

Umkehrdächer und ähnliche Systeme: Bemessung des Wärmeschutzes

Autor(en): **Bangerter, Heinz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **109 (1991)**

Heft 43

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-86035>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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 Normenschaftern 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 λ -Wert-

VON HEINZ BANGERTER,
KLOTEN

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

Sicht scheint es jedenfalls nötig, sich mit der Frage von Δk -Zuschlägen infolge Unterfließens der Dämmplatten und mit der Frage des wirksamen, ideellen λ -Wertes der Dämmplatten je nach Abdeckung und Feuchtigkeitsaufnahme eingehender auseinanderzusetzen.

Für die aus Sicht des Bauherrn wichtigen Aspekte der tatsächlichen thermischen Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit eines Umkehrdaches und seiner Modifikationen (DUO-Dach, Renovationssysteme) ist die normengemässe Festlegung der wärmetechnischen Zusatzgrössen Δk und $\Delta \lambda$ von entscheidender Bedeutung – zumal der nach heutigen Erkenntnissen einzig geeignete Umkehrdach-Dämmstoff «extrudierter Polystyrol XPS» bei den konventionellen Warmdachsystemen kaum mehr Verwendung findet. Diese produktbedingte Polarisierung zwischen dem Umkehrdach- und den Warmdachsystemen wird im übrigen noch verstärkt durch die umweltschädigenden Treibgase zur Extruderschäumherstellung [1], [2], [3]. Sowohl aus ökologischer als auch energetischer Sicht erfordert das Umkehrdach deshalb besondere Beachtung.

Spezifische Betrachtungen zum Dämmstoff

Bisher fand bei XPS-Schäumen vor allem das Treibmittel FCKW 12 Anwendung. Das hohe Ozonzerstörungspotential (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 – unvermeidbar ist. Internationale Abkommen wie z.B. das bekannte Montreal-Protokoll, welches den generellen Ausstieg aus den FCKW-Anwendungen regeln will, werden angesichts des sich zuspitzenden Dringlichkeitsgrades laufend verschärft und hinsichtlich der umstrittenen Produkte dauernd erweitert. Die Industrie sieht sich daher kurzfristig gezwungen, Alternativprodukte zu finden und einzuführen, welche allerdings aus wirtschaftlichen Interessen die Weiterverwendung der bestehenden Anlagen mit minimalstmöglichen Änderungen und Investitionen gewährleisten sollten. In Aussicht genommen sind nun die teilhalogenierten Substitutionsprodukte HFCKW 22 und HFCKW 142 b, fälschlicherweise oft auch Hydro-Fluoraleane genannt.

Deren reale Umweltverträglichkeit bezüglich troposphärischen Ozonabbaus und Treibhauseffektes wird allerdings von ernsthaften Wissenschaftlern und Umweltschutzbehörden ebenfalls zunehmend in Zweifel gezogen. Geht man aber vorerst davon aus, dass die betroffenen Hersteller bis zum Inkrafttreten gesetzlicher Massnahmen, bzw. bis zur Einführung echt umweltfreundlicher Alternativprodukte ihre Dämmplatten 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 Normgebung, welche mit Sicherheit über Jahre hinweg unveränderten Bestand haben wird, seitens öffentlicher Bauherrschaften, Behörden und Institute ein ausreichendes Gegengewicht 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 λ -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 λ -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 λ -Rechenwertes um ca. 20% zur Folge hat.

Eine analoge Betrachtung ergibt sich auch für die nachstehend ermittelten Zuschlagswerte auf den λ_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 Δk - und $\Delta \lambda$ -Zuschläge, unter Berücksichtigung des Standortklimas (Niederschlagsintensität, Heiztage, Schnee-/Frostperiode) und des Schichtenaufbaus des Daches (Wärmeträgheit 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 λ -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 Δk -Wert-Zuschlag von pauschal $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ verlangten. Bei damals etwa üblichen, realen Umkehrdach-k-Werten von $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (das heisst: rund 8 cm XPS auf 18 cm Betondecke) waren damit der SIA-Zuschlag = 20% und der DIN-Zuschlag = $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ 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 λ_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 Dämmschichten/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 Abklärungen, 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 Bauphysik [8] aus dem Jahre 1984, welche sich mit einem am 4. Mai 1988 ausgestellten und auf den 31. März 1990 befristeten «Zulassungsbescheid» des Institutes für Bautechnik Berlin, einer Anstalt des öffentlichen Rechts, decken. Aufgrund aller vorliegenden Arbeiten zur Wärmeschutzberechnung von Umkehrdachsystemen sollte aber dieser «Zulassungsbescheid» keinesfalls in seiner heute undifferenzierten Form in die europäische Normgebung des CEN eingehen.

