

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 101 (1983)
Heft: 38

Artikel: Zur Konzipierung von wärmegeprägten Grundwasserkonstruktionen
Autor: Bangerter, Heinz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75195>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

Zur Konzipierung von wärmegeämmten Grundwasserkonstruktionen

Von Heinz Bangerter, Zürich

Der vorliegende Aufsatz behandelt Fragen, die sich bei wärmegeämmten, im Grundwasser liegenden Flachfundationen stellen. Ausgangspunkt bilden die übergeordneten Abhängigkeiten aus Baugrund- und Bauplatzverhältnissen, Gebäudelasten und Raumnutzung der Untergeschosse, wonach sich das Abdichtungs- und Wärmedämmsystem zu richten hat. Daraus werden ein paar allgemein gültige Planungsgrundsätze abgeleitet.

Mit Blick auf die Kosten-/Nutzenbetrachtung einer wärmegeämmten Grundwasserkonstruktion werden geeignete Berechnungsverfahren zur Ermittlung der mutmasslichen Betriebskosteneinsparungen vorgestellt und auf die Einsatzgrenzen der speziell eingebauten Wärmedämmung aus betriebswirtschaftlicher Sicht hingewiesen. Ein Vorschlag zur Bemessung eines doppelten Wannensbodens mit dazwischenliegender Wärmedämmung aus Schaumglas soll den besonderen Gründungsverhältnissen der Gebäudelasten Rechnung tragen und mithelfen, die statisch bedingten Mehrkosten dieser Konstruktion abschätzen zu können.

Prioritäten und Abhängigkeiten

Allgemeines

Baugrund und Gebäudelasten bestimmen grundsätzlich die Art der Fundation. Für die weiteren Ausführungen ist davon auszugehen, dass der Entscheid zugunsten einer Plattenfundation gefallen ist. Bauplatzverhältnisse und Höhe des Grundwasserspiegels werden weiter darüber bestimmen, ob eine offene oder geschlossene Baugrube, und ob eine starre oder eine flexible Abdichtung zur Anwendung gelangen wird. Erst aufgrund dieser Gegebenheiten und je nach Art der Raumnutzung der Untergeschosse wird es sich zeigen, ob und in welcher Weise hier eine *separate Wärmedämmung* eingebaut werden soll.

Während die Begriffe «offene bzw. geschlossene Baugrube» sowie die dazu verwendeten Bauverfahren als bekannt vorausgesetzt werden [1], sollen zur Verständigung die Begriffe «starre bzw. flexible Abdichtung» und ihre Wirkungsweisen auszugswise aus [2] beschrieben werden.

Definition der Abdichtungssysteme

Die zur Abdichtung von Bauwerken gegen eindringendes Wasser gebräuchlichen Verfahren können in *zwei Hauptgruppen* aufgeteilt werden. Ihre Unterscheidung resultiert weniger aus der Art der verwendeten Materialien als vielmehr aus ihrem *unterschiedlichen Verhalten zum Abdichtungsträger*, also beispielsweise

gegenüber der abzudichtenden Betonwand.

Starre Abdichtung: *Eine starre Abdichtung ist vom Dehnungsverhalten der Unterlage direkt abhängig; reisst der Abdichtungsträger beispielsweise infolge statischer oder thermischer Überbeanspruchung, so tut dies auch eine im Verbund aufgebrachte, starre Dichtung.*

Die starre Abdichtung kann grundsätzlich aus einer wasser- oder raumseitig im festen Verbund auf den Abdichtungsträger aufgebrachten, speziellen Dichtungsschicht - z.B. in Form von zementösen Verputzen - bestehen. Ebenso gilt aber auch ein sogenannt wasserdichter Sperrbeton - im Sinne seiner «Immunität» gegen die durch das hydrostatische Druckgefälle bedingte Sickerströmung - als starre Abdichtung. Eine ausreichende Dichtigkeit ist dann gegeben, wenn die pro Zeiteinheit durch den Querschnitt sickernde Wassermenge kleiner ist als die in gleicher Zeit durch das Wasserdampf-Partialdruckgefälle zwischen Wand-Innenfläche und Raumluft mögliche Feuchtigkeitsabfuhr.

Flexible Abdichtung: *Eine flexible Abdichtung, die mit ihrem statischen Träger grossflächig verbunden ist, wird von dessen Verformungsverhalten ohne Schadenfolge beansprucht.*

Die flexible Abdichtung besteht im allgemeinen aus *ein- bis mehrlagigen Dichtungsbahnen* auf Kunststoff- oder Bitumenbasis mit extrem kleinen Durchlässigkeitswerten; sie muss daher immer wasserseitig des Abdichtungsträgers aufgezogen werden.

Wirkungsweise der Abdichtung

Mit Ausnahme von Metall und Glas weisen praktisch alle Baumaterialien eine gewisse *Wasserdurchlässigkeit* auf. Bekannt sind häufig die ungefähren Durchlässigkeitswerte für Wasserdampf-Diffusion. Sickerwasserbeiwerte sind dagegen ausser bei der Bodenklassifikation nur für wenige Baustoffe bekannt. Es liegt jedoch die Vermutung nahe - und wird für den Baustoff «Beton» bestätigt -, dass sich die Durchlässigkeitsbeiwerte «mehr oder weniger dichter Baustoffe» unter gleichen Bedingungen (gleiche Partialdruckdifferenz bzw. gleiche hydrostatische Druckdifferenz) für *Wasserdampfdurchgang* und für *Sickerwasserdurchgang* in der gleichen Grössenordnung bewegen.

Mit dem Einbau einer speziellen Abdichtung geringer Durchlässigkeit wird also grundsätzlich der zu starke Sickerstrom durch die reine Betonkonstruktion bei hohem hydrostatischem Druck auf ein «nicht mehr messbares Mass» reduziert. Durch die damit entstehende Mehrschichtigkeit der Konstruktion ergibt sich im *Durchlässigkeitsverhalten* eine *vollständige Analogie* zum *Diffusionsverhalten* oder zum *Wärmedurchgangverhalten* eines mehrschichtigen Bauteils:

$$(1) \text{ Sickerstrom} = \frac{\Delta p_w}{d/\lambda_s}$$

$$(2) \text{ Diffusionsstrom} = \frac{\Delta p}{d/\lambda_D}$$

$$(3) \text{ Wärmestrom} = \frac{\Delta t}{d/\lambda_r + \ddot{u}}$$

Δp_w	Wasserdruckdifferenz
d/λ_s	Sickerwiderstand
Δp	Partialdruckdifferenz
d/λ_D	Diffusionswiderstand
Δt	Temperaturdifferenz
$d/\lambda_r + \ddot{u}$	Wärmedurchgangswiderstand
\ddot{u}	Übergangswiderstände

Bild 1 zeigt die Veränderung des *Druckverlaufs* durch den Querschnitt, wenn aussen- bzw. raumseitig eine abdichtungstechnische, diffusionstechnische oder wärmetechnische Zusatzmassnahme getroffen wird. Insbesondere ist in Bild 1.1 zu erkennen, dass eine raumseitig der Tragkonstruktion aufgebrachte Zusatzdichtung einer um so grösseren hydrostatischen Beanspruchung hinsichtlich *Untergrundhaftung* ausge-

