

## Dacheindeckungen für nicht-wärmegeämmte Stallgebäude unter dem Aspekt des Bauten- und Landschaftsschutzes

KARL-LUDWIG BORCHERT

Institut für landwirtschaftliche Bauforschung

### Einleitung

Nicht-wärmegeämmte Stallgebäude in Leichtbauweise zeichnen sich durch geringen Werkstoff- und Energiebedarf, einfache Konstruktionen, niedrige Baukosten und schnelle Abschreibung aus. Sie sind vorzüglich für die Haltung von Rindvieh und Schafen geeignet. Die ökonomischen, energetischen und tierhygienischen Vorteile der Leichtbauten dürfen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß auch diese Ställe durchaus nicht problemlos sind. Ihre Bauteile werden nämlich starken Feuchtigkeitsbelastungen ausgesetzt und bedürfen deshalb einer sehr sorgfältigen Planung und Ausführung der Konstruktionen. Die geringe Wärmeämmung der Gebäude führt im Winter zu unvermeidbaren Tauwasserniederschlägen (Oberflächenkondensate) an den raumumschließenden Bauteilen. Dadurch können bei unsachgemäßen Konstruktionen Feuchteschäden entstehen, die die Dauerhaftigkeit der Gebäude mindern und die Erhaltungs- bzw. Instandsetzungskosten erhöhen. Um dies zu verhindern, ist ein einwandfreier konstruktiver Feuchteschutz der Bauteile erforderlich. Dies gilt vor allem für die Dachkonstruktionen, die mehr als alle anderen Bauteile erheblichen inneren, wie äußeren Klimaeinwirkungen ausgesetzt sind.

Neue Gebäude für die Tierhaltung werden meistens mit flachgeneigten Satteldächern (Dachneigung ca. 15° bis 25°) errichtet, die überwiegend mit großformatigen Faserzement-Welldachplatten eingedeckt werden. Daneben kommen aber auch Bitumen-, Kunststoff- und Metall-Welldachplatten zum Einsatz. Bei Wellplattendächern konnten bestehende bauphysikalische und raumklimatische Probleme durch die Entwicklung eines Verlegesystems mit Abstandhaltern gelöst werden [1, 2]. Wellplattendächer sind außerordentlich wirtschaftlich und für Leichtbauten besonders geeignet. Dennoch werden sie wegen ihres äußeren Erscheinungsbildes, bedingt durch die materialspezifischen Profilierungen und Farben, aus Gründen des Landschaftsschutzes nicht überall zugelassen.

Das Erscheinungsbild alter Ortskerne und regionaltypischer Dachlandschaften wird stark von der Formen- und Farbenvielfalt kleinformatiger Dacheindeckungsmaterialien geprägt. Müssen nicht-wärmegeämmte Ställe einer solchen Umgebung angepaßt werden, dann stellt sich die Frage nach geeigneten Bedachungen, die sowohl den architektonisch-ästhetischen, wie auch den bauphysikalischen Anforderungen genügen und dennoch wirtschaftlich sind. Vor den gleichen Problemen steht man auch bei der Sanierung und Rekonstruktion historischer Gebäude im Rahmen der Denkmalpflege.

### Problemstellung

Dacheindeckungen mit Tondachziegeln oder Betondachsteinen werden in der Regel nur nach dem äußeren Erschei-

nungsbild der Dachflächen, den zu erwartenden Bau- und Erhaltungskosten, der Dauerhaftigkeit sowie eventuellen Garantiezusagen der Hersteller ausgewählt. Diese Auswahlkriterien reichen für den Wohnungs- und Industriebau im allgemeinen aus. Sie genügen jedoch nicht allein für den Stallbau oder für vergleichbare Gebäude mit starker Tauwasserbelastung der Dächer, weil damit das entscheidende Problem des Bautenschutzes nicht vollständig gelöst wird. Um einen ausreichenden Schutz der Gebäude gegen Feuchtigkeit von innen und außen zu erreichen, müßten Dacheindeckungen und Konstruktionen auch nach bauphysikalischen Gesichtspunkten ausgewählt werden. Doch dafür gibt es bisher noch keine geeigneten Vergleichsmaßstäbe oder praxisbezogenen Entscheidungshilfen.

Dacheindeckungen aus Tondachziegeln und Betondachsteinen gibt es in den verschiedensten Formen und Farben. Visuelle Untersuchungen ausgeführter Stalldächer können zwar Erfahrungen darüber vermitteln, welche Bedachungen mehr oder weniger gut für nicht-wärmegeämmte Ställe geeignet sind. Diese Untersuchungsmethode ist jedoch sehr zeitaufwendig und ermöglicht keine unmittelbaren Vergleiche. Deshalb sind zur Untersuchung von Dacheindeckungen auf ihren Gebrauchswert für die Landwirtschaft auch wiederholbare Laboruntersuchungen unter praxisähnlichen Bedingungen erforderlich. Hierbei sind vor allem die Eigenschaften unterschiedlich profilierter Dacheindeckungsmaterialien hinsichtlich des Abtropfens bzw. der sicheren Ableitung von Tauwasser festzustellen. Anhand solcher Untersuchungsergebnisse bzw. technischer Daten, die in Beziehung zu setzen sind mit technischen Daten altbewährter Dachkonstruktionen, können den Verbrauchern die benötigten Entscheidungshilfen für die Auswahl handelsüblicher Dacheindeckungen gegeben werden. Darüber hinaus soll den Herstellern gezeigt werden, wie sie ihre Produkte verbessern können.

Gebrauchswertprüfungen für das Bauwesen basieren im wesentlichen auf dem Vergleich technischer Daten neuer und altbewährter Konstruktionen oder Stoffe. Bei weitgehender Übereinstimmung der Daten darf in der Regel angenommen werden, daß sich die neuen Bauteile oder -stoffe in der Praxis etwa ebenso verhalten werden wie ihre Vorbilder. Gebrauchswertprüfungen setzen somit gesicherte Orientierungsmaßstäbe voraus, die aus Untersuchungen bewährter Konstruktionen oder Stoffe abgeleitet werden müssen. Deshalb ist zunächst nach passenden Objekten zu suchen, über die Langzeiterfahrungen vorliegen.

### Altbewährte Dachkonstruktionen für nicht wärmegeämmte Ställe

Eine Betrachtung noch funktionsfähiger Dächer alter Bauernhäuser, Stall- und Wirtschaftsgebäude gibt Aufschlüsse

über bewährte Konstruktionen und Bedachungsmaterialien, welche auch für den Bau nicht-wärmegeämmter Ställe geeignet sein können. Trotz großer Unterschiede in bezug auf Bauformen und Raumnutzung sind Vergleiche unter dem Aspekt des Bautenschutzes möglich. Aus regional unterschiedlichen klimatischen und funktionellen Anforderungen entwickelten sich landschaftstypische Dachformen und -konstruktionen mit zum Teil hervorragenden bauphysikalischen Eigenschaften. Dies gilt ganz besonders für die in Nord- und Westdeutschland weit verbreiteten steilen, mit Tonhohlpfannen eingedeckten Satteldächer (Abb. 1). Die Hohlpfannen wurden trocken, mit und ohne Strohdocken verlegt (kein Fugenverstrich mit Kalkmörtel!). Die Dachneigung beträgt selten weniger als 35°, in der Regel 40° und mehr. Diese Dächer bieten einen sicheren Schutz gegen Feuchtigkeit von innen und außen.



