

Wärmetechnische Untersuchungen an Block- und Plattenbauten

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

1 Einleitung

Die Erhaltung eines Bauwerkes in Verbindung mit der Verbesserung des oftmals unzureichenden Wärmeschutzes ist eine der vorrangigen Maßnahmen die bestehenden Werte eines Hauses zu wahren und eine, den heutigen Wohnbedürfnissen entsprechende Nutzung zu ermöglichen. Diese Vorgaben sind Bestandteil der DIN 4108/1/. Hier werden im Teil 2, Abschnitt 3, u.a. grundlegende Aussagen über die Bedeutung und die minimale Größe des Wärmeschutzes für den Erhalt der Gesundheit/Behaglichkeit der Bewohner und für die Reduzierung des Energieverbrauchs infolge Heizung und/oder Kühlung festgelegt.

Bedingt durch die steigenden Energiepreise in den 80er Jahren wurde diese Norm durch die Wärmeschutzverordnung/2/ ergänzt, um einen zulässigen Gesamtwärmeverlust sowie einen Wärmeverlust infolge Undichtigkeiten bei Fenstern, Türen und sonstigen Fugen bei Wohngebäuden festzulegen. Diese Anforderungen reichen aber nun bei weitem nicht aus, um die von der Bundesregierung zugesagten 25 % Einsparungen der CO₂-Emissionen bis 2005 zu erreichen/3/. Entscheidende Maßnahmen zur Novelle der WSchVo sind nötig, um dieses hohe Ziel zu erreichen.

Aus diesem Grunde muss die Vielzahl der Block- und Plattenbauten der neuen Bundesländer in diese Betrachtungsweise einbezogen werden. Gerade hierbei ist es sinnvoll, die möglichen Einsatzweisen von Wärmedämmmaßnahmen genauer zu untersuchen und zu bewerten sowie hieraus für den Planenden, den Ausführenden und die behördlichen Stellen neue Randwerte für die Ausführung eines optimalen Wärmeschutzes zu geben.

2 Durchführung von Wärmedämmmaßnahmen im Wandbereich

Der Einsatz von nachträglichen Wärmedämmmaßnahmen im Wandbereich ist bauphysikalisch nicht immer unproblematisch möglich. Eine Außendämmung erscheint als die bauphysikalisch richtige Konstruktionslösung. Diese Grundregel ist bei Einsatz von Wärmedämmverbundsystemen oder außen vorgehängten Bekleidungen, auch als Wetterschale vor das Gebäude gesetzt, eingehalten. Eine weitere Möglichkeit der wärmetechnischen Verbesserung der Gebäude kann eine raumseitig vor die Außenwand gesetzte Innendämmung sein. Bei einer Ausführung einer raumseitigen Wärmedämmung muss die in das Bauteil eindiffundierende Tauwassermasse begrenzt werden. Dieses kann mit Hilfe geeigneter Materialien oder Dampfsperren (PE -, Aluminium - Folien), die raumseitig vor der Wärmedämmung angebracht werden, erfolgen. Da jedoch Stöße der Folien sowie eine Vielzahl von Anschlussdetails (z.B. Decke, Deckenbalken, Fußboden, Fenster) und nachträgliche Zerstörungen durch Installationen (z.B. elt. Anschlussdosen, Wasserleitungen, Durchbrüche) beachtet werden müssen, ist diese Art der Konstruktion umfangreich diskutiert. Bei einer Ausführung der Dämmung auf der Innenseite der Außenbauteile liegen oftmals Rohrleitungen im Frostbereich der Wand. Für wasserführende Rohre besteht die Gefahr des Einfrierens.

3 Tauwasser an der raumseitigen Wandoberfläche

Luft ist in der Lage Feuchtigkeit aufzunehmen. Wird Luft abgekühlt, steigt die relative Luftfeuchte bis auf ihren Sättigungspunkt $\varphi = 100\%$ an. Bei weiterer Abkühlung (z.B. an einer kalten Bauteiloberfläche) fällt Tauwasser aus.

Als Taupunkttemperatur der Luft bezeichnet man die Temperatur, bei der die Luft eine relative Feuchte von $\varphi = 100\%$ bezüglich Wasserdampf erreicht.

Beispiel:

Bei vollständiger Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit $\varphi = 100\%$ relativer Luftfeuchte ist die Luft bei 20°C in der Lage, 17,5 Gramm Wasser je m^3 aufzunehmen. Wird die Luft auf 0°C abgekühlt, ist sie in der Lage, nur 5 Gramm Wasser je m^3 Luft an Feuchtigkeit zu binden. Die Differenzmenge von 12,5 Gramm Wasser fällt als Kondensat (Tauwasser) aus.

Durch den Tauwasseranfall an der Oberfläche, entsteht eine Durchfeuchtung, an der sich Staub der herumwirbelnden Raumluft absetzt. Dieses feuchtwarme Milieu dient Schimmelpilzen als idealer Nährboden. Die Pilzsporen, die sich in unserer Luft befinden, lagern sich auf den feuchten Bereichen der Wandoberflächen ab und bilden dort ein weiches und flockiges Mycel, das nach wenigen Tagen neue Sporen bildet. Schimmelpilze sind im Allgemeinen Mischkulturen. Cladosporium (dunkelgrau), Alternaria (schwarz), Penicillium (türkisblau), Aspergillus (gelbgrün, grün, schwarz) sind die häufigst vorkommenden Pilzarten.

Sie wirken im Allgemeinen auf Menschen unverträglich, z.B. Aspergillus mit Allergien, Entzündungen der Atemwege, Ohr- und Hautentzündungen.

Bei den erforderlichen Betrachtungen unter Zugrundelegung der in DIN 4108 festgelegten Mindestanforderungen müssen für die Tauwasserfreiheit an der raumseitigen Oberfläche mit unterschiedlichsten Nutzerbedingungen infolge Möblierung und Wohnverhalten, die Temperaturverteilung / -schichtung im Raum, sowie die Bauteile mit ihren geometrisch und stoffbedingten Wärmebrücken betrachtet werden.

Es zeigt sich, dass sich im Raum unterschiedliche Temperaturen und Temperaturströmungen in Abhängigkeit der Lage und Art der Heizung ergeben. Diese unterschiedlichen Temperaturverteilungen und Strömungen führen durch eine Behinderung des Wärmeübergangs infolge z.B. Möblierung zu einem starken Abkühlen der Außenbauteile gerade im Bereich der Gebäudeaußenkanten und -ecken. In diesen Bereichen besteht die Gefahr eines Tauwasserausfalles an der raumseitigen Bauteiloberfläche.

Die Diagramme zeigen die Abhängigkeit der Taupunkttemperaturen von den Innenraumlufttemperaturen und der relativen Luftfeuchtigkeit wie auch die Einflüsse eines behinderten Wärmeüberganges bzw. unterschiedliche Raumlufttemperaturen.

