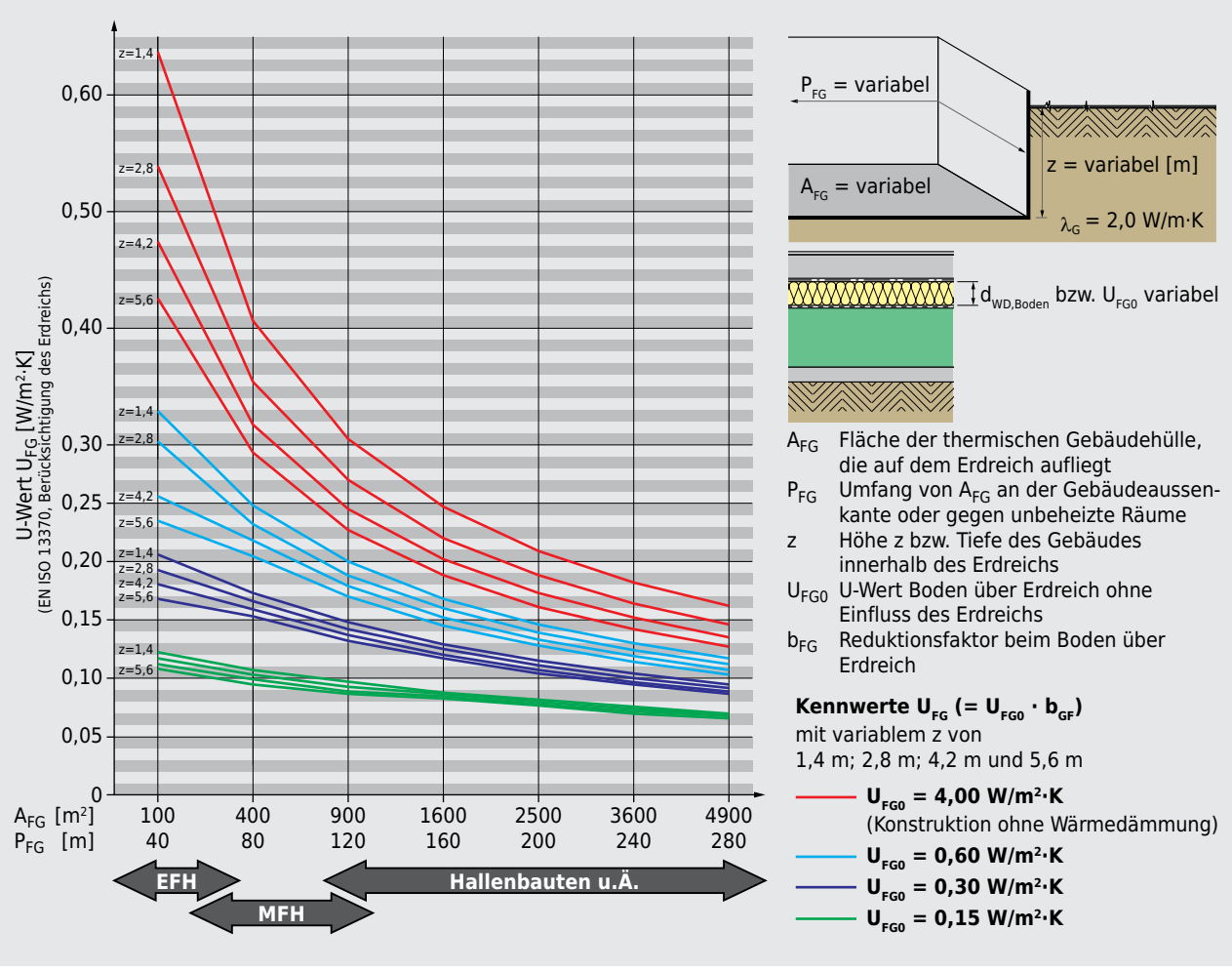


Bild 3.4.1: Die U-Werte U_{FG0} werden um den Faktor b_{GF} reduziert. Der Einfluss des Erdreichs hängt von der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs (üblicherweise wird λ_G = 2,0 W/m·K berücksichtigt), der Grösse der Bodenfläche, dem Umfang des Bodens und der Tiefe z ab.

– Bei Bauteilen gegen das Erdreich (Boden und Wände) reduziert sich der Wärmeverlust ebenfalls um den variablen Faktor b (vgl. Bild 3.4.1), abhängig von:
  - Grösse der Bodenfläche,
  - Umfang der Bodenfläche,
  - Tiefe z (UK Bodenplatte bis OK Terrain) und
  - Wärmedurchlasswiderstand der Bodenkonstruktion.

3.4.4 Estriche

Bei Böden und Geschossdecken (vgl. Kapitel 3.8) stellen sich im Planungsprozess immer wieder Fragen betreffend die erforderliche Dicke der Estriche. Relevant für die Dimensionierung sind die Festlegungen in Norm SIA 251:2008 «Schwimmende Estriche im Innenbereich».

Grundsätzliches

Estriche sind den Anforderungen gemäss Nutzungsvereinbarung zu wählen (vgl. Bild 3.4.2) und auf die konstruktiven Eigenschaften des Bauteils abzustimmen. Die Nenndicke wird in Abhängigkeit der Einzellasten, der Zusammendrückbarkeit der Trittschalldämmschicht und der Festigkeitsklassen der Estriche festgelegt (vgl. Bilder 3.4.3 bis 3.4.5).

Sind von den Anforderungen abweichende Beanspruchungen vorgesehen, müssen die Flächenlast q_k und die Punktlast Q_k aufgrund der tatsächlichen Beanspruchung

3.5.3 Aussenwand im Erdreich

Als tragendes Material wird im Erdreich mehrheitlich Stahlbeton eingesetzt, der erdreichseitig mittels Feuchtigkeitsschutz-Anstrich oder -Spachtelung geschützt wird. Durch den Einbau von Sickerpackungen, Sickerplatten und Sickerleitungen (unter der Arbeitsfuge Bodenplatte/Aussenwand) ist wenn möglich eine funktionstüchtige äussere Entwässerung zu gewährleisten, damit das Entstehen von drückendem Wasser vermieden werden kann (Ableitkonzept).

Bei beheizten Untergeschossräumen (Raumlufttemperaturen ≥ +10 °C) ist auch bei Aussenwänden im Erdreich eine Wärmedämmschicht erforderlich. Es müssen gemäss Norm SIA 180 U-Werte zwischen 0,40 W/m²·K bis 0,6 W/m²·K eingehalten werden (Bauschadenfreiheit und Behaglichkeit, je nach Tiefe der Wand im Erdreich). Aus energetischer Sicht sind gemäss MuKEn U-Werte im Bereich von 0,17 W/m²·K bis 0,28 W/m²·K einzuhalten (insbesondere abhängig von der Tiefe der Wand im Erdreich), sinnvoll ist ein Wärmeschutz mit $U_{WG} = U \cdot b_{WG}$ (Einfluss Erdreich, vgl. Bild 3.5.13) um 0,15 W/m²·K.
Je nach Aussenwandsystem gegen Aussenklima (über Terrain) und Konzeption der Untergeschosse (vollständig oder nur teilweise beheizt) ist unter den folgenden drei Systemen die am besten geeignete Aussenwandkonstruktion zu evaluieren.

Innenwärmedämmung

Auch bei Aussenwänden im Erdreich gilt betreffend die Innenwärmedämmung grundsätzlich dasselbe wie bei der Aussenwand über Terrain. Die Wärmedämmschicht befindet sich auf der bauphysikalisch ungünstigen Seite. Bei Deckenauflagern (Sockelanschluss) und Innenwänden sind wärmetechnische Schwachstellen unvermeidbar (vgl. Bild 3.5.14). Dieses System hat allenfalls dann seine Berechtigung, wenn nur einzelne Räume beheizt und wärmegedämmt werden oder wenn ein Raum nur sporadisch beheizt wird.

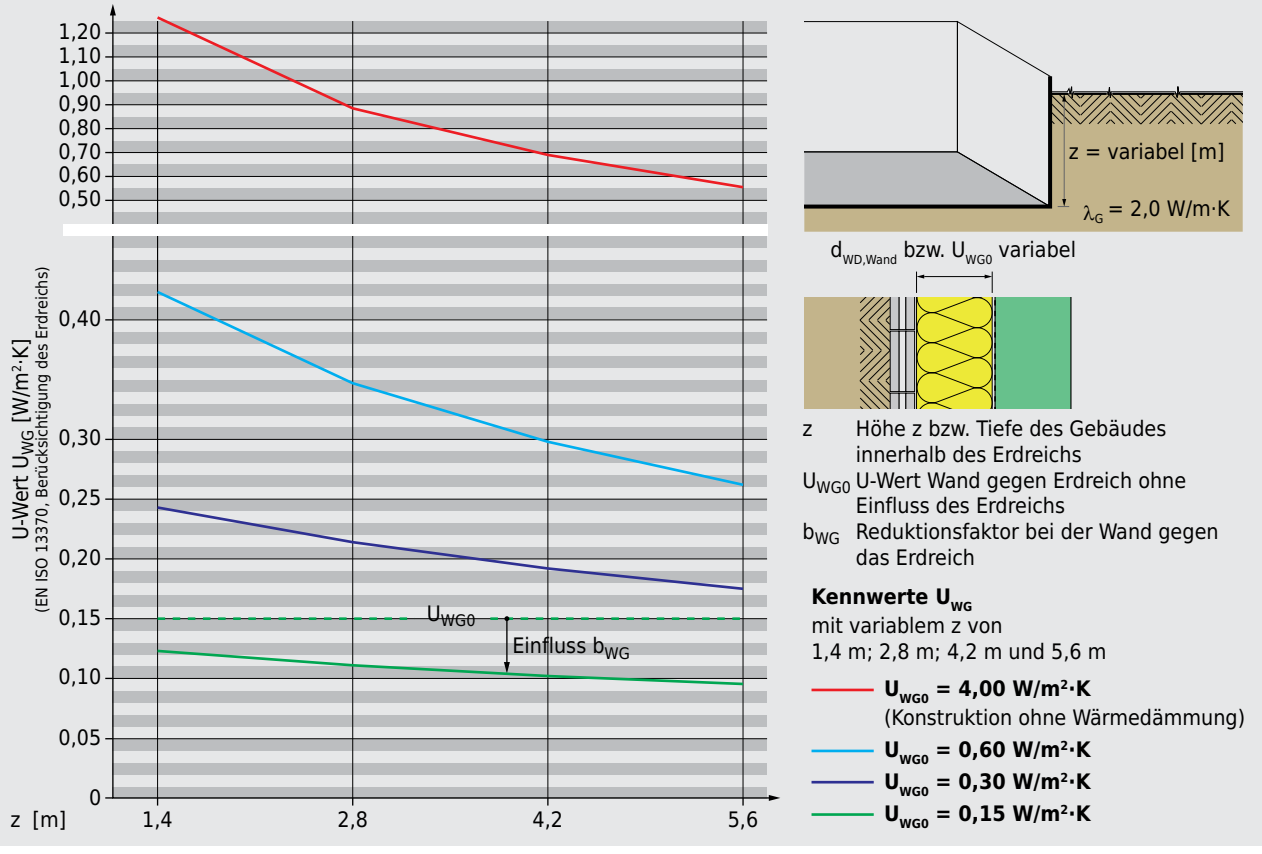


Bild 3.5.13: Die U-Werte U_{WG0} werden um den Faktor b_{WG} reduziert. Der Einfluss des Erdreichs hängt von der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs (üblicherweise wird λ_G = 2,0 W/m·K berücksichtigt) und der Tiefe z ab.