Abbildung 1: **Alter, nicht-wärmegeämmter Schafstall in der Lüneburger Heide, Dacheindeckung: Hohlpfannen, trocken verlegt, ohne Docken**

Der Feuchteschutz alter Hohlpfannendächer ergibt sich aus dem Zusammenspiel folgender Merkmale:

- steile Dachneigung (übliche Neigung 35° - 45°)
- luftdurchlässige Dachhaut (kein Fugenverstrich mit Mörtel)
- hygroskopischer Werkstoff
- glatte, gewölbte Unterseite der Dachziegel.

Durch die vielen relativ großen Überdeckungsfugen zwischen den Hohlpfannen findet ein gegenseitiger Austausch von Raum- und Außenluft statt. Mit dem Luftwechsel wird im Sommer vor allem Wärme, im Winter Wasserdampf aus dem Dachraum abgeführt und damit die Masse des unter der Dachhaut anfallenden Tauwassers vermindert. Das hygroskopische Ziegelmaterial wirkt, bei kurzzeitiger Tauwasserbelastung als periodischer, feuchteausgleichender Speicher und trägt somit zu einer Reduzierung der Tropfenbildung bei. Überschüssiges Tauwasser kann, begünstigt durch die steile Dachneigung und die glatten, gewölbten Unterseiten der Hohlpfannen, durch die offenen Überdeckungsfugen nach außen über die Dachhaut abfließen. Eingelegte Strohdocken verhindern darüber hinaus das Eindringen von Flugschnee in den Dachraum, ohne den Tauwasserablauf zu behindern und geben den Hohlpfannen eine bessere Auflage (Abb. 2 und 7). Die steilen Dächer lassen Regenwasser schnell ablaufen, so daß sie auch bei starkem Wind ausreichend regensicher sind. Ohne Kalkmörtelverstrich behalten die Dächer ihre Luftdurchlässigkeit und Elastizität bei Bewegungen durch Stürme.

Dächer mit Hohlpfanneneindeckung (trochen verlegt, Dachneigung > 35°) haben sich schon lange beim Bau nicht-wärmegeämmter Ställe bewährt, wie Abb. 1 zeigt. Technische Daten von dieser beispielhaften Konstruktion können bei Gebrauchswertprüfungen anderer Dacheindeckungen als Vergleichsmaßstab dienen.

Die in Abb. 3 dargestellte Dacheindeckung, bestehend aus kurzen, nur ein Pfettenfeld überdeckende Faserzement-Welldachplatten, Profil 5/177 x 51 mm, mit Abstandhaltern, wurde dem Hohlpfannendach nachempfunden und hat sich ebenfalls in der Praxis bewährt [2]. An diesem Beispiel soll weniger auf die Konstruktion als auf das Querprofil der Dachhaut aufmerksam gemacht werden, weil auch dieses Einfluß auf die Tauwasserableitung hat. Die Praxis zeigt nämlich, daß Tauwasser von stark und gleichmäßig profilierten Welldachplatten wesentlich besser abfließt als von flach- oder gar nicht profilierten Dacheindeckungen. Unter den Welldachplatten anfallendes Tauwasser läuft zunächst, entlang dem Wellenprofil, von oben nach unten ab. An der Unterseite jeder unteren Welle bildet sich so ein schmaler Wasserfilmstreifen, an dem das Tauwasser, der Dachneigung folgend, dann weiter nach außen abfließt. Da keine scharfen Kanten oder sonstige, den Wasserablauf behindernde Unebenheiten vorhanden sind, tropft nur relativ wenig Tauwasser von der Dachfläche ab.



Abbildung 2: **Unterseite eines ca. 100 Jahre alten Hohlpfannendaches mit Strohdocken. Spuren von ablaufendem Tauwasser sind unter den Hohlpfannen erkennbar (Bauernhaus in Groß Schwülper/Niedersachsen)**

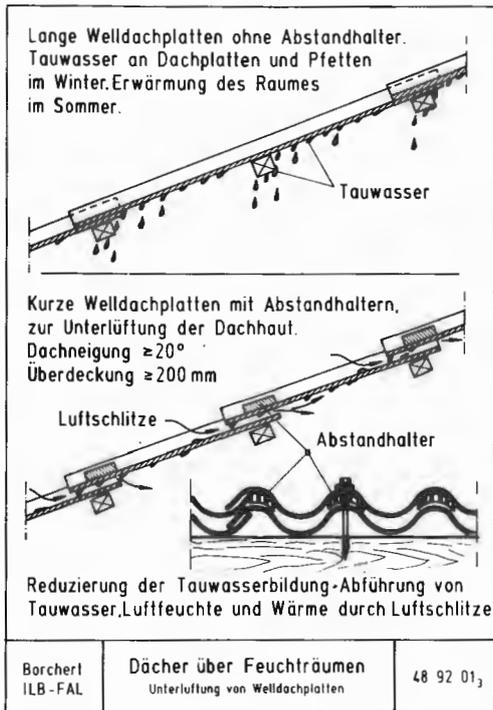


Abbildung 3: Dächer aus Faserzement-Wellplatten über nicht-wärmegeprägten Ställen. Oben: ungeeignete Konstruktion. Unten: Verlegung kurzer Platten mit Abstandhaltern zur Unterlüftung der Dachhaut, Verminderung der Wärme- und Feuchtigkeitsbelastung des Daches

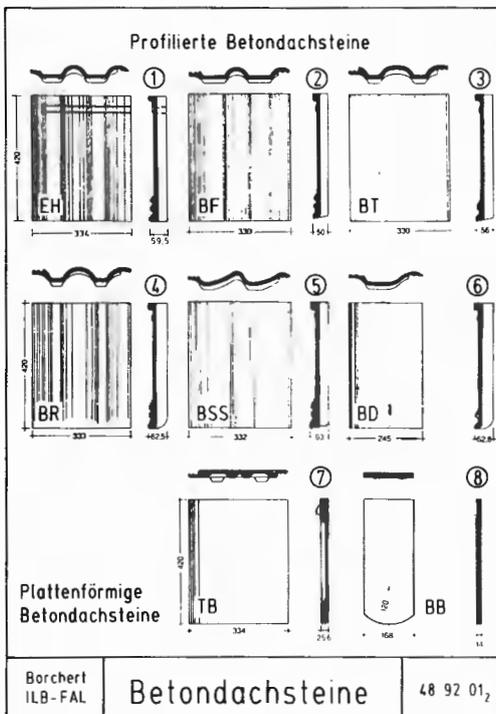
Aus der Beobachtung altbewährter Dächer können erste wichtige Rückschlüsse hinsichtlich der Eignung von Bedachungsmaterialien und Dachkonstruktionen für nicht-wärmegeprägten Ställe gezogen werden. Für eine Auswahl von Konstruktionen und Materialien sind ergänzende Laboruntersuchungen erforderlich.