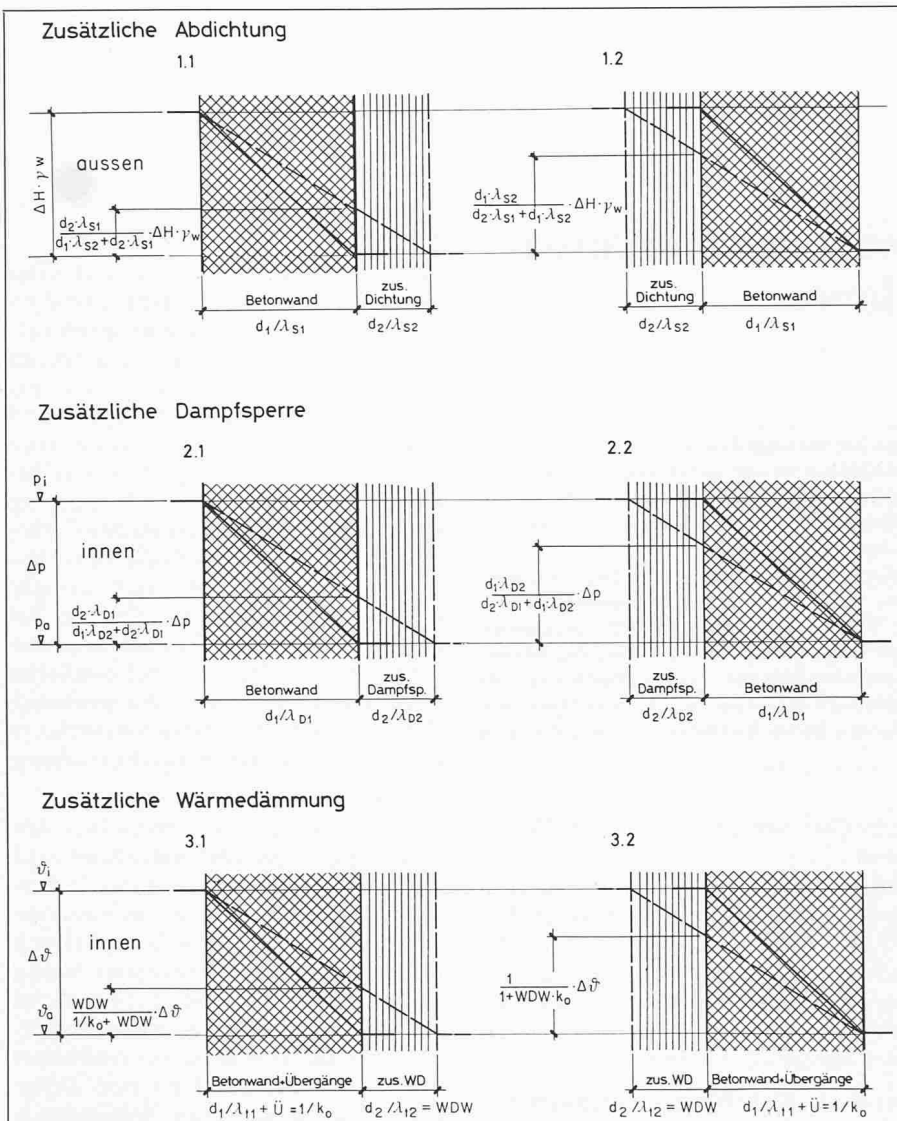


Bild 1. Änderung des Druckverlaufs durch Betonwand infolge Zusatzmassnahme

setzt wird, je grösser ihr anteilmässiger Beitrag zum Sickerwiderstand des Gesamtquerschnittes ist.

Zusammen mit einer zementösen, starren Abdichtung von beispielsweise 3 cm Stärke reduziert sich der Sickerstrom durch eine 30 cm dicke Betonwand auf die Hälfte, wenn die spezifische Durchlässigkeit des Dichtungsmaterials mit $1/10$ derjenigen des Betons angenommen wird. Damit wirkt aber ein permanenter Wasserdruck entsprechend $1/2$ Wassersäule auf die Haftfläche des raumseitig aufgetragenen Dichtungspuzzes. Es ist hier also zu prüfen, ob damit ein dauerhafter Verbund zwischen zementöser Dichtung und Betonwand sichergestellt bleibt, und ob die Dichtigkeit des Gesamtquerschnittes dermassen verbessert wird, dass die nun auf die Hälfte reduzierte Sickermenge pro Zeiteinheit raumseitig kontinuierlich verdunsten kann. Ist das zweite nicht der Fall, so kann die Schichtdicke des Dichtungspuzzes allerdings nicht beliebig verstärkt werden, weil damit auch die Beanspruchung der Haftfläche proportional zunimmt.

Aus diesem Grund kann eine flexible Abdichtung grundsätzlich nicht raumseitig der Tragkonstruktion aufgezogen werden, denn ihr spezifischer Sperrwiderstand gegen drückendes Wasser ist um mindestens zwei Zehnerpotenzen grösser als der einer sogenannten starren, insbesondere zementösen Dichtung, so dass hier praktisch der ganze Wasserdruck auf die Klebefläche einwirken würde.

Aus diesen Überlegungen muss hinsichtlich allfälliger Wärmedämmungen im Grundwasserbereich gefolgert werden, dass solche immer nur in Kombination mit einer aussenseitig der Tragkonstruktion aufgetragenen, flexiblen Abdichtung zum Einsatz gelangen dürfen: Neben dem Problem des unzulässigen Druckaufbaus bei raumseitig aufgetragener Wärmedämmung – speziell, wenn diese aus wasserdichten Schaumglasplatten bestehen – ergäben sich zudem bei lokalen Rissbildungen im starren Dichtungssystem – was grundsätzlich stets einkalkuliert werden muss – wesentlich erschwerte Reparaturmöglichkeiten.

Planungsgrundsätze

Tabelle 1 zeigt die Merkmale von Grundwasserkonstruktionen, die als Entscheidungskriterien für die Anordnung einer Wärmedämmung massgebend sind. Es wird dabei angenommen, dass der vorgesehene Einbau aus energetischen, betriebswirtschaftlichen und/oder aus hygienischen Gründen zu befürworten ist (vollbeheizte Untergeschosse, niedrige «Erdrücktemperatur», hohe Raumluftfeuchte usw.).

Unter Berücksichtigung der gründer-technischen Prioritäten ergibt sich für das zu wählende Abdichtungs- und Wärmedämmsystem der in Bild 2 dargestellte Relevanzbaum. Daraus können die folgenden, allgemein gültigen Planungsgrundsätze abgeleitet werden.

Grundsatz 1: Eine spezielle Wärmedämmung ist nur bei Untergeschossen anzuordnen, die vollbeheizt sind und permanent im Grundwasser stehen.

Wie der Abschnitt «Wirtschaftlichkeit der Wärmedämmung» zeigt, lohnt sich der Einbau einer separaten Wärmedämmung ohne ausreichendes Temperaturgefälle, also beispielsweise für bloss teilbeheizte Räume gegen trockenes Erdreich, im allgemeinen nicht.

Grundsatz 2: Eine separate Wärmedämmung ist immer in Kombination mit einer flexiblen Abdichtung einzubauen.

Eine aussenseitig und in ständigem Druckwasserkontakt liegende Dämmung eines starren Abdichtungssystems ist von zweifelhaftem Nutzen und von fragwürdiger Dauerhaftigkeit. Ebenso ist die raumseitige Applikation wegen des unzulässigen Druckaufbaus und der behinderten Reparaturmöglichkeit des starren Dichtungssystems zu unterlassen.

Grundsatz 3: Aus Grundsatz 1 und 2 ergibt sich bei geschlossener Baugrube zwangsläufig eine flexibel gedichtete Doppelwannen-Konstruktion mit dazwischenliegender oder eventuell raumseitig aufgezogener Wärmedämmung. Bei offener Baugrube ist daneben auch die aussen- oder raumseitig applizierte Wärmedämmung auf eine einfache, wasserseitig flexibel gedichtete Wanne möglich.

Als abdichtungs- und wärmetechnisch konsequenteste sowie ausführungstechnisch einfachste und diffusionstechnisch problemloseste Konstruktion ist die im Sandwich einer Doppelwanne bei offener Baugrube geführte Schaumglaseinlage zu bezeichnen, welche raumseitig einer mehrlagig bituminös geführten Abdichtungsebene hochgezogen wird.

Tabelle 1. Merkmale von Grundwasserkonstruktionen: Entscheidungskriterien für die Anordnung einer Wärmedämmung

Baugrubenhaltung	offen	geschlossen
Grundwasserstand	hoch	tief
Wannenkonstruktion	einfach	doppelt
Abdichtungsart	starr	flexibel
Lage der Wärmedämmung	innen	ausser

Grundsatz 4: Auszuschliessen sind folgende Konstruktionen:

- Separate Wärmedämmung bei fehlendem Grundwasserspiegel und/oder nur teilbeheizten Räumen.
- Die raumseitig einer starren Abdichtung aufgezugene Wärmedämmung.
- Die direkt im Grundwasser liegende, dem dauernden Druckwasserkontakt ausgesetzte Wärmedämmung.

