

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	109 (1991)
<b>Heft:</b>	43
<b>Artikel:</b>	Umkehrdächer und ähnliche Systeme: Bemessung des Wärmeschutzes
<b>Autor:</b>	Bangerter, Heinz
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-86035">https://doi.org/10.5169/seals-86035</a>

### 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:** 22.02.2026

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

ter Beachtung der erhöhten Anforderungen bei Unterhaltsarbeiten einer sorgfältigen Prüfung zu unterziehen.

Die systematische Beachtung des Elektrizitätsverbrauchs von der Planung bis zum Betrieb wird immer wichtiger. Hierzu braucht es bessere Kontroll- und Registriermöglichkeiten, um den von verschiedenen Benutzergruppen verursachten Energieverbrauch beurteilen zu können.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse sollen die elektrizitätsrelevanten Daten aller in Betrieb stehender Tunnel erfasst und ausgewertet werden.

Adresse des Verfassers: Werner Böhi, dipl. Ing. ETH., Leiter des RAVEL-Ressorts Gesetze, Normen, Verträge, c/o Fachstelle für Wasser- und Energiewirtschaft Graubünden, Grabenstrasse 30, 7000 Chur.

## Literatur

- [1] Dr. H. Hatz, W. Lanker, U. Steinemann: Fallstudie Tunnellüftung anhand des Tunnels Isla Bella der Nationalstrasse N13; 15. Juni 1991 (Wird als RAVEL-Materialien verfügbar gemacht und von der RAVEL-Geschäftsleitung, c/o Amstein und Walther AG, Leutschenbachstr. 45, 8050 Zürich, vertrieben werden).
- [2] Schindler Haerter AG: Grundlagen der Belüftung von Strassentunneln, erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Straßenbau, Mai 1963.

# Umkehrdächer und ähnliche Systeme

## Bemessung des Wärmeschutzes

**Mit Blick auf die Harmonisierung des europäischen Binnenmarktes ist derzeit ein überaus aktives Normenschaffen hinsichtlich Baustoffprüfung und Standardisierung von Materialqualitäten zu beobachten. Diese Normungsarbeiten, welche im Rahmen des CEN (Europäisches Komitee für Normung) durchgeführt werden, haben auch Einfluss auf heutige und künftige Abdichtungsverfahren und Konstruktionsmethoden im Flachdachbau.**

**Der vorliegende Aufsatz ist die Kurzfassung einer diesbezüglichen, in der Fachzeitschrift «Bauphysik 1/91» näher dokumentierten Anregung.**

Im Zuge dieser Harmonisierung werden u.a. umfangreiche Untersuchungen über sogenannte k-Wert- und  $\lambda$ -Wert-

VON HEINZ BANGERTER,  
KLOTEN

Zuschläge bei Umkehrdächern ange stellt. Aufgrund von Studien und Modellversuchen des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik zeichnet sich hinsichtlich der k-Wert-Zuschläge eine Festlegung ab, welche bei näherer Be trachtung kaum zu befriedigen vermag. Genauere Überprüfungen zeigen aber auch, dass die schweizerische Empfehlung SIA 271 «Flachdächer» nur sehr rudimentäre und generell zu tiefe Zu schlagswerte zur wärmetechnischen Be messung von Umkehrdächern liefert. Dabei ist u.a. auch zu bemängeln, dass der je nach Feuchtigkeitsaufnahme erhöhten Wärmeleitfähigkeit des Dämm stoffes nach geltender SIA-Empfehlung nur in «restriktivem Sinne» Rechnung getragen wird, d.h., es werden nur Schutz- oder Nutzbeläge über Umkehr dachsystemen zugelassen, welche eine Feuchtigkeitsanreicherung im Dämm stoff aus Diffusionsgründen generell ausschliessen. Aus schweizerischer

Sicht scheint es jedenfalls nötig, sich mit der Frage von  $\Delta k$ -Zuschlägen infol ge Unterfliessens der Dämmplatten und mit der Frage des wirksamen, ideellen  $\lambda$ -Wertes der Dämmplatten je nach Abdeckung und Feuchtigkeitsauf nahme eingehender auseinanderzuset zen.

Für die aus Sicht des Bauherrn wichti gen Aspekte der tatsächlichen thermi schen Leistungsfähigkeit und Wirt schaftlichkeit eines Umkehrdaches und seiner Modifikationen (DUO-Dach, Renovationssysteme) ist die normen gemäss Festlegung der wärmetechni schen Zusatzgrössen  $\Delta k$  und  $\Delta \lambda$  von entscheidender Bedeutung – zumal der nach heutigen Erkenntnissen einzig ge eignete Umkehrdach-Dämmstoff «extrudierter Polystyrol XPS» bei den kon ventionellen Warmdachsystemen kaum mehr Verwendung findet. Diese produktebedingte Polarisierung zwi schen dem Umkehrdach- und den Warmdachsystemen wird im übrigen noch verstärkt durch die umweltschädigenden Treibgase zur Extruderschaum Herstellung [1], [2], [3]. Sowohl aus öko logischer als auch energetischer Sicht erfordert das Umkehrdach deshalb besondere Beachtung.