4.2 Vermeiden von Wärmebrücken

4.2.1 Die Bedeutung von Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Stellen der Gebäudehülle, an denen lokale Veränderungen des Wärmeflusses und der Temperaturen gegenüber dem ebenen, eindimensionalen Fall auftreten. Es können folgende Situationen unterschieden werden:

– Materialbedingte Wärmebrücken bei Bauteilen, durch Inhomogenitäten (z. B. Wärmedämmschicht zwischen Holztragstruktur, vgl. Bild 4.2.1) oder infolge Durchdringung der Wärmedämmschicht mit Befestigungselementen (vgl. Bild 4.2.2). Diese Wärmebrücken werden in der Regel bei der Berechnung der Bauteil-U-Werte berücksichtigt. Es könnten theoretisch aber auch die Bauteil-U-Werte im «ungestörten Bereich» ermittelt und die punkt- und linienförmigen Wärmebrücken separat erfasst und als Transmissionswärmeverluste berücksichtigt werden.
– Material- und geometriebedingte Wärmebrücken bei Bauteilübergängen. Der Architekt «verursacht» mit sei-

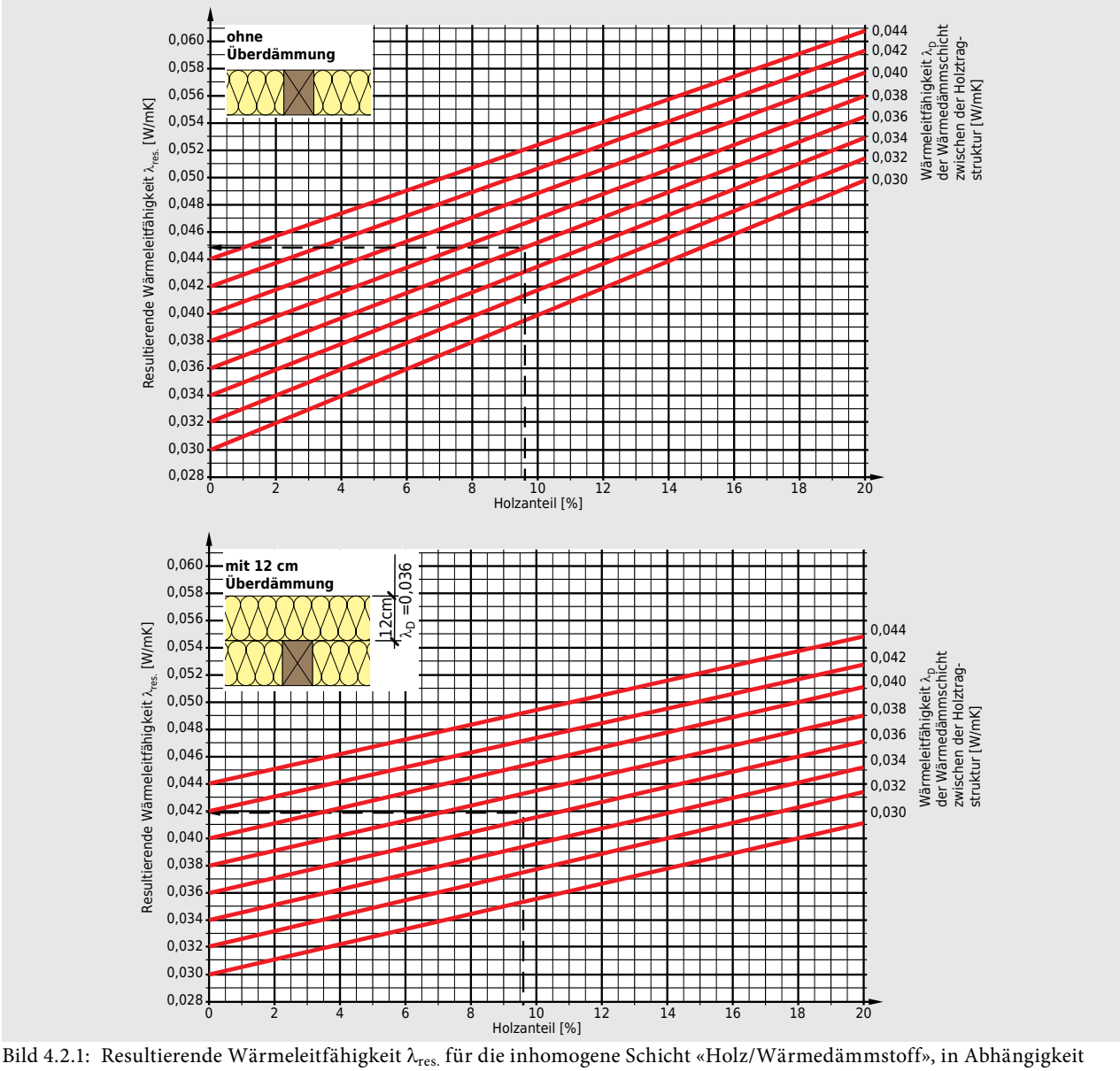


Bild 4.2.1: Resultierende Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{res.}$ für die inhomogene Schicht «Holz/Wärmedämmstoff», in Abhängigkeit vom Holzanteil und von der Wärmeleitfähigkeit λ_D des Wärmedämmstoffes; ohne Überdämmung bzw. mit 12 cm dicker Überdämmung.

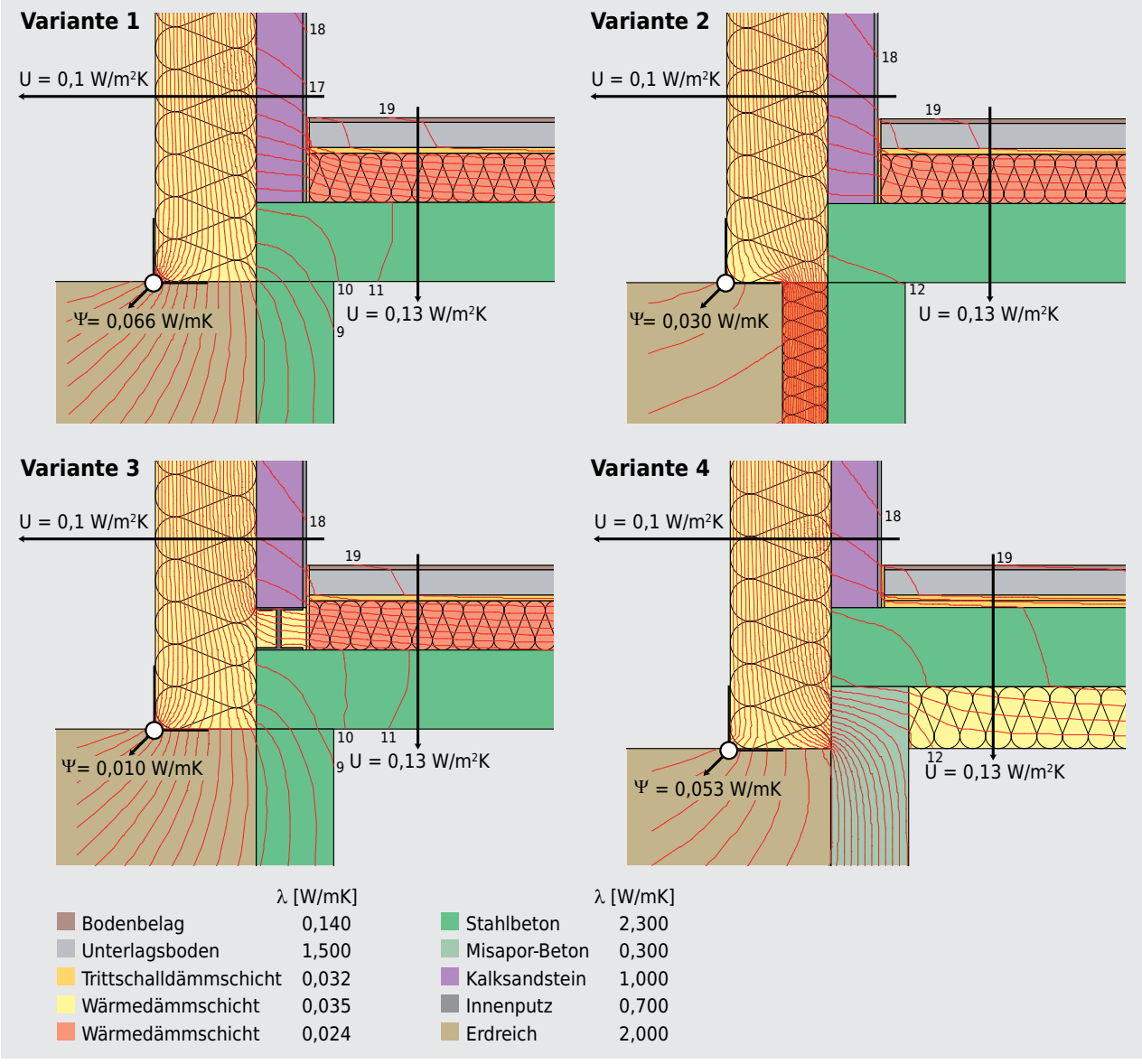


Bild 4.2.3: Wärmebrücken beim Sockel. Mit Ψ-Werten von 0,01 W/m·K bis 0,066 W/m·K variiert der Wärmebrückenverlust fast um den Faktor 7, je nach Detailvariante.

Unterschätzung des Heizwärmebedarfes

Die Unkenntnis von Wärmebrücken kann zur Unterschätzung des Heizwärmebedarfs führen. Bei gut wärmegedämmten Gebäudehüllen kann der Anteil der Wärmebrücke am gesamten Transmissionsverlust bis zu 30 % betragen. Für die energetische Optimierung sind deshalb alle Transmissionswärmeverluste zu berücksichtigen:

– Bauteile der thermischen Gebäudehülle.
– Lineare Wärmebrückenverluste bei Ecken, Kanten, Auflagern, Auskragungen, Öffnungen u.Ä.
– Punktförmige Wärmebrückenverluste, z.B. bei lokalen Durchdringungen von Befestigungselementen.

Hygienische und bautechnische Auswirkungen

Aus der Sicht der thermischen Behaglichkeit gilt es, möglichst gleichmässige innere Oberflächentemperaturen zu erhalten (vgl. Kapitel 2.1.1 «Thermische Behaglichkeit»). Bei Wärmebrücken bildet sich beim Unterschreiten der Taupunkttemperatur der Raumluft ein Oberflächenkondensat. Kondensatausscheidungen können auch zu Ober-

