Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 110 (1992)
Heft: 43

Artikel: Wärmeschutz für Neubauten: neuere Erkenntnisse zur Verbesserung
Autor: Brunner, Conrad U. / Nänni, Jürg / Sibold, Christoph
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77973

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wärmeschutz für Neubauten

Neuere Erkenntnisse zur Verbesserung

Heizenergiesparen ist nach wie vor notwendig – allein schon in Anbetracht des CO_2-Problems. Verbesserung des Wärmeschutzes von Neubauten und zweckmässige Sanierung von Altbauten könnten diesen Anteil der CO_2-Produktion erheblich reduzieren, wie nachfolgend anhand neuer Erkenntnisse über Transmissionsverluste dargelegt wird.

VON CONRAD U. BRUNNER, JÜRG NÄNNI UND CHRISTOPH SIBOLD, ZÜRICH

Heizenergiesparen ist heute zu einem drängenden Gebot geworden, nachdem an der letzten internationalen Konferenz für Umweltschutz in Genf ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der auf fossiler Verbrennung basierenden Energieerzeugung und der fortschreitenden CO_2-Verschmutzung unserer Atmosphäre, welche im Begriff ist, eine globale Klimakatastrophe auszulösen, bestätigt wurde. Den grössten Anteil an dieser Schadstofferzeugung hat in unseren Breitengraden nach wie vor die Raumheizung. Der entsprechende jährliche CO_2-Ausstoss der Schweiz beträgt 22 Megatonnen. Das sind etwa 50% der gesamten CO_2-Produktion der Schweiz.

Der Anteil der Wärmeerzeugung zur Deckung der Transmissionsverluste der Gebäudehüllen beträgt etwa 25%. Durch Verbesserung des globalen Wärmeschutzes von Neubauten und durch zweckmässige Sanierung von Altbauten könnte dieser Anteil auf 10% reduziert und damit $^1/_6$ der CO_2-Produktion ausgeschaltet werden. Die folgenden Analysen bestätigen, dass diese dringend nötige Reduktion realisierbar ist und insbesondere keine exotische Bauweise voraussetzt. Mit den heute üblichen k-Werten der Grössenordnung 0.3 W/m²K für nichttransparente Aussenbauteile lässt sich eine solche Reduktion bereits erreichen, unter der Voraussetzung aber, dass alle Bauteilanschlüsse wärmebrückenfrei konzipiert sind.

Modellfall «Standardraum»

Zur Einführung soll eine 1 m dicke horizontale Gebäudescheibe aus homogenem Mauerwerk (Wand-k-Wert k_W = 0.46 W/m²K) analysiert werden. Die Bilder und Tabellen 1 bis 3 zeigen der Reihe nach die für die Analyse notwendigen Innenabmessungen, Bezugsort und Grösse der einzelnen Wärmebrückeneffekte (Linienzuschläge k_{lin}) zur genauen Bemessung der Transmissionsverluste sowie einige lokale Temperaturminima an der Innenoberfläche mit der sich daraus ergebenden hygrischen Beurteilung. Der k-Wert der Verglasung des 2teiligen sowie des einteiligen Holzfensters beträgt k_G = 0.79 W/m²K. Mit den beiden k-Werten k_W und k_G und den Innenmassen kann in diesem einfachen Fall der Wärmeabfluss der Gebäudescheibe in einer ersten groben Näherung ohne Wärmebrückeneffekte bestimmt werden. Bekanntlich werden dazu die k-Werte mit den zugeordneten Flächen sowie mit der Differenz der Lufttemperaturen multipliziert und dann aufsummiert.

Zur Berücksichtigung der Wärmebrückenverluste müssen alle Bauteilknoten identifiziert und beurteilt werden. Alle geometrischen oder durch Materialwechsel bedingten Störungen der Regelquerschnitte bilden Wärmebrücken und verändern lokal den mit k-Werten berechneten Wärmedurchfluss. Die zusätzlichen Wärmeverluste im Wirkungsbereich einer einzelnen Wärmebrücke lassen sich mit dem Computer aufsummieren und werden an einer geeigneten markanten Stelle (Richtungs- oder Materialwechsel) an der Grenzlinie der beheizten Zone als Linienzuschlag k_{lin} in W/mK quantifiziert. Ein solcher Linienzuschlag (vgl. Bild 2) beschreibt somit den zusätzlichen wärmebrückenbedingten Transmissionsverlust bei einer Lufttemperaturdifferenz von 1 °C (oder 1K), bezogen auf die Detailabmessung 1 Meter senkrecht zum gezeichneten Bauteilschnitt. Die in Bild 2 numerierten Wärmebrücken sollen im folgenden klassifiziert und beurteilt werden. Die Linienzuschläge sind dem neuen Wärmebrückenkatalog [1] entnommen.

☐ *Isolierte geometrische positive Wärmebrücken:* Die Stellen 1 sind ausspringende Gebäudeecken mit einem erhöhten Wärmeabfluss, welcher sich durch die vergrösserte Aussenoberfläche im Vergleich zur Innenoberfläche erklären lässt. Die positiven Linienzuschläge k_{lin} = 0.09 W/mK sind vom Baumaterial und von der Dicke der Wand abhängig.