## Spezifische Betrachtungen zum Dämmstoff

Bisher fand bei XPS-Schäumen vor al lem das Treibmittel FCKW 12 Anwen dung. Das hohe Ozonzerstörungspoten tial (mit Index 100) dieses Treibgases hat dazu geführt, dass ein Ausstieg aus solchen Produkten im Interesse der Umwelt – sowohl zur Erhaltung der Ozonschicht als auch zur Vermeidung eines globalen Treibhauseffektes – un vermeidbar ist. Internationale Abkom men wie z.B. das bekannte Montreal Protokoll, welches den generellen Aus stieg aus den FCKW-Anwendungen re geln will, werden angesichts des sich zu spitzenden Dringlichkeitsgrades laufend verschärft und hinsichtlich der umstrittenen Produkte dauernd erwei terter. Die Industrie sieht sich daher kurzfristig gezwungen, Alternativpro dukte zu finden und einzuführen, wel che allerdings aus wirtschaftlichen In teressen die Weiterverwendung der be stehenden Anlagen mit minimalstmög lichen Änderungen und Investitionen gewährleisten sollten. In Aussicht ge nommen sind nun die teilhalogenier ten Substitutionsprodukte HFCKW 22 und HFCKW 142 b, fälschlicherweise oft auch Hydro-Fluoroleane genannt.

Deren reale Umweltverträglichkeit be züglich troposphärischen Ozonabbaus und Treibhauseffekts wird allerdings von ernsthaften Wissenschaftern und Umweltschutzbehörden ebenfalls zunehmend in Zweifel gezogen. Geht man aber vorerst davon aus, dass die be troffenen Hersteller bis zum Inkrafttre ten gesetzlicher Massnahmen, bzw. bis zur Einführung echt umweltfreundli cher Alternativprodukte ihre Dämm platten mit HFCKW 22, HFCKW 142 b oder Ähnlichem schäumen werden [4] [5], stellt sich aus technischer Sicht die Frage nach dem Einfluss dieser Treib-

gase auf die materialspezifischen Eigenschaften und Unterschiede gegenüber Platten mit bekanntem «FCKW-Verhalten». Dabei ist es unerlässlich, dass im heutigen Zeitpunkt einer paneuropäischen Normengebung, welche mit Sicherheit über Jahre hinweg unveränderten Bestand haben wird, seitens öffentlicher Bauherrschaften, Behörden und Institute ein ausreichendes Gegen gewicht zu den wirtschaftlich gefärbten Interessen der Schaumstoff Industrie geschaffen wird. Eine nachahmenswerte Vorreiterrolle hierzu haben erfreulicherweise die schweizerischen «Gross-Bauherren» SBB, PTT und das Amt für Bundesbauten eingenommen, welche in [6] eigene, eindeutige Zielsetzungen in der Frage des Umweltschutzes bei Baustoffen definieren und selbst den Verzicht von «HFCKWs» ins Auge fassen.

In heute bestehenden wissenschaftlichen Publikationen – sowie in Ausführungen jener Schaumstoffhersteller, welche mittlerweile auf «HFCKWs» umgestellt haben – werden die allgemein erwarteten Einflüsse von teilhalogenierten Treibgasen auf das physikalische Dämmstoffverhalten beschrieben und quantifiziert. Demnach resultiert aus HFCKW-Schäumung ein gegenüber FCKW-Schäumung um rund 20% erhöhter  $\lambda$ -Rechenwert. Dieses Ergebnis ist im wesentlichen auf eine veränderte Molekularstruktur und höhere Wärmeleitfähigkeit der neuen Treibgase zurückzuführen. Während der Alterungseinfluss auf FCKW-geschäumte Platten nach Normen mit einem Zuschlag von ca. 15% auf den  $\lambda$ -10-Wert erfasst wird, muss dem veränderten Basiswert von HFCKW-geschäumten Platten also mit einem Zuschlag begegnet werden, welcher nach heutigen Erkenntnissen die empfohlene Erhöhung des  $\lambda$ -Rechenwertes um ca. 20% zur Folge hat.

Eine analoge Betrachtung ergibt sich auch für die nachstehend ermittelten Zuschlagswerte auf den  $\lambda_r$ -Wert von bisher verwendeten Dämmplatten infolge Feuchtigkeitsaufnahme. Die neuen Treibgase HFCKW 22 und HFCKW 142 b dürften, über eine Reduktion des Diffusionswiderstandes der Dämmplatte, deren Feuchtigkeitsaufnahme auf etwa das 1,9-fache gegenüber «FCKW-Schäumung für Dachplatten-Qualität» erhöhen; entsprechende Prüfberichte liegen jedenfalls vor.