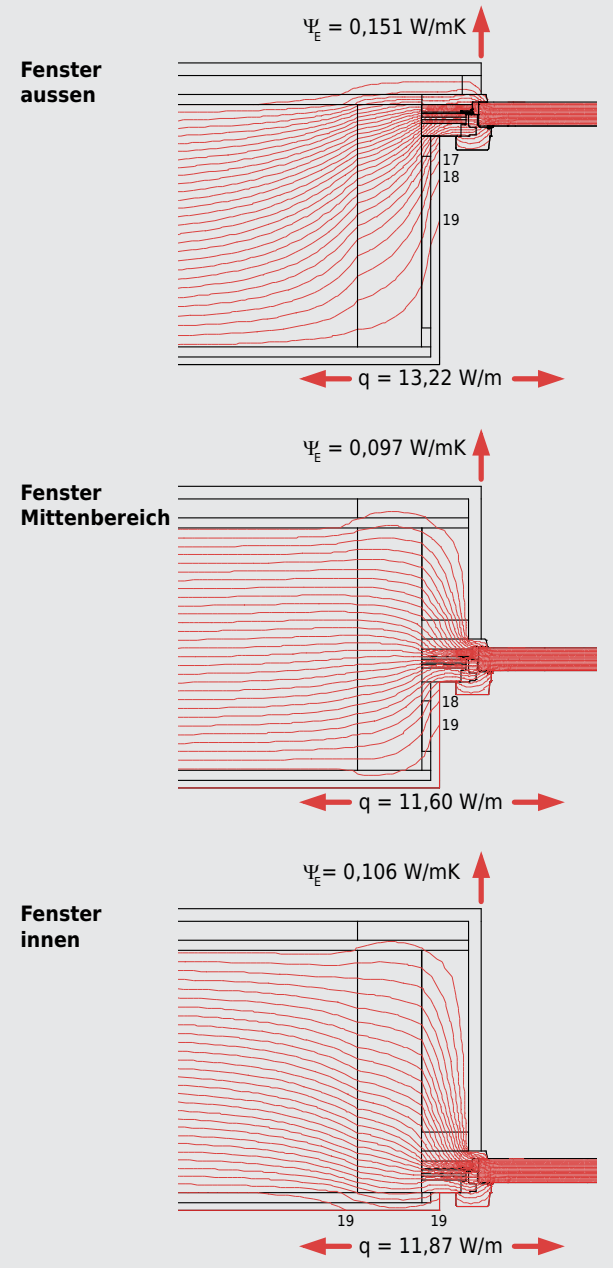


Bild 4.2.4: Wärmebrückenverlust beim seitlichen Fensteranschlag und Wärmeverlust über den gesamten Detailperimeter bei Holzbaukonstruktion (Wand mit U = 0,1 W/m²·K; Fensterrahmen mit U_f = 0,91 W/m²·K; Glas mit U_g = 0,5 W/m²·K und Ψ_g = 0,05 W/m·K). Der Fenstereinbau im Mittenbereich führt zu den kleinsten Energieverlusten; der Fenstereinbau ganz innen zu maximal hohen inneren Oberflächentemperaturen. Beim ganz aussen angeschlagenen Fenster sind die Energieverluste am grössten, wobei sich dies wegen der veränderten Bezugsebenen nicht zwangsläufig im Ψ_E-Wert manifestiert. q = Wärmestrom über berechnetes Detail.

flächenschäden an Verputzen und Tapeten führen. Dies geschieht allerdings erst dann, wenn die Dauer der Flüssigkeitsablagerung und die Menge des eingelagerten Wassers das Speichervermögen der oft stark wasserdampfabsorbierenden, obersten Schichten (Gipsputz o.Ä.) übersteigt und im Tagesrhythmus nicht mehr ausgetrocknet werden kann.

Bereits bei 75 bis 80 % relativer Feuchtigkeit im Bereich der zu besiedelnden Oberfläche kann Schimmelpilzwachstum auftreten. Schimmelpilze bilden Stoffe, die bei empfindlichen, allergischen Personen zu Infektionen der Schleimhäute im Nasen-Halstrakt führen können. Die Entstehung von Schimmelpilzen ist aus hygienischen Gründen zu vermeiden.

4.2.2 Wärmebrücken bei Bauteilübergängen

Beim Bauteilübergang treffen zwei bis drei Bauteile mit unterschiedlichen Schichten und Funktionen aufeinander. Insbesondere die tragenden Schichten können dann, wenn sie die Wärmedämmschicht durchdringen, zu erheblichen Wärmebrücken führen, wie das z. B. beim Sockel der Fall ist (vgl. Bild 4.2.3). Die relevanten Bauteilübergänge sind objektspezifisch mittels Wärmebrückenberechnung zu analysieren (und zu optimieren), damit bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs der korrekte Wärmebrückenverlust berücksichtigt werden kann. Alternativ zu Wärmebrückenberechnungen kann der Einfluss der Wärmebrücke auch basierend auf Wärmebrückenkatalogen (Herausgeber: Bundesamt für Energie, Bern) berücksichtigt werden. Das Katalogdetail stimmt jedoch nie präzise mit dem objektspezifisch entwickelten Detail überein. Zudem sind die Katalog-Kennwerte sinnvollerweise auf der eher sicheren Seite (höhere Wärmebrückenverluste), womit sicherlich ein Anreiz besteht, objektspezifisch korrekte, optimierte Werte zu berücksichtigen.

Wärmebrücken bei Holzbauten

Bezogen auf die äussere Abmessung wird der Wärmebrückenverlust bei Holzbauten in der Regel negativ. Das heisst, dass bei Gebäudekanten (Ecken, Sockel, Dachrand etc.) kein Wärmebrückenverlust zu berücksichtigen ist. Der Einbau von Fenstern und Türen führt bei Holzbau-

geben. Es können Wärmebrückenverluste mit ψ-Werten von 0,055 bis 0,167 W/m·K erreicht werden. Die Einsatzmöglichkeit der wärmedämmenden und tragenden Elemente ist jeweils mit dem Bauingenieuer zu klären.

Wärmebrücke beim Dachrand

In der heutigen Baupraxis sind im Bereich des Dachrands immer noch Tragbleche üblich, welche die Wärmedämmschicht durchdringen. Dabei entsteht aber mit einem ψ-Wert von 0,217 W/m·K ein grosser Energieverlust (vgl. Bild 4.2.8, Variante 1). Durch thermisch entkoppelt montierte Bleche lässt sich der Wärmebrückenverlust massiv verringern. Wird zwischen Blech und Deckenstirne beispielsweise ein 3 cm dicker Wärmedämmstoffstreifen eingefügt (Variante 2), verringert das den Wärmebrückenverlust um 67 % auf ψ = 0,071 W/m·K.

Wärmebrücke bei Attikabrüstung

Für die Attikabrüstung wurden drei Varianten rechnerisch untersucht (vgl. Bild 4.2.9).

- Variante 1 ist sozusagen die Ausgangssituation: Die Attikabrüstung aus Kalksandsteinmauerwerk durchdringt die Wärmedämmschicht. Ein hoher Wärmebrückenverlust von ψ = 0,252 W/m·K ist die Folge.
- Die übliche Reaktion auf dieses Problem ist, die Brüstung zu überdämmen (Variante 2). Damit kann der Wärmebrückenverlust auf ψ = 0,092 W/m·K reduziert werden.
- Als Ideallösung ist anzustreben, den Wärmedämmperimeter «direkt» zu schliessen. Dies lässt sich durch eine thermisch entkoppelt aufgemauerte Attikabrüstung erreichen, wie sie in Variante 3 skizziert ist. Mit einem Perinsul-Element und einer etwa alle 1,6 m angeordneten Vertikalarmierung (punktförmiger Wärmebrückenverlust von ψ = 0,033 W/K berücksichtigt) kann der Wärmebrückenverlust auf insgesamt ψ = 0,04 W/m·K reduziert werden.

Wärmebrücke beim Balkon

Thermisch optimal sind separat abgestützte Balkone (vgl. Bild 4.2.10). Wenn das Baugesetz dies nicht erlaubt – etwa weil die Balkone über die Baulinie hinausragen –, bleibt quasi nur der Anschluss mit Kragplatten. In diesem Fall beschränkt sich der Optimierungsspielraum auf die Güte des Anschlusselements. Variiert werden kann beispielsweise die Qualität des Stahls oder es können Elemente mit faserverstärkten Kunststoffen eingesetzt werden. Realistisch ist für konventionelle Kragplattenanschlüsse ein ψ-Wert um etwa 0,3 W/m·K, der durch den Einsatz von Elementen mit faserverstärkten Kunststoffen etwa um einen Faktor 3 reduziert werden kann.

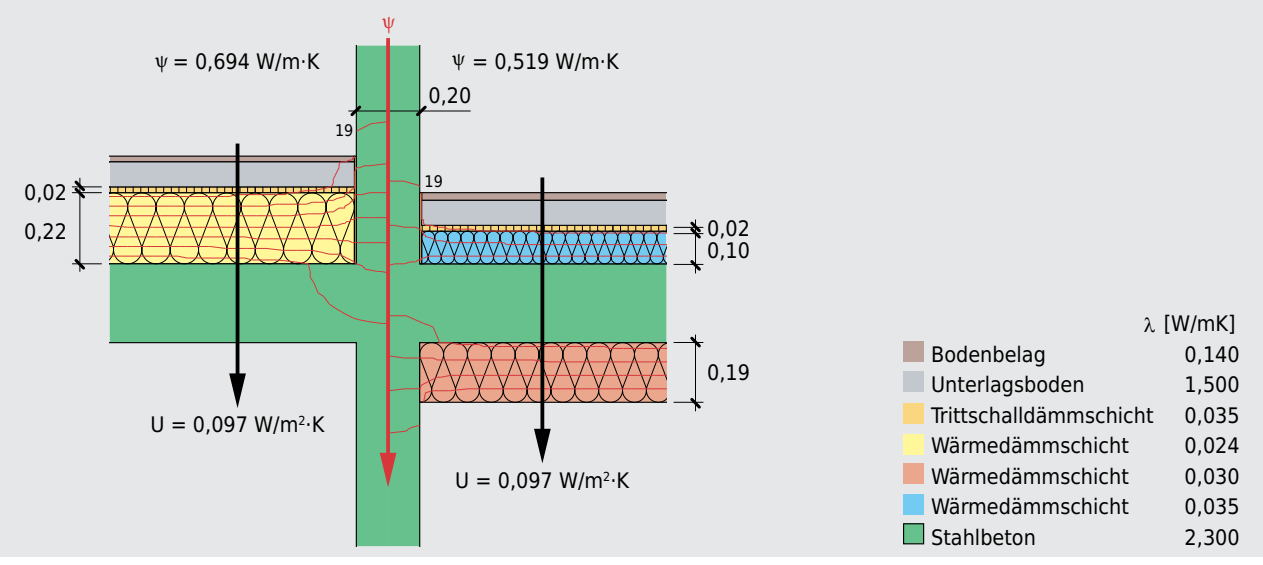


Bild 4.2.6: Die aus statischen Gründen oft unumgänglichen Durchdringungen des Wärmedämmperimeters mit Stahlbetonwänden führen zu sehr grossen Wärmebrückenverlusten. Lösungen zur Optimierung können allenfalls das «Auflösen» der Wandscheiben in einzelne «Stützenköpfe» im Bereich der Wärmedämmschicht bieten oder evtl. der Einsatz von Spezialbeton mit Zuschlagstoffen aus Schaumglas (z. B. Misapor-Beton).