☐ *Isolierte materialbedingte positive Wärmebrücken:* Die Stellen 4 und 5 weisen positive Wärmebrücken auf, welche durch den Konstruktionswechsel verursacht werden. Die Linienzuschläge korrigieren den Wärmeabfluss, welcher durch die ungestörte flankierende Wand und die ungestörte Glasfläche verloren gehen würde. Neuere wissenschaftliche Untersuchungen [1] haben ergeben, dass der Glasrand als Trennstelle zwischen Glas und Wand bedeutende Vorteile aufweist im Vergleich zu einer in Deutschland üblichen Trennstelle [7], die durch das Rohmauerlichtmass definiert ist. Die Linienzuschläge sind nämlich stark abhängig von der Wahl dieses Bezugspunktes. Die hier definierte Stelle am Glasrand hat den grossen Vorzug, dass die auf 2 Kommastellen gerundeten Linienzuschläge vom speziell gewählten Glaspaket und ihrem k-Wert k_G unabhängig sind. Das Angebot der Glasindustrie wird auch in der Zukunft sehr vielfältig sein. Mit einigen wenigen, vom Fensteranschlag und vom Mauerwerk abhängigen Linienzuschlägen lassen sich mit dieser Methode Energiebilanzen mit verschiedenen Glasvarianten problemlos aufstellen und vergleichen (vgl. Beitrag «Wärmeverluste von Fenstern», Seite 799). Die Wärmebrücken 1 sind isolierte Ereignisse, weil die Entfernungen zu den benachbarten Brücken genügend gross sind. Diese Distanzen liegen erfahrungsgemäss im Wandbereich bei etwa 0.5 m und im Glasbereich bei etwa 0.2 m. Isolierte Wärmebrücken beeinflussen sich gegenseitig nicht; ihre zusätzlichen Wärmeabflüsse dürfen in Energiebilanzen ohne Korrektur addiert werden. Die Wärmebrücke 5 (Mittelpartie) weist einen Zuschlag von k_{lin} = 0.25 W/mK auf (vgl. [1]), welcher als Korrektur zu einer durchlaufenden Verglasung aufzufassen ist.

☐ *Gekoppelte positive Wärmebrücke:* Das Einflussgebiet der Stelle 2 in Bild 2 enthält zwei gekoppelte Wärmebrücken: Die ausspringende Gebäudeecke und den benachbarten Fensteranschlag. Wäre die Entfernung der beiden Störstellen etwas grösser, müsste die Überlagerung der Linienzuschläge 0.09 + 0.24 = 0.33 W/mK bilanziert werden. Die Einbettung des Fensteranschlags in die Gebäudeecke kühlt die flankierende Innenwand etwas aus und entschärft die Gesamtsituation ein wenig: Der Gesamtzuschlag an der Stelle 2 beträgt nur 0.32 W/mK statt 0.33 W/mK. In den meisten Fällen führt je-

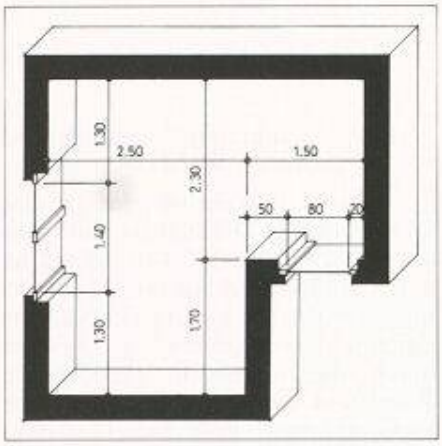


Bild 1. Innenabmessungen des Standardraums

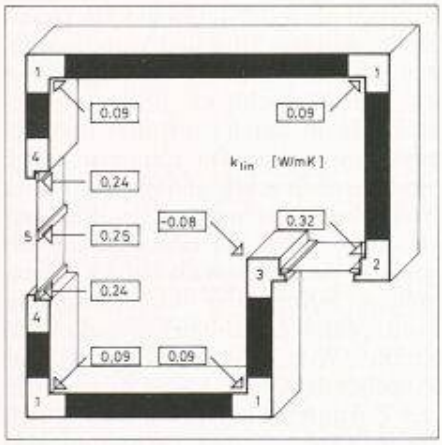


Bild 2. Innenoberflächentemperaturen

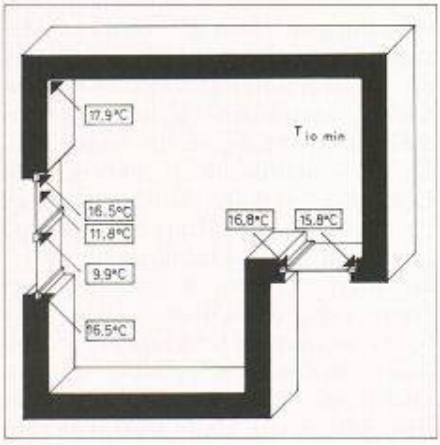


Bild 3. Linienzuschläge

doch eine Kopplung von Wärmebrücken auf eine Verstärkung des Wärmeabflusses; die Entschärfung in diesem speziellen Beispiel ist somit nicht typisch (vgl. [1]).