Der vorliegende Aufsatz ist die Kurzfassung einer Studie über  $\Delta k$ - und  $\Delta \lambda$ -Zuschläge, unter Berücksichtigung des Standortklimas (Niederschlagsintensität, Heiztage, Schnee-/Frostperiode) und des Schichtenaufbaus des Daches (Wärmeträger der Unterkonstruk

tion, Lage der Abdichtungsebene, Art des Schutz- und Nutzbelags). Auf eine umfassende Herleitung und Illustration der Berechnungsgrundlagen und -hilfen muss aus Platzgründen verzichtet werden; der interessierte Leser wird diesbezüglich auf den in Aussicht genommenen, erweiterten Sonderdruck verwiesen.

### Kritik an heute gebräuchlichen k-Wert-Zuschlägen

Die Anfang der siebziger Jahre erarbeitete Empfehlung SIA 271 «Flachdächer» legte betreffend der k-Werte fest, dass für Umkehrdächer generell ein Verbrauchszuschlag von 20% auf den «normalen» bzw. geforderten k-Wert zu veranschlagen sei; das hieß auch, dass zur Begrenzung des Wärmeverlustes eines Daches mit einem um etwa 20% erhöhten  $\lambda$ -Rechenwert des Polystyrol-Dämmstoffes zu rechnen war.

Diese Festlegung entsprach in der Wirkung in etwa bundesdeutschen Bestimmungen, welche für Umkehrdächer zum gegebenen k-Wert einen sogenannten  $\Delta k$ -Wert-Zuschlag von pauschal 0,08W/m<sup>2</sup>K verlangten. Bei damals etwa üblichen, realen Umkehrdach-k-Werten von 0,4W/m<sup>2</sup>K (das heißt: rund 8 cm XPS auf 18 cm Betondecke) waren damit der SIA-Zuschlag = 20% und der DIN-Zuschlag = 0,08W/m<sup>2</sup>K identisch.

Im Rahmen der Revisionsarbeiten an der Empfehlung SIA 271 «Flachdächer» in den Jahren 1981 bis 1986 wurde die k-Wert-Festlegung für Umkehrdächer und ähnliche Systeme insofern modifiziert, als seither nicht mehr ein 20%-Zuschlag auf den «Normal-k-Wert», sondern bloss noch ein 20%-Zuschlag auf den reziproken Wärmedurchlasswiderstand der über der Abdichtung liegenden Schichten, mithin in etwa ein 20%-Zuschlag auf den  $\lambda_r$ -Wert des über der Abdichtung liegenden Umkehrdach-Dämmstoffes gefordert wird. Diese Bestimmung ist insofern logisch, als bei DUO- sowie bei Renovationsdachsystemen – mit «trockenseitig» der Abdichtung liegenden

Dämmsschichten/Wärmedurchlasswiderstands-Anteilen bis maximal etwa 60% des gesamten Wärmedurchgangswiderstands – gegenüber reinen Umkehrdächern wesentlich geringere Wärmemengen durch Kühlwasser-Effekte abgeführt werden.

Eine im September 1988 publizierte Auftragsarbeit des Institutes für Bau forschung e.V., Hannover [7], berichtet nun ausführlich über alle wesentlichen im europäischen Raum laufenden Ab klärungen, Untersuchungen und Fest

legungen zur Umkehrdach-Bemessung. Während danach speziell in den skandinavischen Untersuchungen sehr differenzierte Betrachtungen angestellt werden, verweist der Autor hinsichtlich bundesdeutscher Erhebungen auf die «neuen Erkenntnisse» und Empfehlungen des Fraunhofer-Institutes für Bau physik [8] aus dem Jahre 1984, welche sich mit einem am 4. Mai 1988 aus gestellten «Zulassungsbescheid» des Institutes für Bautechnik Berlin, einer Anstalt des öffentlichen Rechts, dekkten. Aufgrund aller vorliegenden Arbeiten zur Wärmeschutzberechnung von Umkehrdachsystemen sollte aber dieser «Zulassungsbescheid» keinesfalls in seiner heutigen undifferenzierten Form in die europäische Normengebung des CEN eingehen.

Die Werte nach Zulassungsbescheid und nach SIA 271, welche grundsätzlich nur für bekiete Umkehrdächer gelten, tragen aber weder den realen Regenintensitäten je nach geographischem Standort, noch dem Einfluss von Schnee- und Schmelzwasser, dem spezifischen Wärmespeicher-Verhalten des Daches oder dessen Eideckungsart (Kies, Platten, Humus usw.) hinreichend Rechnung.

Hinsichtlich Speicherverhaltens wären in [9] interessante Grundlagenstudien zu verarbeiten gewesen. Wertvolle Untersuchungen von Fabricius, welche laut [7] in die einfache Formel münden:

$$\Delta k = 0,04 \cdot i_d \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

( $i_d$  = durchschnittlicher Tageswert der Niederschläge über die Heizperiode)

hätten wenigstens die für das Ergebnis wichtige, lokale Regenintensität erfasst. Dass die genannten Merkmale auf den Energiehaushalt des Daches erheblichen Einfluss haben, geht aus den ange stellten Detailuntersuchungen eindeutig hervor.