Wirtschaftlichkeit und bauphysikalische Fragen

Allgemeines

«Die Wirtschaftlichkeit einer (Zusatz-)Massnahme ist dann ausgewiesen, wenn ihre (Mehr-)Kosten innerhalb einer festgelegten Zeitspanne durch den daraus resultierenden (Zusatz-)Nutzen frankenmässig kompensiert werden.» Aus dieser Umschreibung ist ersichtlich, dass unter obigem Titel ausschliesslich der *betriebswirtschaftliche Aspekt der Wärmedämmung* verstanden wird, wobei damit gleichzeitig die «Grenzen der Wirtschaftlichkeit», d.h. ihre «Bandbreite», abgesteckt werden.

Nach *Planungs- und Baugesetz* sowie gemäss [3] und [4] hat aber die Wärmedämmung - bzw. der Wärmedämmeffekt einer Gebäudehülle - auch aus Gründen der Wohnhygiene und Behaglichkeit gewisse *Minimalanforderungen* zu erfüllen.

Zitat aus [3]: Wände von beheizten Räumen gegen Erdreich: «Der max. *k*-Wert solcher Wände muss so bestimmt werden, dass die Oberflächentemperatur nicht mehr als 2 Kelvin unter der Raumlufttemperatur liegt; dabei sind ein α_i -Wert von 8 W/m²K und die Erdreichtemperaturen gemäss Empfehlung SIA 380 einzusetzen.»

Zitat aus [4]: «Bei Bauten im Grundwasser ist die Grundwassertemperatur einzusetzen.»

Durch diese allgemeine Bauvorschrift wird der spezielle, betriebswirtschaftliche (Mehr-)Kosten/(Mehr-)Nutzen-Nachweis zu einer etwas umstrittenen Angelegenheit.

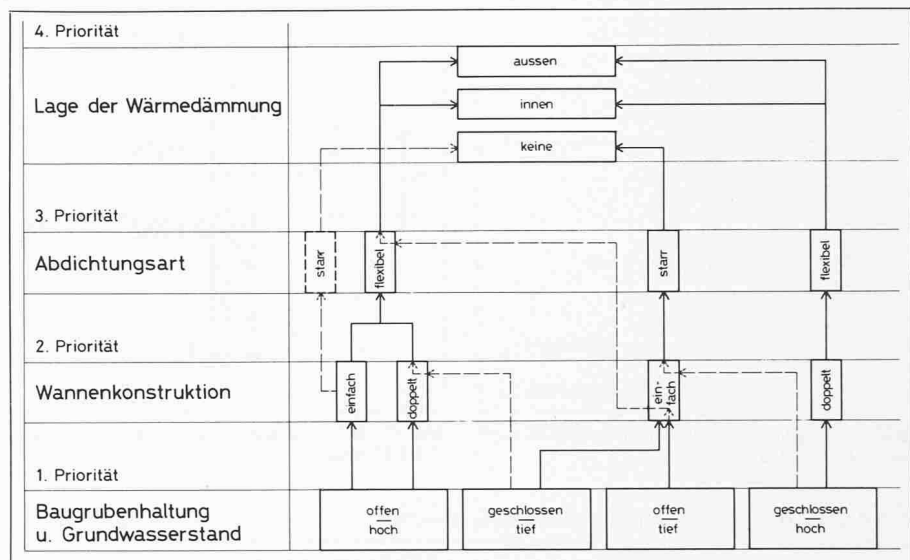


Bild 2. Relevanzbaum für Grundwasserkonstruktionen nach Prioritäten

Angenommen, eine Untergeschoss-Konstruktion erfordert zur Einhaltung der Bauvorschrift eine separate *Wärmedämmung von 1 cm Stärke* mit allen damit verbundenen Material- und Applikationsmehrkosten gegenüber der Ausgangskonstruktion. Bei vorgegebenem Planungshorizont, Kalkulationszinssatz und prognostizierter Energiepreisentwicklung ergäbe sich dagegen eine «Wirtschaftlichkeitsgrenze» bei 6 cm mit einem Gesamtkostenminimum bei 4 cm, sofern kostenseitig nur die reinen Materialmehrkosten berücksichtigt wären.

Sind auf der (Mehr-)Kostenseite der wirtschaftlichen Zusatzdämmung aber nur die *Materialmehrkosten*, z.B. dieser (4-1) = 3 cm, oder auch die bau- und applikationsbedingten *Fixkosten* der Wärmedämmung einzurechnen? Wenn ja, dann *proportional* der unterschiedlichen Dämmstärken (z.B. ¾) oder gar vollständig zu Lasten der optimalen Variante?

Weil der Einfluss der «nicht energiesparenden» Fixkosten auf den Wirtschaftlichkeitsnachweis viel grösser ist als derjenige der reinen «energiesparenden» Materialkosten der Wärmedämmung, ist diese Frage durchaus berechtigt. *Unsicherheiten* bestehen demnach nicht nur auf der Nutzenseite infolge Zinssatzwahl, Energiepreisentwicklung, Planungshorizont bzw. Gebrauchsdauer der Anlage, Klimabedingungen, Heizungsbetrieb usw., sondern auch auf der «anrechenbaren Kostenseite».

Zur *Nachweisführung* ist es daher sinnvoll, die mutmasslichen, jährlich wiederkehrenden Einsparungen auf den Investitionszeitpunkt zu diskontieren und damit entweder die Frage nach dem Deckungsgrad der Mehrkosten

oder nach dem sog. Kapitalwert der Zusatzmassnahme zu stellen. Dieses Vorgehen wird in Abschnitt «Untergeschoss gegen Grundwasser» anhand eines Beispiels näher erörtert.

Untergeschoss gegen trockenes Erdreich

Abgesehen davon, dass *bei fehlendem Grundwasserspiegel* nur in den seltensten Fällen eine eigentliche Abdichtung vorzusehen ist, wird unter diesen Voraussetzungen auch die Notwendigkeit einer speziellen Wärmedämmung in Frage gestellt; Vollbeheizung der Kellerräume auf +20° C wird dabei vorausgesetzt.

Massgebend in erster Betrachtung ist wiederum die Forderung: Temperaturdifferenz zwischen Wandoberfläche und Raumluft ≤ 2 Kelvin. Mit $\alpha_i = 8$ W/m²K resultiert daraus für die «bauphysikalische Bemessungstemperatur» von -15° C nach [5] ein max. zulässiger wirksamer *k*-Wert

$$\leq \frac{2 \text{ K}}{35 \text{ K}} \cdot \frac{1}{0,125 \text{ m}^2 \text{ K/W}} \\ = 0,46 \text{ W/m}^2 \text{ K.}$$

Der vorhandene *k*-Wert ergibt sich nach [6] aus dem Wärmestrom

$$\dot{Q} = b \cdot L \cdot (t_i - t_a)$$

wobei

\dot{Q} = Wärmestrom durch den betrachteten Bauteil [W]

b = Faktor aus Tabelle 1 oder 2

L = abgewinkelte Länge der Aussenwand [m]

t_i = Raumlufttemperatur [°C]

t_a = Aussenlufttemperatur [°C]

Berechnet wird direkt der Wärmestrom \dot{Q} des ganzen Bauteils (Wand oder Bo-

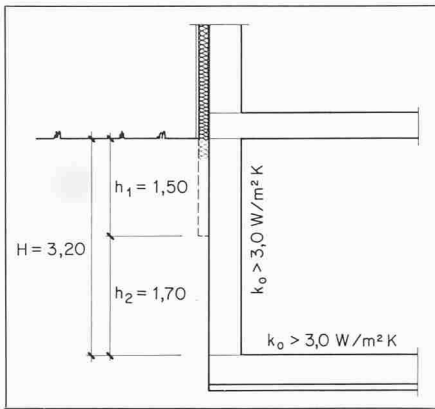


Bild 3. Ausgangskonstruktion mit $k_0 > 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ im trockenen Erdreich

