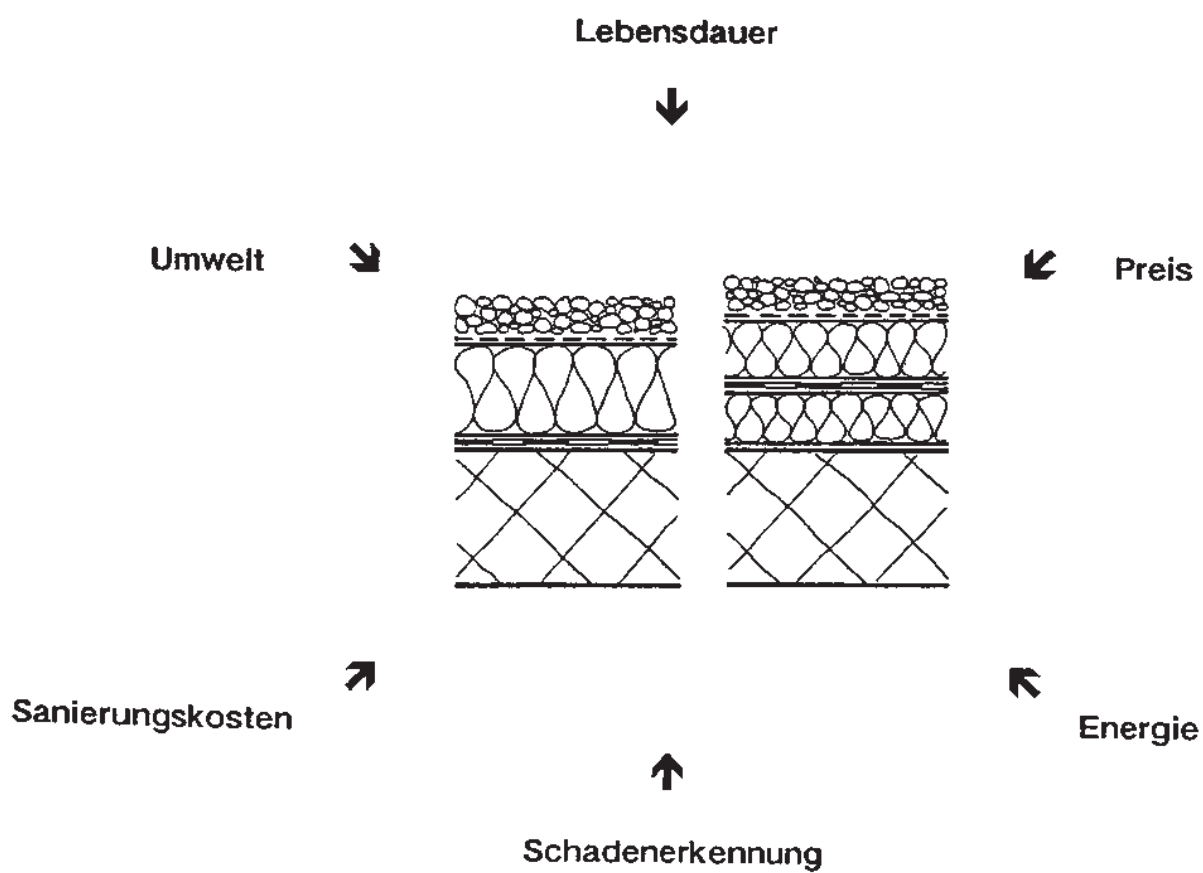


Beurteilungskriterien der Flachdächer

JON-DURI VITAL, BERN



Beurteilungskriterien der Flachdächer

Für die richtige Wahl einer Flachdachkonstruktion sind definierte Kriterien eine gute Entscheidungshilfe. Die wichtigsten Kriterien eines Flachdaches und ihre Bedingungen werden näher vorgestellt und mit den bekannten UK-, DUO- und PLUS-Dächern verglichen und bewertet.

Die Kriterien und Bedingungen für Flachdächer

Für alle Bauteile, seien es Aussenwände, Fenster, Grundwasserabdichtungen oder auch Flachdächer, sollten vor der

VON JON-DURI VITAL, BERN

Wahl verschiedene Kriterien, Merkmale, Eigenschaften oder Charakteristiken der Konstruktion festgelegt werden. Nennen wir diese einfach «Kriterien». Damit die Kriterien auch eingehalten werden können, müssen bestimmte Bedingungen erfüllt werden. Aus einer Anzahl von möglichen Konstruktionen ist diejenige die geeignetste, die die Kriterien bzw. Bedingungen am besten erfüllt.

Es gibt verschiedene Methoden, das richtige und optimalste Flachdach, abgestützt auf die Wünsche des Bauherrn, ausfindig zu machen. Besonders verbreitet ist die Methode «nach Gefühl» oder diejenige nach dem «billigsten Angebot». Die Erkenntnis kommt in vielen Fällen einige wenige Jahre später, indem das Dach saniert oder sogar neu erstellt werden muss. Welche Kriterien sollten nun bei der Wahl eines Flachdaches berücksichtigt werden und was für Bedingungen kann ein Bauherr oder Architekt an ein Flachdach stellen? Die wichtigsten Kriterien sind (Kriterienkatalog):

- Lange Lebensdauer (Dichtigkeit, Dauerhaftigkeit)
- Günstiger Preis
- Minimaler Energieverbrauch (k-Wert)
- Schnelle und sichere Schadenerkennung
- Günstige Sanierungskosten
- Umweltschonend

Je nach Bauherr kann die Reihenfolge verändert, gekürzt oder mit weiteren Kriterien ergänzt werden.

Anwendung der Kriterien beim UK-, DUO- und PLUS-Dach

Die Dachsysteme UK (Umkehrdach), DUO-Kompakt (Untere Isolation mit Schaumglas) und PLUS (Sanierungsdach) haben eins gemeinsam, nämlich die oberhalb der wasserführenden Schicht liegende extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatte (auch XPS-Platte genannt). Die genauen Definitionen der drei Systeme sind in der SIA-Empfehlung 271 zu finden. Insbesondere das UK-System, welches anfänglich als IRMA-Dach (Insulated Roof Membrane Assembly) auf dem Schweizer Markt angeboten wurde und in der Schweiz seit 1970 eingesetzt wird, hat immer wieder zu kontroversen Meinungsäusserungen geführt.