### Laboruntersuchungen von Dachziegeln und Dachsteinen

Zur Klärung der Frage: "Welche Dachziegel oder Dachsteine gewährleisten nicht-wärmegeprägten Ställen einen ausreichenden Bautenschutz?" wurden mit diesen Materialien erste Vergleichsuntersuchungen in einer Doppelklimakammer durchgeführt. Gemessen wurde die Masse des von einer Dachfläche in einer Stunde auf eine horizontale Bodenfläche abtropfenden Tauwassers, bei unterschiedlichen Dachneigungen, aber gleichbleibenden raum- und außenklimatischen Bedingungen. Vergleichbare Prüfungen von Dacheindeckungsmaterialien sind bisher nicht bekannt. Deshalb wurde ein Prüfverfahren gewählt, bei dem der technische Aufbau und die klimatischen Einflüsse möglichst praxisnah sind, das aber auch versuchstechnisch mit vertretbarem Aufwand durchführbar ist.

Für die Vergleichsuntersuchungen wurden zunächst aus der Vielzahl handelsüblicher Dachziegel und Dachsteine vor allem solche ausgewählt, deren unterseitige Profilierung bestimmte Unterscheidungsmerkmale hinsichtlich der Tauwasserableitung erkennen ließen. Damit ist jedoch keine Aussage über allgemeine Qualitätseigenschaften dieser Dacheindeckungen verbunden. Der Einfluß der unterseitigen Profilierung auf den Tauwasserablauf kann im vorliegenden Beitrag nur an Beispielen weniger Dachziegel oder Dachsteinen - unabhängig vom Fabrikat - gezeigt werden. Aussagen hierüber gelten in gleichem Maße auch für gleichartige, aber nicht gezeigte Produkte anderer Hersteller.

Von allen Dacheindeckungsmaterialien haben Betondachsteine z.Z. mit ca. 50 % den höchsten Marktanteil. (Tondachziegel: ca. 20 %). Es lag also nahe, eine möglichst große Zahl unterschiedlicher Betondachsteine, die in Abb. 4 dargestellt sind, zu untersuchen. Daneben wurden folgende Tondachziegel (nach DIN 456) in die Vergleichsuntersuchungen mit einbezogen:



- Hohlpannen: glatte Unterseite
  - Falzpannen: profilierte Unterseite Kopf- und Seitenfalz
  - Krempziegel: glatte Unterseite
  - Flachdachpannen: profilierte Unterseite Kopf- und Seitenfalz
- gewölbte Ziegelmulde (Abb. 5)
- ebene Ziegelmulde (Abb. 6)

Die Dachziegel und Dachsteine wurden auf Latten trocken verlegt. Zum Vergleich neuer Dacheindeckungen mit altbewährten Konstruktionen wurden Hohlpannen und Krempziegel auch mit fast in Vergessenheit geratenen Strohdocken verlegt, wie Abb. 7 zeigt.

Die zu untersuchenden Dachflächen waren etwa 1000 bis 1250 mm breit und 2700 mm hoch. Die Sparrenneigung wurde zwischen  $15^\circ$  und  $45^\circ$  variiert. Eine unter der Dachflä-

Abbildung 4: Profilierte und ebene Betondachsteine



Abbildung 5: Dachziegel (Unterseite) rechts: Hohlpfanne, links: Falzpfanne

che auf dem Boden der Klimakammer, nahe der "Traufe", aufgestellte Auffangschale für abtropfendes Tauwasser hatte eine Meßfläche von 500 x 700 mm. Das Tauwasser wurde mit saugfähigem Papier aufgenommen und ausgewogen. Die "Außenlufttemperatur"  $\vartheta_1$  betrug 3 °C. Unter der Dachfläche betrug die "Raumlufte Temperatur"  $\vartheta_2$  24,5 °C und die relative Luftfeuchte 90 %. Die Regelabweichungen der Luft- und Taupunkttemperatur waren kleiner als  $\pm 0,5$  K. Die Luftgeschwindigkeit unter den Dachflächen  $V_{L2}$  betrug im Mittel 0,2 m/s.

Die Dacheindeckungen wurden vor den Vergleichsmessungen in der Klimakammer solange vorklimatisiert, bis die abtropfende Tauwassermasse in gleichen Zeitabständen konstant war.

Jede Messung wurde unter gleichen Bedingungen mindestens dreimal wiederholt. Die gemittelten Ergebnisse sind in Abb. 8 bis 11 dargestellt.

Bei der Untersuchung von Betondachsteinen ergaben sich in einigen Fällen erhebliche Streuungen der Meßwerte, die sich nicht allein mit der Profilierung der Dachsteine erklären



Abbildung 6: Dachziegel (Unterseite) rechts: Krempziegel, links: Flachdachpfanne



Abbildung 7: Versuche zur Tauwasserableitung von Dacheindeckungen in einer Klimakammer. Hier: Hohlpfannendach mit Strohdocken (Oberseite). Die Wasserspuren auf den Dachziegeln zeigen, daß unterseitig anfallendes Tauwasser durch die Überdeckungsfugen der Hohlpfannen nach außen abfließt. Die wasserableitende Wirkung der Strohdocken ist am geöffneten Dachteil, links oben, gut zu erkennen.

lassen. Auffällig war, daß bei Dachsteinen gleichen Fabrikates und gleicher Type, aber unterschiedlicher Farbe, die Meßwerte eindeutig voneinander abwichen, wie beispielsweise in Abb. 11 gezeigt wird. Daraus ist zu schließen, daß auch die Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit des Betons möglicherweise das Abfließen oder Abtropfen des Tauwassers mit beeinflußt. Inwieweit dies nun durch Zuschlagstoffe oder (Farb-)Zusätze zum Beton, oder andere farbikationstechnische Maßnahmen, wie z. B. die Verwendung von Trennmitteln (Schalöl) bei der Herstellung hervorgerufen wird, wurde nicht untersucht. Diese Frage ist auch nicht praxisrelevant. Für profilierte Betondachsteine wurde deshalb in Abb. 10 die ganze Bandbreite aller Meßergebnisse zusammenfassend dargestellt, weil keine eindeutige, dem Profil eines Dachsteines zugeordnete Aussage gemacht werden kann.