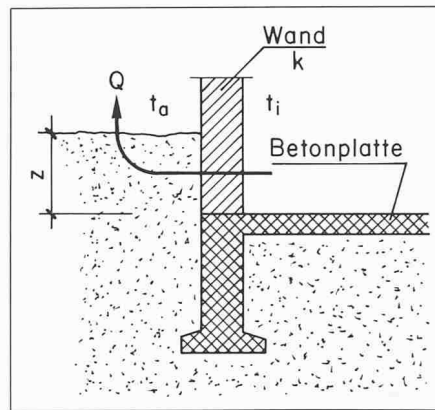


Bild 4. Wärmeverluste ins Erdreich gemäss Regles TH-K77, Wände

Tabelle 2. Faktor b für Verluste durch Kellerwände (nach [6])

Höhe des erdberührten Wandstückes z [m]	k-Wert der Wand [W/m ² K]										
	0,40 bis 0,49	0,50 bis 0,64	0,65 bis 0,79	0,80 bis 0,99	1,00 bis 1,19	1,20 bis 1,49	1,50 bis 1,79	1,80 bis 2,19	2,20 bis 2,59	2,60 bis 3,09	3,10 bis
tiefer als -6,00	1,40	1,65	1,85	2,05	2,25	2,45	2,65	2,80	3,00	3,20	3,40
von -6,00 bis -5,05	1,30	1,50	1,70	1,90	2,05	2,25	2,45	2,65	2,85	3,00	3,20
von -5,00 bis -4,05	1,15	1,35	1,50	1,65	1,90	2,05	2,25	2,45	2,65	2,80	3,00
von -4,00 bis -3,04	1,00	1,15	1,30	1,45	1,65	1,85	2,00	2,20	2,35	2,55	2,70
von -3,00 bis -2,55	0,85	1,00	1,15	1,30	1,45	1,65	1,80	2,00	2,15	2,30	2,50
von -2,50 bis -2,05	0,70	0,85	1,00	1,15	1,30	1,45	1,64	1,80	1,95	2,10	2,30
von -2,00 bis -1,55	0,60	0,70	0,85	1,00	1,10	1,25	1,40	1,55	1,75	1,90	2,05
von -1,50 bis -1,05	0,45	0,55	0,65	0,75	0,90	1,00	1,15	1,30	1,45	1,60	1,75
von -1,00 bis -0,75	0,35	0,40	0,50	0,60	0,65	0,80	0,90	1,05	1,15	1,30	1,40
von -0,70 bis -0,45	0,20	0,30	0,35	0,40	0,50	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,10
von -0,40 bis -0,25	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,60	0,70
von -0,20 bis 0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

den). Für den Wärmewert des ganzen Kellers werden die Anteile \dot{Q} von Wand und Boden addiert.

Angenommen, die reine Betonkonstruktion gemäss Bild 3 weise einen theoretischen k -Wert $> 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf. Nach den aus [6] entnommenen Angaben (Bild 4 und Tabelle 2) bestimmt sich der effektive Wärmestrom \dot{Q} durch die ganze unisolierte Wand wie folgt: $\dot{Q} = b \cdot L \cdot (t_i - t_a)$; je Laufmeter auf die ganze Wandhöhe H : $\dot{Q} = b \cdot (t_i - t_a)$ und der spezifische durchschnittliche Wert je m^2 und Kelvin:

$$(4) \quad \dot{q} = \frac{b}{H} = k_{\text{wirksam}} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Der durchschnittliche wirksame k -Wert der Wand beträgt somit nach Tabelle 2 $k = b/H = 2,7/3,2 \approx 0,84 \text{ W/m}^2\text{K} > k_{\text{zul}} = 0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$. Wird auf die Frosttiefe h_1 eine entsprechende Perimeter-Dämmung aufgebracht, so kann in diesem Bereich der maximal zulässige Temperaturabfall bis an die Wandoberfläche ohne weiteres eingehalten werden.

Der wirksame k -Wert auf die Resthöhe h_2 der unisolierten Wand beträgt dagegen nach Bild 3, 4 und Tab. 2:

$$\frac{\dot{Q}_H}{L \cdot \Delta t} = b_H = 2,70 \text{ W/K}$$

$$- \frac{\dot{Q}_{h_1(\text{ungedämmt})}}{L \cdot \Delta t} = -b_1 = -1,75 \text{ W/K}$$

$$\frac{\dot{Q}_{h_2}}{L \cdot \Delta t} = b_2 = 0,95 \text{ W/K}$$

$$k_{\text{wirksam}} = \frac{b_2}{h_2} = \frac{0,95}{1,70} = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$$

($\approx k_{\text{zul}} = 0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Streng genommen müsste also auch die Betonwand auf die Höhe h_2 «ein bisschen nachgedämmt» werden, um beim angenommenen Bemessungsklima entsprechend 35 Kelvin Temperaturdifferenz ein Gefälle $\leq 2 \text{ K}$ bis an die Wandoberfläche einzuhalten.

Allerdings fällt dazu folgendes auf: Für die dem Aussenklima direkt ausgesetzten Fassaden wird nach [3] ein k -Wert $\leq 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ verlangt. Es ist nun nicht einzusehen, wieso nicht auch hier eine Begrenzung des Temperaturabfalls entsprechend 2 Kelvin gefordert werden sollte: Aus $k = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $\Delta K = 2 \text{ Kelvin}$ ergibt sich aber ein maximal zulässiges Innen-/Aussentemperaturge-

fälle von $\sim 26 \text{ Kelvin}$, d.h. eine Bemessungstemperatur «aussen» von bloss $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ und nicht von $-15 \text{ }^\circ\text{C}$, wie ein- gangen angenommen.

Die Überschreitung des k -Wertes der erdberührten Wand um $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist also mit Sicherheit vertretbar. Es ist aber auch einzusehen, dass eine k -Wert-Verbesserung über die ohne Zusatzmassnahme schon wirksamen $0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$ hinaus kaum lohnend wäre:

Würde der theoretische Durchgangswiderstand der ungedämmten Betonwand von etwa $0,333 \text{ m}^2\text{K/W}$ mittels Zusatzdämmung auf theoretische $2,333 \text{ m}^2\text{K/W}$ oder $k_{\text{theor.}} \sim 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert, so resultierte damit nach Bild 3 und Tab. 2 ein neues k_{wirksam} von etwa:

$$b_H \sim 1,0 \text{ W/K}$$

$$- b_1 \sim - 0,45 \text{ W/K}$$

$$b_2 \sim 0,55 \text{ W/K}$$

$$k_{\text{wirksam}} \sim \frac{0,55}{1,70} \sim 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Um also unterhalb der Frosttiefe eine wirksame Verbesserung um etwa $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ (von $0,56$ auf $0,33$) zu erzielen, müsste ein zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand von $2,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ mittels 7 bis 8 cm spezieller Wärmedämmplatten eingebaut werden.

Mit zunehmender Gründungstiefe der Kellerwände, und insbesondere im Bodenbereich, ergeben sich noch eindeutige Resultate zuungunsten einer separaten Wärmedämmung. Die Bodenverhältnisse sind in Bild 5 und Tabelle 3 zahlenmässig ohne weitere Erklärungen dargestellt.

Untergeschoss gegen Grundwasser

Zur Darstellung der hier vorherrschenden Bedingungen wird von einer *doppelten Wanne*, bestehend aus $15 \text{ cm} + 30 \text{ cm}$ Konstruktionsbeton mit einem Wärmedurchgangswiderstand von etwa $0,375 \text{ m}^2\text{K/W}$ bzw. $k_0 \approx 2,67 \text{ W/m}^2\text{K}$, ausgegangen. Die tiefste Grundwassertemperatur betrage etwa $+6 \text{ }^\circ\text{C}$ und das maximale Temperaturgefälle somit etwa 14 Kelvin. Damit die zugelassenen 2 Kelvin Temperaturabfall bis an die Wandoberfläche nicht überschritten werden, ist ein Wärmedurchgangswiderstand $\geq (0,125 \cdot 14)/2 = 0,875 \text{ m}^2\text{K/W}$ oder ein k -Wert $\leq 1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ erforderlich.