Basisberechnung:			
	Innenabwicklung nach Bild 2 [m]	k-Wert [W/m²K]	Verlustanteil [W/mK]
Wand:	13.8	0.46	6.35
Glas:	2.2	0.79	1.74
Zuschläge der Wärmebrücken:			
4 ausspringende Ecken			0.36
1 ausspringende Ecke mit Fenster			0.32
1 einspringende Ecke mit Fenster			−0.08
2 Fensteranschläge			0.48
1 Mittelpartie			0.25
Transmissionsverlust			**9.42**

Tabelle 4. Transmissionsverlust des Standardraums für eine Lufttemperaturdifferenz von 1 K

Konstruktion	
Wand:	homogen, k_W = 0.46 W/m²K
Fenster:	
Rahmen	Holz
Glas	3–IV, k_G=0.79 W/m²K

Tabelle 1. Konstruktion Standardraum

Linienzuschläge:	
Wärmebrücke	k_{lin} [W/mK]
1	0.09
2	0.32
3	−0.08
4	0.24
5	0.25

Tabelle 2. Linienzuschläge

Hygrische Analyse				
	Mittel-partie	Flügel-rahmen	Fenster-anschlag	Raum-ecke
Oberflächen-temperaturen [°C]	9.9	11.8	16.5	17.9
Tauwassergefahr für relative Raum-feuchten über: [%]	52.1	59.0	80.2	87.7
Schimmelpilzgefahr für relative Raum-feuchten über: [%]	36.5	41.0	56.1	61.4

Tabelle 3. Hygrische Analyse

☐ *Gekoppelte negative Wärmebrücke:* Das Einzugsgebiet der Stelle 3 enthält eine dominierende negative Wärmebrücke (einspringende Ecke) in Kombination mit der bereits behandelten positiven Wärmebrücke des Fensteranschlags. Die einspringende Ecke weist im Vergleich zur Innenoberfläche eine reduzierte Aussenoberfläche und eine daraus hervorgehende Drosselung des Wärmeabflusses auf, welche grundsätzlich mit einem negativen Linienzuschlag bewertet werden muss (Energiebonus als Korrektur der mit k-Werten erstellten Energiebilanz).

Eine isolierte einspringende Ecke dieses Mauerwerks hätte den Linienzuschlag k_{lin} = -0.25 W/mK, ein Fensteranschlag in genügender Distanz hätte den positiven Zuschlag k_{lin} = 0.24 W/mK, so dass die Überlagerung der beiden Störungen einen resultierenden Zuschlag von -0.01 W/mK ergeben müsste. Die enge Nachbarschaft der beiden Störungen führt auch bei diesem Beispiel zu einem atypischen Energiebonus: Der resultierende Zuschlag ist um 0.07 W/mK niedriger und führt auf den in Bild 2 notierten negativen Wert k_{lin} = -0.08 W/mK.

Hygrische Analyse

Die hygrische Beurteilung (vgl. Bild 3 und Tabelle 3) bezieht sich auf die Lufttemperaturen 20 °C innen und -10 °C aussen. Zur Diskussion stehen die lokalen Temperaturminima an der Innenoberfläche. Das absolute Minimum 9.9 °C tritt am Glasrand der Mittelpartie auf. Diese Temperatur ruft bereits bei Raumfeuchten über 36,5% Schimmelpilzgefahr hervor und löst bei Raumfeuchten über 52.1% den Taupunkt aus. An den übrigen Glasrändern steigt die Temperatur auf 11.8 °C und mit ihr die kritischen Raumfeuchten für Pilzgefahr und Tauwasser auf 41 bzw. 59%.

Am Übergang zum Blendrahmen steigt die Temperatur dank des gutdimensionierten Holzrahmensystems (6.5 cm dicke Flügel- und 7.2 cm dicke Blendrahmen) auf 16.5 °C und mit ihr die beiden kritischen Raumfeuchten auf 56.1% und 80.2%. Da die Temperaturdynamik im Bereich der Verglasung im Tagesagblauf meist sehr ausgeprägt ist, sind die hygrischen und hygienischen Probleme im üblichen Wohnklima meistens nicht so gravierend wie im Bereich von nichttransparenten Bauteilen mit grosser Wärmebeharrung und reduzierter Innenkonvektion. Im letzten Fall sollten die kritischen Raumfeuchten nicht unter 45% liegen, damit ein normales Wohnklima ohne gesundheitsschädigende Schimmelpilzkulturen gewährleistet werden kann.

Veraltete Details mit ausgeprägten Wärmebrücken erfüllen diese Anforderungen nicht oder nur bei Übererwärmung des Raumes im kalten Winter. Die 45%-Grenze im Raum wird am Glasrand, insbesondere im Bereich der Mittelpartie, unterschritten. Die Ursachen der bauphysikalischen Mängel liegen beim metallischen Glasrandverbund, welcher vorläufig nicht durch den bereits entwickelten Kunststoffrandverbund ersetzt werden kann.

Zur Berechnung der Transmissionsverluste der horizontalen Gebäudescheibe von Bild 1 muss zunächst die bekannte Basisberechnung mit Flächen und k-Werten erstellt und anschliessend die Linienzuschläge als Wärmebrückenkorrekturen addiert werden (vgl. Bild 2 und Tabelle 4). Der Wärmebrückenan-

teil beträgt bei dieser bereits optimierten Konstruktion nur 14.1%.

In einem Klima mit HGT = 3800 Heizgradtagen verliert die betrachtete Gebäudescheibe pro Heizperiode eine Transmissionsenergie von

$Q_t = 9{,}42 * 3800 * 24 * 3600 / 10^6 =$
3092.8 MJ/ma

Sind k_i die k-Werte der Bauhülle mit den Flächenanteilen A_i und k_{linj} die Zuschläge der linienförmigen Wärmebrücken der Hülle der beheizten Zone, so heisst die Formel für die stationären Transmissionsverluste pro Kelvin Temperaturdifferenz

$Q = A_i * k_i + k_{linj} * l_j$ [W/K]

und die Transmissionsenergie pro Heizperiode berechnet sich gemäss

$Q_t = Q * HGT * 24 * 3600 / 10^6$
[MJ/a]

Weist die Bauhülle zusätzliche punktförmige Störungen auf, so müssen in der Formel für Q die entsprechenden Punktlasten P in W/K hinzugefügt werden.