#### Geeignete Dacheindeckungen für nicht wärmegeämmte Ställe

Zur Beurteilung der untersuchten Dacheindeckungen sind zunächst Vergleichsmaßstäbe anhand von Meßwerten altbe-

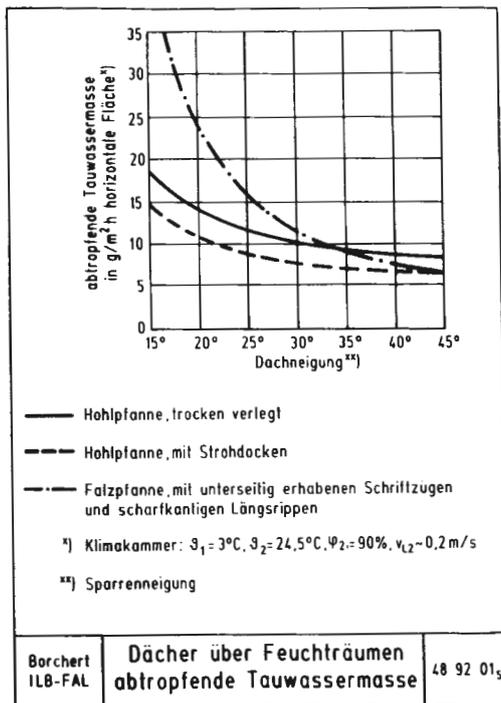


Abbildung 8: Von Dachflächen abtropfende Tauwassermassen in Abhängigkeit von der Dacheindeckung und Sparrenneigung: Hohlpfanne und Falzpfanne

währter Konstruktionen festzulegen. Als Vergleichskonstruktion wurde, wie schon beschrieben, das Hohlpfannendach ohne Kalkmörtelverstrich und ohne Strohdocken gewählt. Die Meßwerte sind in Abb. 8 und Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Von Hohlpfannendächern abtropfende Tauwassermasse \*)

Sparrenneigung (°)	Tauwassermasse (g/m <sup>2</sup> h)
45	8,6)
40	9,0 ) Mittelwert 9,0
35	9,5)
32	10,0

\*) Hohlpfannen, trocken verlegt, ohne Strohdocken  
 Klimakammer:  $\vartheta_1 = 3^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta_2 = 24,5^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 90\%$

Dächer alter Bauernhäuser und nicht-wärmegeämmter Ställe haben in der Regel eine Neigung zwischen 35° und 45°. Hierbei tropft im Mittel 9,0 g Tauwasser /m<sup>2</sup> h von der Dachfläche ab. Diese 9,0 g/m<sup>2</sup> h sollen im folgenden als Richtwert für alle anderen Dacheindeckungen gelten. Geringfügige Überschreitungen dürften im Einzelfall tolerierbar sein.

Anhand des ermittelten Richtwertes von 9,0 g/m<sup>2</sup> h sowie der Meßergebnisse aller anderen Dacheindeckungen können nun für die Bedachung nicht-wärmegeämmter Ställe weniger gut geeignete Dachziegel und Dachsteine aussortiert und für die übrigen Dacheindeckungen Mindestdachneigungen (Sparrenneigung) festgelegt werden (siehe Tabelle 2).

Bei der Festlegung der Mindestdachneigung ist neben derjenigen zur Tauwasserableitung auch die sogenannte "Regeldachneigung" zur sicheren Abführung von Niederschlagswasser zu beachten. Die "Regeldachneigung" kennzeichnet die geringste Sparrenneigung, bei der sich eine Dacheindeckung in der Praxis noch als ausreichend regensicher erwiesen hat. Da die Mindestdachneigung u.a. auch von den örtlichen Klimaverhältnissen (Niederschläge und Wind) sowie der Lage der Bauwerke (freistehend oder geschützt) abhängig ist, ist eine starre Festlegung nicht möglich [3]. Steilere Dächer bringen jeweils höhere Sicherheiten hinsichtlich der Ableitung von Niederschlags- und Tauwasser. Die jeweils maßgebende Mindestdachneigung ist in Tabelle 2 verzeichnet.

Tabelle 2: Geeignete Dacheindeckungen für nicht-wärmegeämmte Ställe

Dacheindeckung	Minstdachneigung (= Sparrenneigung)
Hohlpfannen auf Strohdocken	25° - 30°
profilierte Beton-dachsteine	30°
Krempziegel auf Strohdocken	30° - 35°
Hohlpfannen, trocken verlegt, ohne Strohdocken	30° - 35°
Falzpfannen	35°

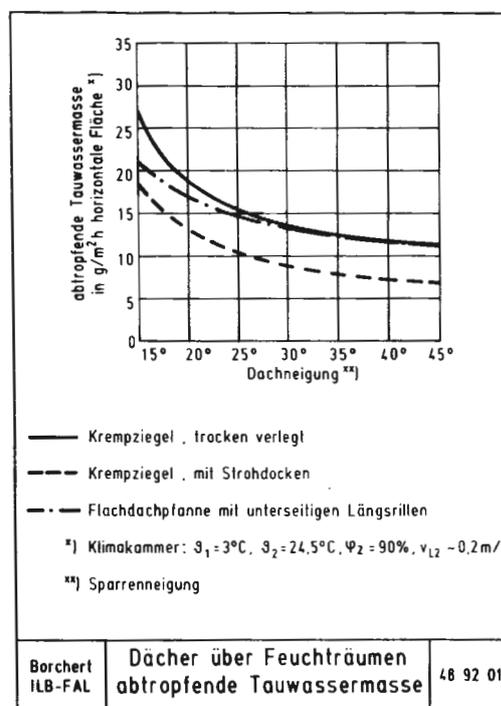


Abbildung 9: Von Dachflächen abtropfende Tauwassermassen in Abhängigkeit von der Dacheindeckung und Sparrenneigung: Krempziegel und Flachdachpfanne

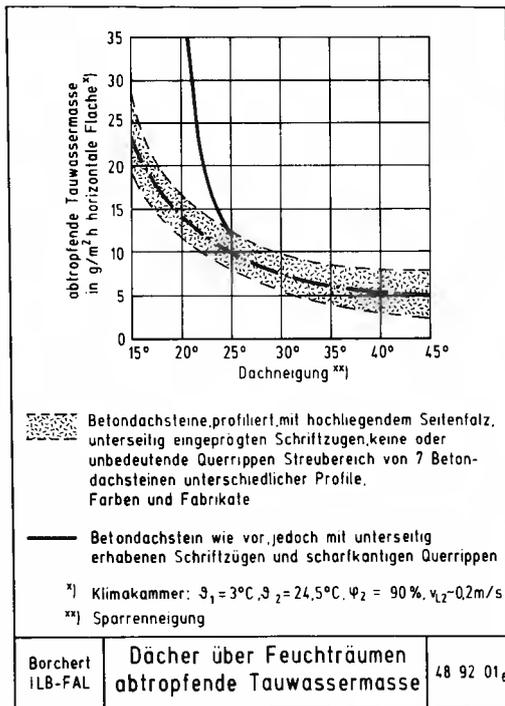


Abbildung 10: Von Dachflächen abtropfende Tauwassermassen in Abhängigkeit von der Dacheindeckung und Sparrenneigung: profilierte Betondachsteine

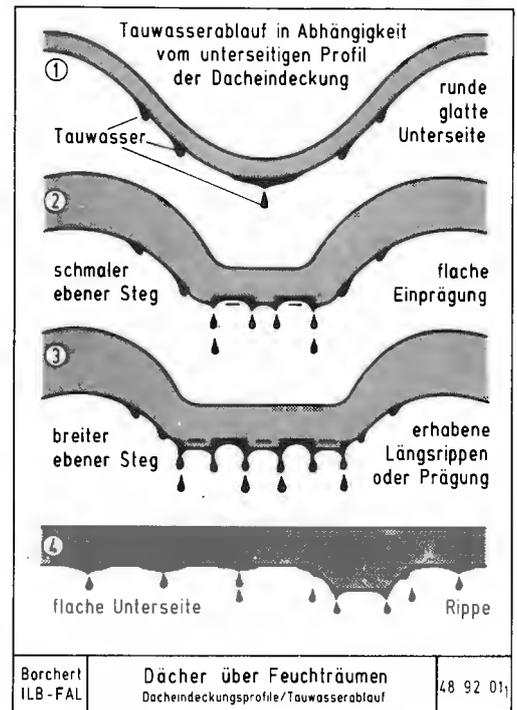


Abbildung 12: Tauwasserablauf von Dacheindeckungen in Abhängigkeit vom unterseitigen Profil der Dachhaut. Die Reihenfolge entspricht einem empirischen Wertmaßstab.