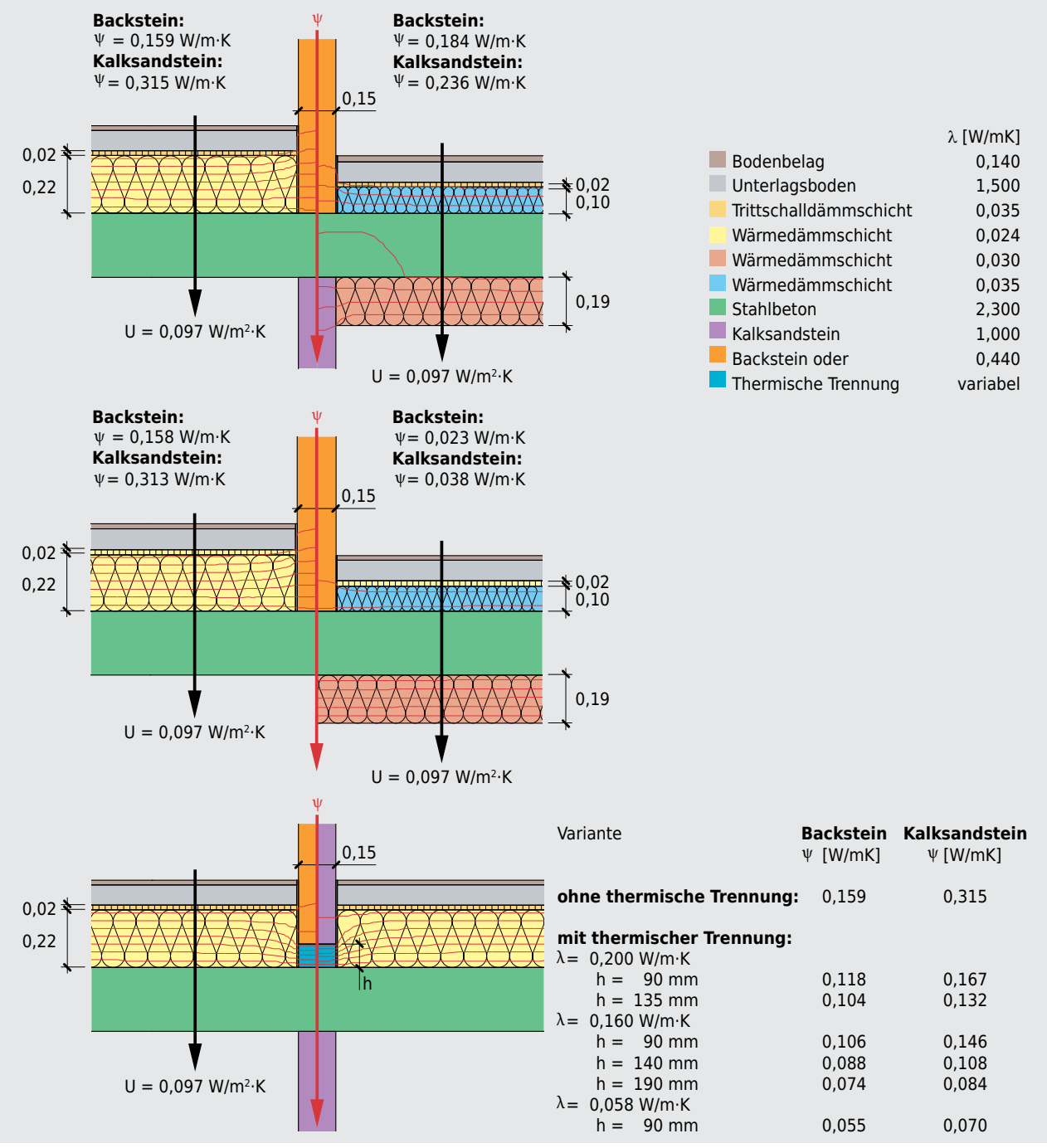


Bild 4.2.7: Gegenüber der durchdringenden, 0,2 m dicken Stahlbetonwand in Bild 4.2.6 führen 0,15 m dicke Backstein- oder Kalksandsteinwände zu erheblich geringeren Wärmebrückenverlusten (Varianten mit/ohne Kalksandsteinwand im unteren Raum). Diese Wärmebrückenverluste sind aber immer noch unbefriedigend hoch und rufen nach einer Optimierung durch eine thermische Trennung gegenüber der Stahlbetondecke.
Wenn die Wand von der Stahlbetondecke thermisch getrennt werden kann, ist es optimal, die gesamte Wärmedämmschicht über der Decke anzuordnen. Je höher das thermisch trennende Element und je kleiner dessen Wärmeleitfähigkeit, desto kleiner wird der Wärmebrückenverlust bei diesem Bauteilübergang. In der Praxis werden die statischen Kriterien über die Einsatzmöglichkeit solcher Elemete bestimmen (z. B. Thermur, Ytong Thermofuss, Foamglas-Perinsul o. Ä.).

4.2 Vermeiden von Wärmebrücken

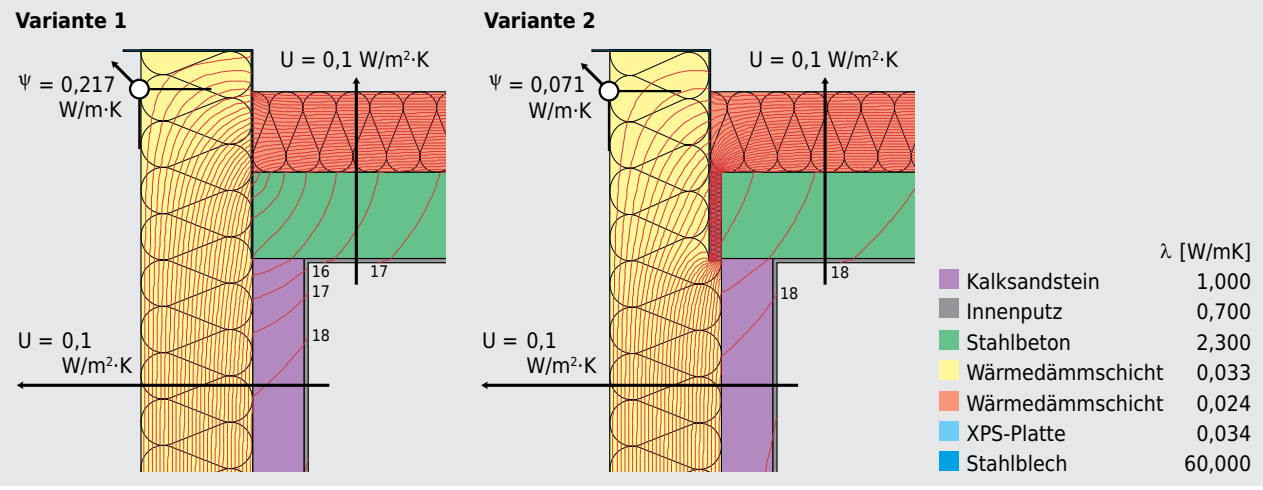


Bild 4.2.8: Bei der konstruktiven Ausbildung von Dachrändern werden oft durchgehende Tragbleche verwendet, die zu hohen Wärmebrückenverlusten führen. Durch thermisch entkoppeltes Montieren der Tragbleche (z. B. mit 30 mm dicken, druckfesten Wärmedämmstoffen) lässt sich der Wärmebrückenverlust um rund zwei Drittel verringern.

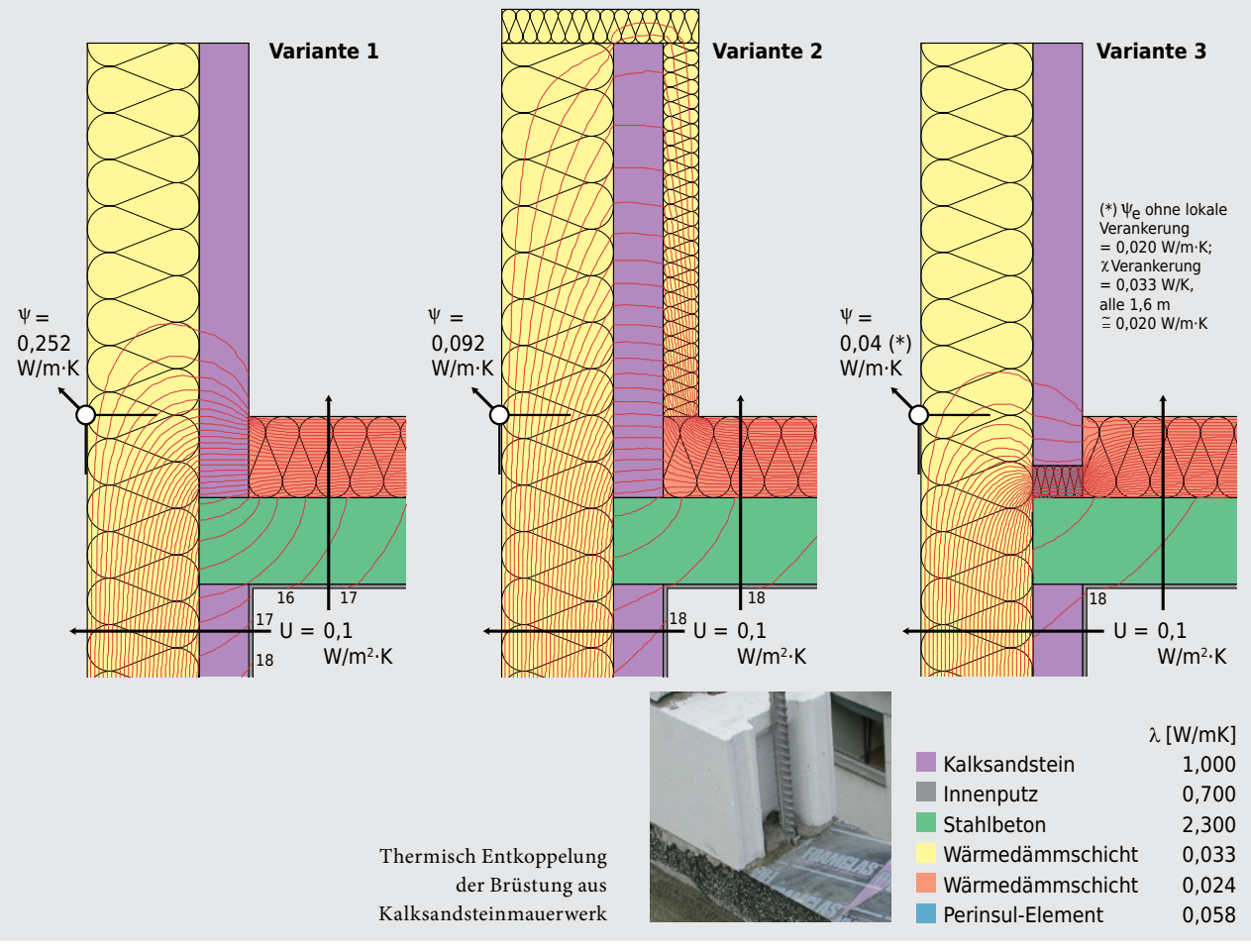


Bild 4.2.9: Selbst eine überdämmte Attikabrüstung verursacht Wärmebrückenverluste, die für hochgedämmte Bauten noch zu hoch sind. Optimal ist es, die Brüstung auf ein Perinsul-Element o.Ä. zu stellen und dadurch thermisch von der Stahlbetondecke zu entkoppeln.

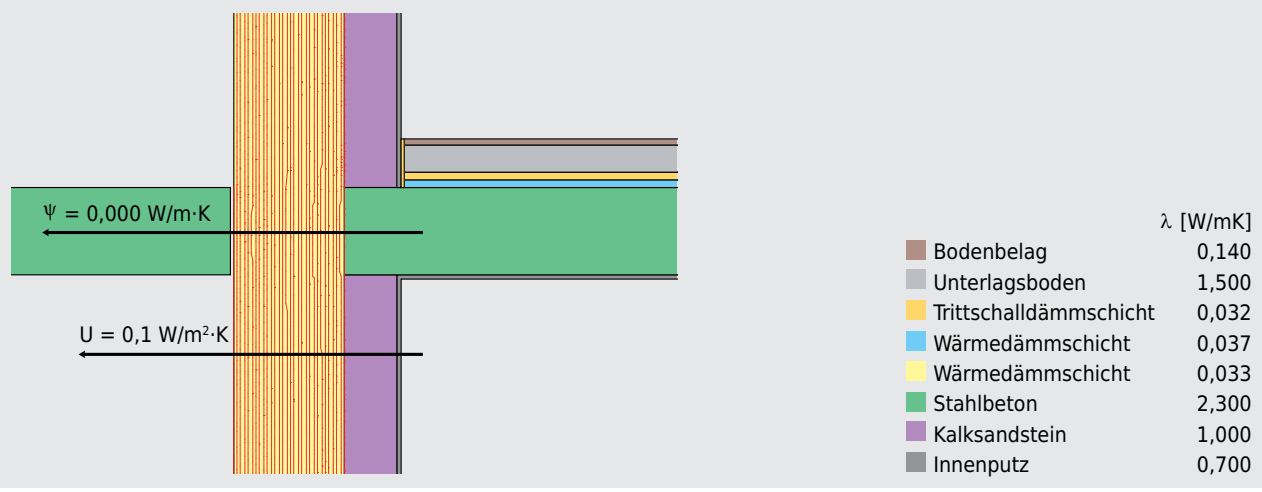


Bild 4.2.10: Für wärmetechnisch-energetisch optimierte Bauten kommen eigentlich nur separat abgestützte Balkone infrage, die zu einer wärmebrückenfreien Lösung führen. Konventionelle Kragplattenanschlüsse verursachen Wärmebrückenverluste im Bereich von 0,3 W/m·K. Mit Speziallösungen (faserverstärkte Kunststoffe/VIP-Wärmedämmstoff) kann der Wärmeverlust über die Kragplatte etwa um den Faktor 3 reduziert werden.