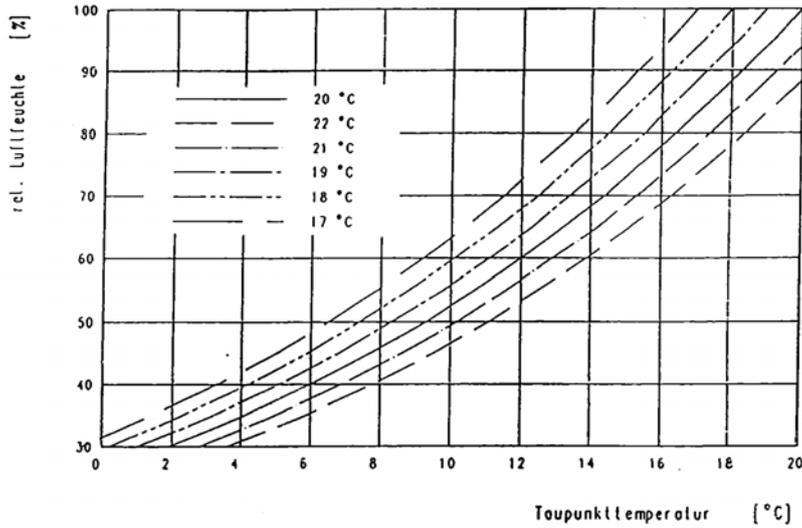


Bild 1 Taupunkttemperaturen der Luft

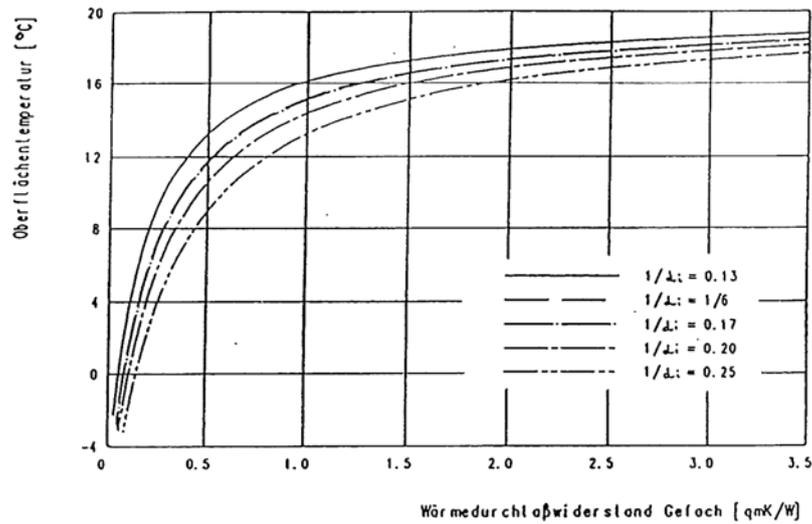


Bild 2 Einflüsse unterschiedlicher Wärmeübergangswiderstände

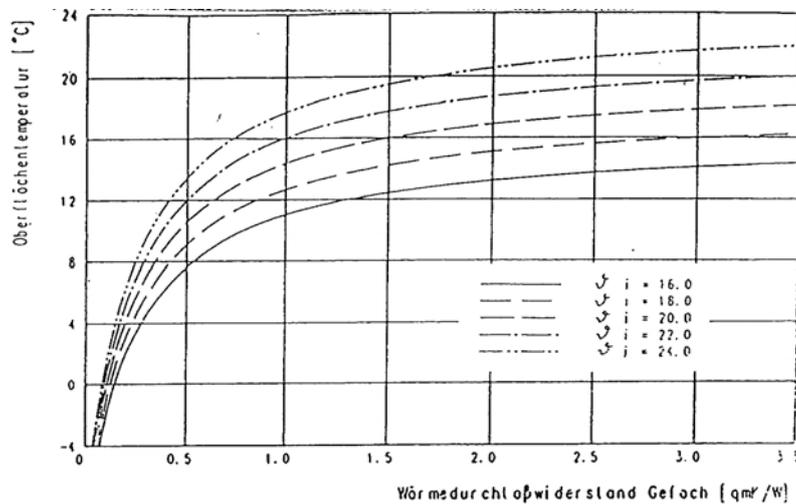


Bild 3 Oberflächentemperatur für unterschiedliche Raumlufttemperaturen

Unter Ansatz der stationären Klimabedingungen $\theta_{Li} = 20^\circ\text{C}$, $\theta_i = 50\%$ (in der Literatur allg. als übliches Raumklima' für Wohnräume bezeichnet) ermittelt sich die Taupunkttemperatur zu $9,3^\circ\text{C}$.

Legt man einen gewissen Sicherheitsfaktor, resultierend aus einem beginnenden Pilzwachstum ab ca. 80% rel. Luftfeuchte aufgrund von Kapillarkondensationsvorgängen sowie der großen Bandbreite eines möglichen Raumklimas zugrunde, sollte die Mindesttemperatur der Bauteilwandoberfläche innen, auch im Bereich von Wärmebrücken, $\theta_{oi} = 10^\circ\text{C}$ nicht unterschreiten.

4 Modellrechnungen zur Bestimmung der Temperaturfelder in Außenbauteilen

Auf der Grundlage der Bestimmung des vorhandenen Wärmedurchlasswiderstandes $1/R$ sowie des Wärmedurchgangskoeffizienten k der Außenbauteile wird der vorhandene Wärmeschutz einer Außenwand nach den Anforderungen der DIN 4108 sowie der Wärmeschutzverordnung (WSchVo) beurteilt und ggf. der erforderliche Einbau zusätzlicher Wärmedämmmaßnahmen bestimmt.

Bei der rechentechnischen Überprüfung des Bauteils sind die Anforderungen nach DIN einzuhalten. Hierbei sind stoffbedingte Wärmebrücken (WB) (ungünstigste Stelle (DIN 4108, Teil 2, Tabelle 1)) für das Bauteil, sowie geometrische Wärmebrücken näher zu untersuchen.

Zur Beurteilung der Wärmebrücken wurden die Details der Bauteile mit ihren Baustoffen erfasst und bei der Generierung in Einzelelemente aufgeteilt. Als Eingabewerte für die Baustoffe wurden die Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität berücksichtigt.

Das verwendete Programm bestimmt mit Hilfe des Differenzenverfahrens zum jeweiligen Klima die Temperaturen jedes Einzelelementes sowie die Wärmeströme an den Bauteilgrenzen. Die Genauigkeit des Verfahrens kann mit mehr als 90 % angegeben werden.

4.1 Grundlagen der Berechnung

Bei der Berechnung werden zeitlich stationäre Bedingungen und Rechenannahmen zugrunde gelegt, die auf der Grundlage nach /4/5/ beruhen.

Um die örtlichen Situationen für eine rechentechnische Untersuchung aufzuarbeiten, wurden anhand von Eigen und Literaturrecherchen die für den Block- und Plattenbau üblichen Konstruktionen und deren Baustoffe bestimmt.

In der örtlichen Situation sind eine Vielzahl unterschiedlicher Bautypen und Bauteile anzutreffen. Hierbei variieren nicht nur Ausbildung, Größe und Geometrie, sondern es liegen auch zwischen Planung und Ausführung oftmals nicht nachvollziehbare Unterschiede vor. Aus diesem Grund wurde als Basis für die dargestellten Untersuchungen die vom BMBau herausgegebenen Schriftenreihe/6/ herangezogen.

4.2 Berechnung der Temperaturfelder im Bereich der Außenbauteile

Den Berechnungen liegen die Bauteile mit den dargestellten Parametervariationen zugrunde.

Die Ergebnisse der Berechnung der Temperaturfelder resultieren aus einem bestehenden Außenbauteil, dass mittels Aufbringen eines **Wärmedämmverbundsystemes** mit mineralischer Wärmedämmung $d = 6 \text{ cm}$; $\lambda_R = 0.04 \text{ W/mK}$ wärmetechnisch verbessert wurde.

Innenlufttemperatur Wohnbereich	20° C
Innenlufttemperatur Keller	5° C
Außenlufttemperatur	-15° C.

Zum vereinfachten Lesen der Temperaturfelder der Bilder/Dias wurde folgende Darstellung gewählt:

(Rein-) Blau bzw. hell

sind die Bereiche, in denen die Temperatur bei bzw. unter 0 °C liegt, d.h. dass dieses Bauteil im frostgefährdeten Bereich liegt.

(Rein-) Rot bzw. dunkel

sind die Bereiche, die bei bzw. über der Taupunkttemperatur liegen.

Um Tauwasserfreiheit an der raumseitigen Bauteiloberfläche zu garantieren, muss die Bauteiloberfläche rot bzw. dunkel in allen Bereichen sein.

4.2.1 Oberflächentemperatur im Bereich von Wärmebrücken - Wohnungsbauserie 70 (WBS 70)

4.2.1.1 Anschluss Außenwand/Trenndecke

Die Trenndecke lagert auf einer horizontalen Aussparung der Außenwand und wird mit einem Ankerstahl in der Wand verankert.