Aufgrund ungenügender Materialkenntnisse konnte man sich einfach nicht vorstellen, dass die Wärmedämmschicht, die zeitweise im Wasser liegt, oder zumindest vom Wasser umspült wird, noch ihre Funktion als Wärmedämmschicht aufrechterhalten kann. Die physikalischen Abläufe und Zusammenhänge waren zudem wissenschaftlich nicht genügend erhärtet. Verschiedene Fragen standen im Raum, die nicht vollumfänglich beantwortet werden konnten. Vielleicht auch deshalb wurde dieses System, mehr als alle anderen, wissenschaftlich sowohl im Labor, in Praxisversuchen und theoretisch eingehend untersucht. Es ist bedauerlich, dass gleichzeitig nicht auch andere erprobte und bekannte Systeme unter die Lupe genommen wurden, bei denen durchaus noch manche Frage offen ist. Ich denke da insbesondere an das Verhalten bei einem plötzlichen Temperatursturz bezüglich Sekundärkondenswasser, an die vielfältigen chemischen Verträglichkeiten zwischen den Materialschichten oder an die Abscherung der Dachhaut beim Kompaktdach sowie den thermischen Einfluss offener oder bitumengefüllter Fugen.

Lange Lebensdauer

Diese ist primär abhängig von der Lebensdauer der Dachhaut (Wasserabdichtung), die aus einer Kunststoff- oder mehreren Lagen Bitumen- oder Polymerbitumenbahnen bestehen kann. Die Lebensdauer kann demnach auch als Dauerhaftigkeit der Dachhaut verstanden werden. Sie kann als diejenige Dauer bezeichnet werden, bei der das Material oder die Konstruktion in 80% der Fälle noch funktionstüchtig ist. Folgende Bedingungen sind dabei von Bedeutung:

- Materialverträglichkeit der einzelnen Schichten
- thermisch geschützten Dachhaut
- mechanisch geschützten Dachhaut
- Sanierungsmöglichkeit
- Standfestigkeit der Schichten
- Unverrottbarkeit der Schichten
- biologischen Verträglichkeit
- Sicherheit vor Ungeziefer

Je nach System und Ausführung erreichen Flachdächer unterschiedliche «Alter». Diese können zwischen einigen wenigen Jahren und etwa 45 Jahren schwanken! In der Annahme, dass der Schichtaufbau und die Materialien richtig gewählt werden, kann heute, aufgrund der Erfahrungen, davon ausgegangen werden, dass beim UK- oder DUO-Kompakt-System eine Lebensdauer von ca. 45 Jahren zu erwarten ist. Die UK- und verwandte Systeme erfüllen die meisten Bedingungen des Kriteriums «Lebensdauer». Die Bedingung «Sicherheit vor Ungeziefer» erhält dabei ein «Bedingt bis erfüllt».

Ergebnis: Das Kriterium ist für beide Systeme erfüllt.

Günstiger Preis

Obwohl dieses Kriterium sehr wichtig ist, wird es in manchen Bauherrenkreisen zu stark in den Vordergrund gestellt. Dabei muss doch auf die Risikogefahren aufmerksam gemacht werden. Insbesondere bei Neubauten wird oft mit Naivität und Gutgläubigkeit nur die billigste Flachdachvariante gewählt und dazu noch ohne Gleiches mit Gleichem verglichen zu haben. Die erste Bedingung gilt deshalb dem Vergleich der offerierten Varianten. Diese sind nicht nur in bezug auf die Kosten, sondern auch auf den Schichtenaufbau, die vorgesehenen Materialien, das vorgeschlagene System und anderes mehr zu untersuchen. Das billigste Dach ist erfahrungsgemäss nicht immer das kostengünstigste.

Annahmen:

- Fläche ca. 500 m²
- Preis

billiges Dach:	75'000.-
teures Dach:	105'000.-
- k-Wert

beide Dächer gleich	8%
	4%
- Verzinsung Hypothek
- Teuerung Bau
- Lebensdauer

billiges Dach	20 J / 3750.-/Jahr
teures Dach	40 J / 2625.-/Jahr
- Eigenmittel sind nicht vorhanden, daher muss das Geld als Hypothek aufgenommen werden
- Steuerliche Abzüge werden nicht berücksichtigt

Die Berechnung ergibt folgende Zahlen:

	billiges Dach Fr.	teures Dach Fr.
Erstellungskosten	(75'000.-)	(105'000.-)
Zinsen Hypothek 1, 20J + Amort.	138'000.-	181'000.-
Neues Dach nach 20J	(164'000.-)	
Zinsen Hypothek 2, 10J + Amort.	184'000.-	59'000.-
Total	322'000.-	240'000.-

Tabelle 1. Kostenvergleich zweier Flachdächer mit unterschiedlicher Lebensdauer für die Zeitdauer von 30 Jahren

Ein Beispiel: Es sollen zwei Flachdächer, ein billiges (Lebensdauer 20 Jahre) und ein teures, aufwendigeres Dach (Lebensdauer 30 Jahre) über eine Dauer von 30 Jahren, anhand einer einfachen Berechnung verglichen werden. Spezialisten mögen verzeihen, wenn das Resultat nicht auf den letzten Rappen genau berechnet wurde. Es geht grundsätzlich um einen Grobvergleich und um die Tendenz aufzuzeigen (Tabelle 1). Die Berechnung zeigt deutlich, dass das 40% teurere Flachdach, sowohl bei den Kosten pro Jahr (2625.- Fr./Jahr), wie nach 30 Jahren, bedeutend kostengünstiger ist. Selbst im Falle einer Eigenfinanzierung bei der der Restbetrag zum teuren Dach zu einem hohen Zinssatz angelegt wird, ist das teurere Dach immer noch preiswerter, vorausgesetzt, dass seine Lebensdauer mindestens 30 Jahre beträgt.