Wärmebrücken beim Fenstereinbau

Selbst bei Holzbauten, wo es in der Regel möglich ist, fast wärmebrückenfrei zu bauen, führt der Fenstereinbau immer zu zusätzlichem Wärmeverlust. Stellvertretend auch für die Wärmebrückenverluste beim Fenstereinbau im Brüstungs- bzw. Schwellenbereich und beim Sturz (wo noch weitere Einflussfaktoren wie z. B. die Sturznische dazukommen) wird im Folgenden nur auf den seitlichen Fensteranschluss in die Aussenwand eingegangen.

Der Einfluss des Fenstereinbaus zeigt das Bild 4.2.4 für den Holzbau (Holzrahmenbau) und das Bild 4.2.11 für den Massivbau (Aussenwärmedämmung, verputzt oder mit hinterlüfteter Bekleidung). Es wurde ein Fenster berücksichtigt, das zu einem minimalen Wärmebrückenverlust beim Einbau führt; bei Holz-Metall- oder Metallfenstern wäre der Wärmebrückenverlust noch bedeutend höher.

Der seitliche Fensteranschlag führt dann zum kleinsten Wärmeverlust und somit auch zum kleinsten Wärmebrückenverlust für den Fenstereinbau, wenn dieses im Mittenbereich der Holzbaukonstruktion bzw. im inneren Bereich der Aussenwärmedämmung von massiven Aussenwänden angeschlagen wird ($\psi_E = 0{,}097$ bzw. 0,049 W/m·K). Beim Holzbau wird der Wärmebrückenverlust deshalb grösser als beim Massivbau, weil der statisch-konstruktiv erforderliche Holzrahmen im Leibungsbereich den Wärmebrückenverlust beeinflusst. Beim ganz aussen angeschlagenen Fenster sind die Energieverluste am grössten, wobei sich dies wegen der veränderten Bezugsebenen nicht zwangsläufig im ψ_E-Wert manifestiert. Auch das ganz innen angeschlagene Fenster ist energetisch ungünstiger als das im Mittenbereich angeordnete Fenster; diese Anschlagsart führt jedoch zu einem kleineren Wärmeverlust als das ganz aussen angeschlagene Fenster und zudem sind die raumseitigen Oberflächentemperaturen bei dieser Detailausbildung maximal hoch. Weil die Differenzen bei den Wärmebrückenverlusten sehr gross sein können (je nach Fenster, konstruktiven Randbedingungen, Lage des Fensters und Detailausbildung), sollten die effektiven Wärmebrückenverluste jeweils objektspezifisch für die verschiedenen Details (Leibung, Sturz, Brüstung) rechnerisch ermittelt werden.

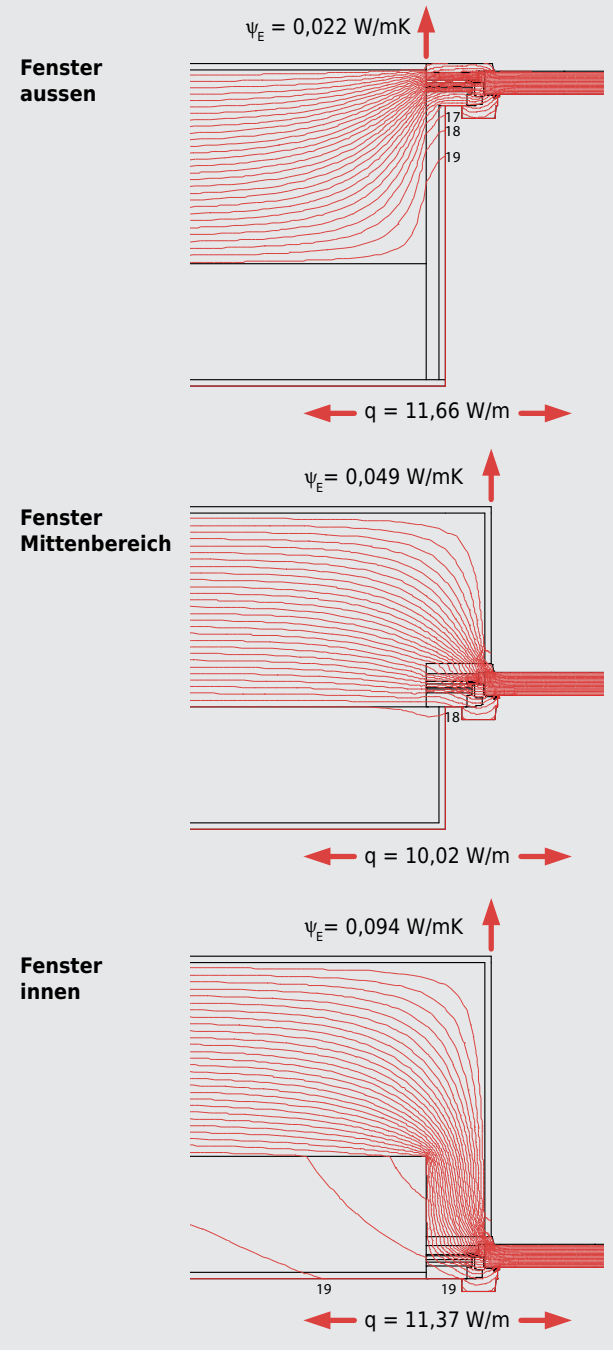
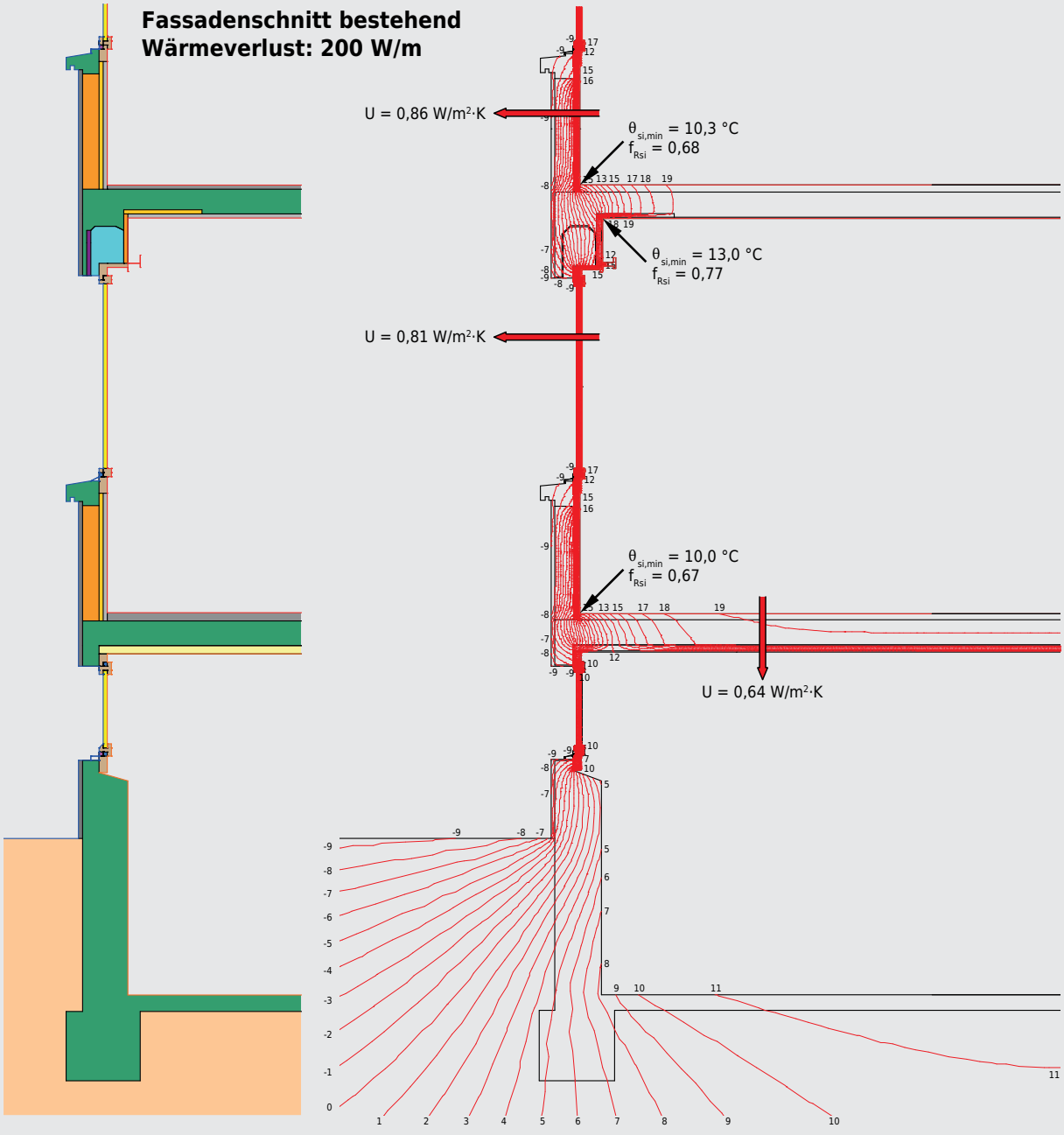


Bild 4.2.11: Wärmebrückenverlust beim seitlichen Fensteranschlag und Wärmeverlust über den gesamten Detailperimeter bei Massivbaukonstruktion (Wand mit U = 0,1 W/m²·K; Fensterrahmen mit U_f = 0,91 W/m²·K; Glas mit U_g = 0,5 W/m²·K und Ψ_g = 0,05 W/m·K). Der Fenstereinbau im Mittenbereich führt zu den kleinsten Energieverlusten. Beim ganz aussen angeschlagenen Fenster sind die Energieverluste am grössten und die inneren Oberflächentemperaturen im äusseren Leibungsbereich können bereits kritisch tief werden.

7.2 Energetische Gebäudeerneuerung



Randbedingungen

Name	θ [°C]	h [W/m²·K]
Aussen Standard	–10,0	25,0
Erdreich	10,0	99,0
Innen Keller	12,0	7,7
Innen Standard	20,0	7,7

Materialien

Name	λ [W/m·K]	Name	λ [W/m·K]
Aluminium	160,000	Mauerwerk	0,440
Aussenputz	0,870	Zementgebundene Holzwolleplatte	0,085
EPDM	0,250	Polystyrolhartschaumplatte EPS	0,037
Erdreich	2,000	Stahlbeton	2,300
Glas/Panel	0,035	Zementüberzug	1,500
Holzwerk	0,130	Stahlblech	50,000
Innenputz	0,700	Unbelüftete Hohlräume, Eps = 0,9	–
Korkplatte	0,044	Belüftete Hohlräume, Eps = 0,9	–

Bild 7.2.4: Gebäudeschnitt im Fensterbereich eines typischen Gebäudes aus den 1960er-Jahren, mit Verbandmauerwerk und innen dünn gedämmter Brüstung, bei bereits erfolgtem Fensterersatz: Der untersuchte Schnitt führt zu einem Wärmeverlust von 200 W/m bei einer Temperaturdifferenz von 30 Kelvin.