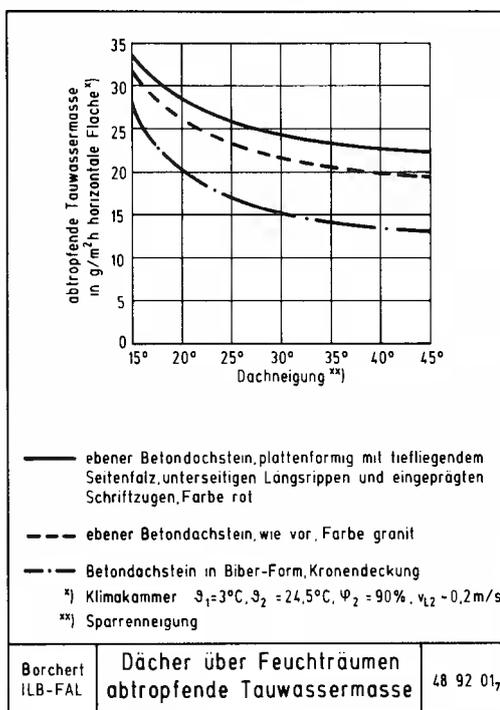


Abbildung 11: Von Dachflächen abtropfende Tauwassermassen in Abhängigkeit von der Dacheindeckung und Sparrenneigung: ebene Betondachsteine

Die mituntersuchten ebenen, plattenförmigen Betondachsteine einschließlich Biberschwänze, sowie Flachdachpfannen und ohne Strohdocken verlegte Krempziegel, sind in Tabelle 2 nicht erwähnt, weil die von ihnen abtropfende Tauwassermasse den angenommenen Richtwert von  $9,0 g/m^2 h$  wesentlich übersteigt (vergl. Abb. 9 und 11). Bedachungen dieser Art können somit für nicht-wärmedämmte Ställe nicht empfohlen werden.

Vergleicht man die Profile der für nicht-wärmedämmte Ställe geeigneten Dacheindeckungen (Tabelle 2) mit denjenigen, die ungeeignet erscheinen, so ergeben sich klare Unterschiede: Die in Tabelle 2 genannten Dachziegel oder Dachsteine haben, mit Ausnahme der Krempziegel auf Strohdocken, ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes wellenförmiges Profil. Dagegen bestehen die nicht zu empfehlenden Dacheindeckungen im wesentlichen aus ebenen Platten, mit und ohne Seitenwulst oder Seitenfalz. Dieser Vergleich zeigt, daß sowohl wellenförmige Profilierungen der Dacheindeckungen wie auch Strohdocken den Tauwasserablauf positiv beeinflussen, während von unterseitig ebenen Dachflächen das Tauwasser in höherem Maße abtropft.

#### Merkmale zur Beurteilung und Auswahl von Dacheindeckungen für nicht-wärmedämmte Ställe

Das Abfließen des Tauwassers von einer Dachhaut ist von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren abhängig. Die wichtigsten Merkmale sind, überwiegend nach Beobachtungen, in Tabelle 3 und Abb. 12 dargestellt. Graduelle Unterschiede ergeben sich auf Grund unterschiedlicher Profile und Oberflächenstrukturen der Dacheindeckungsunterseiten. So fließt z.B. von Welldachplatten (5-wellig:  $177 \times 51$  mm) das Tau-

wasser sehr gut ab (siehe Abb. 12/1). Am stärksten ist das Abtropfen des Tauwassers von ebenen, plattenförmigen Dacheindeckungen (Abb. 12/4), was auch durch die Messungen bestätigt wurde. Dazwischen liegen die profilierten Dachziegel oder Dachsteine, bei denen es vor allem von der Breite und Ausformung der unterseitigen Stege abhängt, wie viel Tauwasser sicher nach außen abfließt oder von der Dachhaut abtropft. Dies wird bei der Betrachtung der folgenden Bilder deutlich.

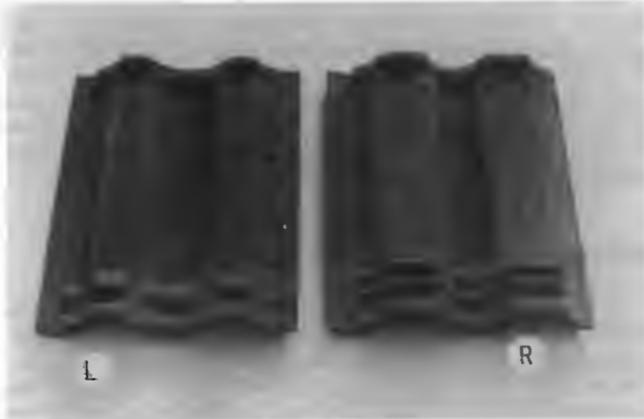


Abbildung 13: **Betondachsteine mit ähnlichen Profilen, aber unterschiedlichen Oberflächenstrukturen. Links (L): erhabene Schriftprägung und scharfe Querrippen verursachen starkes Abtropfen von Tauwasser. Rechts (R): flache, kleine Schrifteinprägungen behindern den Tauwasserablauf nur wenig; günstig: glatte, runde Kanten; ungünstig: breite Stege.**

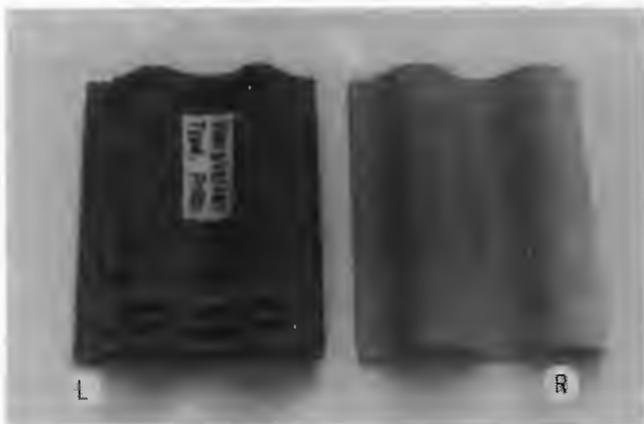


Abbildung 14: **Betondachstein mit günstigen schmalen Stegen und wellenähnlichem Profil, im Vergleich mit Faserzement-Wellplatten, Profil 5/177 x 51. Ungünstig: Querrippen und tiefe große Schrifteinprägungen mit scharfen Kanten. Verbesserungsvorschlag: Verlegung der Prägungen in den oberen Profilbereich (siehe Typenschild), Abrundung der unteren Stege, Verzicht auf Querrippen.**