Als weitere Bedingung ist die Wettbewerbsfähigkeit zu nennen. Mindestens 2 Offerten sind erforderlich, damit die Kosten überhaupt verglichen werden können. Die Kosten der UK-Dächer können als durchschnittlich bis günstig bezeichnet werden. Das DUO-Kompakt-Dach ist dagegen etwas teurer, bedingt durch den höheren Arbeits- und Materialaufwand. Das PLUS-Dach kann nicht eindeutig beurteilt werden, da die individuelle Situation des alten, zu sanierenden Daches ausschlaggebend ist. Für den Fall einer intakten Dachhaut stellt das Plusdach, eine preisgünstige Möglichkeit dar, ein Flachdach thermisch zu verbessern und die Le-

bensdauer bedeutend zu verlängern. **Ergebnis:** Das Kriterium ist für das UK-Dach erfüllt und für das DUO-Dach knapp erfüllt.

Minimaler Energieverbrauch

Darunter versteht man den überall bekannten k-Wert in W/m²K als Einheit, der als Bedingung einen gewissen Minimalwert erreichen sollte. Diese Minimalwerte sind heute in den SIA-Normen 180 (Wärmeschutz im Hochbau) und 380/1 (Energie im Hochbau), und z.T. auch in den kantonalen Energiegesetzgebungen und deren Verordnungen für die meisten Gebäudeteile festgelegt. Für Flachdächer sind heute bekanntlich k-Werte in der Grössenordnung von <= 0,4W/m²K vorgeschrieben.

Mit dem vorliegenden Bericht möchte der Autor, der mit den UK-, DUO- und Plus-Dächern mehrere Jahre praktische Erfahrung hat, das Problem bzw. Kriterium Energieverbrauch aus einer anderen Perspektive, sozusagen aus der Gesamtperspektive des Bauteils Flachdach erläutern, um dessen Wichtigkeit zu relativieren. In der vernetzten Struktur mit anderen, vielleicht gewichtigeren Faktoren, ist die Erkennung des Stellenwertes des Kriteriums Energieverbrauch wesentlich.

Nebst dem k-Wert sind beim Energieverbrauch der UK-, DUO- oder PLUS-Dächer noch weitere Faktoren zu berücksichtigen, die diesen beeinflussen können

- Energieverlust bei Regen und Schmelzwasser

- Verminderung des Wärmeleitwertes infolge Feuchtigkeitsaufnahme
- Energieverluste durch die Fugen der Platten

Energieverlust bei Regen und Schmelzwasser

Bei Regen und Schmelzwasser fliesst ein Teil des Wassers durch die Fugen unter die XPS-Platten. Der Einfluss dieses fließenden oder bei gefällslosen Dächern auch stehenden Wassers unter der Wärmedämmplatte und den damit zusammenhängenden Energieverlust, insbesondere beim UK-Dach, wurde von verschiedenen Wissenschaftlern theoretisch wie praktisch an ausgeführten UK-Dächern eingehend untersucht und gemessen. Die DUO- und PLUS-Dächer weisen weniger Energieverluste infolge Regen- und Schmelzwasser auf und wurden deshalb nicht in die Untersuchungen einbezogen.

Normen, Richtlinien, Zulassungen

Die aus den Untersuchungen resultierten Empfehlungen wurden in den Landesnormen, Richtlinien oder Zulassungen aufgenommen.

Die Schweiz und England halten sich z.B. an den 20%-Zuschlag der Dicke der Wärmedämmung bzw. der Wärmeleitfähigkeit fest, was einer Verschlechterung des Wärmedämmwertes der XPS-Platte um 20% gleichkommt. Dagegen hält sich Deutschland mit den «Zulassungen», (Bild 1), genau an die Empfehlungen von H.Künzel [1], der in seiner letzten Untersuchung einen generellen Zuschlag des k-Wertes von 0,05 W/m²K, unabhängig von der Isolationsdicke, empfohlen hat. Zudem verlangt annähernd jedes Land eine andere Wärmeleitfähigkeit für die Berechnung des k-Wertes.

Mit seinen Untersuchungen hatte Künzel massgebenden Einfluss auf den Zuschlagswert ausgeübt. Dieser Zuschlag ist für den Praktiker einfacher und besser nachzuvollziehen als derjenige gemäss SIA-Empfehlung, der auch falsch berechnet werden kann, denn meistens wird nicht von der Dicke der Wärmedämmung, sondern vom erforderlichen k-Wert ausgegangen. In Norwegen hat man einen anderen, interessanten und machbaren Weg als Alternative zu den Normen aufgezeigt, bei dem der k-Wert-Zuschlag in Abhängigkeit der Nutz- oder Schutzschicht (Kies, Zementplatten auf Splitt und Betonplatten) dargestellt und mit den dazugehörigen Werten der Feuchtigkeitsaufnahme der Wärmedämmung während der Lebensdauer gekoppelt wird. Allerdings sind die Berechnungsannahmen für Zementplatten fragwürdig.

Anteil des Wärmedurchlasswiderstandes unterhalb der Dachhaut in % des gesamten Wärmedurchlasswiderstandes	Erhöhung des k-Wertes Δk [W/m ² K]
0 - 10	0,05 *)
10,1 - 50	0,03
> 50	0

*) Dieser Wert ist stets anzusetzen, wenn der Wärmedurchlasswiderstand der Bauteilschichten unter der Dachhaut < 0,1 m²K/W beträgt

Bild 1. Ausschnitt aus dem Zulassungsbescheid Nr. Z-23.4-102, (Juli 1985) oder Z-23.4-101.1 (Juli 1990)

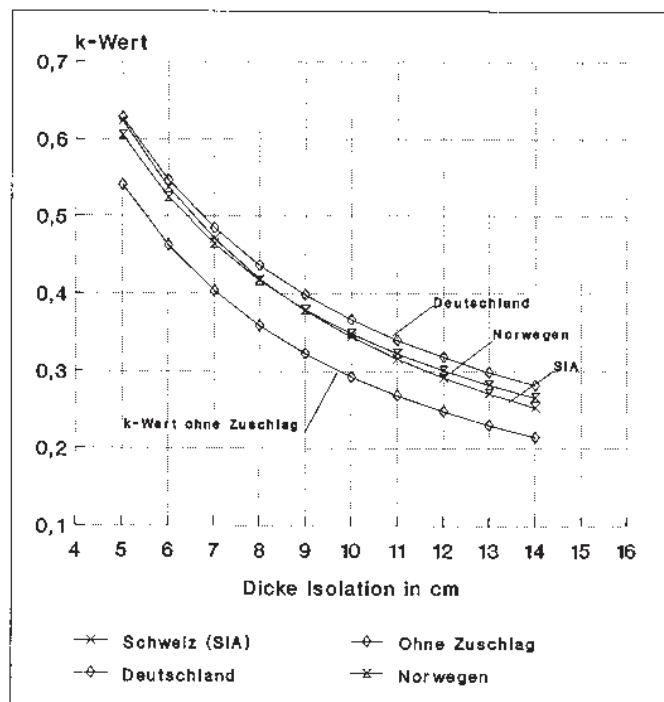


Bild 2. Kurve der k-Werte der UK-Dächer nach Berechnung SIA, Deutschland und Norwegen im Vergleich mit der Kurve ohne Zuschlag