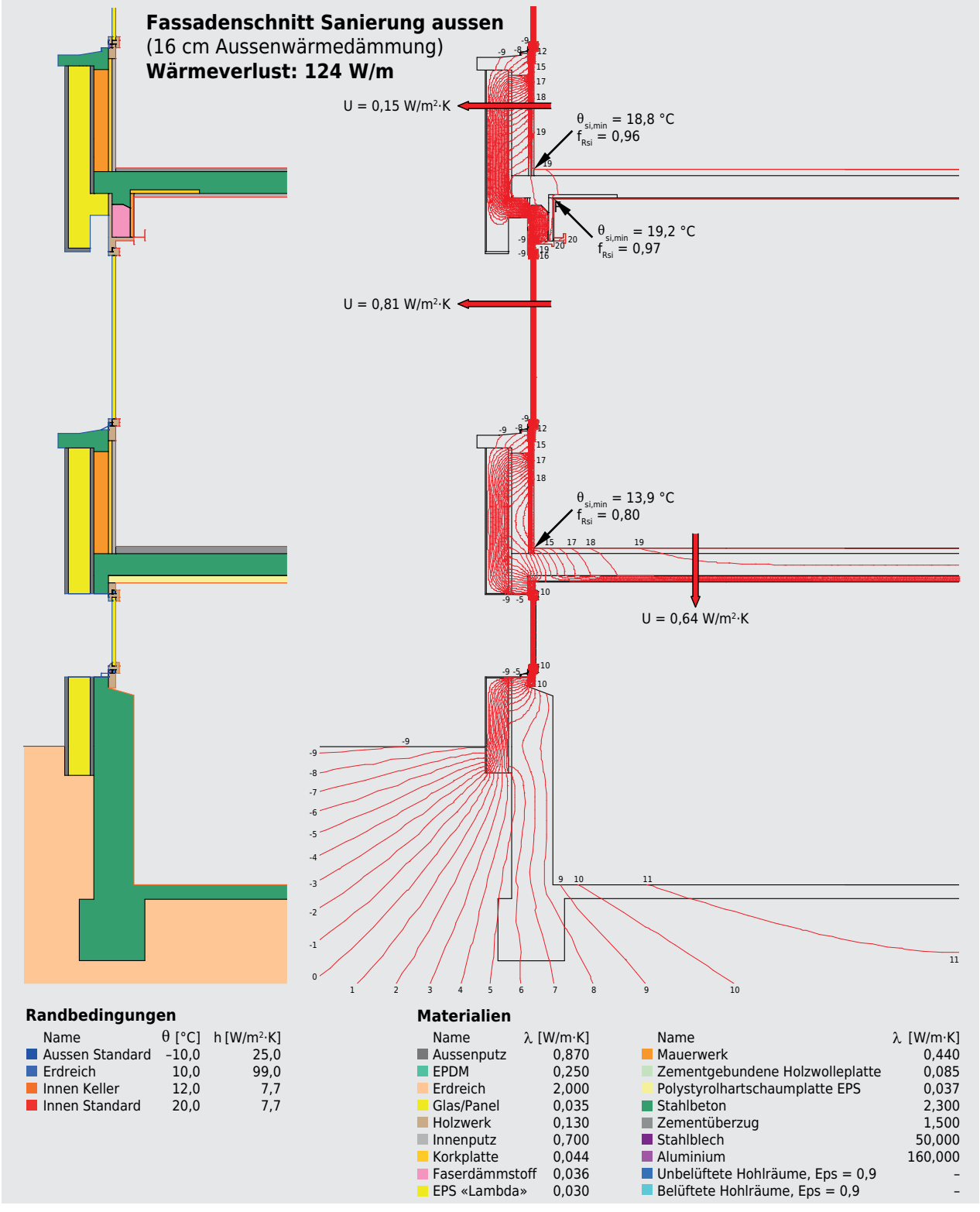


Bild 7.2.5: Selbst mit einer suboptimal konzipierten Aussenwärmedämmung (z.B. Wärmebrücke über Fensterbank bei Brüstung) und ohne zusätzliche Massnahmen an der Decke zum Untergeschoss lässt sich der Wärmeverlust von 200 auf 124 W/m reduzieren ($\Delta\theta$ = 30 K) und es können wesentlich höhere raumseitige Oberflächentemperaturen erreicht werden.

7.2 Energetische Gebäudeerneuerung

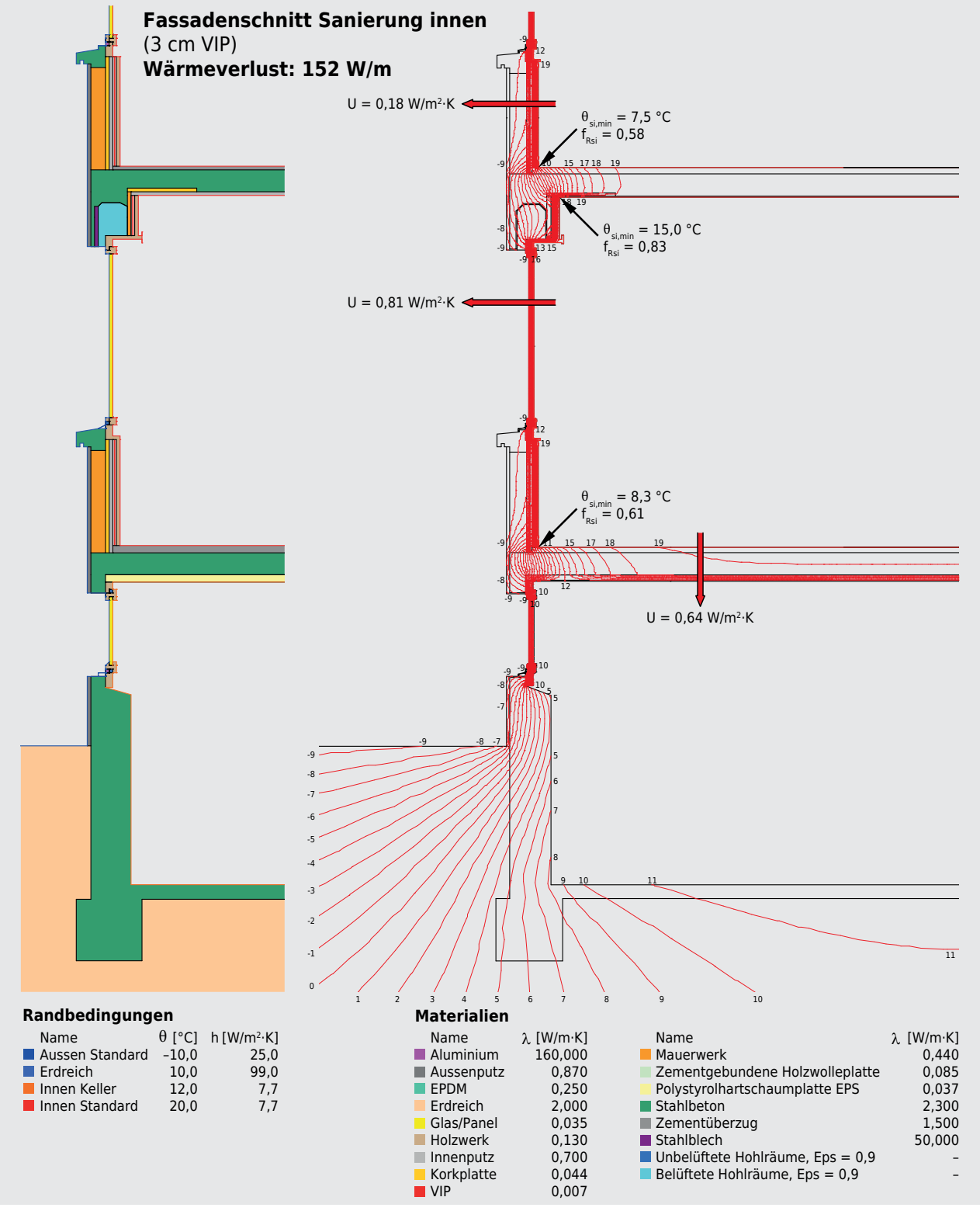
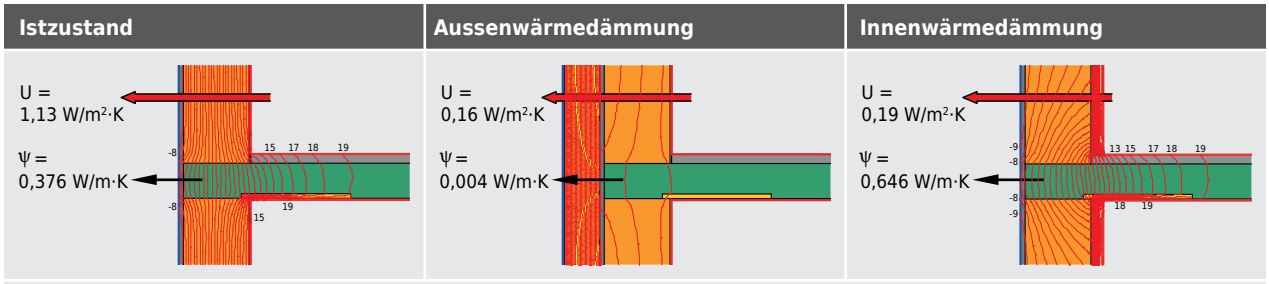


Bild 7.2.6: Bei einer Innenwärmedämmung (Beispiel 3 cm VIP, stellvertretend auch für andere Dämmungen mit gleichem Wärmedurchgangswiderstand) wird der Nutzen der energetischen Ertüchtigung durch erhebliche Wärmebrücken bei den Deckenauflagern reduziert und es resultieren teilweise noch tiefere raumseitige Oberflächentemperaturen als vor der Sanierung.



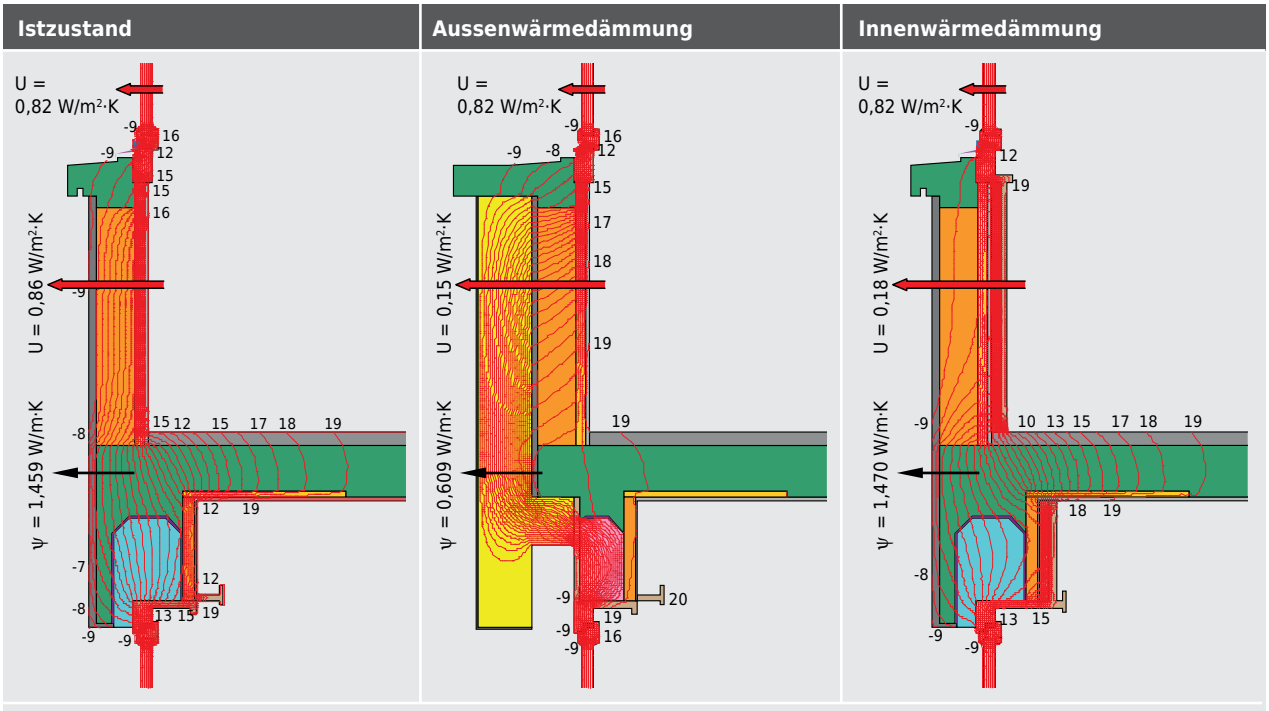
Randbedingungen

Name	θ [°C]	h [W/m²·K]
Aussen Standard	–10,0	25,0
Innen Standard	20,0	7,7

Materialien

Name	λ [W/m·K]	Name	λ [W/m·K]	Name	λ [W/m·K]
Mauerwerk	0,440	Aussenputz	0,870	Korkplatte	0,044
Stahlbeton	2,300	Zementüberzug	1,500	EPS «Lambda»	0,030
Innenputz	0,700	Holzwerk	0,130	VIP	0,007

Bild 7.2.7: Beim Deckenauflager zeigt sich die Differenz zwischen Aussen- und Innenwärmedämmung am besten:
- Beim Istzustand entspricht der Wärmebrückenverlust Ψ von 0,376 W/m·K einem Verlust wie durch eine 0,33 m hohe Wandscheibe mit U = 1,13 W/m²·K.
- Bei der Aussenwärmedämmung ist das Deckenauflager mit Ψ = 0,004 W/m·K wärmebrückenfrei.
- Bei der Innenwärmedämmung entspricht der Wärmebrückenverlust Ψ von 0,646 W/m·K einem Verlust wie durch eine 3,4 m hohe Wandscheibe mit U = 0,19 W/m²·K.