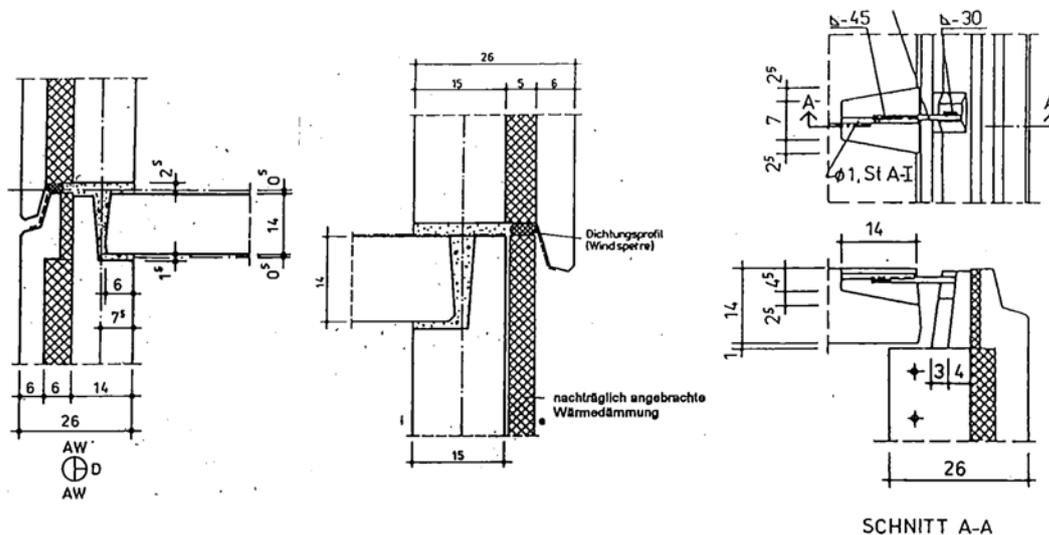


Bild 4 Detail Anschluss Außenwand/Trenndecke PH01-03

4.2.1.2 Anschluss Außenwand Kante

Hier wurde der vertikale Außenwandstoß im Eckbereich mit zusätzlicher Wärmedämmung hinter der Fuge genauer untersucht.

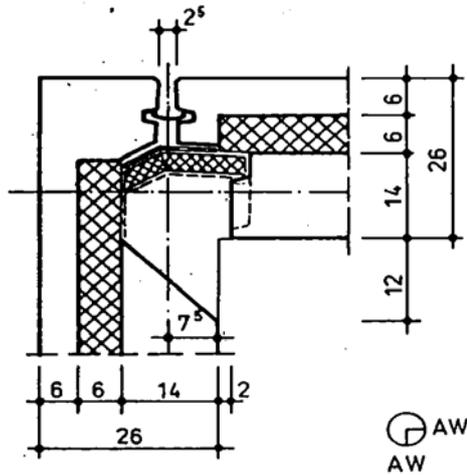


Bild 5 Detail Anschluss Außenwand Kante PH04

4.2.1.3 Anschluss Loggia/Außenwand/Trenndecke

Die horizontale Lagesicherung der Loggiaplatte erfolgt durch Stahlschlaufen, die in Aussparungen der Außenwand einbetoniert werden. Die Aussparungen sind oben und unten mit Wärmedämmmaterial ausgekleidet.

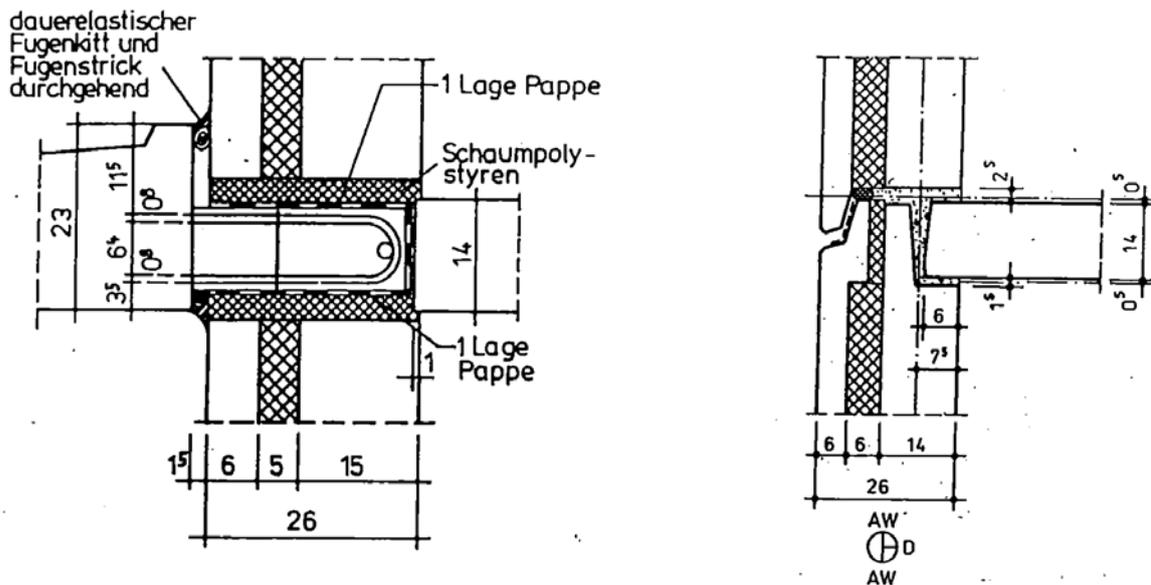


Bild 6 Detail Anschluss Loggia/Außenwand/Trenndecke PH05-06

4.2.1.4 Detail Anschluss Außenwand/Dach

Hier wurde der Anschluss der Außenwand an einem Kriech-Dachboden genauer untersucht.

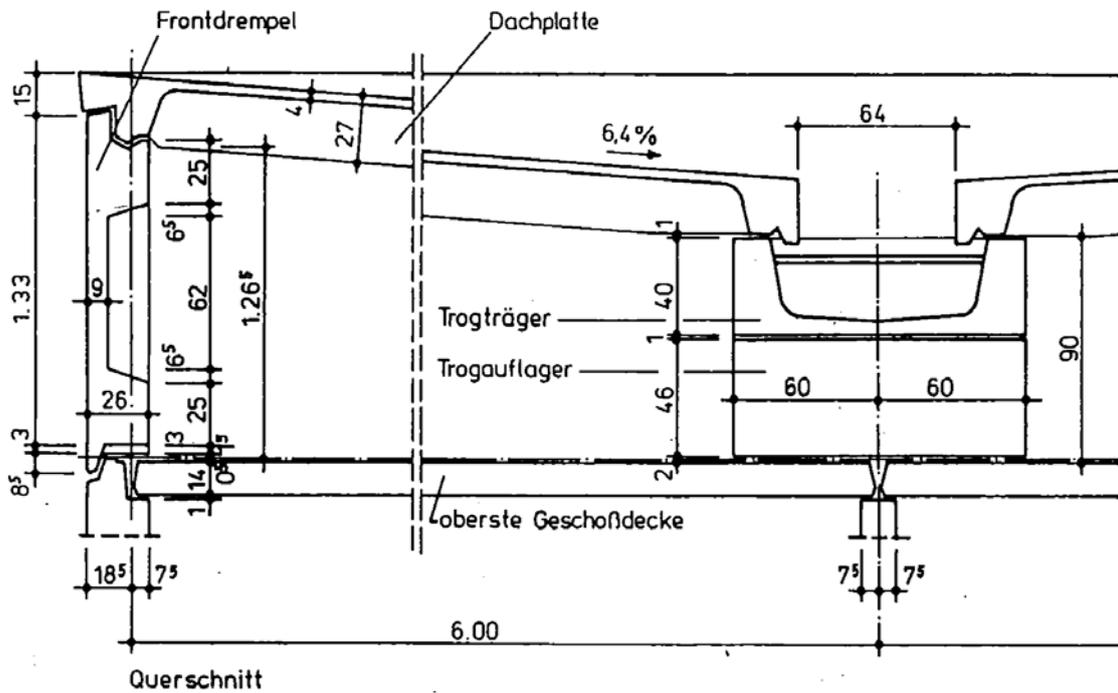


Bild 7 Detail Anschluss Außenwand/Dach PH07

4.2.2 Oberflächentemperatur im Bereich von Wärmebrücken - Blockbauart 0,8 t

4.2.2.1 Anschluss Außenwand / Trenndecke

Die zweischichtige Außenwand besteht aus einem 29 cm dicken Leichtbeton mit Innenputz. Die Trenndecke ist wie bei Detail PH01 in einer horizontalen Aussparung in der Wand aufgelagert.