Wird als Zusatzdämmung Schaumglas mit $\lambda_i = 0,044 \text{ W/mK}$ verwendet, so wäre eine minimale Stärke von $(0,875 - 0,375) \cdot 0,044 \approx 2,2 \text{ cm}$ einzubauen. Es soll im folgenden dargestellt werden, welche Energieeinsparungen mit 3 cm bzw. 6 cm Schaumglas zu erwarten wären.

$$\Delta k_3 = k_0 - k_3 =$$

$$= 2,67 - \left(\frac{1}{2,67} + \frac{0,03}{0,044} \right)^{-1}$$

$$= 1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Delta k_6 = k_0 - k_6 =$$

$$= 2,67 - \left(\frac{1}{2,67} + \frac{0,06}{0,044} \right)^{-1}$$

$$= 2,10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Als mittlere Grundwasser-Berechnungstemperatur über einen Zeitraum von 250 Heiztagen werden +10 °C angenommen, woraus 2500 Heizgradtage resultieren. Wäre aus Nutzungsgründen eine ganzjährige Heizungsunterstützung zur Einhaltung von konsequent +20 °C Raumlufttemperatur erforderlich, so läge damit der Berechnung bei weiterhin angenommenen 2500 HGT eine realistische Grundwasser-Jahres-Mitteltemperatur von

$$\sim 20 - \frac{2500}{365} \sim 13,2 \text{ °C zugrunde.}$$

Aus dem Produkt $24 \cdot \text{HGT} \cdot \Delta k$ ergibt sich die jährliche Nutzenergieeinsparung; durch Multiplikation mit dem Nutzwärmepreis in heutigen Zeitpunkt: $b_{0,N} = b_0 / \eta_H$ wird die erstmalige, frankenmässige Einsparung ermittelt. Um schliesslich den wahren Wert aller jährlichen Energieeinsparungen über den festgelegten Berechnungshorizont zwecks Vergleich mit den dazu benötigten Investitionen zu bestimmen, ist nach [7] die erstmalige Frankeneinsparung mit einem sog. Barwertfaktor BW - resultierend aus Laufzeit n , prognostizierter, absoluter Energiepreisänderung pro Jahr $\pm t$ und Kalkulationszinssatz - zu multiplizieren:

$$(5) \quad BW = \frac{1}{Z-t} \cdot \left[1 - \left(\frac{1+t}{1+Z} \right)^n \right]$$

(bei nachschüssiger Zahlung)

Bild 6 zeigt ein für diese Berechnung geeignetes Nomogramm, welches für unsere Beispiele mit $\Delta k_3 = 1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ bzw. $\Delta k_6 = 2,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, mit 2500 HGT und einem angenommenen Nutzwärmepreis $b_{0,N} = 0,065/0,82 = 0,08 \text{ Fr./kWh} = \text{Fr. } 8.-/\text{MWh}$ die erstmalige Jahreseinsparung von etwa $\text{Fr. } 8,25/\text{m}^2$ bzw. $\text{Fr. } 10,10/\text{m}^2$ darstellt. Aus dem für einen Kalkulationszinssatz von 5% erstellten Nomogramm kann ebenso der Barwertfaktor in Funktion des Planungshorizontes und der prognostizierten Energiepreisveränderung und damit in Rechteckdarstellung der Barwert aller auf den Investitionszeitpunkt diskontierten, frankenmässigen Energieeinsparungen abgebildet werden. Für unsere Beispiele ergäben sich bei einem Berechnungshorizont von $n = 25$ Jahren und mit einer angenommenen, absoluten Energiepreissteigerung $+t = (Z + 1)\% = +6\%$ p.a. Barwerte von $\text{Fr. } 220.-/\text{m}^2$ für 3 cm Schaumglas und $\text{Fr. } 270.-/\text{m}^2$ für 6 cm Schaumglas.

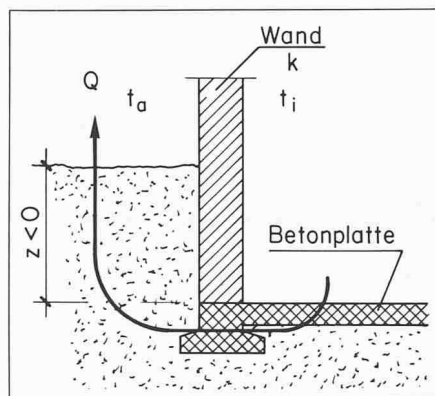


Bild 5a. Wärmeverluste ins Erdreich gemäss Regles TH-K77, Böden. $z < 0$

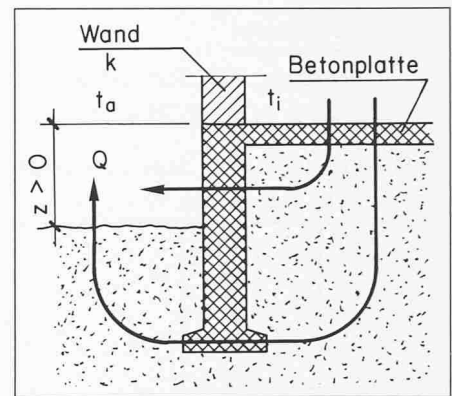


Bild 5b. Wärmeverluste ins Erdreich gemäss Regles TH-K77, Böden. $z > 0$

Tabelle 3. Faktor b für Verluste durch isolierten oder nicht isolierten Kellerboden

Höhendifferenz zwischen Kellerboden und Terrain z [m]		Wärmedurchlasswiderstand $R = \frac{d}{\lambda}$ [m ² K/W] der Isolation des Kellerbodens							
		0 (nicht isoliert)	0,20 bis 0,35	0,40 bis 0,55	0,60 bis 0,75	0,80 bis 1,00	1,05 bis 1,50	1,55 bis 2,00	2,05 bis 3,00
$z < 0$	Tiefer als -6,00	0	0	0	0	0	0	0	0
	von -6,00 bis -4,05	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	von -4,00 bis -2,55	0,40	0,40	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,30
	von -2,50 bis -1,85	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40
	von -1,80 bis -1,25	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,45
	von -1,20 bis -0,75	1,00	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,55
	von -0,70 bis -0,45	1,20	1,05	1,00	0,95	0,90	0,80	0,75	0,65
von -0,40 bis -0,25	1,40	1,20	1,10	1,05	1,00	0,90	0,80	0,70	
$z > 0$	von -0,20 bis +0,20	1,75	1,45	1,35	1,25	1,15	1,05	0,95	0,85
	von 0,25 bis 0,40	2,10	1,70	1,55	1,45	1,30	1,20	1,05	0,95
	von 0,45 bis 1,00	2,35	1,90	1,70	1,55	1,45	1,30	1,15	1,00
	von 1,05 bis 1,50	2,55	2,05	1,85	1,70	1,55	1,40	1,25	1,10

Diese Beträge - multipliziert mit den tatsächlichen Boden- und Wandflächen - wären nun mit den entsprechenden materialmässig, applikatorisch und statisch bedingten Mehrkosten zu vergleichen.

Die Höhe der kapitalisierten Einsparungen hängt neben den weiteren Einflüssen sehr stark vom gewählten Kalkulationszinssatz ab. Die vorhin angenommenen 5% werden dabei vom Investor häufig als nicht ausreichend taxiert. Das heisst, der Bauherr geht davon aus, dass «nicht unbedingt erforderliche» Energiesparmassnahmen - wenn schon in Kauf genommen - auch bei einem wesentlich höheren Zinssatz noch rentabel sein müssen, damit dadurch den allgemein etwas unsicheren Berechnungsgrössen indirekt Rechnung getragen werden kann. Eingebürgert hat sich somit die Frage nach dem sog. internen Zinssatz der Investitionsmassnahme: In Kenntnis der einmaligen

Aufwendungen und der jährlich wiederkehrenden Einsparungen über einen festgelegten Zeitraum wird in diesem Falle nach derjenigen Verzinsung aller Geldbeträge gefragt, welche zur Wirtschaftlichkeitsgrenze, also zu einem Kapitalwert von Fr. 0.- des Projektes, führt. Erwartete interne Zinssätze von 10, 15 oder mehr Prozent sind dabei keine Seltenheit. Um die Konsequenzen derartiger Forderungen zu beleuchten, wird in Bild 7 ein Nomogramm²⁾ dargestellt, mit welchem bei nun festem Planungshorizont von 25 Jahren entsprechend unseren Beispielen die kapitalisierten Einsparungen als Barwerte bei verschiedenen Kalkulationszinssätzen und Energiepreisentwicklungen abgebildet werden können.