Grundsätzlich gehören auch die dreidimensionalen Gebäudeknoten wie z.B. die 8 Ecken einer quaderförmigen beheizten Zone in diese Kategorie. Die aufwendigen Analysen zeigen aber, dass die Zuschläge meistens negativ sind und zudem kleine Beträge haben, so dass sich die Korrektur im Hinblick auf Dreidimensionalität in einer vernünftig gerundeten Energiebilanz in Anbetracht der Häufigkeit dieser Knoten nicht auswirken kann. 3D-Korrekturen dürfen somit vernachlässigt werden.

Es ist die Aufgabe von Wärmebrückenkatalogen [1,2,3,4,7], die Zuschläge von linienförmigen und punktförmigen Wärmebrücken für die im betreffenden Land häufig realisierten Bauhüllen zur Verfügung zu stellen. Falls der Katalogbenützer die k-Werte und die Innenmasse der zu untersuchenden Bauhülle kennt, kann er mit den Daten eines geeigneten Katalogs eine realistische Energiebilanz nach SIA 380/1 aufstellen und auf Grund des Befundes gezielte Konstruktionsoptimierungen zur Energieeinsparung vornehmen.

In vielen Fällen drängt sich eine Verbesserung der Wärmedämmung und eine Minimierung der Wärmebrücken nicht nur aus energetischen Erwägungen auf: Ungenügende Wärmedämmung und Wärmebrücken erzeugen im Winter tiefe Innenoberflächentemperaturen, welche die erforderliche Behaglichkeit gefährden, die gesundheitsgefährdende Schimmelpilzbildung begünstigen und in krassen Fällen über längere Zeitabschnitte den Taupunkt auslösen und dadurch die Lebensdauer der Bausubstanz herabsetzen. Die thermische Qualität der Anschlussdetails ist umso wichtiger, je besser die Flächendämmung sein soll. Kombiniert man beispielsweise verbesserte Flächenbauteile mit konventionellen Anschlüssen, so sinken die Innenoberflächentemperaturen in den Wärmebrückenzonen meistens unter die Vergleichstemperaturen von gleichmässig schlechten Bauhüllen, wie sie in den siebziger und achtziger Jahren sehr häufig erstellt worden sind.

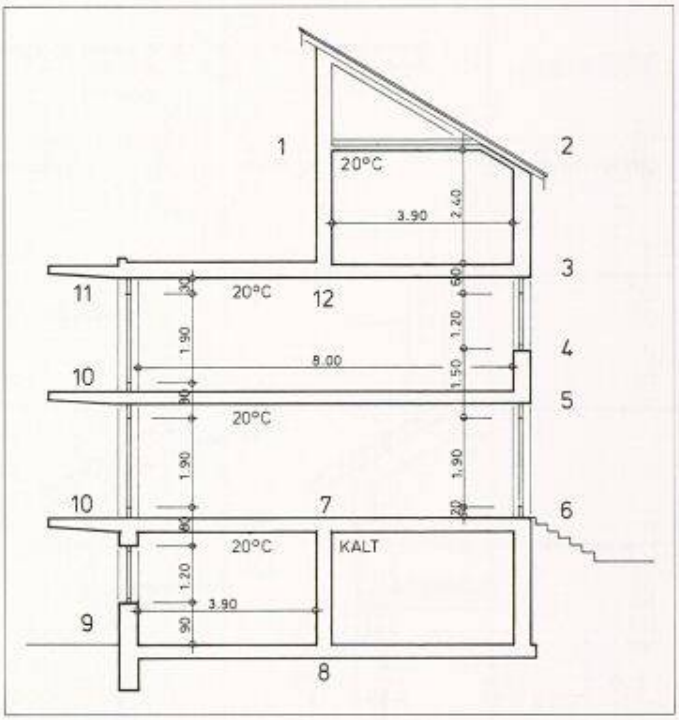


Bild 4. Schnitt Gesamtgebäude

Modellfall «Gesamtgebäude»

Um die Fallbeispiele in diesem und im Aufsatz über Sanierung vergleichbar zu machen, wurde eine gemeinsame in Bild 4 vermasste überall auf 20 °C beheizte Zone mit vorgegebenen, in allen Analysen identischen Verglasungen (k_G= 0.79 W/m²K) festgelegt. Der Gebäudeschnitt in Bild 4 zeigt einen beheizten neben einem kalten Kellerraum, zwei Wohngeschosse und ein beheiztes Dachzimmer. Die Dicke der Gebäudescheibe beträgt 1 m. Die Klimadaten werden in Form von Heizperiodenmittelwerten für Luft und Erdreich eines für die Region Zürich typischen Klimas festgelegt: Die Lufttemperatur beträgt 4.5 °C, die Erdreichtemperatur ist in 5m Tiefe 10.8 °C. Der Temperaturverlauf im ungestörten Erdreich wird in [1] beschrieben, die Wärmeleitzahl des Erdreichs wurde mit 2 W/mK festgelegt (Mittelwert zwischen gutleitendem und schlechtleitendem Erdreich).