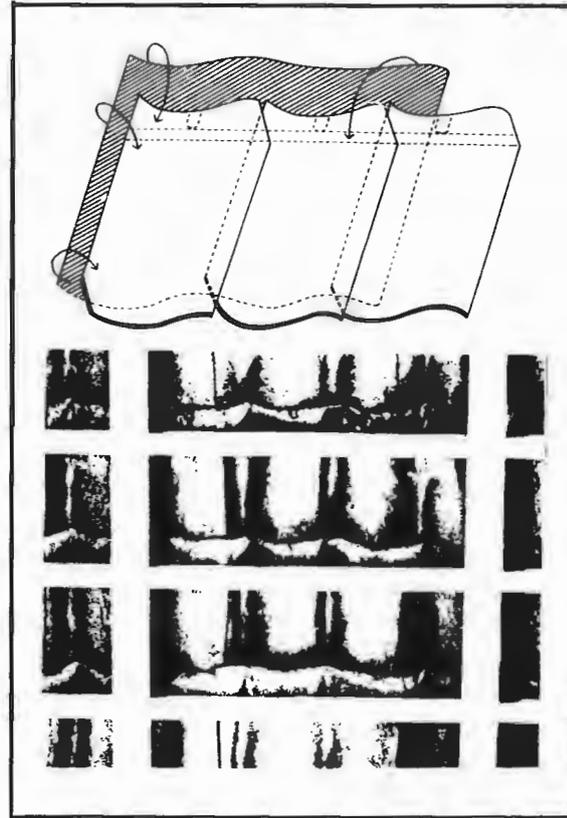


Abbildung 15: **Hohlpannendach mit Pappdocken nach [4]. Die Hohlpannen werden unterseitig vollflächig mit Bitumenpappe umhüllt.**

Abb.13 zeigt zwei Beton-Dachsteine mit ähnlichem Profil, aber unterschiedlicher Oberflächenstruktur. Der Stein (R) rechts hat flache kleine Schrifteinprägungen, die den Tauwasserablauf kaum behindern; er hat aber auch relativ breite ebene Stege, was wiederum nachteilig ist. Im Gegensatz dazu hat der Stein (L) links große erhabene Schriftaufprägungen und scharfkantige Querrippen, die wie Tropfkanten oder Wassernasen wirken und ablaufendes Tauwasser in hohem Maße zum Abtropfen bringen. Dieser Mangel wird auch nicht durch die vorteilhaft schmalen Stege aufgehoben. Das Profil des in Abb. 14 (L) links gezeigten Dachsteines kommt dem besonders günstigen Profil 5/177 x 51 mm von Welldachplatten sehr nahe. Die positive Wirkung der schmalen, abgerundeten Stege geht jedoch zum Teil durch die großen tiefen Schrifteinprägungen wieder verloren. Die anhand der vorstehenden Beispiele genannten Merkmale sind auch in Tabelle 3 enthalten. Tabelle 3 gilt für alle Arten von Bedachungen.

Von den für die Eindeckung von Stallgebäuden in Frage kommenden Dachziegeln und Dachsteinen konnten nur einige Sorten auf ihre tauwasserableitenden Eigenschaften untersucht und beurteilt werden. Andere Dacheindeckungen, für die keine entsprechenden Meßergebnisse aus Gebrauchswertprüfungen vorliegen, lassen sich vorerst von Architekten, Dachdeckern oder Bauherren nur nach den Merkmalen der Tabelle 3 und Abb. 12 beurteilen. Dieses Verfahren ist zwar nicht besonders sicher, hilft aber die Gefahr von Bauschäden zu verringern, die durch die Verwendung von ungeeigneten Dacheindeckungen entstehen können.

Tabelle 3: **Merkmale zur Beurteilung von Dächern und Dacheindeckungen\*) hinsichtlich Tauwasseranfall, -speicherung und -ableitung**

1.	positive Merkmale
1.1	geringer Tauwasseranfall durch: - gute Dachraumlüftung - geringen Feuchtegehalt der Raum- und Außenluft
1.2	kurzzeitige Tauwasserspeicherung, verringerte Tropfenbildung durch: *) - hygroskopische Dachhaut
1.3	gute Ableitung und geringes Abtropfen von Tauwasser durch: *) - wellenförmige oder wellenähnliche Profile, alle Profiltile gerundet - schmale, runde untere Stege mit runden Kanten ( $b < 40$ mm) - glatte oder wenig strukturierte Oberfläche - keine erhabenen Schriftzüge, Symbole oder sonstigen Unebenheiten im Bereich wasserableitender unterer Stege oder Profile - keine quer zur Dachneigung verlaufenden Rippen oder Prägungen - luft- und tauwasserdurchlässige Überdeckungsfugen - kurze, nur ein Latten- oder Pfettenfeld überdeckende Dacheindeckung - steiles Dach ( $\geq 30^\circ$ )
2	negative Merkmale
2.1	hoher Tauwasseranfall durch: - unzureichende Dachraumlüftung - hoher Feuchtegehalt der Raumluft - große Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft
2.2	unmittelbares Abfließen und keine Speicherung von Tauwasser durch *): - wasserabweisende oder wasserdichte Dachhaut
2.3	schlechte Ableitung und starkes Abtropfen von Tauwasser durch *) - ebene, plattenförmige Dacheindeckungen und trapezförmige, scharfkantige Profile - breite, ebene untere Stege mit scharfen Kanten ( $b > 60$ mm) - rauhe oder stark strukturierte Oberfläche - erhabene, scharfkantige Schriftzüge, Symbole oder Rippen im Bereich wasserableitender unterer Stege oder Profile - scharfkantige, quer zur Dachneigung verlaufende Rippen oder Prägungen - luft- und tauwasserdichte Überdeckungsfugen - lange, mehrere Latten- oder Pfettenfelder überdeckende Dacheindeckung - flaches oder flachgeneigtes Dach ( $< 25^\circ$ )
*) Alle Angaben über Profile, Oberflächenstrukturen und Werkstoffe von Dacheindeckungen beziehen sich auf die Unterseite der Dachhaut. Die Oberseite des Daches kann anders profiliert oder strukturiert sein.	

Die Hersteller von Dacheindeckungsmaterialien können ebenfalls die vorgenannten Beurteilungsmerkmale zur Überprüfung ihrer Produkte auf Mängel und Verbesserungsmöglichkeiten benutzen. In vielen Fällen würden schon kleine Detailänderungen ausreichen, um die Tauwasserableitung von der Dachhaut erheblich zu verbessern: So würden sich z. B. ein- oder aufgeprägte Schriftzüge nicht negativ auf den Tauwasserablauf auswirken, wenn sie statt am tiefsten am höchsten Profilpunkt eines Dachziegels oder -steines angebracht werden. In Abb. 14 (L) ist diese Stelle mit einem (Typen-)Schild markiert. Gleiches gilt auch für andere scharfkantige Zeichen- oder Rippenprägungen, wie aus dem Vergleich der Hohl- und Falzpfannen nach Abb. 5 und Abb. 8 erkennbar ist. Auch die Form der unteren Stege ließe sich verbessern, indem die Auflageflächen nicht eben, sondern rund ausgebildet werden (siehe Wellenprofil Abb. 12/1). Dies alles könnte ohne Änderung der sichtbaren Oberflächen (und ohne Erhöhung der Produktionskosten) erfolgen.