Berechnungen, Resultat

Werden die mit dem entsprechenden Zuschlag berechneten k-Werte Schweiz, Deutschland und Norwegen für bekieste UK-Dächer in Abhängigkeit der Isolationsstärke miteinander verglichen, weichen diese sehr wenig voneinander ab (Bild 2). Sie bewegen sich im Toleranzbereich, einerseits der Berechnung und andererseits der Labormesswerte der Wärmeleitzahl. Lediglich für Deutschland liegt die Kurve, aufgrund der gemäss DIN erforderlichen höheren Wärmeleitzahl (Gruppe 0,035), etwas höher, welche für Extruderschaum als zu hoch eingestuft wird. Leider weisen die Gruppen einen «Sprung» von je 0,05 auf, so dass die nächsttieferen zu tief ist.

Zur Zeit laufen auf dem Gebiet UK- und DUO-Dach neuere Untersuchungen und Bestrebungen, um hier zu einem, für jedes Land praktikablen, vereinheitlichten Berechnungsverfahren zu kommen.

Empfehlungen

H. Bangerter versucht in seinem Beitrag [6], das Problem von der mathematischen, theoretischen Seite zu lösen und vergleicht die Resultate seines Vorschlages «Gleichgewichtsmodell» mit denen anderer Berechnungsmethoden (SIA 271, Deutsche Zulassungen, Fabrizio und Paulsen/Nielsen). Das Rechnungsmodell hat sich trotz Nomenogramm jedoch als zu kompliziert und für die Praxis kaum realisierbar erwiesen. Zudem sind die Annahmen der Verminderung des λ -Wertes infolge des neuen Treibgases (HFCKW) nicht richtig. Es ist heute erwiesen (EMPA-Mes-

sungen), dass die XPS-Platten mit HFCKW den gleichen SIA-Rechenwert aufweisen und den gleichen Widerstand gegen Feuchtigkeitsaufnahme haben wie die Platten mit dem alten Treibmittel.

Eine bessere, praxisnahe und einfache Möglichkeit, den richtigen oder zumindest akzeptablen k-Wert zu berücksichtigen, ohne dass Missverständnisse aufkommen können, oder der k-Wert falsch berechnet wird, wäre die Dickenangabe in Abhängigkeit des erforderlichen k-Wertes gemäss den Normen anzugeben (Tabelle 2). Eine ähnliche Tabelle wäre auch für die DUO- und PLUS-Dächer vorstellbar, u.U. in Abhängigkeit der Nutz- und Schutzschicht. Nach Deutscher Berechnung würden die Isolationsstärken ab einem k-Wert von 0,45 W/m²K und tiefer jeweils um einen cm dicker.

Feststellungen, Fragen

Der Zuschlag nach SIA ist für Gebäude im Mittelland mit mittleren Nieder-

schlagsmengen gerechtfertigt, so dass man bei der Berechnung «nicht auf der falschen Seite liegt». Für höhere Regionen mit häufigeren Niederschlägen und bei stärkerer Dämmung ist der Zuschlag nach SIA nicht erwiesen. Interessant wäre deshalb eine Untersuchung des Wärmeverlustes eines UK-Daches mit 12 cm Dämmung in Abhängigkeit von der Höhe über Meer (Bergregion) infolge Niederschläge, Schnee und Tauwasser. Zudem sind insbesondere die Fragen zu untersuchen,

- ob der Energieverlust linear mit der Niederschlagsmenge zunimmt
- ob nur eine ganz bestimmte Menge Niederschlag erforderlich ist, um das Maximum an Energie zu entziehen (keine lineare Abhängigkeit)
- ab welcher Temperatur des Niederschlages sich der Energieverlust bemerkbar macht
- welchen Einfluss beim DUO- oder PLUS-Dach die untere Isolation hat und bei welcher Dicke dieser Isola-

Erford. k-Wert nach Norm	Dicke der Isolation cm	Effekt. k-Wert ¹⁾ W/m ² K	Mehrisolation gegenüber Norm ²⁾ %
0,60	6	0,54	10
0,50	7	0,47	6
0,45	8	0,42	7
0,40	9	0,38	5
0,35	10	0,34	3
0,30	12	0,29	3

Tabelle 2. Dickenangabe der Wärmedämmung eines bekiesten UK-Daches in Abhängigkeit des k-Wertes ¹⁾ Berechnet nach SIA 271 (mit Zuschlag von 20%) ²⁾ Mehrisolationsdicke in % gegenüber der Berechnung nach SIA 271

tion der Energieverlust praktisch eliminiert wird

- welches Gewicht die Tragkonstruktion tatsächlich aufweisen muss, damit schädigendes Kondenswasser auftreten kann. Die Empfehlung nach SIA 271 mit 300 kg/m^2 ist aufgrund der Erfahrungen zu hoch.

Bei mathematischen Modellen wurde stets angenommen, dass das Wasser unter der XPS-Platte die wasserführende Schicht gleichmässig bestreicht und dabei über die ganze Fläche Energie entzieht. Fremde und eigene Untersuchungen an bestehenden UK-Dächern haben z.T. andere Erkenntnisse erbracht. Bei Dächern mit einem Gefälle von mind. 1,5% fliesst das Regen- oder Schmelzwasser, insbesondere auf Polymerbitumenbahnen, «kanalisiert» ab. Die Restfläche der Dachhaut bleibt dabei «trocken», weist also keinen erhöhten Wärmeverlust auf. Dieser Umstand muss in den Berechnungen für UK-Dächer mit Gefälle mitberücksichtigt werden. Bei Abdichtungen aus PVC werden, trotz der oberflächlich dauernd feuchten bis nassen Dachhaut, ähnliche Zustände festgestellt.