### Energetisches Gleichgewichtsmodell

Um den Zusatzverlust an Wärmeenergie infolge Unterströmung der Dämmplatten durch kaltes Regenwasser methodisch richtig erfassen zu können, muss eine Energiebilanzierung des Daches aus Wärmeeintritt, Wärmeentzug, Wärmeaustritt und Wasserwärme-Abfluss vorgenommen werden. Dabei ist es zweckmäßig, die für die Betrachtung relevante Heizperiode [HP] in drei charakteristische Klimaperioden [ $P_1$ ,  $P_{II}$ ,  $P_{III(H)}$ ] aufzuteilen. Infolge Symmetrie der Außentemperatur-Jahresganglinie wird dabei vereinfachend festgelegt:  $P_1 = P_{III}$  sowie  $P_{II} = \kappa \cdot P_1$  bzw.  $\kappa \cdot P_{III}$ . Die

Heizperiode  $P_1$  ist damit ausgedrückt als:  $P_1 = (2 + \kappa) \cdot P_{\text{I}}$ , wobei der Wert  $\kappa$  als Funktion der standortbedingten Heizstundenzahl wie folgt definiert werden kann:

$$\kappa \sim \left( \frac{HP(h)}{5500} \right)^2 \cdot 0,75.$$

Die Periode  $P_1$  dauert definitionsgemäß von Heizbeginn bis zu jenem Zeitpunkt, wo die Außentemperatur statistisch Werte unter  $0^{\circ}\text{C}$  annimmt bzw. wo die Niederschläge in Form von Schnee zu fallen beginnen. Sinngemäß gilt Periode  $P_{\text{III}}$  als Tauperiode, das heißt von Beginn des Tauwetters bis Ende der Heizperiode. Die dazwischenliegende Periode  $P_{\text{II}} = \kappa \cdot P_1$  gilt demnach als Frostperiode, innerhalb welcher die fallenden Niederschläge «unwirksam» sind.

Über die Klimaperiode  $P_1$  kann eine Energiebilanz formuliert werden, bei welcher sich «Wärmeintritt» und «Entzug von Speicherwärme» aus dem Dachquerschnitt im Gleichgewicht halten mit der Summe aus «Wärmeausstrahlung» und «Kühlwasserverlusten». Dabei wird berücksichtigt, dass innerhalb der Periode  $P_1$  wirksame Regenintervalle stets von regenfreien Zwischenperioden abgelöst werden. Wird die tatsächliche, summierte Regenzeit während der Periode  $P_1$  mit  $\alpha \cdot P_1(h)$  veranschlagt, so gilt beispielsweise für die aus der mittleren Regenintensität  $\bar{m}_1$  von Periode  $P_1$  errechnete reale Regenintensität  $= m_1 = \alpha^{-1} \cdot \bar{m}_1$ , wobei sich diese «Einstundenregen» total  $\alpha \cdot P_1(h)$ -fach wiederholen. Bei jedem dieser Regenintervalle leistet die mehr oder weniger grosse Auskühlung des Dachquerschnittes durch Speicherwärme-Entzug ihren Beitrag zum Energie-Gleichgewicht.

Numerische Auswertungen der wirksamen Speicherkapazitäten von Dachquerschnitten zeigen, dass je nach Dach-Charakteristik mit folgenden Grenzwerten gerechnet werden kann:

Reine Umkehrdächer mit Massivdecke unmittelbar unter der Abdichtungsebene: Speicherwärme quasi unendlich, das heißt: «Kühlwasser-Verlust» allein aus Speicherwärme-Entzug ohne messbare Temperaturabsenkung im Dachquerschnitt gedeckt.

Für sogenannte Leichtdach- und/oder DUO-Dachkonstruktionen: Speicherwärme quasi Null, das heißt: Zusätzlicher Wärmeverlust allein durch «steilen Raumwärme-Eintritt» gedeckt. In diesen Fällen versteht es sich nach [9] von selbst, dass der Gefahr von raumseitiger Kondensatbildung im Winter

wie namentlich im Sommer besondere Beachtung zu schenken ist.

Aus der Summe aus «Beregnungszuständen» und regenfreien Zeitintervallen ist für die Beobachtungsperiode  $P_1$  der massgebende Zuschlagswert  $\Delta k_1$  wie folgt bestimmt:

Dach massiv:

$$\Delta k_1 = 1,16 \cdot \bar{m}_1 \cdot W_a (W_i + W_a)^{-1} \cdot \beta$$

Dach leicht:  $\Delta k_1 = \alpha \cdot$

$$\left[ \left( \frac{1 - \gamma_1}{1 - \varrho} \right) \cdot W_i^{-1} - (W_i + W_a)^{-1} \right] \cdot \beta$$

mit  $W_i$  resp.  $W_a$  = «Wärmeschutz» innen- bzw. aussenseitig der Abdichtungsebene ( $\text{m}^2 \text{K/W}$ ).

wobei  $\gamma_1 =$

$$= \frac{W_i^{-1} + \varrho (1,16 \cdot \alpha^{-1} \cdot \bar{m}_1 + W_a^{-1})}{(W_i^{-1} + W_a^{-1} + 1,16 \cdot \alpha^{-1} \cdot \bar{m})}$$

$$\text{und } \varrho = \frac{\varrho_{\text{d}}}{\varrho_i} = \frac{+6^{\circ}\text{C}}{20^{\circ}\text{C}} = 0,3;$$

Werte für  $\beta$ : siehe nachstehend

Offen ist dabei noch die Frage, wieweit die Art des Schutz- und Nutzbelages (Kies, Zementplatten/Asphalt, Humus)

- erstens den realen Wasserzutritt zur Abdichtungsebene in seiner zeitlichen Verbreitung/Verzögerung beeinflusst, und
- zweitens den realen Wasserzutritt zur Abdichtungsebene mengenmäßig bestimmt.