Randbedingungen

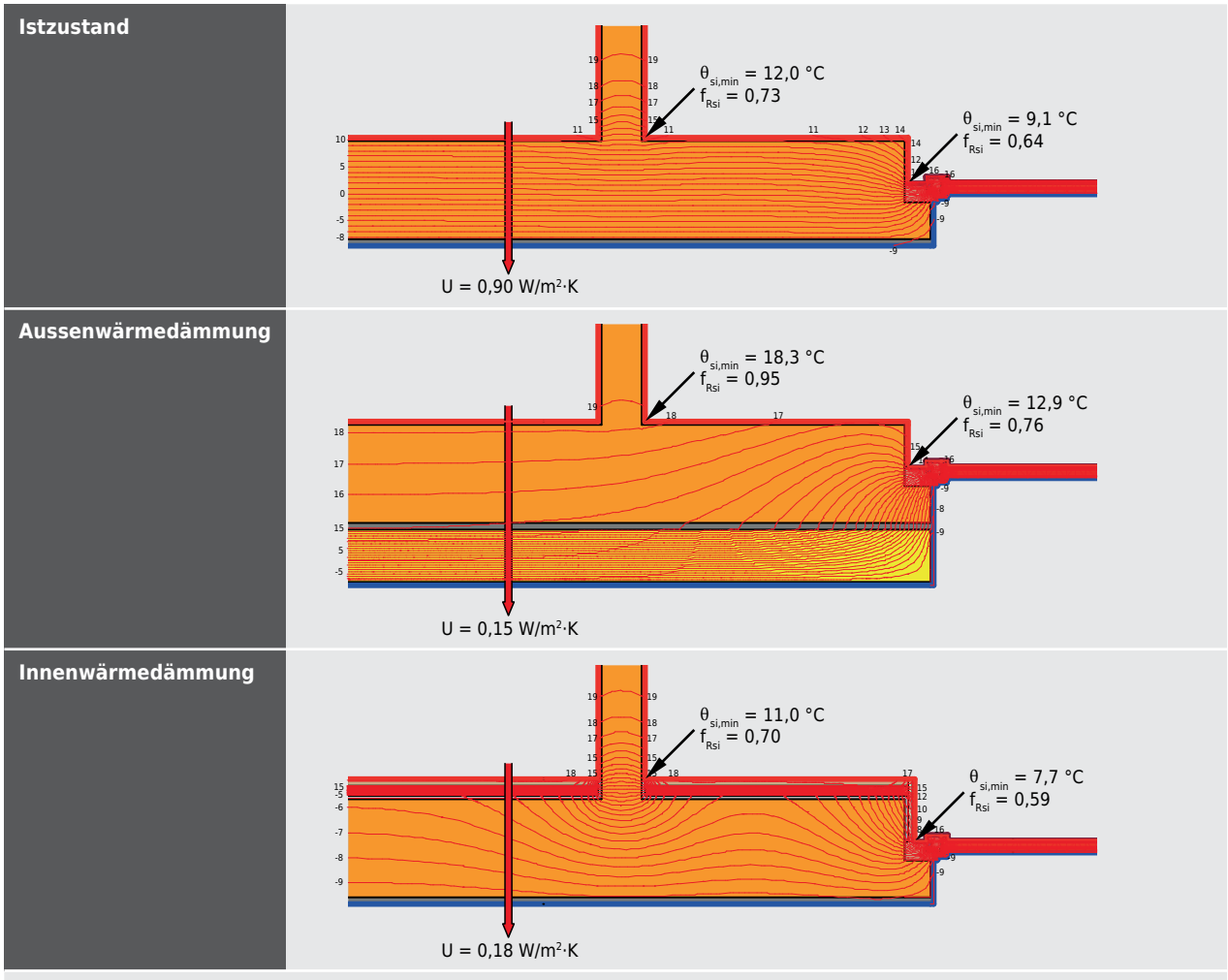
Name	θ [°C]	h [W/m²·K]
Aussen Standard	–10,0	25,0
Innen Standard	20,0	7,7

Materialien

Name	λ [W/m·K]	Name	λ [W/m·K]
Mauerwerk	0,440	Faserdämmstoff	0,036
Stahlbeton	2,300	VIP	0,007
Innenputz	0,700	Stahlblech	50 00
Aussenputz	0,870	Aluminium	160,00
Zementüberzug	1,500	EPDM	0,250
Holzwerk	0,130	Glas/Panel	0,035
Korkplatte	0,044	Unbelüftete Hohlräume, Eps = 0,9	–
EPS «Lambda»	0,030	Belüftete Hohlräume, Eps = 0,9	–

Bild 7.2.8: Auch beim Detailschnitt mit Sturz, Deckenauflager und Brüstung ist die Summe der Wärmebrückenverluste, im Vergleich zu den Wärmeverlusten durch die Regelquerschnitte der Bauteile, bei der Innenwärmedämmung überproportional hoch.

7.2 Energetische Gebäudeerneuerung



Randbedingungen

Name	θ [°C]	h [W/m²·K]
Aussen Standard	–10,0	25,0
Innen Fenster/Türe	20,0	6,7
Innen untere Raumhälfte	20,0	2,9

Materialien

Name	λ [W/m·K]
Mauerwerk	0,440
Gipskartonplatte	0,240
Innenputz	0,700
Aussenputz	0,870
Holzwerk	0,130

Name	λ [W/m·K]
EPS «Lambda»	0,030
VIP	0,007
EPDM	0,250
Glas/Panel	0,035
Unbelüftete Hohlräume, Eps = 0,9	–

Bild 7.2.9: Das Beispiel mit Fensteranschlag und Innenwandanschluss zeigt die thermisch-hygrische Problematik von Innenwärmedämmungen:

- Beim Istzustand führen Oberflächentemperaturen um 9,1 °C (Leibung) oder 12,0 °C (Eckbereich Innen-/Aussenwand) je nach Nutzerverhalten bereits zu Feuchteschäden, z.B. in Form von Schimmelpilzbildung.
- Bei der Variante mit Aussenwärmedämmung lassen sich die raumseitigen Oberflächentemperaturen wesentlich erhöhen. Selbst ohne Überdämmung der Leibung (was suboptimal ist) wird mit 12,9 °C eine genügend hohe Oberflächentemperatur erreicht, um unter «normkonformer» Nutzung Feuchteschäden zu vermeiden.
- Bei der Innenwärmedämmung werden, ohne Anschluss derselben an das Fenster (Wärmebrücke über die innere Leibung), die Oberflächentemperaturen noch tiefer als beim Istzustand. Insbesondere im Leibungsbereich sind damit Feuchteschäden unvermeidbar.

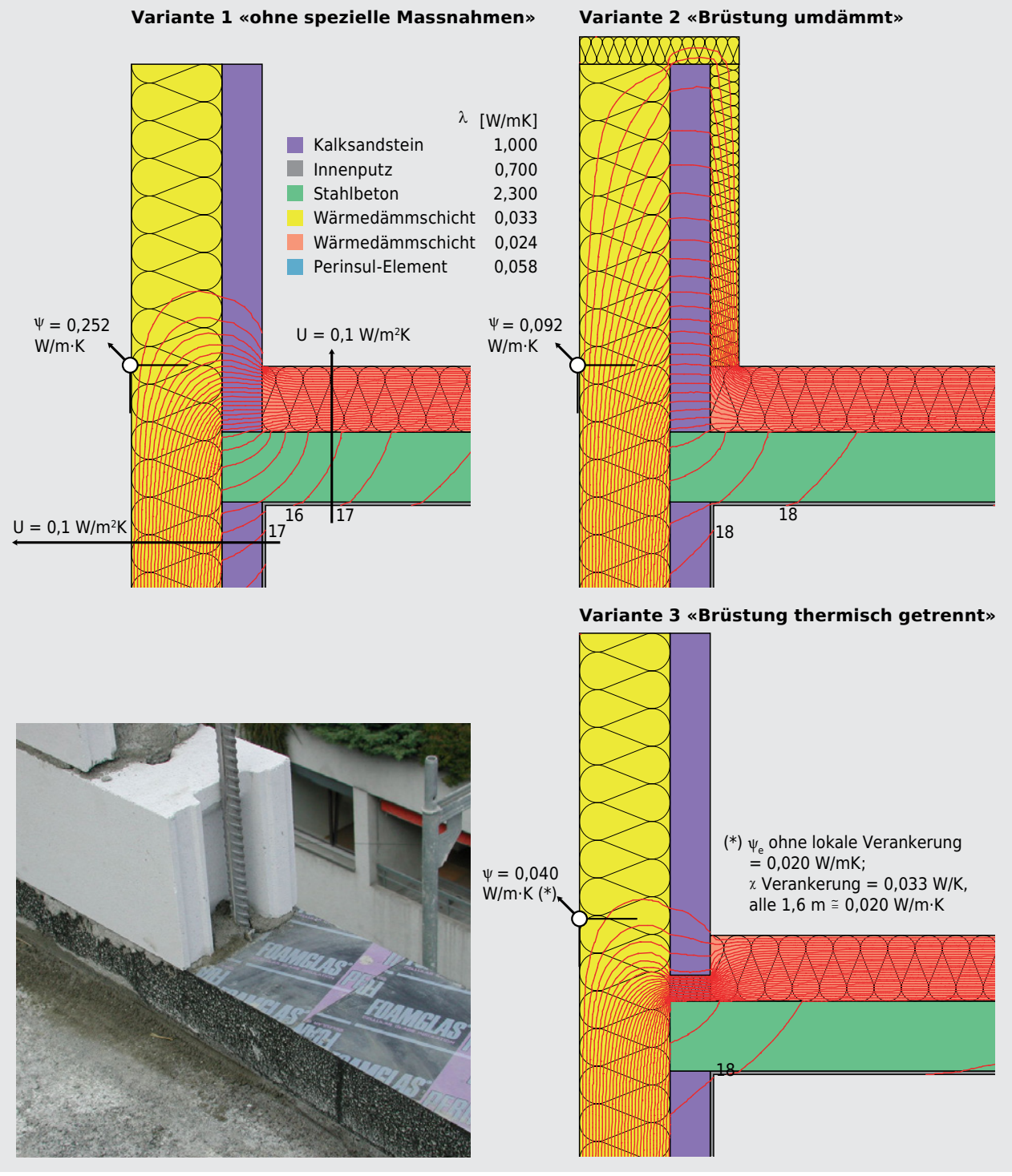


Bild 8.1.39: Wenn bei einer hochgedämmten Gebäudehülle der Dachrand, wie bei der Variante 1, ohne spezielle Massnahmen ausgeführt wird, resultiert eine grosse Wärmebrücke von 0,25 W/m·K, was dem Verlust durch eine geschosshohe Wand von 1,0 m · 2,5 m entspricht. Durch das Überdämmen der Brüstung kann der Wärmebrückenverlust bereits erheblich reduziert werden (Variante 2). Ein optimales Ergebnis liefert aber erst die thermische Entkoppelung der Attikabrüstung, bei diesem Objekt mit einem Schaumglasstein und einem vertikalen Armierungseisen, das die Wand alle 1,6 m stabilisiert. Gegenüber der Variante 1 verursacht die Variante 3 einen gut 6 mal geringeren Wärmebrückenverlust.