Der Wärmeverlust ist nicht nur von der Wassermenge, sondern auch von der Zeitdauer und Temperatur der einzelnen Niederschläge abhängig, denn es ist nicht egal, ob eine bestimmte Menge Regen in 10 Minuten bei 9° oder bei 0° fällt. Bei trockener Witterung stimmen die Untersuchungen des Energieverbrauches zwischen UK-Dach und einem Normdach mit den theoretischen Berechnungen überein: Das UK-Dach, das gemäss SIA eine mindestens 20% dickere Wärmedämmplatte (meistens sind es mehr) aufweisen muss, hat demnach bei trockener Witterung auch einen 20% niedrigeren Wärmeverlust aufzuweisen, was, bezogen auf den Gesamtenergieverlust des Daches, nicht unwesentlich ist. Aufgrund dieser bisherigen Feststellungen sollte der k-Wert-Zuschlag demnach theoretisch von folgenden wichtigsten Faktoren abhängig sein:

$$\Delta k\text{-Wert} = cO * cR * cW * cT * cA$$

cO = Grundfaktor

cR = Faktor Regendauer (Anzahl Regenfälle während der Heizperiode * Dauer)

cW = Tauwasserfaktor (Schmelzwasser, Verdunstung Schnee)

cT = Faktor Temperatur bei Regen (Durchschnitt aller Einzel-Regenfälle während der Heizperiode * Temperatur * Temperatureinflussfaktor)

cA = Benetzungsfaktor der bestreichten Fläche mit Regenwasser (Abhängig vom Material der Dachhaut und vom Dachgefälle)

Die Faktoren können von Region zu Region stark variieren. Zudem sind im heutigen Zeitpunkt die Anzahl Regenfälle und deren Dauer nicht erhältlich, da eine solche Art von Erfassung bis heute nicht gefragt war. Ein ebenfalls kaum quantifizierbarer Faktor, und deshalb in obiger Formel nicht aufgeführt, stellt die Verlegequalität der XPS-Platten dar.

Eine rein mathematische Lösung mit einer oder mehreren Formeln oder Diagrammen dürfte daher für Normen, und folglich indirekt für den Anwender, sehr schwierig und kaum möglich sein.

Energieverlust infolge Feuchtigkeitsaufnahme

Zwischen Feuchtigkeitsaufnahme der XPS-Platten und Wärmeleitfähigkeit besteht die Beziehung, dass pro Vol-% Feuchtigkeit sich eine Verschlechterung der Wärmeleitfähigkeit um ca. 2,3- 3%, je nach Raumgewicht, einstellt. Verschiedene Untersuchungen, wie z.B. des Bauphysikalischen Institutes, Bern, von H. Götz oder von G. Zimmermann, haben bei bis zu 20jährigen Dächern gezeigt, dass die Feuchtigkeitsaufnahme des Dämmstoffes XPS sich stets in einem zulässigen und tiefen Bereich bewegt und für den Wärmehaushalt des UK-Daches unbedeutend war. Voraussetzung ist jedoch, wie übrigens bei jeder Flachdachkonstruktion, eine einwandfreie und richtige Verlegung der Schichten. Die Empfehlungen der XPS-Platten-Hersteller, Bundesstellen [4] oder auch Experten [5] sind dabei einzuhalten.

Verhältnismässigkeit

In [6] (SIA Nr.43, Okt.91) wurden drei Beispiele (Zürich, Davos und Hamburg) mit diskutablen Niederschlagsannahmen und Festlegungen berechnet. Für die Orte Zürich und Davos beträgt der k-Wert bei 100 mm starken XPS-Platten gemäss Bangerter für beide Stationen ca. $0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$. Gemäss Berechnung nach SIA (inkl. Zuschlag) liegt der k-Wert bei $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Differenz der beiden Berechnungen beträgt $0.05 \text{ W/m}^2\text{K}$. In der Annahme, dass Bangerter recht hat, bedeutet diese Differenz

- einen Unterschied von 1.4 cm Dämmstoffdicke oder
- bei einem Dach von 200 m^2 einen Wärmeverlust von 280 Wh, d.h. 67 Rappen Elektrizitätsverbrauch pro Tag
- ca 1.2% des Gesamtwärmeverlustes

eines 2stöckigen Hauses mit 200 m^2 Grundfläche

- eine Erhöhung der Raumlufttemperatur um 0,4 Grad, von 20 auf 20,4 Grad Celsius.

Das Verhalten der Bewohner mit höheren Komfortansprüchen kann unverhältnismässig mehr ausmachen. Ein weiterer Vergleich kann mit den Wärmebrücken (z.B. bei Balkondecken, nicht isolierten Stützen oder auch bei Betonkränzen von Flachdächern) gezogen werden. Wärmebrücken (fälschlicherweise auch Kältebrücken genannt) weisen stets einen grösseren Energieverlust auf als die ungestörte Konstruktion. Bei einem Flachdach des oben erwähnten 2stöckigen Hauses mit einem nicht isolierten Randabschluss [2] (Bild 3), und 60 m Rand, kann der zusätzliche Energieverlust bis 750 Wh betragen, was ca 3,2% des Gesamtenergieverlustes ausmacht. Dabei wurde der Mehrverbrauch der Gebäudeecken nicht mitberücksichtigt. Es ist ersichtlich, dass Wärmebrücken das Vielfache der k-Wert-Differenz von $0.05 \text{ W/m}^2\text{K}$ zwischen SIA und der Berechnung nach dem Gleichgewichtsmodell ausmachen können. Wo liegt nun die Grenze der Verhältnismässigkeit für den Baupraktiker?

Wird der Randabschluss des Flachdaches, gemäss Detail D2 des Wärmebrückenkataloges, SIA-Dokumentation 99, (Bild 4), «mustergültig» ausgeführt, also nach landläufiger Auffassung ohne Wärmebrücke, beträgt der zusätzliche Energieverlust immer noch 240 Wh bzw. ca. 1% des Gesamtenergieverbrauches unseres Hauses. Schlussendlich beträgt der Anteil des Energieverbrauches des Flachdaches zum Gesamtenergieverbrauch des Hauses, berechnet nach SIA 180/3, jährlicher Wärmeverbrauch in Bauten, Ausgabe 1980, ca 9,2% (Bild 5), und der Wärmebrückenanteil zum Energieverbrauch des Daches ganze 10,5% (Bild 6).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich beim UK-Dach nur während des Niederschlages (Regen oder Schmelzwasser) ein leicht erhöhter Energieverlust einstellt. Dieser Verlust sollte aber in Relation zu anderen Kriterien gesetzt werden.