Der erste Einfluss des Nutzbelages kann durch den vorstehend verwendeten Faktor  $\alpha$  berücksichtigt werden:

Bei Kiesabdeckung ist davon auszugehen, dass das auftretende Niederschlagswasser unmittelbar und ohne «zeitliche Verzögerung» auf die Abdichtungsebene auftrifft und somit wirksam wird. Wenn also statistisch während ca. 20% einer Betrachtungsperiode tatsächlich Regen fällt, ist für die Beregnungszustände mit einer realen Regenintensität entsprechend ( $\alpha^{-1} = 5,0 \cdot \bar{m}_1$ ) zu rechnen. Sowohl aus qualitativer Betrachtung, wie aus der mathematischen Formulierung ist ersichtlich, dass die Grösse von  $\alpha$  ( $0 < \alpha \leq 1$ ) nur bei Leichtdächern einen variablen Einfluss auf das Resultat, d.h. auf den  $k$ -Wert-Zuschlag hat.

Bei befestigten Nutzbelägen wird – abgesehen vom relativ grossen Abtransport des Regenwassers über oberflächige Ableitungen in Dachwasserabläufe – die Restwassermenge mit beträchtlicher Verzögerung und zeitlicher Verteilung auf der Abdichtungsebene auftreten, so dass hier mit zwar erheblich reduzierten Intensitäten, dafür aber mit wesentlich längeren wirksamen Regenintervallen als «in natura» zu rechnen

ist. Es ist bei befestigten Nutzbelägen daher – wie aus gleichen Gründen auch bei humusierten Dächern – stets mit einem  $\alpha$ -Wert = 1,0 und einer realen Intensität entsprechend  $m_1 = \bar{m}_1$  zu rechnen.

Der zweite Einfluss, nämlich die «Rückhalte- und Schluckwirkung» und damit die mengenmässige Reduktion der wirksamen Niederschläge je nach Nutzbelag, kann durch einen Reduktionsfaktor  $\beta$  zur theoretischen Regenintensität, also durch die Formel  $m_1 = \beta \cdot \alpha^{-1} \cdot \bar{m}_1$  erfasst werden.

Für Kiesabdeckungen ist nach diversen Untersuchungen ein Faktor  $\beta \approx 0,95$  zu veranschlagen. Für befestigte Flächen dürfte die auf der Abdichtung noch auf-treffende Meteowassermenge etwa mit  $\beta \approx 0,05 \dots 0,35$  erfasst und für humusierte Flächen mit  $\beta \approx 0,65$  veranschlagt werden. Die restlichen Wassermengen entsprechend  $(1 - \beta) \cdot \bar{m}_1 \cdot P_1(h)$  leisten infolge Verdunstung, Benetzung/Be-feuchtung oder infolge Direktabfluss keinen Beitrag zum Energie-Gleichgewicht des Umkehrdaches. Nichtwirksamer Schneefall wird, gemäss späteren Ausführungen, mit einem separaten Reduktionsfaktor « $r$ » berücksichtigt.

Im Gegensatz zur Periode  $P_1$  von Heizbeginn bis Frostbeginn leistet die nun folgende Frostperiode  $P_{\text{II}} = \kappa \cdot P_1$  bzw.  $\kappa \cdot P_{\text{III}}$  keinen Beitrag an die Summe der zusätzlichen Verluste infolge Unterfliessens.

Die Tauperiode  $P_{\text{III}}$  hingegen weist, trotz statistisch gleicher Zeitspanne, wesentlich grössere Zusatzverluste auf als  $P_1$ .

Es ist zu beachten, dass die um einen Reduktionsfaktor « $r$ » ( $r \leq 1,0$ ) verminderten Schneemengen (soweit nicht verdampft oder weggeweht) als «ver-spätet wirksame» Niederschläge zu der summierten Regenmenge während  $P_{\text{III}}$  hinzuzuzählen sind. Zudem wirkt damit während  $P_{\text{III}}$  praktisch permanent eine Niederschlags-Mischwasser-Temperatur  $\vartheta_{\text{NIII}}$ , auf die Abdichtungsebene ein, welche deutlich unter der mittleren Außenlufttemperatur  $\vartheta_{\text{aIII}}$  liegt.