Die vier Kolonnen des Mini-Katalogs (vgl. Tabelle 5) beziehen sich auf die vier Varianten mit verschiedener Materialisierung der in Bild 4 definierten Gebäudehüllenscheibe:

Die Gebäudeknoten sind in Bild 4 numeriert. Jedes Detail der Tabelle 5 ist mit zwei Kennwerten versehen:

☐ Linienzuschlag k_{lin} in W/mK; Faustregel: Zuschläge über 0.3 W/mK sind im allgemeinen problematisch.

☐ Minimale Oberflächentemperatur $T_{i\,min}$ in °C: lokales Minimum an der Innenoberfläche (ausserhalb der Verglasung) bei 20 °C innen und -10 °C aussen zur Beurteilung von Tauwasser- und Schimmelpilzgefahr; Faustregel: Innere Oberflächentemperaturen unterhalb 12.5 °C sind im allgemeinen problematisch.

Die Linienzuschläge beschreiben den wärmebrückenbedingten zusätzlichen

Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Weitverbreitete energieverschwendende schlechte Lösung mit homogenem Mauerwerk	Verbesserte Lösung für ein homogenes Mauerwerk k_W = 0.46 W/m²K	Verbesserte Lösung für ein Aussenwärmedämmsystem k_W = 0.30 W/m²K	Verbesserte Lösung für ein Zweischalenmauerwerk k_W = 0.29 W/m²K

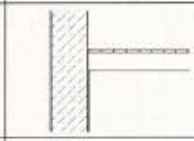
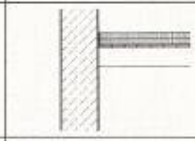
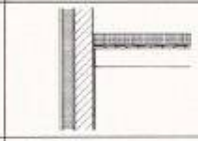
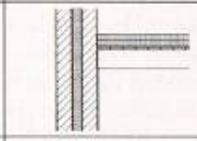
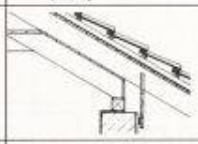
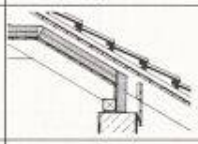
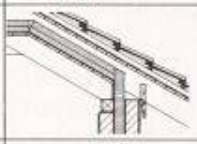
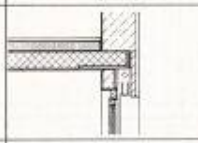
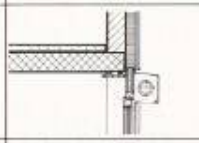
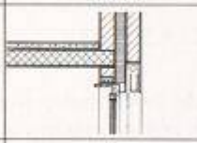
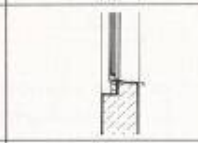
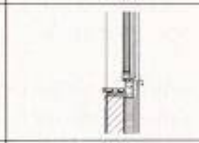
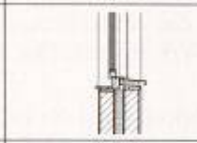
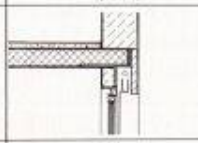
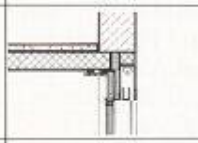
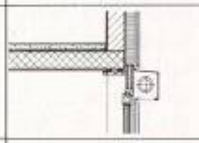
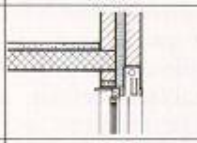
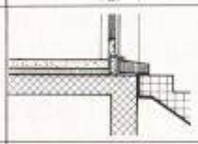
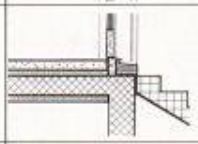
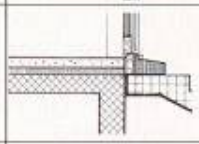
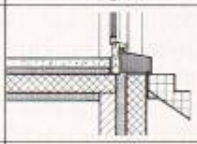
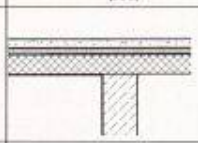
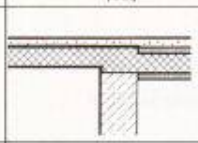
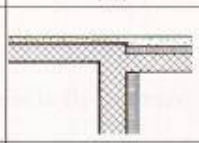
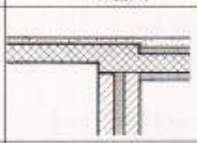
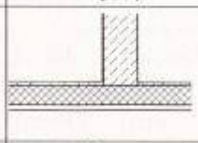
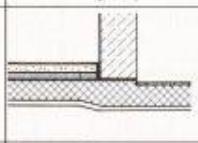
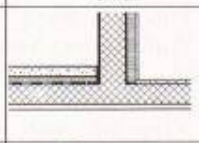
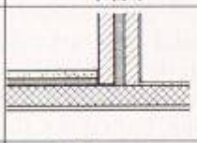
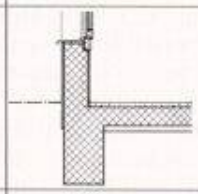
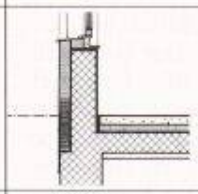
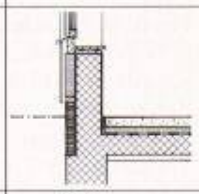
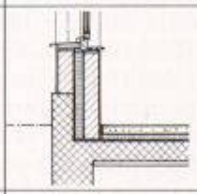
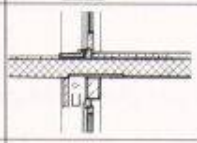
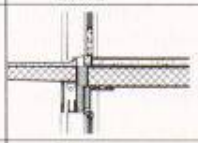
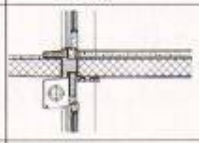
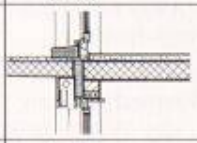
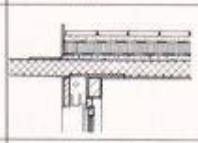
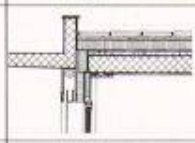
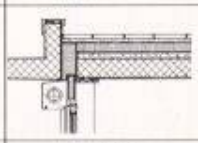
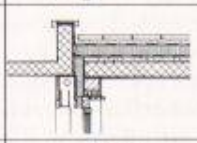
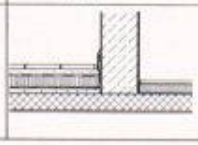
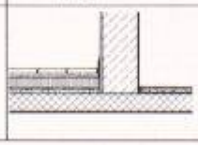
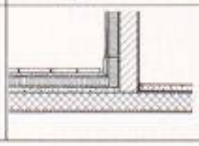
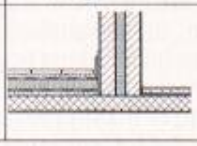
	1 Mauerwerk homogen Standard k_W = 0,46 W/m²K	2 Mauerwerk homogen verbessert k_W = 0,46 W/m²K	3 Mauerwerk mit Hinterlüftung k_W = 0,30 W/m²K	4 Zweischalenmauerwerk k_W = 0,29 W/m²K
Detail - Nummer	k_{Bu} [W/mK] $T_{Ie\,min}$ [°C]	k_{Bu} [W/mK] $T_{Ie\,min}$ [°C]	k_{Bu} [W/mK] $T_{Ie\,min}$ [°C]	k_{Bu} [W/mK] $T_{Ie\,min}$ [°C]
1	 0,09 16,8	 0,10 16,7	 0,17 16,3	 0,16 16,3
2	 1,80 14,8	 0,07 18,7	0,08 18,7	 0,08 18,7
3	 0,32 17,1	0,29 17,7	 0,37 16,6	 0,25 18,3
4	 0,45 16,7	0,44 13,6	 0,37 17,1	 0,34 16,4
5	 0,33 17,1	 0,28 16,7	 0,37 17,4	 0,25 16,6
6	 0,40 14,1	 0,40 14,1	 0,46 16,6	 0,41 16,0
7	 0,02 18,5	 -0,08 19,1	 -0,05 19,4	 -0,05 19,3
8	 0,59 17,4	 0,27 17,9	 0,26 17,9	 0,30 17,9
9	 2,98 11,8	 0,66 17,8	 0,91 16,1	 0,77 18,2
10	 0,96 16,1	 0,59 16,8	 0,69 17,0	 0,62 16,5
11	 0,62 17,0	 0,34 17,7	 0,39 17,7	 0,39 18,1
12	 -0,13 19,1	 -0,12 19,1	 -0,13 19,4	 -0,12 19,2