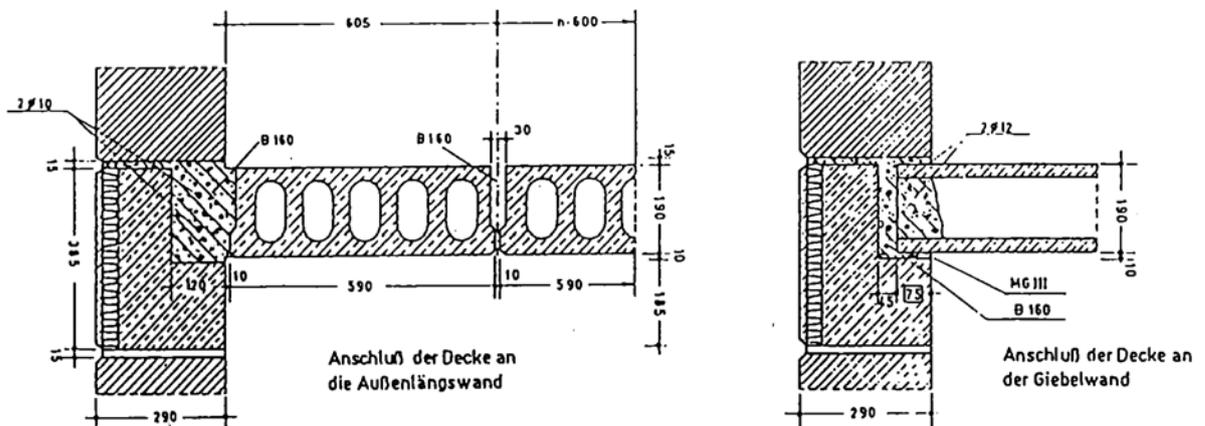


Bild 8 Anschluss Außenwand / Trenndecke PH08

4.2.3 Oberflächentemperatur im Bereich von Wärmebrücken - Typenserie P2

4.2.3.1 Anschluss Außenwand Kante

Bei der Berechnung der Wärmebrücke PH09-11 wurde der Anschluss der Außenwände im Bereich der Außenkante mit unterschiedlichen Ausbildungen genauer untersucht.

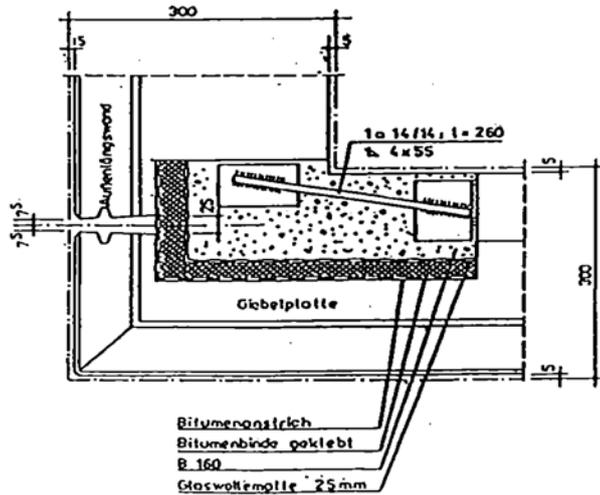


Bild 9 Detail Anschluss Außenwand Kante PH09-11

4.2.3.2 Anschluss Loggia/Außenwand/Trenndecke

Die horizontale Lagesicherung der Loggiaplatte wird durch Stahlzulagen, die in Aussparungen in der Außenwand mit der Bewehrung der Wand verschweißt werden, gewährleistet. Die Aussparungen sind mit Normalbeton verfüllt.

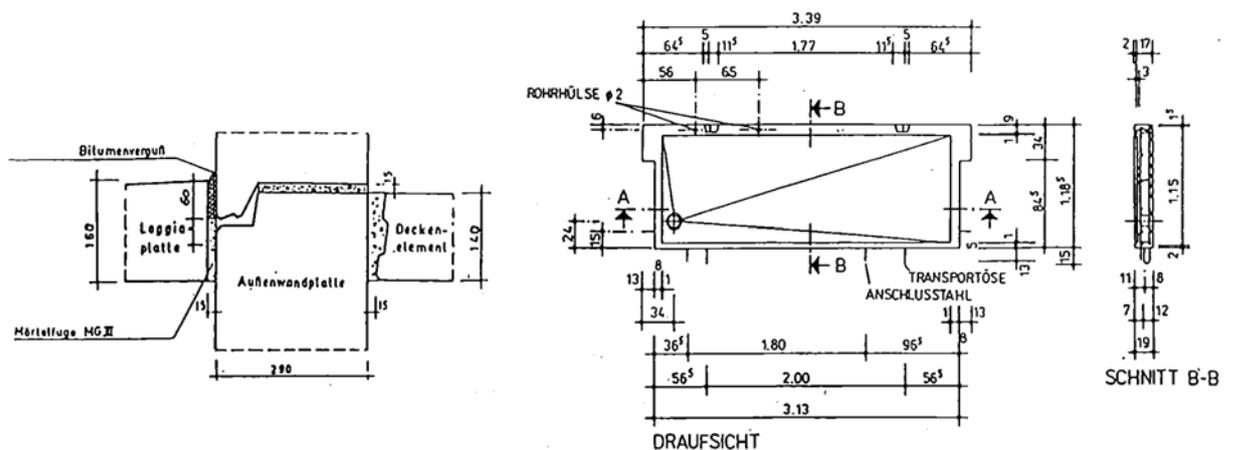


Bild 10 Detail Anschluss Loggia/Außenwand/Trenndecke PH12

4.2.3.3 Anschluss Außenwand/Innenwand

Die Anbindung der Innen- an die Außenwand erfolgt mit Stahllankern.

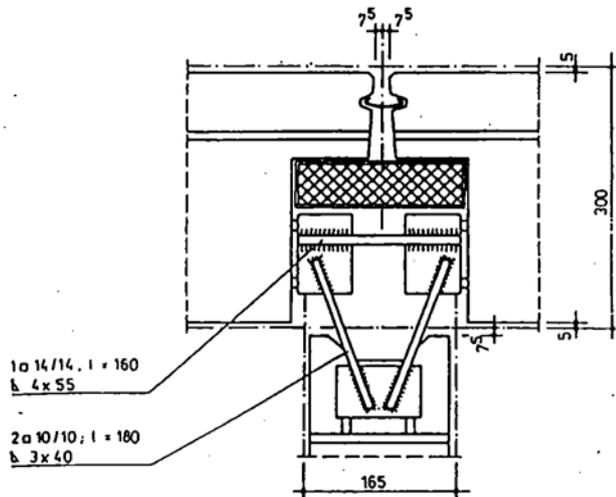


Bild 11 Detail Anschluss Außenwand/Innenwand PH13

4.2.3.4 Fensteranschluss

Beispielhaft ist in Bild [12] und [13] die Berechnung eines Temperaturfeldes beim Anschluss eines Kastenfensters an ein Leichtbetonmauerwerk untersucht und dargestellt.