Ergebnis: Das Kriterium ist beim UK-Dach, aufgrund des erforderlichen Zuschlages der Isolationsdicke, knapp erfüllt, beim DUO-Dach z.T. erfüllt.

Schnelle und sichere Schadenerkennung

Eine schnelle und sichere Erkennung oder Feststellung eines eventuellen Schadens ist in den ersten Jahren von ausserordentlicher Wichtigkeit. Tritt ein Schaden vor 5 Jahren auf, kann auf

die üblichen Garantieansprüche nach SIA zurückgegriffen werden. Nach 5 Jahren geht der Schaden voll zulasten des Bauherrn. Das Dach kann zudem bei einer frühen Schadenerkennung oftmals noch «gerettet», d.h. instandgestellt werden.

Die schnelle und sichere Schadenerkennung ist beim UK-Dach sichergestellt, da infolge eines Schadens der Dachhaut, das infiltrierte Wasser direkt ins Innere durch die Decke dringt und schnell sichtbar wird. Diese Erkenntnis hat sich in der Praxis bestätigt.

Beim DUO- oder PLUS-Dach ist eine schnelle und sichere Schadenerkennung nicht möglich. Allerdings wird das Wasser beim DUO-Kompakt-Dach nicht in die Isolationsplatten verteilt, sondern sehr lange (bis die Schaumglasplatte sich zersetzt hat) auf einer kleinen Fläche (etwa Plattengröße) zurückgehalten. Die übrigen Isolationsplatten bleiben trocken.

Ergebnis: Das Kriterium ist für das UK-Dach erfüllt, für das PLUS- oder DUO-Dach nicht erfüllt.

Günstige Sanierungskosten

Das Kriterium der günstigen Sanierungskosten ist nicht nur beim Flachdach, sondern auch bei anderen Bauteilen oder Maschinen und Gebrauchsgütern von grosser Bedeutung. Es geht um das Minimieren des Sanierungsaufwandes. Auch bei den Flachdächern kann die Strategie der Konstruktion mit günstigen Sanierungskosten angewendet

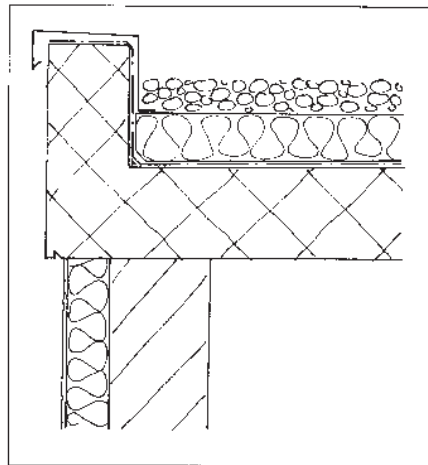


Bild 3. Randdetail Flachdach mit Wärmebrücke

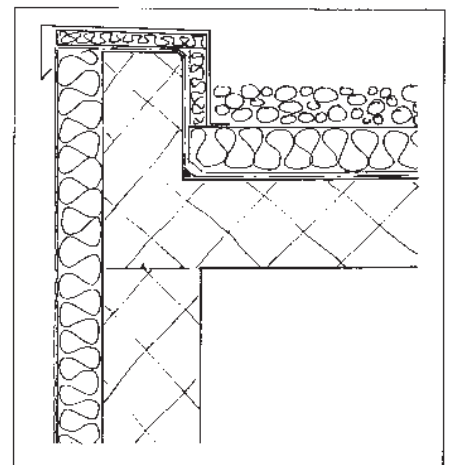


Bild 4. Randdetail «D2» gemäss Wärmebrücken-katalog 1, SIA-Documentati-on 99

det werden, erfordert jedoch umfassende Fachkenntnisse. Die erforderlichen Bedingungen für das Kriterium «günstige Sanierungskosten» lauten:

- Nicht unterläufige Konstruktion. In die Konstruktion eingedrungenes Wasser sollte sich nicht in die Wärmedämmung über die gesamte Dachfläche verteilen können.
- Lokalisierbarkeit eines Schadens, ohne dass die gesamte Konstruktion entfernt, verletzt oder sonstwie verändert werden muss.

Aufgrund der oben erwähnten schnellen und sicheren Schadenerkennung dauert beim UK-Dach eine Sanierung nie lange, selbst wenn mehrere undich-

te Stellen vorhanden sind, da die einzelnen Schichten mit Ausnahme der Dachhaut lose verlegt werden und deshalb leicht entfernt werden können. Die Sanierungskosten fallen dementsprechend aus.

Bei einem DUO-Dach sind die Sanierungskosten ebenfalls sehr günstig, vorausgesetzt, dass die undichte Stelle überhaupt gefunden wird. Der Schaden kommt, wie bereits erwähnt, nur in einer begrenzten Fläche vor und deshalb muss auch nur ein kleiner Bereich saniert werden. Bei einer schlechten Verlegung der Schaumglasplatten kann sich allerdings das Wasser unter die Platten über die Flachdachfläche verteilen.