### Diskussion

Dächer sind zugleich Funktionselemente der Gebäude wie auch Gestaltungselemente im Rahmen eines Dorf-, Stadt- oder Landschaftsbildes. Sie unterliegen damit, wie jedes Gebäude, dem Zwang zur Ausgewogenheit zwischen Funktion, Konstruktion und Form. Wird die architektonische Einheit von: Funktion, Konstruktion und Form gestört, dann kann dies sehr negative Auswirkungen auf das Orts- und Landschaftsbild wie auch auf die Nutzung und Erhaltung der Bausubstanz haben. Der Schutz unserer Dörfer, Städte und Landschaften vor Verunzierungen kann also bei der Planung von Dächern aller Art nicht isoliert vom Schutz der Gebäude gesehen werden.

Die Einpassung von Dächern nicht-wärmegeämter Stallgebäude in vorgegebene Orts- und Landschaftsbilder setzt zunächst voraus, daß die Dachform und -eindeckung den ästhetischen Anforderungen genügen. Daneben müssen aber auch die Dachkonstruktionen und Werkstoffe die besonders hohen klimabedingten, bauphysikalischen Anforderungen und sonstigen Funktionen des Stallbaus erfüllen.

Nur wenige Dacheindeckungen werden heute noch in historischen Formen und Konstruktionen verwendet. An ihre Stelle traten optisch ähnliche oder gleiche, gefaltete Dachziegel und Dachsteine. Diese "neuen" Bedachungsmaterialien sind dichter gegen Regenwasser und Wind, somit auch für die Eindeckung flachgeneigter Dächer geeignet. Sie sind außerdem paßgenauer, leichter zu verlegen, bedürfen keines Mörtelverstrichs und werden zum Teil mit langjährigen Garantiezusagen angeboten. Diese unverkennbaren Vorteile gegenüber alten Dacheindeckungen und -konstruktionen dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, daß im Zuge dieser Entwicklung ein entscheidender Faktor weitgehend vernachlässigt wurde: der konstruktive Schutz der Gebäude gegen Schäden durch abtropfendes Tauwasser, d. h. gegen Feuchtigkeit von innen. Denn alle bisherigen Veränderungen konzentrierten sich allein auf optische Merkmale und eine bessere Abdichtung der Dachhaut gegen äußeres Niederschlagswasser zwecks Verringerung der Regeldachneigung. Selbst altbewährte Konstruktionen unterliegen diesen "Weiterentwicklungen", doch leider nicht immer zu ihrem Vorteil.

Historische Hohlpfannendächer, verlegt mit Strohdocken, verfügen bekanntlich über hervorragende bauphysikalische Eigenschaften. Doch letztere wurden dem "Fortschritt", d. h. den flacheren Dachneigungen geopfert, indem Pappdocken anstelle der ursprünglichen Strohdocken verwendet werden (s. Abb. 15 [4]). Pappdocken sind Streifen aus Bitumenpappe,

mit denen die Hohlpfannen unterseitig fast vollständig ummantelt werden. Das Bitumen schafft unter Wärmeeinwirkung im Sommer eine innige Verbindung zwischen den Hohlpfannen und Pappdocken sowie den Docken unter sich. Man erhält so eine nahezu geschlossene, dampfdichte zweite Dachhaut unter den Hohlpfannen. Damit ist kein Feuchteausgleich durch die Ziegel und keine freie Tauwasserableitung durch die Überdeckungsfugen mehr gegeben. Gegenüber der ursprünglichen Konstruktion mit Strohdocken hat sich die Gefahr, daß Tauwasser von der Dachhaut abtropft, erheblich vergrößert. Ob diese Änderung der physikalischen Eigenschaften immer richtig eingeschätzt wird, muß bezweifelt werden.

Tauwasserniederschläge unter Dacheindeckungen sind unvermeidbar. Es ist nur eine Frage der Masse und Ableitung, ob abtropfendes Tauwasser Bauschäden verursachen kann oder nicht. Für nicht-wärmegeämmte Ställe mit extrem hohem Tauwasseranfall, sowie ähnlich belastete Gebäude der Landwirtschaft und Industrie, ist eine sichere Ableitung von Tauwasser mit begleitenden Maßnahmen zur Begrenzung des Tauwasseranfalls von existenzieller Bedeutung. Dazu gehört auch die richtige Auswahl geeigneter Materialien anhand zuverlässiger technischer Daten aus entsprechenden Gebrauchswertprüfungen.

Technische Daten, die Aufschluß über das Ableiten oder Abtropfen von Tauwasser von einer Dachhaut geben, sind bisher unbekannt. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen jedoch ihre Wichtigkeit im Hinblick auf:

- Auswahl handelsüblicher Baustoffe und Bauteile nach Anforderungen, Beanspruchungen und Stoffeigenschaften;
- Reduzierung vermeidbarer Bauschäden;
- Schutz der Verbraucher vor wirtschaftlichen Nachteilen;
- Unterstützung der Industrie bei der Entwicklung neuer Baustoffe und -konstruktionen.

Es wäre zu wünschen, daß Prüfungen von Dacheindeckungen auf Ableitung oder Abtropfen von Tauwasser zukünftig zum Standardprogramm der Materialprüfung gehören. Das vorgestellte Meßverfahren ist modifizierbar. Es sollte noch auf mögliche Vereinfachungen hin untersucht werden. Je einfacher und kostengünstiger die genannten Prüfungen werden, umso eher finden sie Eingang in die Praxis. Davon dürfte nicht nur das landwirtschaftliche Bauwesen, sondern auch der allgemeine Hochbau profitieren. Gilt es doch überall die volkswirtschaftlichen Schäden, die durch vermeidbare Baufehler und Bauschäden verursacht werden, drastisch zu reduzieren [5].

Um Bauschäden zu verhüten, die auf ungeeignete oder unbekannte Materialeigenschaften zurückzuführen sind, sollten möglichst alle handelsüblichen Baustoffe und Bauteile einer Gebrauchswertprüfung unterliegen. Gebrauchswertprüfungen sollen neben den üblichen technischen Daten auch Auskünfte geben über: das Verhalten der Werkstoffe und Konstruktionen gegen klimatische, chemische und biologische Angriffe; zu Besonderheiten der Ver- und Bearbeitung; Wechselbeziehungen zu anderen Stoffen - insbesondere Verbindungs- und Schutzmittel; Pflege und Instandhaltung.