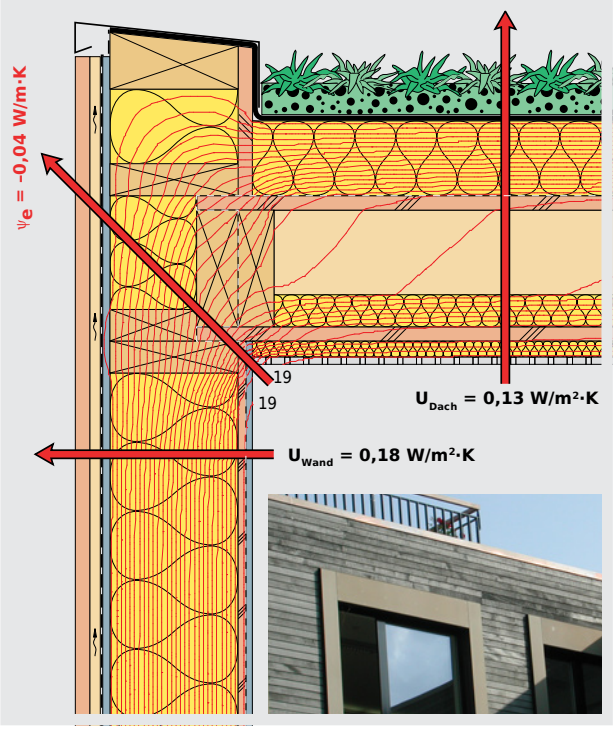


Bild 8.2.7: Wärmebrückenfreier Übergang von der Wand- zur Flachdachkonstruktion, ohne den zu berücksichtigenden Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ. Bezogen auf die äussere Abmessung (Bruttomasse) wird der Wärmebrückenverlustkoeffizient Ψ_e negativ!

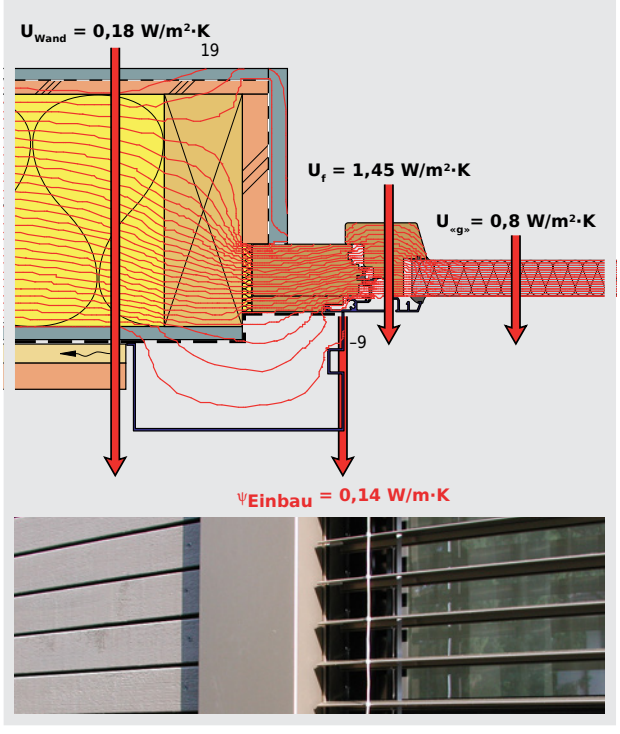
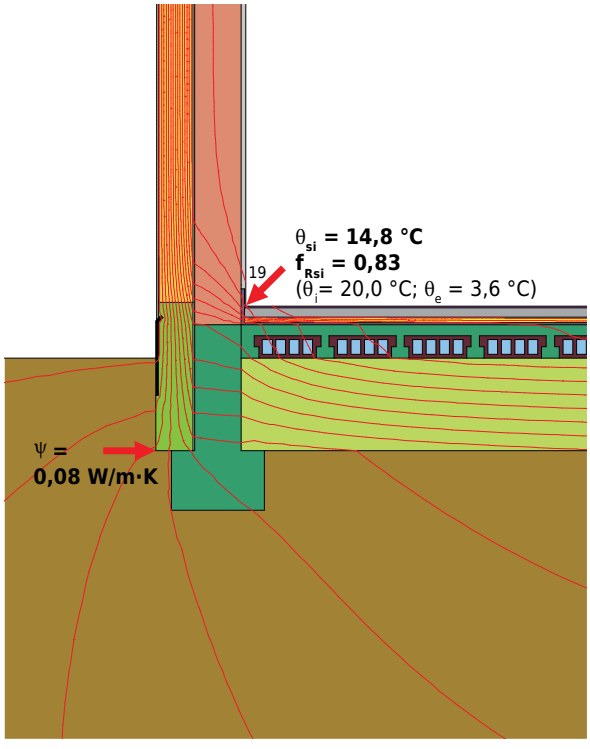


Bild 8.2.8: Beim seitlichen Fensteranschlag (Holz-Metall-Fenster in Holzrahmenbau-Aussenwand) resultiert ein eher hoher Wärmebrückenverlustkoeffizient Ψ_{Einbau}, der bei energetischen Betrachtungen zu berücksichtigen ist.

Energieverbrauch «Wärme», der gegenüber einem analogen Gebäude, das nur gerade den Grenzwert $Q_{h,li}$ erreicht, noch etwa 50 % beträgt. Bei dieser Betrachtung wurde der Strom für die Lüftung mitberücksichtigt.
Der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser wird mit zwei Grundwasser-Wärmepumpen abgedeckt, die eine Jahresarbeitszahl von etwa 4 aufweisen. Im Vergleich zu einer Ölheizung beim «Standardbau mit $Q_h = Q_{h,li}$» kann damit der Energieverbrauch auf 14 % reduziert werden. Statt 41'500 Liter Heizöläquivalent wird das optimierte Gebäude für Heizung und Warmwasser umgerechnet nur noch 5'600 Liter Heizöläquivalent verbrauchen.
Berechnungsbasis war die Empfehlung SIA 380/1, Ausgabe 1988 und die MINERGIE-Anforderung Stand 2001. Für die gemischte Nutzung «Geschäftshaus/Wohnen» musste ein Anforderungswert «gewichteten Energiekennzahl Wärme» von 41,6 kWh/m² eingehalten werden; erreicht werden 24,4 kWh/m², womit der Grenzwert um 41 % unterschritten wird.

8.2.4 Schallschutz

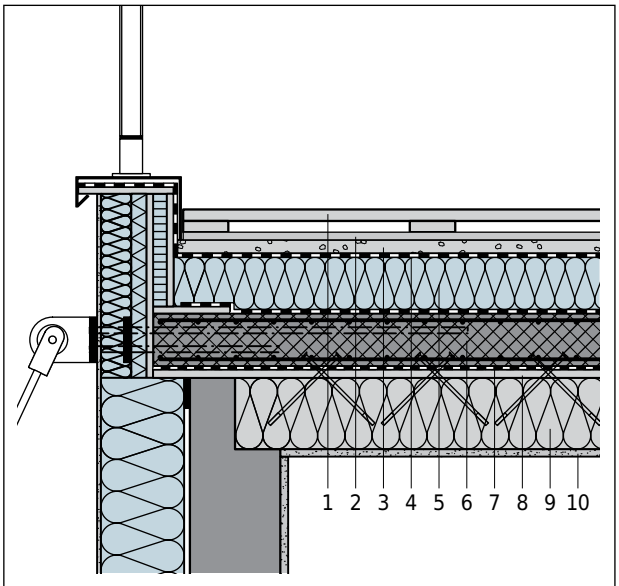
Die Anforderungen an den Luft- und Trittschallschutz zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten sind in Norm SIA 181, abhängig vom Grad der Störung und der Lärmempfindlichkeit, verbindlich festgelegt. Für die Beurteilung des Schallschutzes war bei diesem Projekt die Ausgabe 1988 der Norm SIA 181 gültig.
Beim Wohn- und Geschäftshaus der Renggli AG hat die Bauherrschaft die erhöhten Anforderungen verlangt.
Bei Holzbauten ist es wesentlich anspruchsvoller, den erhöhten Schallschutzanforderungen zu entsprechen und den Schallschutz rechnerisch zu dimensionieren, als bei Massivbauweise. Qualitätskontrollen mittels Schallmessungen sind deshalb wichtig und für einen Zuwachs an Know-how unverzichtbar. Diverse Luft- und Trittschallmessungen haben gezeigt, dass mit den gewählten Holzbaukonstruktionen die erhöhten Anforderungen erreicht werden konnten.



Relevante Materialien	λ [W/m·K]
Stahlbeton	2,300
Backstein	0,440
Anhydrit-Fliessestrich	1,200
Hohlkörperdecke	1,500
Wärmedämmung Boden	0,038
Wärmedämmung Wand	0,024
Polystyrolhartschaumplatte XPS	0,035
EPS-Beton	0,200
Erdreich	2,000

Bild 8.3.12: Wärmebrücken-Analyse des kritischsten Bauteils im Bereich Fundament – Hohlkeller – Aussenwand.

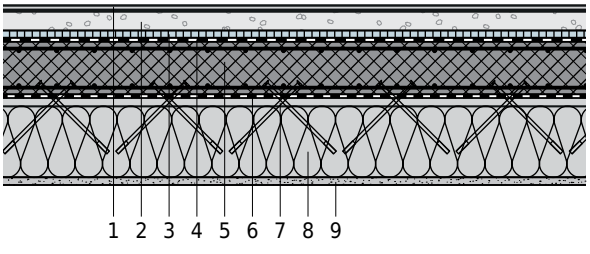
Bild 8.3.13: Decke zum ehemaligen Estrich und neuen Attikageschoss mit statischer Ertüchtigung: SFS-Schrauben verbinden die neue Armierung und den Überbeton mit der Balkenlage.



Konstruktionsaufbau:

1 Holzrost 50 mm
2 Gummischrotmatte 10 mm
3 Splitt 40 mm
4 Drainagematte und Feuchtigkeitsisolation 10 mm
5 Wärmedämmung (PUR-Alu 120 mm)
6 EBS-Beton armiert/Spezialverschraubung in Balkenlage 130 mm auf gleicher Ebene Schöck-Isolierkorb-anschluss für Balkonaufhängung
7 PVC-Folie als Trennlage
8 Holzschalung 30 mm
9 Balkenlage ausgedämmt 160 mm
10 Gipsdielen mit Schilfrohr armiert 30 mm

Bild 8.3.14: Dachrand-Detail bei begehbarem Attikadach.



Konstruktionsaufbau:

1 Robinien-Parkett 10 mm
2 Anhydrit-Estrich/Bodenheizung 50 mm
3 Trittschalldämmung 30 mm
4 Trennlage
5 EBS-Beton armiert/Spezialverschraubung in Balkenlage 130 mm
6 PVC-Folie als Trennlage
7 Holzschalung 30 mm
8 Balkenlage ausgedämmt 160 mm
9 Gipsdielen Schilfrohr-armiert 30 mm

Bild 8.3.15: Geschossdecke zwischen 2. Obergeschoss und Attikageschoss.