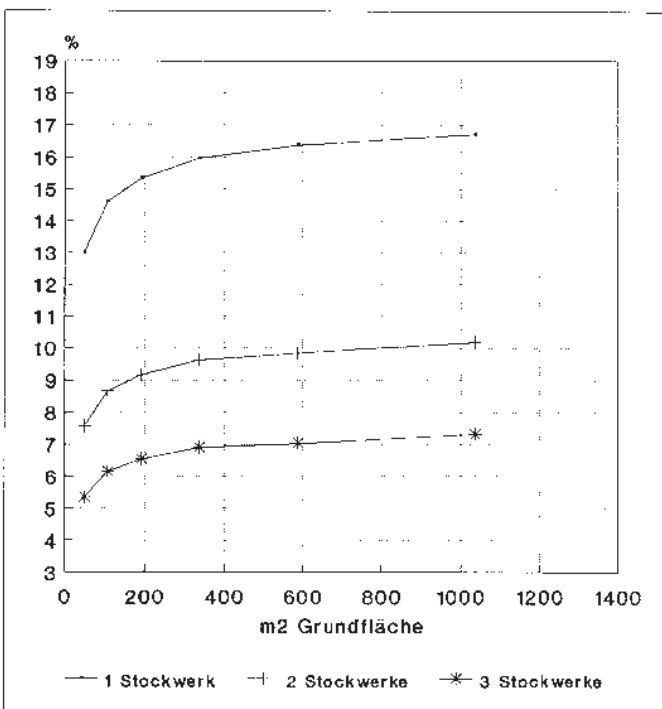


Bild 5. Anteil in % des Energieverbrauches des Flachdaches zum Gesamtenergieverbrauch eines Hauses nach Grundfläche und Stockwerke

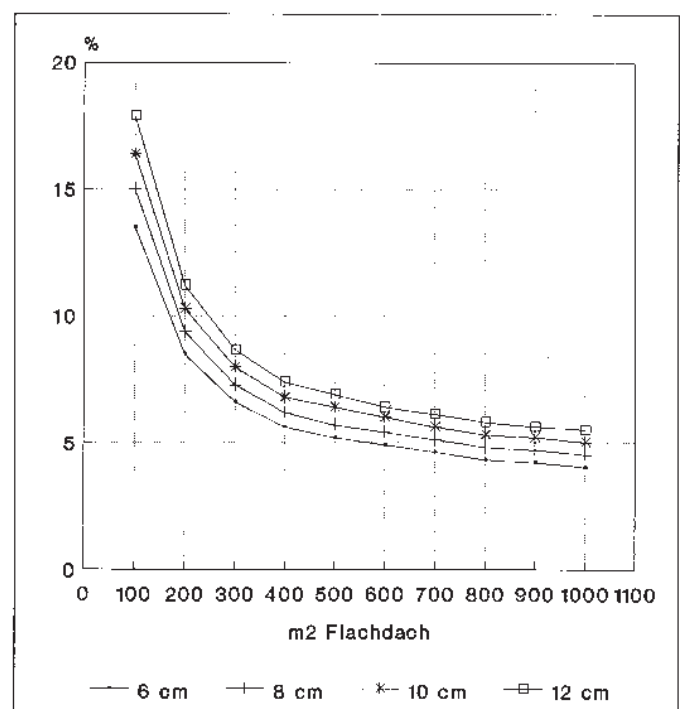


Bild 6. Verminderung des k-Wertes eines Flachdaches in % bei verschiedenen Isolationsdicken infolge einer Wärmebrücke im Randbereich in Abhängigkeit der Grundfläche in m²

Priorität	Kriterium mit Bedingungen	Gewichtung
1	- Lebensdauer . Dichtigkeit der Wasserabdichtung . Materialverträglichkeit . thermisch geschützte Dachhaut . mechanisch geschützte Dachhaut . Sanierungsmöglichkeit . Standfestigkeit der Schichten . Unverrotbarkeit der Schichten . biologische Verträglichkeit . Sicherheit vor Ungeziefer	25
2	Günstiger Preis . Mehrere Offerten . Gleiches mit Gleichem vergleichen	25
3	- Minimaler Energieverbrauch . wirtschaftlich optimaler k-Wert . k-Wert nach Norm, Vorschrift	15
4	- Schnelle und sichere Schadenerkennung . Kontrollierbarkeit der Schichten . keine Unterläufigkeit	10
5	- Günstige Sanierungskosten . keine Unterläufigkeit der Konstruktion . lokalisierbarkeit eines Schadens . Schnelle Sanierungsmöglichkeit	10
6	- Umweltschonend . Minimale Umweltbelastung (Energie, Luft, Wasser, Boden) bei Produktion, Verarbeitung/Nutzung und Entsorgung/Recycling . Eventü. Warendeclaration mit . Umweltbelastungsindex	15
	Total	100

Tabelle 3. Gewichtung der Kriterien mit Bedingungen nach Prioritäten

Nr	Kriterium	Gewichtung	UK		DUO		Nor mal ¹⁾		Kom pakt	
			Index	Pkte	Index	Pkte	Index	Pkte	Index	Pkte
1	Lebensdauer	25	3	75	3	75	1	25	2	50
2	Preis	25	2	50	1	25	3	75	1	25
3	Energieverbrauch ²⁾	15	1	15	2	30	3	45	2	30
4	Schadenerkennung	10	3	30	0	0	0	0	0	0
5	Sanierungskosten	10	3	30	2	20	0	0	2	20
6	Umwelt	15	1	15	2	30	1	15	3	45
		100		215		180		160		170

Beurteilung Index:

- Das Kriterium ist
- erfüllt (oder mehr als 60% der Bedingungen erfüllt) = 3 Pkt
 - z.T. erfüllt (oder mehr als 40% der Bedingungen erfüllt) = 2 Pkt
 - knapp erfüllt (oder mehr als 10% der Bedingungen erfüllt) = 1 Pkt
 - nicht erfüllt (keine Bedingungen erfüllt) = 0 Pkt

Tabelle 4. Vergleichsbewertung der UK- und DUO-Dächer mit anderen Systemen
 1) Dachhaut: Kunststoff oder Bitumen; Wärmeisolation: PU oder exp.PS 2) Gleiche Dicke der Wärmedämmplatte(n) für alle Systeme

Ergebnis: Das Kriterium ist für UK-Dächer erfüllt, für DUO-Kompakt-Dächer teilweise und für PLUS-Dächer knapp erfüllt.

Umweltschonend

Das Kriterium der umweltschonenden Materialien oder Konstruktionen wird in letzter Zeit immer häufiger genannt und zur Diskussion gestellt. Es handelt sich konkret um die Umweltverträglichkeit der Materialien in den 6 Bereichen:

- Gewinnung
- Produktion
- Verarbeitung
- Nutzung
- Entsorgung
- Recycling

Damit das Gebiet Umweltschutz richtig interpretiert werden kann, ist eine vernetzte Denkweise auch im ökologischen Sinn von voraussetzender Bedeutung. Bei Behörden, Verbänden und Vereinen sind Ansätze und Bestrebungen vorhanden, um dieses Wissen einer breiten Berufsschicht zu vermitteln. Trotz vieler Einzelaktionen, die ein Bruchteil dessen sind, was den gesamtgesellschaftlichen Rahmen umfassen sollte, ist doch ein Silberstreifen am Horizont zu erkennen. Erste Erfolge konnten in jüngster Zeit verbucht werden, insbesondere in der Umweltbelastung bei der Produktion und eher bescheiden bei der Recycling. In den anderen Bereichen wird eindeutig zu wenig getan. Es braucht deshalb noch gewaltige Anstrengungen, damit in sämtlichen genannten Bereichen zufriedenstellende Lösungen angeboten und erreicht werden.