Bei gefordertem internem Zinssatz = Kalkulationszinssatz = 15% (statt 5%) ergäben sich mit wiederum 6% Energiepreissteigerung für unsere beiden Beispiele bloss noch Barwerte der Einsparungen von $\text{Fr. } 80.-/\text{m}^2$ bzw. $\text{Fr. } 98.-/\text{m}^2$. (Mit 5% $\text{Fr. } 220.-/\text{m}^2$ bzw. $\text{Fr. } 270.-/\text{m}^2$.)

Damit die Forderung Investitionsverzinsung $\geq 15\%$ bei Eigenfinanzierung³⁾ erfüllt wäre, dürften also zur Realisie-

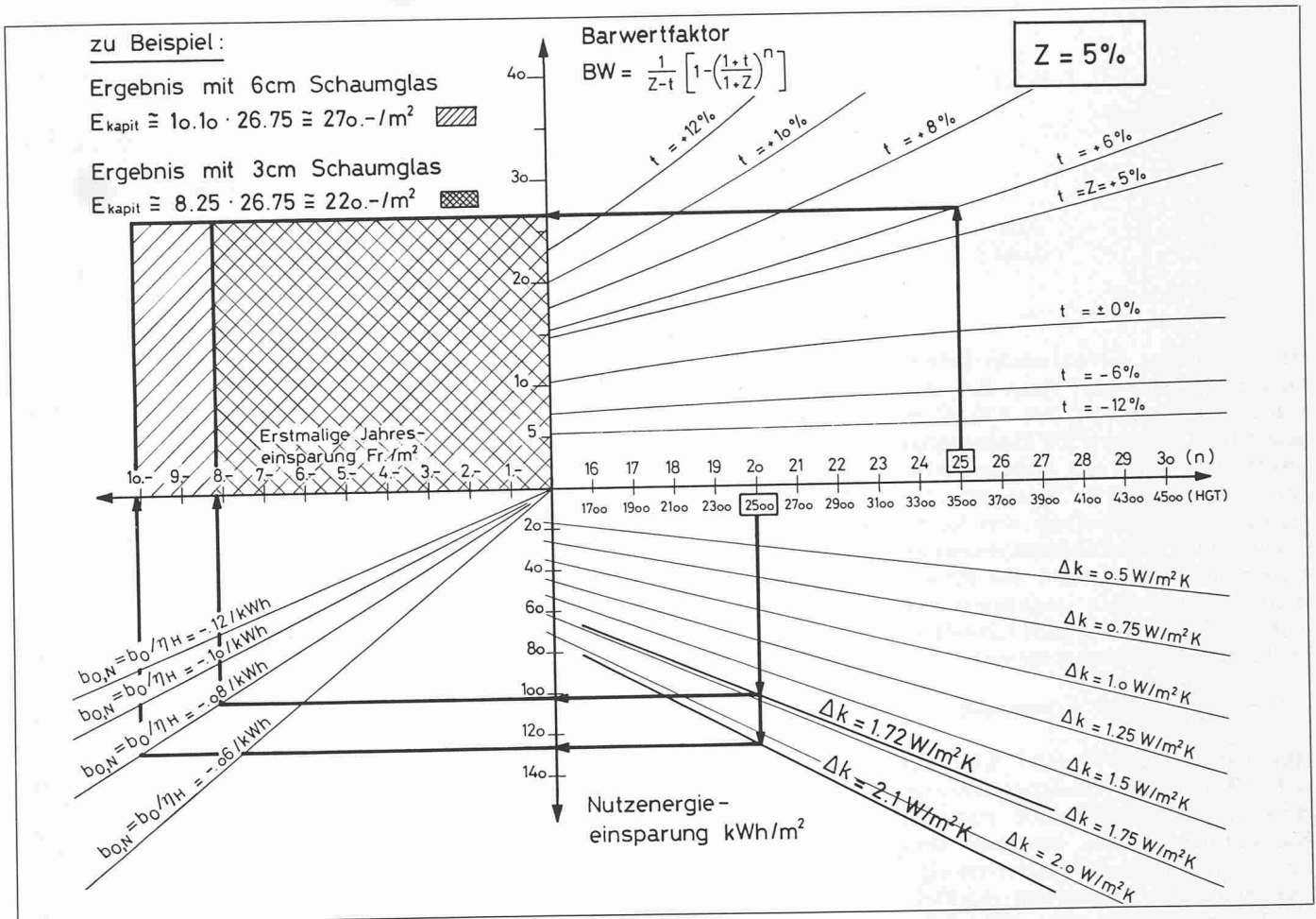


Bild 6. Nomogramm zur Darstellung kapitalisierter Energieeinsparungen für $Z=5\%$ mit Variablen; $\Delta k, 1500 \leq HGT \leq 4500, 15 \leq n \leq 30, \pm t, b_{0,N} = b_0/\eta_H$

rung der erwähnten kWh-mässigen Energieeinsparungen nur noch rund ein Drittel des Betrages aufgewendet werden, welcher bei 5% Verzinsung zulässig wäre – sofern der aktuelle Geldwert der jeweiligen Einsparung tatsächlich auch jedes Jahr auf einem Konto mit 15% Verzinsung angelegt würde bzw. überhaupt angelegt werden könnte!

Fussnote 1) und 2):

Bei bekannten Investitionskosten gibt das Nomogramm nach Bild 6 zudem Auskunft über die effektive Amortisationszeit. Aus der Beziehung: «Investitionskosten-Rechteck = Abszisse \times Ordinate» wird mit bekanntem Abszissenwert für die erstmalige Einsparung der Ordinatewert bestimmt. Von diesem ausgehend führt eine Umlaufgerade im Uhrzeigersinn an die Kurve der erwarteten Energiepreisveränderung; die Projektion des Schnittpunktes auf die n -Abszisse bezeichnet die resultierende Amortisationszeit.

Bei analogem Vorgehen kann mittels des Nomogramms nach Bild 7 ebenso der tatsächliche interne Zinssatz (Grenzzinssatz) eines Projektes für $n = 25$ Jahre abgelesen werden.

Fussnote 3):

Bei Fremdfinanzierung ist dagegen die 15%ige Verzinsung der jährlichen Einsparungen solange automatisch gegeben, als diese den Betrag des jeweils zu leistenden Kapitaldienstes nicht übersteigen.

Statische und konstruktive Fragen

Probleme der doppelten Wanne

Sofern eine einfache oder doppelte Wannenkonstruktion flexibel abgedichtet wird, kann die Wärmedämmung im Prinzip sowohl aussenseitig wie auch raumseitig der Tragkonstruktion eingebaut werden. Die konsequente Innendämmung von Fundamentplatte und Tragwänden bietet in statischer Hinsicht keine Probleme; hingegen werden damit gewisse konstruktive Nachteile in Kauf genommen, so z.B. die behinderte Reparaturmöglichkeit von Undichtigkeiten, die Notwendigkeit von separaten Nutz- und Druckverteilschichten am Boden, erschwerte Befestigungsmöglichkeiten an den Wänden, unvermeidbare Wärmebrücken usw.

Mit einer im Sandwich, d.h. zwischen innerer und äusserer Wanne, geführten Wärmedämmung können diese Nachteile ausgeschlossen werden; dagegen müssen aber hier alle Gebäudelasten von der inneren Bodenplatte über die Wärmedämmung in den Untergrund geführt werden. Das Elastizitätsverhalten und die konstruktive Ausbildung

der wärmetechnisch bedingten Zwischenschichten können damit eine gewisse Zusatzbeanspruchung der Fundamentplatte und des gesamten Überbaus bewirken.