Die Werte nach Zulassungsbescheid und nach SIA 271, welche grundsätzlich nur für bekieste 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 Eindeckungsart (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 angestellten 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, Wärmestrahlung und Wasserwärme-Abfluss vorgenommen werden. Dabei ist es zweckmässig, die für die Betrachtung relevante Heizperiode [HP] in drei charakteristische Klimaperioden [P_I , P_{II} , $P_{III(h)}$] aufzuteilen. Infolge Symmetrie der Aussentemperatur-Jahresganglinie wird dabei vereinfachend festgelegt: $P_I = P_{III}$ sowie $P_{II} = \kappa \cdot P_I$ bzw. $\kappa \cdot P_{III}$. Die

Heizperiode HP ist damit ausgedrückt als: $HP = (2 + \kappa) \cdot P_I$, wobei der Wert κ 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_I dauert definitionsgemäss von Heizbeginn bis zu jenem Zeitpunkt, wo die Aussentemperatur statistisch Werte unter 0°C annimmt bzw. wo die Niederschläge in Form von Schnee zu fallen beginnen. Sinngemäss gilt Periode P_{III} als Tauperiode, das heisst von Beginn des Tauwetters bis Ende der Heizperiode. Die dazwischenliegende Periode $P_{II} = \kappa \cdot P_{III}$ gilt demnach als Frostperiode, innerhalb welcher die fallenden Niederschläge «unwirksam» sind.

Über die Klimaperiode P_I kann eine Energiebilanz formuliert werden, bei welcher sich «Wärmeeintritt» und «Entzug von Speicherwärme» aus dem Dachquerschnitt im Gleichgewicht halten mit der Summe aus «Wärmeaustritt» und «Kühlwasserverlusten». Dabei wird berücksichtigt, dass innerhalb der Periode P_I wirksame Regenintervalle stets von regenfreien Zwischenperioden abgelöst werden. Wird die tatsächliche, summierte Regenzeit während der Periode P_I mit $\alpha \cdot P_I(h)$ veranschlagt, so gilt beispielsweise für die aus der mittleren Regenintensität $[\bar{m}_I]$ von Periode P_I errechnete reale Regenintensität $= m_I = \alpha^{-1} \cdot \bar{m}_I$, wobei sich diese «Einstundenregen» total $\alpha \cdot P_I(h)$ -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 «steileren 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 «Berechnungszuständen» und regenfreien Zeitintervallen ist für die Beobachtungsperiode P_I der massgebende Zuschlagswert Δk_I wie folgt bestimmt:

Dach massiv:

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

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

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

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

wobei $\gamma_I =$

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

$$\text{und } \varrho = \frac{\vartheta_{aI}}{\vartheta_i} = \frac{+6^\circ\text{C}}{20^\circ\text{C}} = 0,3;$$

Werte für β : 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 α 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 Berechnungszustände mit einer realen Regenintensität entsprechend $(\alpha^{-1} = 5,0) \cdot \bar{m}_I$ zu rechnen. Sowohl aus qualitativer Betrachtung, wie aus der mathematischen Formulierung ist ersichtlich, dass die Grösse von α ($0 < \alpha \leq 1$) 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 auftreffen, 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 α -Wert = 1,0 und einer realen Intensität entsprechend $m_I \equiv \bar{m}_I$ 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 β zur theoretischen Regenintensität, also durch die Formel $m_I = \beta \cdot \alpha^{-1} \cdot \bar{m}_I$ 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 auftretende 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 $(1-\beta) \cdot \bar{m}_I \cdot P_I(h)$ leisten infolge Verdunstung, Benetzung/Befeuchtung 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_I von Heizbeginn bis Frostbeginn leistet die nun folgende Frostperiode $P_{II} = \kappa \cdot P_I$ bzw. $\kappa \cdot P_{III}$ keinen Beitrag an die Summe der zusätzlichen Verluste infolge Unterfließens.