Es kann gezeigt werden, dass im «Normalfall» für Periode  $P_{\text{III}}$  stets mit einer Schmelzwassertemperatur  $\vartheta_{\text{NIII}} = +0^{\circ}\text{C}$  zu rechnen ist.

In analoger Weise wie für die Periode  $P_1$  kann nun ein Zuschlagswert  $\Delta k_{\text{III}}$  für die Periode  $P_{\text{III}}$ , in welchem mit  $m_{\text{III}} = \beta \cdot \alpha^{-1} \cdot \bar{m}_{\text{III}} \cdot (1 + \kappa \cdot r)$  auch der wirk-same Schneeeanteil aus Periode  $P_{\text{II}}$  erfasst ist, wie folgt definiert werden; bei dieser Periode  $P_{\text{III}}$  kann dabei für «die Regenverteilung» generell ein Wert  $\alpha = 1,0$  gesetzt werden:

Dach massiv:

$$\Delta k_{III} = 1,16 \cdot \bar{m}_{III} (1 + \kappa \cdot r) \cdot \left[ \frac{W_a + \varrho \cdot W_i}{(1-\varrho)} \cdot (W_a + W_i)^{-1} \right] \cdot \beta$$

Dach leicht:

$$\Delta k_{III} = \left[ \frac{1 - \gamma_{III}}{1 - \varrho} \cdot W_i^{-1} - (W_i + W_a)^{-1} \right] \cdot \beta$$

Wobei hier:  $\gamma_{III} =$

$$\frac{W_i^{-1} + \varrho \cdot W_a^{-1}}{W_i^{-1} + W_a^{-1} + 1,16 \bar{m}_{III}} \leq \gamma_i \text{, und}$$

$$\varrho = 0,3 = \frac{\varrho_{III}}{\varrho_i}$$

Statt mit den spezifischen Regenintensitäten  $\bar{m}_I$  und  $\bar{m}_{III}$  während der Perioden  $P_I$  bzw.  $P_{III}$  wird vereinfachend mit dem statistischen Mittelwert über die Heizperiode (HP), entsprechend

$$\bar{m}_{HP} = \frac{\Sigma N_w + \frac{HP(h) - 4380 h}{4380 h} \cdot \Sigma N_s}{HP(h)}$$

gerechnet, wobei gilt:

$\Sigma N_w$  = Niederschlag hydrolog. Winterhalbjahr [12]

$\Sigma N_s$  = Niederschlag hydrolog. Sommerhalbjahr [12]

Der über die ganze Heizperiode gewichtete Mittelwert der beiden Zuschlagswerte  $\Delta k_I$  und  $\Delta k_{III}$ , d.h.:  $\bar{\Delta k}_{HP} = (\Delta k_I + \Delta k_{III}) \cdot (2 + \kappa)^{-1}$

ergibt schliesslich den massgebenden  $k$ -Wert-Zuschlag.

kumulierte Feuchtigkeitsgehalt über den Nutzungszeitraum von  $n$ -Jahren ist somit massgebend für die Festlegung der ideellen Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes, wobei nach [10] pro 1 Volumenprozent Feuchtigkeitszunahme mit einer Erhöhung des  $\lambda$ -Rechenwertes um je ca. 3–5%, bzw. nach [11] um je 0,001 W/mK zu rechnen ist.

Nach [11] wurden speziell in Norwegen umfangreiche Untersuchungen mit der Erkenntnis durchgeführt, hinsichtlich  $\Delta\lambda$ -Zuschlag die folgende Regelung zu treffen:

- für Kiesüberdeckung mit durchschnittlicher Feuchtigkeitsanreicherung ca. 1 Vol-%:  $\Delta\lambda = 0,001 \text{ W/mK}$
- für Zementplatten in Kies- oder Splittbett, bei durchschnittlicher Feuchtigkeitsanreicherung ca. 5 Vol-%:  $\Delta\lambda = 0,005 \text{ W/mK}$
- für Ortbetonplatten und Gründächer auf Dämmschicht, bei durchschnittlicher Feuchtigkeitsanreicherung ca. 8 Vol-%:  $\Delta\lambda = 0,008 \text{ W/mK}$

Diese Zuschläge korrespondieren recht gut mit Zuschlagswerten, welche sich aus einer errechneten, mittleren Kondensationsanreicherung für  $n = 30$  Jahre Nutzungsdauer je nach Eindecksart, d.h. mit differenzierten jährlichen Restkondensat-Anteilen ergeben.

Bei der Bemessung der erforderlichen Dämmstoffdicke ist also sowohl dem Einfluss aus «Unterfliessen bzw. « $\Delta k$ », als auch jenem aus «Feuchtigkeitsaufnahme, bzw.  $\lambda_{id}$ » Rechnung zu tragen.

### Praktisches Beispiel mit Schlussfolgerungen

In der eingangs erwähnten Studie wurden auf der Grundlage des «Gleichgewichtsmodells» die Klimaeinflüsse von 33 europäischen Stationen bezüglich Dämmstoffbedarf für verschiedene  $k$ -Werte und Umkehrdachaufbauten untersucht. Es war dabei auch zwischen «FCKW-Schäumung» und «HFCKW-Schäumung» zu unterscheiden.