Tabelle 5. Mini-Katalog

Transmissionsverlust pro Kelvin Lufttemperaturdifferenz und pro Laufmeter Detail. Die Zuschläge sind als Korrektur einer Basisberechnung mit k-Werten aufzufassen. Im Sockelbereich und an Knotenstellen mit nichtbeheizten Räumen muss zum Verständnis des Linienzuschlags auch die Basisberechnung genau definiert werden:

Linienzuschläge von Sockelkonstruktionen mit beheiztem Keller basieren auf der Basisberechnung mit:

- Wand-k-Wert k_W, multipliziert mit der Temperaturdifferenz (T_i-T_e) und dem Ausmass bis zur Bezugslinie,
- Kellerboden-k-Wert k_B (inklusive Erdreichschichten bis zu einer Tiefe von 5 m bezüglich OK-Terrain), multipliziert mit der Temperaturdifferenz (T_i-T_e) und dem Ausmass bis zur Bezugslinie.

Man beachte, dass ein Konstruktionswechsel im Sockelbereich nicht in die Basisrechnung einfliesst: Für alle vertikalen Wandstücke ist, unabhängig von der Erdbedeckung, derselbe Referenz-k-Wert k_W einzusetzen.

Linienzuschläge von Knotenstellen mit nichtbeheizten Räumen enthalten in der Basisberechnung neben den k-Werten für Wand oder Dach auch den Bauteil-k-Wert zwischen beheiztem (T_i) und nichtbeheiztem (T_k) Raum, multipliziert mit der Lufttemperaturdifferenz (T_i-T_k), wobei das Ergebnis dieser Multiplikation auch als Produkt eines Ersatz-k-Wertes k^* mit der Differenz (T_i-T_e) gedeutet werden kann. Ein gleichmässiger Wärmeschutz der beheizten Zone fordert näherungsweise eine k-Wert-Übereinstimmung $k_W = k^*$. (Der k-Wert k^* darf selbstverständlich auch besser sein als k_W. Die Dicke der Wärmedämmung hat bei diesen trennenden Bauteilen oft nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtkosten, so dass sich eine Wärmeschutz-Überdimensionierung sogar aufdrängt.)