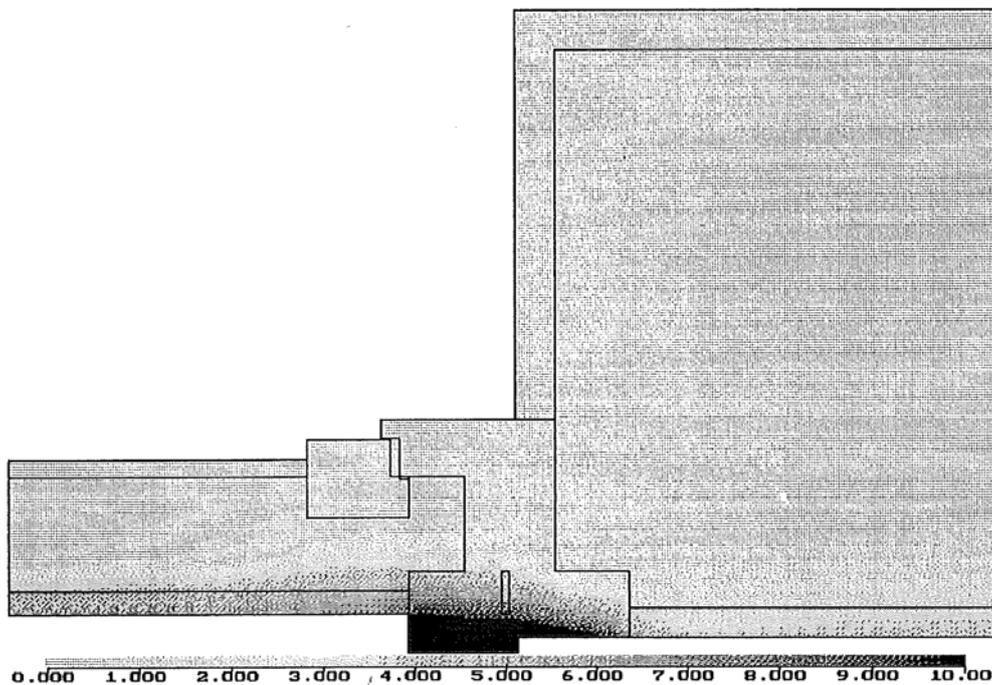


Bild 12 Wärmebrückenberechnung Anschluss Fenster PH14 - Bestand

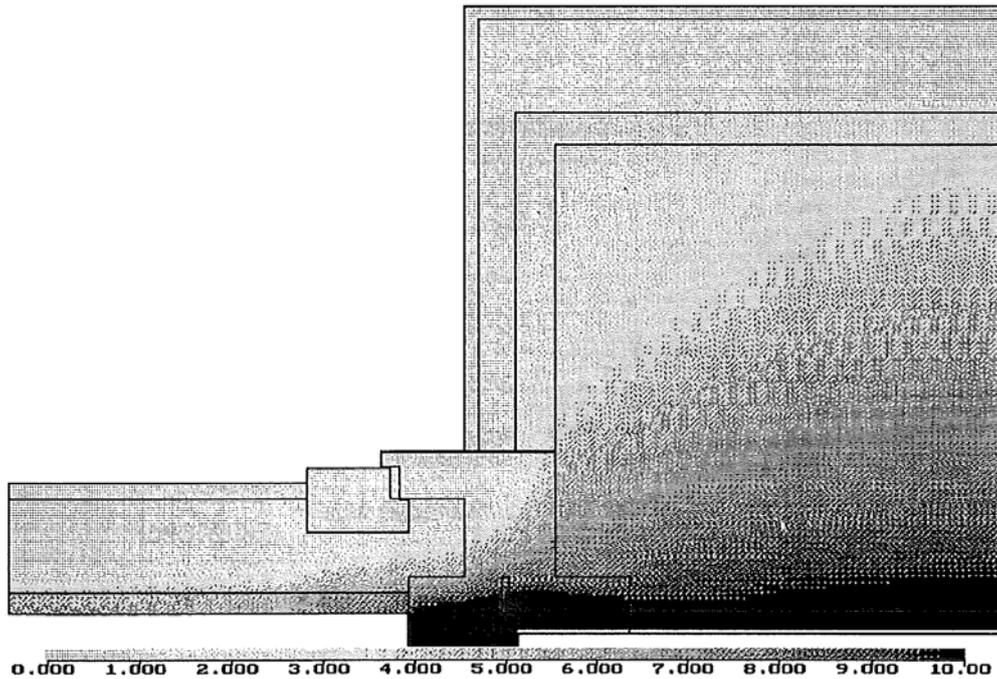


Bild 13 Wärmebrückenberechnung Anschluss Fenster PS143 - Sanierung

4.3 Ergebnisse der Berechnungen

Aufgrund der Vielzahl der Ergebnisse der untersuchten Bauteile sind diese in Tabellenform zusammengestellt.

Folgende Bauteil/Anschluss spezifische Kennwerte wurden berechnet:

$1/R$	Wärmedurchlasswiderstand	$[m^2K/W]$
k	Wärmedurchgangskoeffizient	$[W/m^2K]$
W_T	Tauwassermasse nach DIN 4108 T5	$[kg]$
W_V	Verdunstungswassermasse nach DIN 4108 T5	$[kg]$
t_V	Verdunstungszeit	$[h]$

$\theta_{O,i \text{ ung}}$	Oberflächentemperatur im ungestörten Bereich nach DIN 4108 T3.2 $[^\circ C]$
$\theta_{O,i \text{ ung}}$	Oberflächentemperatur im ungestörten Bereich nach DIN 4108 T3.1
$\theta_{O,i \text{ WB}}$	Oberflächentemperatur im Bereich von Wärmebrücken
$\theta_{O,i \text{ ung WB}}$	Oberflächentemperatur ungestörter Bereich bei Wärmebrückenberechnungen

WBS 70										
Anschluß Außenwand - Wohnungstrennendecke										
Bauteil	$\frac{1}{\lambda}$ ⁴⁾	k ⁴⁾	W _T ⁴⁾	W _V ⁴⁾	t _V ⁴⁾	Bauteil zulässig j/n ⁴⁾	g ⁴⁾ _{o,i,ung}	g ³⁾ _{o,i,ung}	g ^{1,2,5)} _{o,i,WB}	g ^{1,2,5)} _{o,i,ung}
PH01 : mit Ankerstahl	1,312	0,675	0,0659	0,121	1.173	j	17,4	16,1	¹⁾ 13,1 ²⁾ 13,4	¹⁾ 15,0 ²⁾ 15,1
PS011 : wie PH01 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,824	0,502	0,016	0,417	63	j	18	17,1	¹⁾ 15,6 ²⁾ 15,9	¹⁾ 16,5 ²⁾ 16,6
PS012 : wie PH01 mit s _{Dämmung} = 4 cm	2,324	0,401	0,013	0,416	69	j	18,4	17,7	¹⁾ 16,6 ²⁾ 16,9	¹⁾ 17,2 ²⁾ 17,4
PS013 : wie PH01 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,824	0,334	0,014	0,416	72	j	18,7	18	¹⁾ 17,3 ²⁾ 17,4	¹⁾ 17,7 ²⁾ 17,8
PH02 : wie PH01, ohne Anker	1,312	0,675	0,0659	0,121	1.173	j	17,4	16,1	¹⁾ 12,8 ²⁾ 13,6	¹⁾ 15,0 ²⁾ 15,1
PS021 : wie PH02 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,824	0,502	0,016	0,417	63	j	18	17,1	¹⁾ 15,4 ²⁾ 16,0	¹⁾ 16,4 ²⁾ 16,6
PS022 : wie PH02 mit s _{Dämmung} = 4 cm	2,324	0,401	0,013	0,416	69	j	18,4	17,7	¹⁾ 16,5 ²⁾ 16,9	¹⁾ 17,2 ²⁾ 17,3
PS023 : wie PH02 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,824	0,334	0,014	0,416	72	j	18,7	18	¹⁾ 17,1 ²⁾ 17,5	¹⁾ 17,7 ²⁾ 17,8
Anschluß Außenwand - Kellerdecke										
PH03	1,089	0,794	0	0	0	j	16,9	15,4	¹⁾ 10,3 ²⁾ 5,5	¹⁾ 14,1 ²⁾ 2,5
PS031 : wie PH03 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,795	0,509	0,032	0,431	158	j	18	17	---	---
PS032 : wie PH03 mit s _{Dämmung} = 4 cm	2,295	0,406	0,032	0,43	160	j	18,4	17,6	¹⁾ 12,4 ²⁾ 7,2	¹⁾ 16,5 ²⁾ 4,1
PS033 : wie PH03 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,795	0,337	0,031	0,428	158	j	18,7	18	¹⁾ 12,6 ²⁾ 7,4	¹⁾ 16,6 ²⁾ 4,4
Außenwanddecke										
PH04 : (Wand-aufbau wie PH01)	1,312	0,675	0,0659	0,121	1.173	j	17,4	16,1	12,1	¹⁾ 14,9 ²⁾ 15,0
PS041 : wie PH04 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,824	0,502	0,016	0,417	63	j	18	17,1	13,9	¹⁾ 16,1 ²⁾ 16,2
PS042 : wie PH04 mit s _{Dämmung} = 4 cm	2,324	0,401	0,013	0,416	69	j	18,4	17,7	15	¹⁾ 16,8 ²⁾ 16,9
PS043 : wie PH04 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,824	0,334	0,014	0,416	72	j	18,7	18	15,7	¹⁾ 17,3 ²⁾ 17,4
Anschluß Loggia - Außenwand - Wohnungstrennendecke -										
PH05 : (Wand-aufbau wie PH01)	1,312	0,675	0,0659	0,121	1.173	j	17,4	16,1	¹⁾ 8,7 ²⁾ 7,9	¹⁾ 14,1 ²⁾ 14,0
PS051 : wie PH05 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,824	0,502	0,016	0,417	63	j	18	17,1	¹⁾ 9,7 ²⁾ 8,9	¹⁾ 15,3 ²⁾ 15,2
PS052 : wie PH05 mit s _{Dämmung} = 4 cm	2,324	0,401	0,013	0,416	69	j	18,4	17,7	¹⁾ 10,2 ²⁾ 9,4	¹⁾ 15,8 ²⁾ 15,8
PS053 : wie PH05 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,824	0,334	0,014	0,416	72	j	18,7	18	¹⁾ 10,5 ²⁾ 9,7	¹⁾ 16,1 ²⁾ 16,1