Die Tauperiode P_{III} hingegen weist, trotz statistisch gleicher Zeitdauer, wesentlich grössere Zusatzverluste auf als P_I .

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

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

In analoger Weise wie für die Periode P_I kann nun ein Zuschlagswert Δk_{III} für die Periode P_{III} , in welchem mit $m_{III} = \beta \cdot \alpha^{-1} \cdot \bar{m}_{III} \cdot (1 + \kappa \cdot r)$ auch der wirksame Schneeanteil aus Periode P_{II} erfasst ist, wie folgt definiert werden; bei dieser Periode P_{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: $\gamma_{III} =$

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

$$\varrho = 0,3 = \frac{g_{aIII}}{g_i}$$

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

$$\bar{m}_{HP} = \frac{\sum N_W + \frac{HP(h) - 4380 h}{4380 h} \cdot \sum N_S}{HP(h)}$$

gerechnet, wobei gilt:

$\sum N_W =$ Niederschlag hydrolog. Winterhalbjahr [12]

$\sum N_S =$ Niederschlag hydrolog. Sommerhalbjahr [12]

Der über die ganze Heizperiode gewichtete Mittelwert der beiden Zuschlagswerte Δk_I und Δk_{III} , d.h.:

$$\Delta k_{HP} = (\Delta k_I + \Delta k_{III}) \cdot (2 + \kappa)^{-1}$$

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 λ -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 Ort betonplatten 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 Eindeckungsart, d.h. mit differenzierten jährlichen Restkondensat-Anteilen ergeben.

Bei der Bemessung der erforderlichen Dämmstoffdicke ist also sowohl dem Einfluss aus «Unterfliessen bzw. Δk », als auch jenem aus «Feuchtigkeitsaufnahme, bzw. λ_{rel} » 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 Wärmedurchgangswiderstand = $W_i = 0,225 \text{ m}^2\text{K/W}$; Schutz- und Nutzbeläge oberhalb der Dämmschicht ohne Wärmedurchlasswiderstand.

Ideeller λ -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/m ² K)			HFCKW (W/m ² K)		
		0,40	0,35	0,30	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
Ort betonplatte verfugt		80	91	105	106	120	136

Davos mm = 870 / HP	CH (HP = 7560 h)	FCKW (W/m ² K)			HFCKW (W/m ² K)		
		0,40	0,35	0,30	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
Ort betonplatte verfugt		80	91	105	106	120	136

Hamburg mm = 442 / HP	D (HP = 5424 h)	FCKW (W/m ² K)			HFCKW (W/m ² K)		
		0,40	0,35	0,30	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
Ort betonplatte 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 zulasten «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 *Basis-schichtdicken* (ohne Zuschläge), mit $\lambda_r - \text{FCKW} = 0,03 \text{ W/m} \kappa$ und $\lambda_r - \text{HFCKW} = 0,036 \text{ W/m} \kappa$:

	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 $\Delta \bar{k}_{HP}$ 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 bekieste und das humusierete Dach die gesamthaft grössten Zuschläge resultieren. Die Korrektur zum k -Wert fällt demnach beim bekiesten Umkehrdach «trotz fehlender Feuchtigkeitsaufnahme wesentlich höher aus, als etwa beim vermeintlich unzulässigen Umkehrdach mit diffusionsperrender Eindeckung und hoher Feuchtigkeitsaufnahme unter verfugten 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 andererseits 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 un-besehen aller Berechnungsmethoden nach wie vor erstrangige Bedeutung zu Wasseraufnahmen im Dämmstoff von 10–15% innert wenigen Jahren sind bei regelwidriger Konstruktionsweise oder bei Dämmplatten mit zerstörter Schaumhaut in zahlreichen Fach- und Gerichtsexpertisen nachgewiesen.

Schliesslich gilt es zu beachten, dass alle Berechnungsmethoden zur Ermittlung von Δk -Zuschlägen von der stillschweigenden und selbstverständlichen Voraussetzung einer dauernden und voll-

Literatur

- [1] Wärmedämmstoffe; Versuch einer ganzheitlichen Betrachtung (Vernehmlassungsentwurf); Ingenieur-schule 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.