Die Temperatur T_K wird mit dem Computer unter Berücksichtigung der Wärmebrückeneinflüsse so bestimmt, dass sich der stationäre Energiefluss zum Kaltraum mit dem Abfluss die Waage hält. Die Kennwerte der verschiedenen Bauteilknoten lassen sich zeilenweise vergleichen.

Transmissionsverluste von vier verschiedenen Materialisierungen einer vorgegebenen Gebäudehüllenscheibe

Die Tabelle 6 enthält die Energiebilanzen der vier Varianten im Quervergleich. Der erste Block zeigt die Basisberechnung mit den k-Werten k_W, k_G, k_D, und k^* (Zwischenbauteile) für je einen Vertikalschnitt in Fenster- und Mauerebene. Die Linienzuschläge der Gebäudeknoten werden mit der Bauteilabwicklung (1m in diesem Beispiel) multipliziert und als Wärmebrückenkorrektur hinzuaddiert. Im letzten Teil «Gesamtgebäude» werden die Verluste der beiden Schnitte gemittelt. Das Schlussresultat gilt also für ein hypothetisches Gebäude. Normiert man schliesslich den Verlust der Variante 1 mit 100%, so betragen die Verluste der verbesserten Konstruktionen 2, 3 und 4 62, 54 bzw. 53%. Die schlechte Variante 1 weist ausserdem eine hygrische Schwachstelle am Sockel auf, die drei verbesserten Varianten haben hingegen keine hygrischen Mängel.

Mauerwerk:	1 homogen schlecht	2 homogen verbessert	3 Hinter lüftung	4 2-Schalen mauerwerk
	[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W/K]
Fensterschnitt:				
Total 1-dimensional:	18,81	15,17	13,18	13,27
Total Zuschläge:	9,39	3,82	4,54	3,99
Total Fensterschnitt	**28,21**	**18,99**	**17,72**	**17,26**
Mauerschnitt:				
Total 1-dimensional:	16,09	12,45	9,19	9,20
Total Zuschläge:	7,92	0,84	1,03	1,03
Total Mauerschnitt	**24,01**	**13,29**	**10,21**	**10,23**
Gesamtgebäude	**26,11**	**16,14**	**13,97**	**13,75**
	[MJ/a]	[MJ/a]	[MJ/a]	[MJ/a]
Heizperiodenverlust	8387	5185	4488	4417
in Prozenten	100%	62%	54%	53%

Tabelle 6. Transmissionsverlust Gesamtgebäude

Der zu hohe Energieverbrauch der Konstruktion 1 beruht auf folgenden Ursachen:

☐ Die nichtgedämmten Dach- und Kellerräume der Variante 1 werden als Wohnräume genutzt und deshalb auf 20 °C beheizt. Dadurch entstehen grosse Transmissionsverluste z.B. im Sokkelbereich (vgl. Bild 7).

☐ Die durchbetonierten Decken bilden gravierende Schwachstellen. Nur durch konsequente thermische Trennung zwischen Decken- und Balkonplatten bzw. Vordach lässt sich der unnötige Energieabfluss dieser Knotenpunkte (vgl. Bilder 5 und 6) verhindern.

☐ Die Variante 1 lässt keinen lückenlosen Aufbau der Dämmzone zu. Die ohnehin mit Konstruktionselementen überladenen Sturzdetails sind eine zusätzliche Belastung des Energiebudgets.

An drei exemplarischen Bauteilknoten sollen die physikalischen Ursachen des unnötigen Energieverschleisses erörtert und mit Wärmestromanalysen visualisiert werden.

Die Bilder 5 bis 7 zeigen die Temperaturkarten und die zugehörigen Wärmestromlinienbilder der drei erwähnten schlecht gelösten Gebäudeknoten mit homogenem Mauerwerk (vgl. dazu Tabelle 5). Der Massstab wurde einheitlich gewählt, so dass aus dem Verlauf der Kurvenscharen und dem sich ergebenden optischen Eindruck Schlüsse gezogen werden können. Der Energieabfluss zwischen zwei benachbarten Wärmestromlinien beträgt überall 0.2 W/mK. Jede 10. Linie ist punktiert, so dass zwischen zwei punktierten Linien 2 W pro Laufmeter Detail ins Freie fliessen.

Der Wärmeschutz des Sockeldetails mit der betonierten Kellerwand ist ungenügend. Ein Teil der Abflusslinien umströmt die Wand und benützt den Betonsockel als Wärmebrücke. Die Isothermen dieses Details müssten bei gut gelöstem Wärmeschutz parallel zur Innenoberfläche laufen. Die Verwerfun-

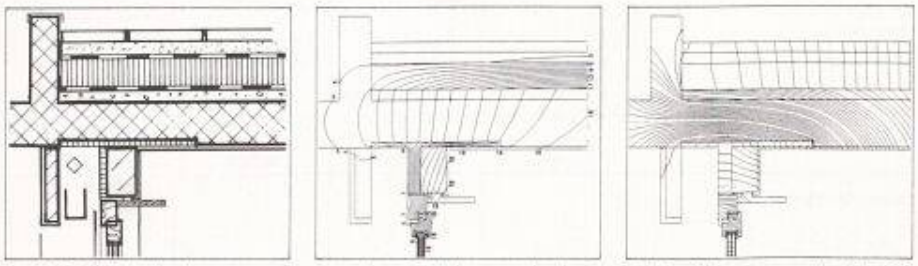


Bild 5. Flachdach mit auskragender Stahlbetondecke bei 20 °C Innen- und 4,5 °C Aussentemperatur