¹⁾ oben / links ; ²⁾ unten / rechts ; ³⁾ 1/α_i = 0,17 , v_{L,a} = -15° C ; ⁴⁾ 1/α_i = 0,13 , v_{L,a} = -10° C ;
⁵⁾ 1/α_i = 0,20 , v_{L,a} = -15° C , v_{L,i,Wg.} = 20° C , v_{L,i,Keller} = 5° C

Anschluß Loggia - Außenwand - Kellertreppe										
PH06 : (Wand- aufbau wie PH03)	1,089	0,794	0	0	0	j	16,9	15,4	¹⁾ 8,0 ²⁾ -0,9	¹⁾ 13,8 ²⁾ 1,6
PS061 : wie PH06 mit $s_{\text{Dämmung}} = 2 \text{ cm}$	1,795	0,509	0,032	0,431	158	j	18	17	¹⁾ 8,9 ²⁾ -0,1	¹⁾ 14,9 ²⁾ 2,4
PS062 : wie PH06 mit $s_{\text{Dämmung}} = 4 \text{ cm}$	2,295	0,406	0,032	0,43	160	j	18,4	17,6	¹⁾ 9,3 ²⁾ 0,2	¹⁾ 15,4 ²⁾ 2,7
PS063 : wie PH06 mit $s_{\text{Dämmung}} = 6 \text{ cm}$	2,795	0,337	0,031	0,428	158	j	18,7	18	¹⁾ 9,5 ²⁾ 0,5	¹⁾ 15,6 ²⁾ 3,0
Anschluß Außenwand - Dach										
PH07 : (Wand- aufbau wie PH01)	1,312	0,675	0,0659	0,121	1.173	j	17,4	16,1	5,4	13,9
PS071 : wie PH07 mit $s_{\text{Dämmung}} = 2 \text{ cm}$	1,824	0,502	0,016	0,417	63	j	18	17,1	9,6	15,5
PS072 : wie PH07 mit $s_{\text{Dämmung}} = 4 \text{ cm}$	2,324	0,401	0,013	0,416	69	j	18,4	17,7	10,6	16,1
PS073 : wie PH07 mit $s_{\text{Dämmung}} = 6 \text{ cm}$	2,824	0,334	0,014	0,416	72	j	18,7	18	11,2	16,5

Blockbauart 0,8 t										
Anschluß Außenwand - Wohnungstrenndecke										
PH08	0,457	1,596	0	0	0	j	13,8	11,1	¹⁾ 10,7 ²⁾ 14,1	¹⁾ 9,9 ²⁾ 9,9
PS081 : wie PH08 mit $s_{\text{Dämmung}} = 2 \text{ cm}$	0,968	0,879	0,356	0,671	1.144	j	16,6	14,9	¹⁾ 14,8 ²⁾ 15,8	¹⁾ 14,1 ²⁾ 14,2
PS082 : wie PH08 mit $s_{\text{Dämmung}} = 4 \text{ cm}$	1,468	0,61	0,301	0,624	1.040	j	17,6	16,5	¹⁾ 16,2 ²⁾ 16,9	¹⁾ 15,9 ²⁾ 15,9

Typenserie P2										
Außenwanddecke										
PH09 : mit Ankerstahl	0,563	1,364	0,39	1,366	516	j	14,7	12,3	6,3	¹⁾ 11,5 ²⁾ 11,2
PS091 : wie PH09 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,075	0,803	0,354	0,668	1.145	j	16,9	15,4	9,6	¹⁾ 14,5 ²⁾ 14,6
PS092 : wie PH09 mit s _{Dämmung} = 4 cm	1,575	0,573	0,308	0,622	1.037	j	17,8	16,7	11,9	¹⁾ 16,0 ²⁾ 16,0
PS093 : wie PH09 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,075	0,445	0,271	0,588	940	j	18,3	17,4	13,3	¹⁾ 16,8 ²⁾ 16,8
PH10 : wie PH09 ; ohne Anker	0,563	1,364	0,39	1,366	516	j	14,7	12,3	6,8	¹⁾ 11,5 ²⁾ 11,2
PS101 : wie PH10 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,075	0,803	0,354	0,668	1.145	j	16,9	15,4	9,8	¹⁾ 14,5 ²⁾ 14,6
PS102 : wie PH10 mit s _{Dämmung} = 4 cm	1,575	0,573	0,308	0,622	1.037	j	17,8	16,7	12	¹⁾ 16,0 ²⁾ 16,0
PS103 : wie PH10 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,075	0,445	0,271	0,588	940	j	18,3	17,4	13,4	¹⁾ 16,8 ²⁾ 16,8
PH11 : wie PH10 ; mit Normalbeton	0,148	3,148	---	---	---	n !	7,7	(TW) 3,4	1,1	¹⁾ 2,9 ²⁾ 2,1
PS111 : wie PH11 mit s _{Dämmung} = 2cm	0,659	1,206	0	0	0	j	15,3	13,2	9,4	¹⁾ 11,3 ²⁾ 11,4
PS112 : wie PH11 mit s _{Dämmung} = 4 cm	1,159	0,752	0	0	0	j	17,1	15,7	12,6	¹⁾ 14,1 ²⁾ 14,2
PS113 : wie PH11 mit s _{Dämmung} = 6 cm	1,659	0,547	0	0	0	j	17,9	16,8	14,3	¹⁾ 15,5 ²⁾ 15,6
Anschluß Loggia - Außenwand - Wohnungstrenndecke										
PH12 : (Wand-aufbau wie PH10)	0,563	1,364	0,39	1,366	516	j	14,7	12,3	¹⁾ 9,7 ²⁾ 11,4	¹⁾ 11,1 ²⁾ 11,1
PS121 : wie PH12 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,075	0,803	0,354	0,668	1.145	j	16,9	15,4	¹⁾ 11,3 ²⁾ 12,7	¹⁾ 14,2 ²⁾ 14,3
PS122 : wie PH12 mit s _{Dämmung} = 4 cm	1,575	0,573	0,308	0,622	1.037	j	17,8	16,7	¹⁾ 11,9 ²⁾ 13,2	¹⁾ 15,5 ²⁾ 15,5
PS123 : wie PH12 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,075	0,445	0,271	0,588	940	j	18,3	17,4	¹⁾ 12,4 ²⁾ 13,7	¹⁾ 16,1 ²⁾ 16,3
PH13 : (Wand-aufbau wie PH10)	0,563	1,364	0,39	1,366	516	j	14,7	12,3	¹⁾ 12,5 ²⁾ 12,5	¹⁾ 11,5 ²⁾ 11,5
PS131 : wie PH13 mit s _{Dämmung} = 2 cm	1,075	0,803	0,354	0,668	1.145	j	16,9	15,4	¹⁾ 15,5 ²⁾ 15,5	¹⁾ 14,8 ²⁾ 14,8
PS132 : wie PH13 mit s _{Dämmung} = 4 cm	1,575	0,573	0,308	0,622	1.037	j	17,8	16,7	¹⁾ 16,7 ²⁾ 16,7	¹⁾ 16,2 ²⁾ 16,2
PS133 : wie PH13 mit s _{Dämmung} = 6 cm	2,075	0,445	0,271	0,588	940	j	18,3	17,4	¹⁾ 17,4 ²⁾ 17,4	¹⁾ 17,0 ²⁾ 17,0
Fenster : Temperaturen siehe Skizze										