Für die drei Stationen «Zürich», «Davos» und «Hamburg» sind die Resultate tabellarisch dargestellt. Allen 33 Stationen lagen dabei die folgenden Festlegungen zugrunde:

- Heizgrenze + 12 °C; Heizstunden nach individuellen Klimaangaben, oder abgeleitet aufgrund von bekanntem Jahresmittel der Außentemperatur (Festlegung siehe Tabellenkopf).
- Niederschläge für CH-Stationen als Mittel aus hydrologischem Winterhalbjahr plus Anteil aus hydrologischem Sommerhalbjahr; alle übrigen Stationen als Anteil aus Jahreswert (Festlegung siehe Tabellenkopf).
- 50% des Niederschlages während der Frostperiode (Schnee) seien vor Beginn der Tauperiode vom Dach entfernt.
- Warmseitiger Anteil am Wärmedurchgangs-Widerstand =  $W_i = 0,225 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ; Schutz- und Nutzbeläge oberhalb der Dämmschicht ohne Wärmedurchlass-Widerstand.

### Ideeller $\lambda$ -Wert aus Feuchtigkeitsaufnahme je nach Nutzbelag- und Dämmstoffanordnung

Die Feuchtigkeitsanreicherung im Dämmstoff resultiert aus permanenter Verdunstung von Niederschlags- und Schmelzwasser zwischen Abdichtung und Dämmstoff während der um die Frostperiode reduzierten Heizperiode HP. Die rechnerische Kondensationsmenge im Dämmstoff ist abhängig vom Diffusionswiderstand der Dämmplatte sowie von der Sättigungsdruckdifferenz des Wasserdampfes unterhalb und oberhalb des Dämmstoffes. Je nach Art der Schutz- und Nutzschicht wird die angereicherte Feuchtigkeit im Dämmstoff ausserhalb der Heizperiode teilweise oder vollständig austrocknen. Das verbliebene Restkondensat der ersten Heizperiode beeinflusst in der Folge zusammen mit dem zweiten Kondensationsvorgang die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes während der zweiten Heizperiode. Dieser Vorgang wiederholt sich während  $n$ -Jahren Nutzungsdauer des Daches. Der mittlere

Zürich mm = 594 / HP	CH (HP = 5500 h)	FCKW (W/m² K) 0,40 0,35 0,30	HFCKW (W/m² K) 0,40 0,35 0,30
Kies-Eindeckung	101	124 160	122 151 193
Humus-Eindeckung	98	115 142	129 149 183
Fertigplatten pressfugig, in Splittbett	85	98 118	109 125 149
Ortbetonplatte verfugt	80	91 105	106 120 136

Davos mm = 870 / HP	CH (HP = 7560 h)	FCKW (W/m² K) 0,40 0,35 0,30	HFCKW (W/m² K) 0,40 0,35 0,30
Kies-Eindeckung	101	125 160	123 151 193
Humus-Eindeckung	98	115 143	129 149 184
Fertigplatten pressfugig, in Splittbett	85	98 118	109 125 149
Ortbetonplatte verfugt	80	91 105	106 120 136

Hamburg mm = 442 / HP	D (HP = 5424 h)	FCKW (W/m² K) 0,40 0,35 0,30	HFCKW (W/m² K) 0,40 0,35 0,30
Kies-Eindeckung	91	110 137	110 133 165
Humus-Eindeckung	92	107 130	121 138 168
Fertigplatten pressfugig, in Splittbett	82	95 113	106 121 143
Ortbetonplatte verfugt	79	90 104	106 119 136

Tabelle 1. Erforderliche Dämmschicht-Stärken (mm) je nach Klimabedingungen/Standort, verlangtem  $k$ -Wert und Art der Dacheindeckung/Nutzschicht.

Die trotz etwa gleicher Heizperiode deutlichen Mehrstärken für «Zürich» gegenüber «Hamburg» sind ausschliesslich auf die im Raume Zürich höhere Niederschlagsmenge resp. -Intensität während der Heizperiode zurückzuführen. Der trotz unterschiedlicher Niederschlagsmengen und Heizperioden dennoch etwa identische Dämmstoffbedarf zwischen «Davos» und «Zürich» hingegen resultiert im wesentlichen aus der Berechnungsannahme, wonach 50% des während der (bei Davos speziell langen) Frostperiode gefallenen Schnees bei Taubeginn nicht mehr existent sei und aus der Berechnung falle. Würde «aller Schnee» in Rechnung gestellt, ergäben sich im Vergleich mit «Zürich» deutliche Mehrzuschläge zugunsten «Davos». Von den ausgewiesenen Schichtdicken sind durchschnittlich (d.h. für  $k = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) etwa folgende Stärkenanteile auf Feuchtigkeitsaufnahme zurückzuführen;

	FCKW	HFCKW
Kies-Eindeckung	1,0%	2,0%
Humus-Eindeckung	8,5%	15,0%
Fertigplatten	7,0%	12,5%
Ortbetonplatte	11,0%	19,0%

Die verbleibenden Schichtstärken setzen sich alsdann zusammen aus den *Basischichtdicken* (ohne Zuschläge), mit  $\lambda_r - FCKW = 0,03 \text{ W/m K}$  und  $\lambda_r - HFCKW = 0,036 \text{ W/m K}$ :

	FCKW	HFCKW
$k = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$	68,3 mm	82,0 mm
$k = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$	79,0 mm	94,8 mm
$k = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	93,3 mm	112,0 mm

und den stark variierenden, aus  $\Delta k_{HP}$  resultierenden Dickenanteilen (mm).

Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit einer gegenüber heutiger Praxis differenzierteren Berechnungsweise. Interessant ist dabei die Feststellung, dass aus den beiden Einflüssen «Unterfliessen» und «Feuchtigkeits-

aufnahme», welche sich je nach Art der Abdeckung quasi «gegenläufig» verhalten, für das bekiete und das humusierte Dach die gesamthaft grössten Zuschläge resultieren. Die Korrektur zum  $k$ -Wert fällt demnach beim bekieten Umkehrdach «trotz fehlender Feuchtigkeitsaufnahme wesentlich höher aus, als etwa beim vermeintlich unzulässigen Umkehrdach mit diffusionspermeierter Eindeckung und hoher Feuchtigkeitsaufnahme unter verfügten Ortbetonplatten. Die pauschale Weisung nach Empfehlung SIA 271, Umkehrdächer ausschliesslich mit diffusionsoffenen Eindeckungen zu versehen, erscheint in diesem Lichte jedenfalls als recht undifferenziert.

Verfeinerte Berechnungsmethoden setzen anderseits voraus, dass das Dach als Ganzes nach den allgemeinen Regeln der Baukunde erstellt wird. Insbesondere sind die sichere Drainage und Entwässerung, d.h. auch das geforderte Dachgefälle, im Sinne der Ausführungsvorschriften unbedingt sicherzustellen. Dauernd in stehendes Wasser getauchte Dämmplatten werfen jedes noch so differenzierte Berechnungsverfahren über den Haufen! Diesem Aspekt, welcher bei künftiger Verwendung von HFCKW-Schäumen wegen deren erhöhter Feuchtigkeitsaufnahme unter Diffusionseinwirkung noch an Bedeutung gewinnen wird, kommt unbesehen aller Berechnungsmethoden nach wie vor erstrangige Bedeutung zu. Wasseraufnahmen im Dämmstoff von 10–15% innerhalb wenigen Jahren sind bei regelwidriger Konstruktionsweise oder bei Dämmplatten mit zerstörter Schaumhaut in zahlreichen Fach- und Gerichtsexperten nachgewiesen.

Schliesslich gilt es zu beachten, dass alle Berechnungsmethoden zur Ermittlung von  $\Delta k$ -Zuschlägen von der stillschwegenden und selbstverständlichen Voraussetzung einer dauernden und voll-

## Literatur

- [1] Wärmedämmstoffe; Versuch einer ganzheitlichen Betrachtung (Vernehmlassungsentwurf); Ingenieurschule beider Basel (HTL)
- [2] Beitrag «Umwelt»; Der Spiegel 14/89
- [3] «Stadt Zürich plant Verbot von FKW-Schaumstoffisolationen»; Beitrag Schweizer Baublatt 47/89
- [4] Fluorocarbon/Ozone; Update Dez. 88, Du Pont
- [5] Das Ende der deutschen Ozonkiller, 26.10.89, FAZ.
- [6] Erfa/Info 2/89; SBB, PTT, AFB
- [7] Feuchtigkeitsverhältnisse in Umkehrdächern; Auswirkungen auf die Konstruktion und den Wärmeschutz. Dipl. Ing. W. Zapke; Institut für Bauforschung e.V., Hannover
- [8] Neue Untersuchungen und Überlegungen zur Frage des Zuschlages  $k$  bei Umkehrdächern; Fraunhofer-Institut für Bauphysik Nr. B Ho 2/84
- [9] Wärmehaushalt des Umkehrdaches; K. Kiessl und K. Gertis; die Bautechnik 56 (1979)
- [10] Wärmedämmstoffe für den Wohnungsbau; K. Binder, Facultas-Verlag Wien
- [11] Thermal design of highly insulated inverted roofs; Paulsen/Nielsen (NBI) 1984
- [12] Klimatologie der Schweiz/E (Niederschlag); Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt

flächigen Lagerung der Dämmplatten auf der Abdichtungsebene, d.h. von deren Sicherung auch gegen bloss temporäres Aufschwimmen ausgehen. Kiesauflasten von nur 5 cm Stärke, in Kombination mit der oft propagierten Seilwirkung von «lastverteilenden» Filtervliesen, erfüllen diese Anforderung kaum.

Adresse des Verfassers: H. Bangerter, Ing. SIA, c/o Weder + Bangerter AG, Ingenieurbüro, Schaffhauserstr. 126, 8302 Kloten.