Für jedes Material sollten zusätzlich möglichst sämtliche umweltrelevanten Daten der bekannten Bereiche ermittelt werden, damit in einer späteren Phase diese Daten in einem (Umwelt)-Belastungsindex integriert werden können.

Die Lebensdauer ist ein wichtiger Faktor für die Beurteilung der Umweltbelastung und bedeutet auch gleichzeitig die Erfüllung eines wichtigen Grundsatzes der Baubiologie. Da beide Dächer, das UK- wie DUO-Dach, eine sehr lange Lebensdauer aufzuweisen haben, wird ihre Umweltbelastung deshalb weniger kritisch eingestuft als bei Dächern, die z.B. nach 10 bis 15 Jahren erneuert werden müssen. Beim PLUS-Dach kann durch die Nachisolierung eines alten, normalen Daches die Lebensdauer in der Regel verdoppelt werden.

Produktion

Die für UK- und ähnliche Dächer erforderlichen extrudierten PS-Platten

wurden früher mit FCKW geschäumt, welches bekanntlich ein hohes Abbau-potential der schützenden Ozonschicht aufweist. Seit dem 1. Juli 1990 werden in der Schweiz unter dem Druck der PTT und des Bundes [3] nur noch Platten vertrieben, die mit HFCKW geschäumt sind. Obwohl dies eine enorme Verbesserung bedeutet, besteht immer noch ein kleines Zerstörungspotential der Ozonschicht durch das HFCKW. Anzustreben ist der vollkommene Verzicht auf jegliches HFCKW, und dies in den nächsten 5 Jahren bei gleichbleibender Materialqualität.

Nutzung, Entsorgung

Während bei der Nutzung das Dach nicht umweltbelastend ist, sieht die Lage bei der Entsorgung bzw. Recyclierung für die meisten Flachdächer etwa gleich schlecht aus: Das Abfallmaterial wird heute grösstenteils in Deponien entsorgt. Heute wird kaum ein Material, das auf das Flachdach verwendet wurde wiederverwertet, obwohl dies z.T. leicht möglich wäre! Der Extruderschaum (XPS-Platten), wie andere Wärmedämmstoffe können bereits heute mit geringem Energieaufwand recycelt werden. Allerdings sollten XPS-Platten bei einem Rückbau, da sie wegen der losen Verlegung nicht zerstört werden müssen, eher an einem geeigneten Ort (Estrichisolation, PLUS-Dach, Kellerisolation etc.) wiederverwendet werden.

Während die Kunststoffindustrie grosse Anstrengungen unternimmt, die anfallende Menge Kunststoffbahnen

(Dachhaut) wieder zu recyceln, herrscht z.B. bei der Bitumenindustrie «groses Schweigen».

Ergebnis: Das Kriterium ist für das UK-Dach knapp, für das DUO- und PLUS-Dach z.T. erfüllt.

Gesamtbewertung

Um eine objektive Beurteilung der genannten Kriterien mit ihren Bedingungen zu erhalten, müssen diese gewichtet, (Tabelle 3) und nach der Methode der Wertanalyse berechnet werden (Tabelle 4). Die Gewichtung ist aus der «Optik» des Autors entstanden und kann von Person zu Person sehr unterschiedlich sein, je nachdem ob es sich um einen Experten, Architekten, Bauherren, Unternehmer oder Lieferanten handelt (Interessenskonflikt). Die Gesamtbewertung mit Gegenüberstellung von verschiedenen Flachdachkonstruktionen (sämtliche mit einer Schutzschicht aus Kies) ist in Tabelle 4 dargestellt. Das PLUS-Dach ist in der Tabelle nicht aufgeführt, da dieses System nur mit anderen Sanierungssystemen verglichen werden kann. Je nachdem welche Kriterien gestrichen werden, ist mit einem anderen Ergebnis zu rechnen. Auch die Beurteilung, ob ein Kriterium «z.T. erfüllt» oder «knapp erfüllt» wird, kann subjektiv sein und dementsprechend Abweichungen bringen.

Beurteilung

Aufgrund der Bewertungen und der Bewertungspunkte kann festgestellt wer-

Literatur

- [1] *H. Künzel:* Neue Untersuchungen und Überlegungen zur Frage des Zuschlages Δk bei Umkehrdächern, Forschungsbericht T 1337, 1984 IRB-Verlag
- [2] *G.-W. Mainka/H.Paschen:* Wärmebrücken-katalog, B.G. Teubner Stuttgart 1986
- [3] *Erfa-Info 2/89:* Verzicht auf FCKW-haltige Wärmedämmstoffe, AfB, PTT, SBB
- [4] *Erfa-Info 2/91,* Flachdächer mit geschützter Abdichtung, AfB, PTT, SBB
- [5] *J. D. Vital:* Das Flachdach aus der Sicht eines PTT-Fachmannes, Dachdeckermeisterverband, Erfa-Tagung Luzern 15./16.2.1990
- [6] *Heinz Bangerter:* Bemessung des Wärmeschutzes bei Umkehrdächern und ähnlichen Systemen, Bauphysik 13/1991 und SIA Nr. 43, Oktober 1991

den, dass die UK-, DUO- oder PLUS-Dächer vollwertige, funktionstüchtige und für den Bauherrn, aufgrund der langen Lebensdauer, finanziell äusserst attraktive Dachsysteme sind.

Adresse des Verfassers: *Jon-Duri Vital*, Arch. HTL, Bauphysiker SIA, Dennigkofenweg 199, 3072 Ostermundigen.

Der vorliegende Artikel ist leicht gekürzt. Die ungekürzte Fassung kann beim Verfasser bezogen werden.