¹⁾ oben / links ; ²⁾ unten / rechts ; ³⁾ 1/α_i = 0,17 , v_{L,a} = -15° C ; ⁴⁾ 1/α_i = 0,13 , v_{L,a} = -10° C ;

⁵⁾ 1/α_i = 0,20 , v_{L,a} = -15° C , v_{L,i,Wing} = 20° C , v_{L,i,Keller} = 5° C

5 Reduzierung des Wärmebedarfes von Gebäuden

Bei einer wärmetechnischen Sanierung eines Gebäudes stehen folgende Bauteile für eine Reduzierung der Wärmeverluste zur Verfügung:

- Fenster und/oder Außentüren
- Dach oder Decke zum nicht ausgebauten Dachraum
- Fußböden zum Erdreich oder Keller
- Außenwände

Mit geringen baukonstruktiven und bauphysikalischen Schwierigkeiten lassen sich Fenster (durch eine Isolierverglasung oder den Einbau eines zweiten Fensters), Fußböden (durch einen neuen Unter- oder Oberbau), Decken zum nicht ausgebauten Dachgeschoß sowie geneigte Dächer (durch Ein- oder Auflegen einer Dämmschicht) oder Flachdachkonstruktionen (durch Auflegen zusätzlicher Wärmedämmschichten) wärmetechnisch entscheidend verbessern.

Untersuchungen/7/ zeigen, dass der Einsatz von überdimensionierten, **raumseitigen** Wärmedämmmaßnahmen im Bereich von **Außenwänden** zu einem Tauwasserausfall im Bauteil führen können; siehe auch /8/9/.

Aus diesem Grunde wurden an einem Blockbau in Weimar West, Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmeverluste eines Gebäudes in Abhängigkeit möglicher Einsatzgebiete der Dämmung durchgeführt.

5.1 Wärmebedarf eines Gebäudes

5.1.1 Berechnungsgrundlagen

Mit einem von Prof. Gronau u. A. entwickelten Programmsystem zur Abschätzung des Energiebedarfes und der Energiekennzahl wurden die Gebäude näher betrachtet.

Für die Berechnungen wurde ein Gebäude mit

5340 m ²	Bezugsfläche
15270 m ³	Umbauter Raum

ausgewählt.

Sanierungen der Innenwände und der Geschoßdecken wurden, soweit sie vom Wärmebedarf des Gebäudes unbeeinflusst sind, nicht berücksichtigt. Hierbei sei auf die aktuelle Veröffentlichung von Hauser/10/ verwiesen.

Bei den Sanierungsvarianten 2 bis 5 wurden für die Bauteile die wärmeschutztechnischen Anforderungen nach WSchVo '82 zugrunde gelegt.

Varianten der wärmetechnischen Sanierung

Die Varianten 2 bis 5 werden im Weiteren additiv durch wärmetechnische Maßnahmen ergänzt.

1 - Vorhandenes Gebäude

k_{Fenster}	= 2.90	(W/m ² K)	$g=0.80$
$k_{\text{Decke Dach}}$	= 2.34	(W/m ² K)	
$k_{\text{Decke KG}}$	= 2.30	(W/m ² K)	
$k_{\text{Wand,Nord}}$	= 1.49	(W/m ² K)	
$k_{\text{Wand,Süd}}$	= 1.60	(W/m ² K)	
$k_{\text{Giebel,Ost}}$	= 1.23	(W/m ² K)	
$k_{\text{Giebel,West}}$	= 1,23	(W/m ² K)	

2 - Sanierung der Fenster

k_{Fenster}	= 1.50	(W/m ² K)	$g=0.80$
----------------------	--------	----------------------	----------

3 - Sanierung 2, zusätzlich Sanierung Fußboden/Decke über KG

k_{Boden}	= 0.52	(W/m ² K)
--------------------	--------	----------------------

4 - Sanierung 3, zusätzlich Sanierung Dach

k_{Dach}	= 0.37	(W/m ² K)
-------------------	--------	----------------------

5 - Sanierung 4, zusätzlich Sanierung der Giebel und der Nordwand mit einem Wärmedämmverbundsystem entsprechend WSchVo '82

k_{Wand}	= 0.36	(W/m ² K)
-------------------	--------	----------------------

5.1.2 Berechnung des Heizwärmebedarfes

Die durchgeführten Maßnahmen an dem Gebäude Weimar West Block 41/42 beeinflussen den Heizwärmebedarf entsprechend Bild [14]:

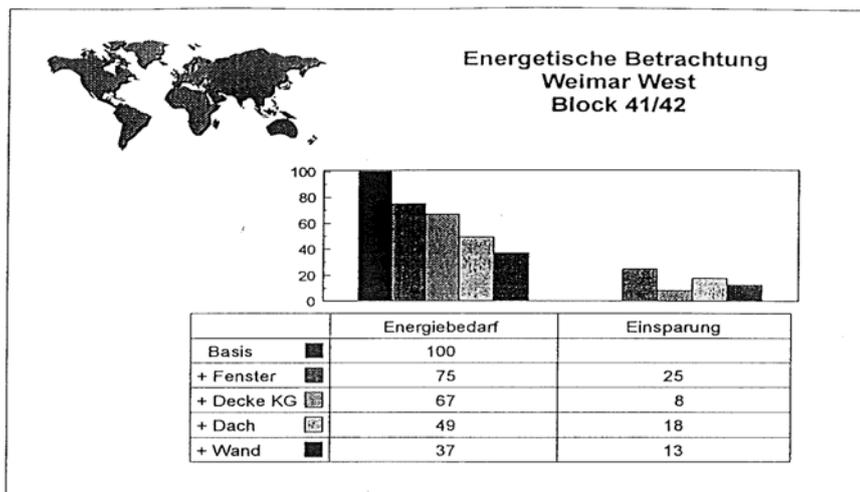


Bild 14 Heizwärmebedarf unterschiedlicher Sanierungsvarianten

Aus den Berechnungen wird deutlich, dass es möglich wird, eine Reduzierung des Heizwärmebedarfes von Block- und Plattenbauten durch geeignete Wärmedämmmaßnahmen zu erreichen um

bis zu 63 %.

5.1.3 Darstellung der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme

Um die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsvarianten beurteilen zu können, wird i.A. die Amortisationszeit unter Zugrundelegung eines zu erwartenden Preisindexes für die kWh angesetzt. Da aber nun gerade diese Größe über Nutzungszeiten der Varianten zwischen 20 - 30 Jahren nicht prognostiziert werden können, wird im Weiteren der Freisetzungsaufwand der Maßnahmen betrachtet. Hierbei werden die Kosten von

einer eingesparten kWh

betrachtet.

Die Kosten der Maßnahme mit ihrer min. Nutzungszeit sind in der nachstehenden Tabelle für das Gebäude dargestellt.

Variante	geschätzte Kosten [DM]	geschätzte MEHR-Kosten [DM]	Nutzungszeit [Jahre]
2	440.000,--	300.000,00	20
3	65.000,--	65.000,00	30
4	210.000,--	105.000,00	30
5	220.000,--	110.000,00	30

Der Freisetzungsaufwand sowie die im Januar 1993 von einem Energieversorgungsunternehmen festgestellten Kosten für unterschiedlichste Energieträger der Heizenergie des Gebäudes sind in Bild [15] dargestellt.

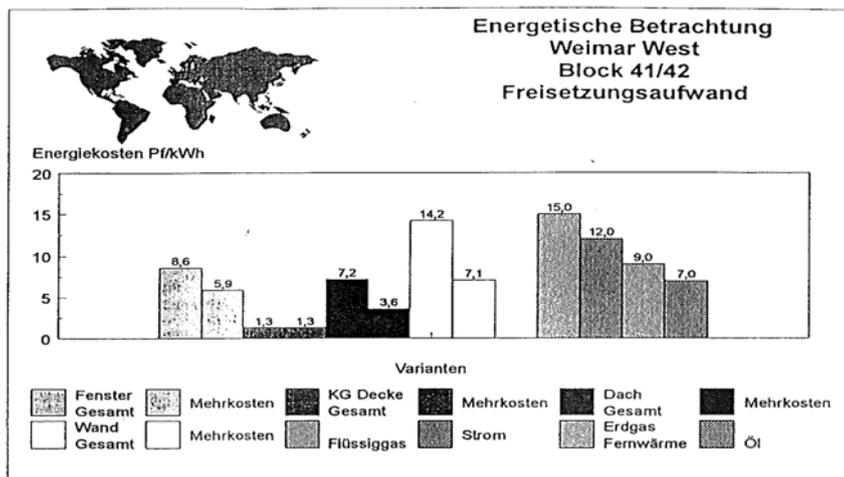


Bild 15 Freisetzungsaufwand/Energiekosten

Es zeigt sich, dass die Sanierungsmaßnahmen in Abhängigkeit der gewählten/vorhandenen Energieträger bewertet werden müssen.