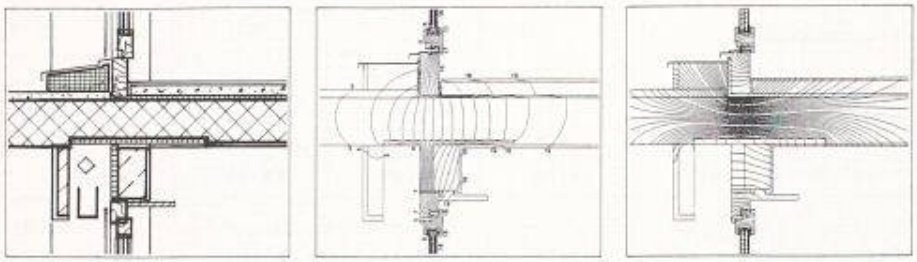


Bild 6. Durchbetonierter Balkon mit Fenstersturz und Balkontüre bei 20 °C Innen- und 4,5 °C Aussentemperatur

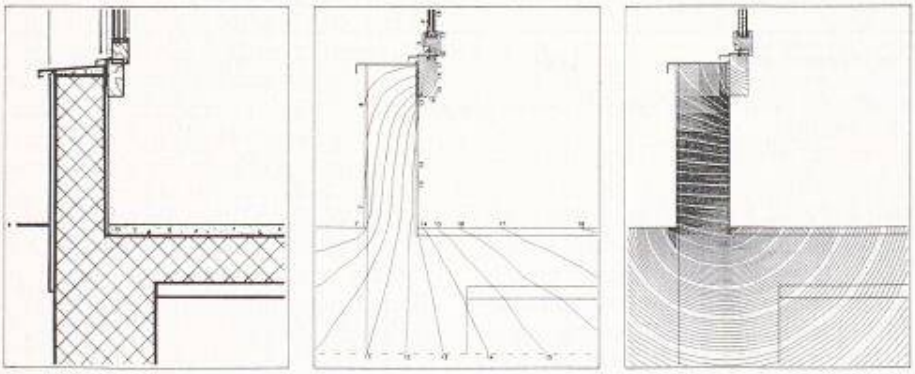


Bild 7. Sockel mit Fensteranschlag bei 20 °C Innen- und 4,5 °C Aussentemperatur

gen der Temperaturkurven im Bereich der Raumecke markieren das unerwünschte Wärmeloch.

Die Konstruktionen der Bilder 5 und 6 weisen als gemeinsame Schwachstelle eine herauslaufende durchbetonierte Decke auf. Die Kollektorwirkung der gutleitenden inneren Baumasse führt zu einer Ansammlung von Wärmestromlinien, welche die in die Decke eingelegten Wärmedämmstreifen einfach umfliessen und den Weg ins Freie finden.

Die Verdichtung der Abflusslinien ist proportional zum verstärkten Wärmeabfluss und wirkt als optischer Indikator der Wärmebrücke. In beiden Detailanalysen ist die Dämmzone der Gebäudehülle deutlich unterbrochen. Der Wärmeschutz ist aber nicht nur in den klaffenden Lücken mangelhaft, sondern auch in den gutgedämmten Anschlusszonen. Ein Einsatz von gedämmten Stahlkörben mit gutleitenden Baustahlverbindungen würde diese Lücken nicht schliessen und nur eine unwesentliche Verbesserung des Wärmeschutzes zur Folge haben.

Die drei Details der Bilder 5 bis 7 stellen die Hauptursachen des zu hohen Wärmeverlustes der Variante 1 dar. Die Mauerwerke 2,3 und 4 reagieren analog auf solche Lücken der Dämmzone, in vielen Fällen ist die Erhöhung der Transmissionsverluste noch ausgeprägter als bei Mauerwerk 1.

Adresse des Verfassers: *Conrad U. Brunner*, dipl. Arch. ETH/SIA, Lindenhofstrasse 15, 8001 Zürich, Prof. Dr. *Jürg Nänni HTL Brugg-Windisch, Christoph Sibold, Arch. HTL, Brugg.*

Literatur

[1] Brunner C.U. und Nänni J.: Wärmebrücken: Verbesserte Neubaudetails erscheint als SIA-Dokumentation, 078, 1992

[2] Brunner C.U. und Nänni J.: Wärmebrückenkatalog 1, Neubaudetails, SIA-Dokumentation 99, Zürich, 1985, Zusammenfassung in SI+A Nr. 17, Zürich, 1986

[3] Mainka G.W., Paschen H.: Wärmebrückenkatalog, Tafeln mit Temperaturverläufen, Isothermen und Angaben über zusätzliche Wärmeverluste, Stuttgart, 1986

[4] Heindl, Krec, et al.: Wärmebrücken, Wien, 1987

[5] Rudolphi R., Müller R.: Bauphysikalische Temperaturberechnung in Fortran, Stuttgart, 1985

[6] Schmidli W. und Nänni J.: ISO2 – ein Softwarepaket zur thermisch-hygrischen Bauteilanalyse, in: Statusseminar Energieforschung ETH-Z, Zürich, 1990

[7] Hauser und Stiegel: Wärmebrückenatlas, Wiesbaden und Berlin, 1990

Hinweis: Die SIA-Dokumentation D 078 «Wärmebrückenkatalog 2: Verbesserte Neubaudetails» erscheint im März 1992.