Um das Risiko erhöhter Schubspannung in der Fundamentplatte unter extremen Stützenlasten sowie sich einstellender Zwängsspannungen im Überbau infolge lokaler Stützensenkungen einzugrenzen, sind als Wärmedämmung mit Vorteil stauchungsfreie, mit genügender Sicherheit auf die vorhandene Druckspannung abgestimmte Schaumglasplatten einzubauen. Selbst bei dieser im Grundsatz richtigen Produktwahl sollten aber ein paar zusätzliche Überlegungen hinsichtlich Fundamentbeanspruchung angestellt werden, denn je nach Wahl der Abdichtung und ihrer Schutzschichten und je nach Verlegesorgfalt muss trotzdem mit einer gewissen Einfederung oder gar mit applikationsbedingten Hohlräumen im Sandwich unter der Stützenlast gerechnet werden.

So wie sich bei einer Flachdecke auf Einzelstützen infolge lokaler Stützensenkung bzw. Stützenhebung eine Momenten- und Querkraftumlagerung mit neuen Extremwerten an der fraglichen Stelle einstellt, erfolgt bei lokaler Einfe-

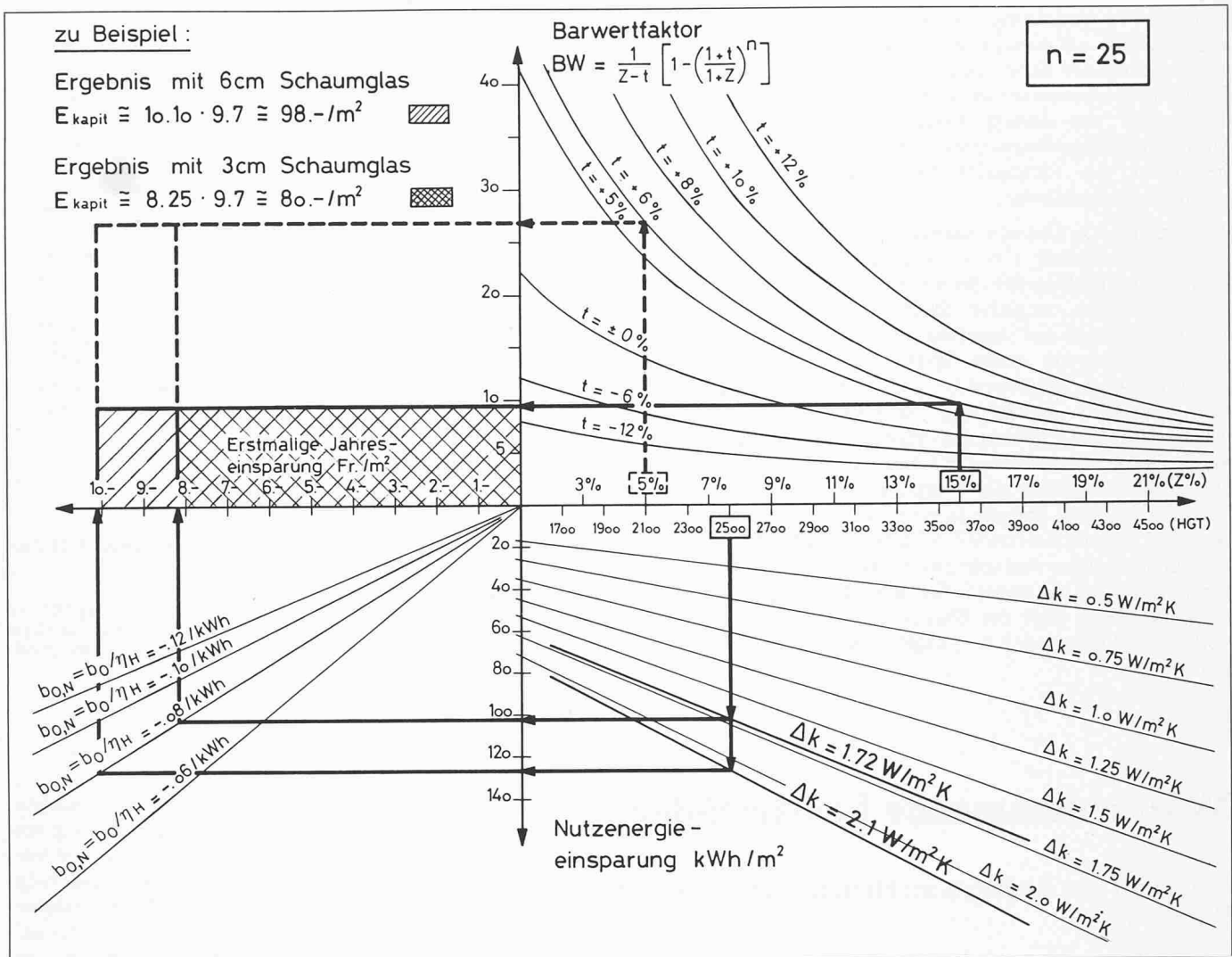


Bild 7. Nomogramm zur Darstellung kapitalisierter Energieeinsparungen für $n = 25$ Jahre mit Variablen: Δk , $1500 \leq HGT \leq 4500$, $1\% \leq Z \leq 21\%$, $\pm t$, $b_{0,N} = b_0/\eta_H$

derung der Fundamentplatte unter Stützenlast - bedingt durch Nachgiebigkeit des Sandwichs zwischen innerer und äusserer Wanne - eine analoge *Zusatzbeanspruchung auf die innere Fundamentplatte*. In solchen Fällen ist demnach eine mögliche Momentenzunahme unter der Stütze, wie insbesondere auch die erhöhte Schubspannung gegen Durchstanzen, zu berücksichtigen.

Der korrekte Nachweis mittels eines anerkannten Berechnungsverfahrens wäre sehr aufwendig [9], bliebe aber wegen der Unsicherheiten in der Wahl von Materialkennziffern trotzdem umstritten. Ein willkürlicher Zuschlag von beispielsweise pauschal 20% auf die fraglichen Schnittkräfte ohne Sandwich-Unterlage würde andererseits den unterschiedlichen Gründungsverhältnissen überhaupt nicht Rechnung tragen. Mit dem nachstehenden Bemessungsvorschlag soll der Aufwand für eine angepasste *Zuschlagsrechnung* sehr klein - und für die Konstruktion auf der sicheren Seite liegend - gehalten werden; stauchungsfreie Schaumglas-

platten als Wärmedämmung werden dabei vorausgesetzt.

Bemessungsvorschlag

Die Schnittkräfte der inneren Fundamentplatte unter Einzelstützen werden nach anerkannten Berechnungsverfahren [9, 10, 11, 12] ermittelt. Zur Bestimmung von Zuschlagswerten unter der Einzelstütze (also zusätzliches negatives Stützenmoment und zusätzliche Schubspannung, beide infolge lokaler Einfederung des Sandwichs) wird ein Ersatztragwerk gewählt: *kreisrundes Einzelfundament mit Ersatzkreisdurchmesser* nach [10]. Die von unten auf das Ersatzsystem einwirkende Ersatzlast betrage $R_E = P - R_{GW}$; mit P wird die von oben wirkende Stützenlast und mit R_{GW} der gleichmässig verteilte Reaktionsanteil, insbesondere der Grundwasserauftrieb, bezeichnet.

Wäre also $P = R_{GW}$, was aus Gründen der Auftriebssicherheit nicht sein darf, dann könnte nach diesem Modell auf einen Zuschlag für die so schon maximalen Schnittkräfte verzichtet werden; umgekehrt wäre bei einer Plattenfun-

dation auf sehr gutem Baugrund und ohne Grundwasser die volle Stützenlast P als Ersatzlast R_E einzusetzen.