Die dargestellten Kosten der eingesparten kWh können hierbei unabhängig von Prognosen der Energiepreissteigerung auch in Zukunft mit den dann jeweils gültigen Energiekosten direkt verglichen werden.

6 Untersuchung des energetischen Verhaltens unter instationären Bedingungen

6.1 Beschreibung des verwendeten Rechenverfahrens

Auf der Grundlage eines vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau finanzierten Rechenprogrammes zur Ermittlung von Luft- und Bauteiltemperaturen sowie Heiz- und Kühlleistungen wurden Analysen des Temperaturverhaltens sowie des energetischen Leistungsbedarfs durchgeführt.

Das von Dr.- Ing. F. Haferland, Dr. phil. W. Heindl und Dipl.-Ing. H. Fuchs erstellte Rechenprogramm berücksichtigt dynamische Effekte in einem eingeschwungenen Zustand basierend auf den gebäudespezifischen Grundlagen.

Die Variation der Randbedingungen die ein Bauwerk belasten ermöglicht es, eine Optimierung des Wärmeschutzes von Gebäuden rechnerisch durchzuführen.

Anhand von Vergleichsrechnungen zur DIN 4701 und der VDI-Richtlinie 2078 /11/ konnte die Aussagefähigkeit des Verfahrens überprüft werden.

6.2 Bestimmung des Energetischen Bedarfes der Einzelwohnungen

Eine der wesentlichen Fragestellungen bei der energetischen Betrachtung von großen Block- und Plattenbauten ist die Lage der Wohnung im Baukörper.

Für die Untersuchungen wurden in Anlehnung an die Veröffentlichung von Hauser/10/ die Wohnbauten Weimar West betrachtet.

Segment eines Mehrgeschoßbaus mit 5 x 3 Wohneinheiten und 2 Treppenhäusern

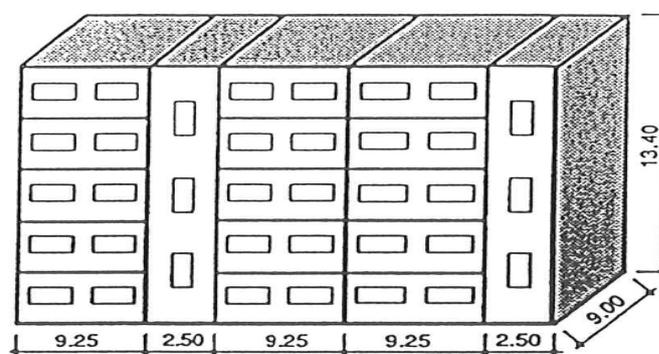
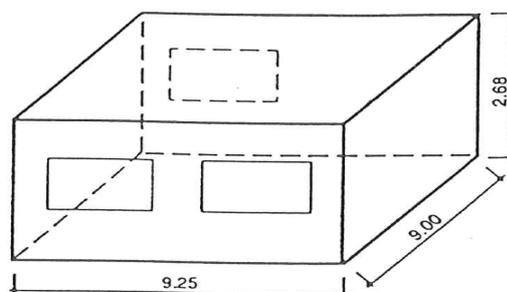


Bild 16 Segment der untersuchten Mehrgeschoßbauten mit Treppenträumen



Fensterflächenanteil 25 %
davon Rahmenanteil 30 %

Bild 17 Wohneinheit, siehe auch /10/

Bei der Betrachtung der Wohneinheiten muss nach der Lage im Baukörper unterschieden werden:

- **Dachlagen**
dieses sind Wohnungen, die zum nicht ausgebauten Dachraum (Kaltdach), oder zum Flachdach (Warmdach) grenzen
- **Mittelwohnungen**
dieses sind Wohnungen, die sich in einer Mittellage des Gebäudekörpers befinden
- **Kellerlage**
dieses sind Wohnungen, die sich im Anschluss zum nicht beheizten Keller befinden
- **Randwohnungen**
dieses sind Wohnungen, die sich im Anschluss zu einem Giebel befinden

Für die dargestellten Wohnungen wurde im Weiteren der Transmissionswärmeverlust der Außenbauteile bei einer Innentemperatur von 20°C und einer Außentemperatur von -14°C sowie die solaren Gewinne näher betrachtet für

- **den Bestand**
- **die wärmetechnische Sanierung.**

Die Lüftungswärmeverluste je Wohneinheit sind bei rechentechnischer Betrachtung als gleich anzunehmen. Wärmeverluste über die Innenbauteile der Wohnungen untereinander wurden nicht betrachtet.

Die Energieverluste zeigen sich zu:

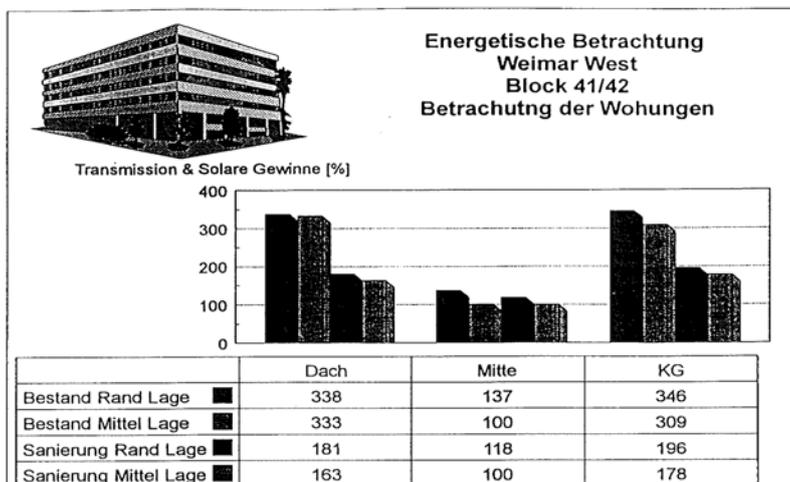


Bild 18 Energieverluste der Wohneinheiten in Abhängigkeit der Lage im Baukörper

Die Berechnungen zeigen, dass bei der Zugrundelegung der mittleren Wohneinheit als Basis 100% Energieverluste bis zum 3-fachen Wert, Wohnungen Randlage Dach und Keller, auftreten können. Mit durchgeführter, wärmetechnischer Sanierung kann der Energieverlust auf den doppelten Wert beschränkt werden.

Aus diesen Berechnungen wird deutlich, warum bei 'üblicher' Heizkostenabrechnung die Mittleren Wohnungen bevorzugt werden!

Um diesem 'Unrecht' entgegenzuwirken sind weitere Untersuchungen erforderlich, um in Abhängigkeit der Lage der Wohnungen durch unterschiedliche Wärmedämmmaßnahmen eine möglichst 'gerechte' Heizkostenverteilung zu erreichen.

7 Literaturnachweis

1. DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, 1981, 1991
2. Wärmeschutzverordnung vom 14.02.1981
3. Gertis
Verstärkter baulicher Wärmeschutz, Bauphysik-Kongress 1991
4. Leimer
Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkgebäude, Dissertation Weimar 1991
5. BBS INGENIEURBÜRO, Berichte Nr. 1 und 2, 1991-92
6. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in Plattenbauweise
7. BBS INGENIEURBÜRO, Berichte Nr. 3 bis 7, 1992-93
8. Achtziger
Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung;
wksb-Sonderausgabe 1985
9. Kießl
Wärmeschutzmaßnahmen durch Innendämmung / Beurteilung und Anwendungsgrenzen aus feuchte-
technischer Sicht; wksb Heft 31/1992
10. Hauser
Thermische Entkoppelung von Wohnungen durch Wand- und Deckenbekleidungen, Bauphysik 4, 1993
11. VDI 2078, Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume, Entwurf 1990