Aus Erfahrungen mit Gebrauchswertprüfungen von Baustoffen und Bauteilen ist zu erkennen, daß Kurzzeitversuche, bestehend aus Labor- und Praxisuntersuchungen, in den meisten Fällen zufriedenstellende Ergebnisse bringen und Aussagen über das Langzeitverhalten der untersuchten Stoffe zulassen. Dies gilt nur bedingt für Untersuchungen von Baustoffen gegen chemische und biologische Angriffe. Bei physikalischen/klimatischen Untersuchungen kommt es darauf an, daß

die Proben ausreichend groß sind und möglichst in der Weise geprüft werden, wie sie in der Praxis verwendet werden sollen. Die Auswertungen der Untersuchungsergebnisse erfordern allerdings umfangreiche praktische Erfahrungen, weil sich nicht alle Meßdaten und Beobachtungsergebnisse des Versuchsablaufes unmittelbar praxisrelevanten Gegebenheiten zuordnen lassen. Eine noch bessere Absicherung erhalten diese Prüfungen, wenn zusätzlich Verbraucherumfragen über die geprüften oder sehr ähnliche Baustoffe oder -teile durchgeführt werden können. Verbraucherumfragen machen oftmals anwendungs- oder einsatzspezifische Probleme und Mängel sichtbar, die sonst bei normalen Werkstoffuntersuchungen unbeachtet oder unerkannt bleiben.

## Zusammenfassung

In einer Umgebung, wo historische Ziegeldächer noch das Orts- oder Landschaftsbild beherrschen, können neue Dächer oftmals nur mit gleichen oder ähnlichen Materialien eingedeckt werden. Architektur und Landschaftsschutz bestimmen hier Form und Farbe der Dächer. Damit stellt sich die Frage nach geeigneten Tondachziegeln oder Betondachsteinen, die auch hinsichtlich der Funktion und Konstruktion der Dächer den jeweiligen Anforderungen entsprechen. Dies gilt ganz besonders für nicht-wärmegeämmte Ställe oder solche Gebäude, deren Dächer über lange Zeit starken Tauwasserbelastungen ausgesetzt sind. Technische Daten oder sonstige Auswahlkriterien bezüglich der Ableitung oder des Abtropfens von Tauwasser von Dacheindeckungen fehlen jedoch bisher.

Zur Verhütung vermeidbarer Bauschäden infolge unzureichender Kenntnisse der Materialeigenschaften wurden Versuche mit Tondachziegeln und Betondachsteinen in einer Klimakammer durchgeführt. Gemessen wurde die Masse des von einer Dachhaut abtropfenden Tauwassers in Abhängigkeit von der Zeit und Dachneigung. Das simulierte Raum- und Außenklima blieb dabei konstant.

Zur Bewertung der untersuchten Dacheindeckungen wurden Tonhohlpfannen als Vergleichsmaßstab gewählt. Von Hohlpfannendächern ist bekannt, daß sie sich auch unter ungünstigen Klimaverhältnissen im Stallbau bewährt haben, wenn die Dachhaut nicht mit Mörtel verstrichen ist. Dacheindeckungen, bei denen die abtropfende Tauwassermasse gleich oder kleiner ist als der Richtwert von Hohlpfannen, sind somit auch für den Bau nichtwärmegeämmter Ställe geeignet. Dies sind vor allem wellenförmige Dachziegel oder Dachsteine mit glatten Unterseiten. Dacheindeckungen mit höheren Meßwerten sollten nicht in Gebäuden mit starker Tauwasserbelastung verwendet werden. Dazu zählen ebene, plattenförmige Eindeckungen wie auch solche mit scharfkantigen, den Tauwasserablauf behindernden Profilen.

Aus Beobachtungen über die Ableitung und das Abtropfen von Tauwasser von den Unterseiten der Dächer wurden "Merkmale zur Beurteilung von Dächern und Dacheindeckungen" abgeleitet. Diese sollen dem Verbraucher helfen, die für ihn geeignetste Dacheindeckung auszusuchen, wenn dafür noch keine gesicherten Meßergebnisse vorliegen. Die "Merkmale" sollen aber auch die Hersteller dazu veranlassen, ihre Produkte mehr als bisher den raumklimatischen und bauphysikalischen Anforderungen anzupassen. Bei den meisten Dachziegeln und Dachsteinen läßt sich die Tauwasserableitung schon durch kleine Detailveränderungen (ohne Mehrkosten) erheblich verbessern. Die "Merkmale" geben auch den Architekten Hinweise zum konstruktiven Feuchteschutz von Dächern.

Unzureichende Kenntnisse über die tatsächlichen Eigenschaften von Baustoffen und Bauteilen können zur falschen

Auswahl führen und damit Ursache sein für Bauschäden, Umweltschäden und noch mehr. Zur besseren Kennzeichnung von Dacheindeckungen sollten deshalb auch technische Daten gehören, die zuverlässig Auskunft geben über die Ableitung und das Abtropfen von Tauwasser. Entsprechende Untersuchungen müssten zukünftig zum Standardprogramm der Materialprüfung gehören. Aus praxisnahen und auf den Anwendungsbereich bezogenen Kurzzeituntersuchungen lassen sich häufig schon mit ausreichender Sicherheit Rückschlüsse auf das Langzeitverhalten von Baustoffen und Bauteilen ziehen.

#### **Roofing of non-insulated animal houses with reference to the protection of the building and the landscape**

Roofing of non-insulated animal houses are strongly exposed to humidity. At the same time they must be adapted to their surrounding area, the villages and the landscape. This is why tests in a "climate chamber" were made with tiles from clay and concrete. The question was, which roofing materials are suitable for non-insulated animal houses. The amount of condense water was measured which dropped from the roof plates, depending on the pitch. To judge the roofing materials these data were compared with those of proved roof constructions.

The tests showed the following results:

Tiles from clay or concrete in a wave form with a smooth bottom side are suitable for non-insulated animal houses. The pitch should be at least 30 degrees. Not suitable are roofing materials in the form of plates with sharp and edged profiles. The amount of condense water can very often be reduced with very little changes of building details. It is the same with the construction of the roofs.

#### **Literatur**

- [1] B o r c h e r t, K.-L.: Der Kaltstall für Rindvieh - ein konstruktives Problem. - BLS (1973) H. 2, S. 13-16; Mitteilungsblatt der Bayerischen Landsiedlung, Verlag I. Kaufmann, Sprenging.
- [2] B o r c h e r t, K.-L.: Verhütung von Tauwasserschäden an Dach-Decken von Kaltställen. - Landtechnik 31 (1976) H. 6, S. 250-251.
- [3] B r e n n e c k e, Folkerts, Haferland, Hardt: Dachatlas, geneigte Dächer. - Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München (1975).
- [4] H o f f m a n n, OT.: Flachgeneigte Ziegeldächer. - Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie, Bonn.
- [5] N . N.: Zweiter Bericht über Schäden an Gebäuden. - Deutscher Bundestag, Drucksache 11/1830 vom 17.02.1988. Herausgeber: Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn-Bad Godesberg 5/1988.

Verfasser: B o r c h e r t, Karl-Ludwig, Dipl.-Ing., Architekt, Institut für landwirtschaftliche Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode (FAL), Institutsleiter: Prof. Dr. agr. Joachim P i o t r o w s k i .