Die so bestimmte Ersatzlast R_E soll nun unter einem Einzel-Ersatzfundament mit Durchmesser $D = 0,4 L$ (L = Stützenabstand) als parabelförmige Spannungsfläche, d.h. vom Maximalwert unter der Stützenachse zum Kreisrand hin abnehmend, eingesetzt werden. Bezogen auf die Stützenachse resultiert daraus ein *zusätzliches negatives Stützenmoment* von:

$$M_{zus} = (P - R_{GW}) \cdot 1/5 \cdot 1/2 \cdot 0,4 L$$

$$= (P - R_{GW}) \cdot 0,04 L$$

Die entsprechende zusätzliche *Querkraft*, und damit die erhöhte *Schubspannung* unter der betrachteten Stütze kann aus dem Momentenergebnis abgeleitet werden.

Bei dieser Betrachtungsweise geht das *spezifische Elastizitätsverhalten der Schichten* zwischen innerer und äusserer Betonwanne nicht in die Berechnung ein. Vielmehr wird je nach vorhandenem Baugrund eine mehr oder weniger grosse Ersatzbelastung einge-

führt, deren Verteilung als fiktive Bodenpressung sich etwa proportional zur Verformung des damit beanspruchten Ersatz-Einzelfundamentes verhält. Die Ergebnisse aus diesem Ersatzsystem sind also als *Zuschlagswerte* mit den Ergebnissen aus «normaler Plattenberechnung» zu addieren.

Bei maximalem Grundwasserstand mit Auftriebssicherheit $s = 1,5$ wird sich damit der Zuschlag für das konventionell ermittelte, negative Stützenmoment tatsächlich auf ungefähr 20% belaufen, sofern am realen System mit quadratischem Stützenraster nur der dominierende, gleichmässig verteilte Auftrieb als Plattenbelastung eingesetzt wird. Der absolute Betrag aus Normal-system plus Zuschlag aus Ersatzsystem wird dann gerade doppelt so gross, wie wenn im andern Extremfall bei fehlendem Grundwasser und sehr gutem Baugrund praktisch die gesamte Stützenlast als parabolisch über das Ersatzsystem verteilte Bodenreaktion aufgebracht wird.

Literaturhinweise

- [1] Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein: «Grundwasserabdichtungen». Empfehlung SIA 272. Zürich, 1980
- [2] Bangert, H.: «Abdichtungssysteme im Hoch- und Tiefbau». Schweiz. Ingenieur und Architekt, Heft 45, S. 1113, 1980
- [3] Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein: «Winterlicher Wärmeschutz im Hochbau». Empfehlung SIA 180/1. Zürich, 1980
- [4] Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein: «Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden». Empfehlung SIA 380. Zürich, 1975
- [5] Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein: «Wärmeschutz im Hochbau». Empfehlung SIA 180. Zürich, 1970
- [6] Bundesamt für Konjunkturfragen: «Handbuch Planung und Projektierung». Bern, 1980
- [7] Bangert, H.: «Rentenbarwert- und wahre Mittelwertfaktoren». Bauhandbuch, 1982/3 und 1983/3, CRB, Zürich
- [8] Pittsburgh Corning Schweiz: Produktdokumentation. Biel
- [9] Fuchssteiner, W.: «Flächengründungen». Betonkalender Bd. II, S. 213-223. W. Ernst & Sohn. Berlin, 1965
- [10] Schaeidt, W.; Ladner, M.; Rösli, A.: «Berechnung von Flachdecken auf Durchstanzen». TFB Wildegg, 1970
- [11] Duddek, H.: «Praktische Berechnung der Pilzdecke ohne Stützenkopfverstärkung». Beton- und Stahlbetonbau, Heft 3, 1963
- [12] Pfister, F.: «Näherungsberechnung zur Bemessung von unterzugslosen Eisenbetondecken». Schweiz. Bauzeitung, Heft 51, S. 795, 1957

Durch Zuschlagswerte auf dieser Grundlage kann den zufälligen Inhomogenitäten eines an sich tauglichen Konstruktionsquerschnittes mit ausreichender Sicherheit Rechnung getragen werden, ohne dass dafür ein allzu kom-

plizierter Berechnungsaufwand betrieben werden muss.

Adresse des Verfassers: H. Bangert, Ing. SIA, c/o Weder + Bangert AG, Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau, Abdichtungstechnik, Bauphysik, Waffenplatzstrasse 63, 8002 Zürich.

Wärmedämmende Fensterläden

Von Hans von Escher, Karl Hintermann und Jürg Nänni, Brugg-Windisch

Fenster ohne Wärmedämmung sind die Schwachstellen der Gebäudehülle. In Kombination mit wärmedämmenden Läden werden sie jedoch wärmetechnisch zu Aktivposten. Es werden die bauphysikalischen Anforderungen und mögliche Anwendungsbereiche diskutiert. Drei bis zur Projektreife entwickelte Ladenmodelle aus dem Büro- und Wohnungsbau werden anhand von Modellphotos gezeigt.

Die Idee des wärmedämmenden Ladens ist naheliegend und keineswegs neu. Er wird in der Literatur oft erwähnt [1, 2, 3]. In den meisten Fällen geht die Abhandlung allerdings nicht über die Idee hinaus. Die Projektreife wird in keiner Arbeit erreicht. Insbesondere *fehlen Konstruktionsvorschläge*, die sich für den schweizerischen Baustandard eignen. Allgemein wurde unseres Erachtens bis jetzt zu wenig herausgeschält, wo der sinnvolle Anwendungsbereich von wärmedämmenden Läden liegt, welches die bauphysikalischen Anforderungen sind und wie solche Konstruktionen im Detail ausgeführt werden können.

Vorweg muss erwähnt werden, dass wärmedämmende Läden *nur an gut isolierten Gebäuden*, die keine Wärmebrücken aufweisen, installiert werden sollten. Bei Gebäuden mit dichten Läden und Fenstern ist die relative Raumluftfeuchtigkeit im Winter etwas erhöht, was in der Umgebung von Wär-

mebrücken zu Tauwasserschäden und Schimmelpilzbildungen führen kann.

Die wärmetechnische Bedeutung des Fensters

Der Globalstrahlungseinfall bringt je nach Intensität einen Wärmeenergiegewinn und somit eine Entlastung der Heizung. Dieser Energiegewinn ist beim Fenster wegen der Wärmefallenwirkung besonders ausgeprägt [3]. Allerdings führen *Glasflächen* mit ihren hohen k -Werten in kalten Winternächten zu einer starken Auskühlung des Raumes. Ist es nun möglich, das Fenster nachts mit einem wärmedämmenden Laden zu isolieren, so dass der *nächtliche Transmissionsverlust* im Fensterbereich nicht grösser ist als im Wand- und Deckenbereich, so wird das Fenster wärmetechnisch zum Aktivposten. Untersuchungen von Gertis und Hauser [1] zeigen, dass südorientierte

Fensterflächen bereits ohne wärmedämmende Läden eine Einsparung von Heizenergie bis zu 15 Prozent im Vergleich zur fensterlosen Südfassade möglich machen, und dass Fensterflächen mit wärmedämmenden Läden *für alle Orientierungen* sogar zu *Energiegewinnflächen* werden, falls ein *geeignetes, regelbares Heizsystem* installiert ist.

Der Energiegewinn pro Heizperiode hängt ab von

- der Orientierung des Fensters,
- der Konstruktion des Dämmladens,
- vom Heizsystem,
- dem Lüftungskonzept im betreffenden Raum und
- den Beharrungseigenschaften des Raumes.

Im Sommer führen grosse südliche und westliche Glasflächen zu einer Übererwärmung des Raumes. Deshalb sind Schutzmassnahmen nötig. Sie müssen so gestaltet sein, dass zwar erwünschte winterliche Sonne in den Raum gelangt und die Heizung entlastet, die direkte Sonnenstrahlung im Sommer hingegen ausgesperrt bleibt. Eine *Kombination von Sonnenschutz und Dämmladen drängt sich auf*.

Bauphysikalische Anforderungen

Prinzipiell kann ein wärmedämmender Laden *vor oder hinter dem Fenster* angeordnet werden. Ein raumseitiger Laden hat verschiedene Nachteile: In der