

Gebäudedichtheit – eine wichtige Forderung für schadenfreies Bauen

Teil 2: Warum die Gebäudedichtheit zwingend erforderlich ist, wie man sie misst und was man aus Fallstudien lernen kann

Wolf-Hagen Pohl*

In Teil 1 dieses Beitrags wurden für die Gebäudedichtheit bauphysikalische Grundlagen vorgestellt und neben Negativbeispielen auch einige Vorschläge zur Sicherstellung der Gebäudedichtheit gemacht (Bild 1. bis 23.). Sie sollen als Anhalt, zur Entwicklung eigener Lösungen unter Berücksichtigung der Randbedingungen des realen Einzelfalles dienen.

Dem gelegentlich vorgebrachten Einwand, ein Gebäude müsse *nicht* mit einem relativ großen Aufwand luftdicht ausgebildet werden, man könne doch diesen Luftaustausch über Undichtheiten zum Lüften aus hygienischer Sicht benutzen, kann nicht gefolgt werden. Hierbei wird vergessen, dass die wirksame Druckdifferenz großen Schwankungen ausgesetzt ist, so verändert sich beispielsweise die Windstärke sehr häufig. Bei Windstille müssten die „geplanten“ Undichtheiten sehr groß sein, um den aus hygienischer Sicht zufrieden stellenden Luftwechsel zu ermöglichen. Bei Starkwind würden in den Innenräumen durch die „geplanten“ Undichtheiten extrem hohe Lüftungswärmeverluste und starke Zuglufterscheinungen auftreten, die die Heizkosten unnötig erhöhten und ein behagliches Wohnen unmöglich machen.

Fazit: Die Gebäudedichtheit ist zwingend erforderlich. Der aus hygienischen Gründen erforderliche Luftwechsel muss immer dem momentanen Bedarf angepasst werden. Dies kann von einem gut informierten, verantwortungsvollen Nutzer durch das gezielte Öffnen und Schließen der Fenster erreicht werden oder mit Hilfe einer Lüftungsanlage erfolgen.

Aus diesen kurz vorgestellten Überlegungen folgt, dass Maßnahmen im

Bereich des baulichen Wärmeschutzes (Wärmedämm- und Dichtheitskonzepte) oberste Priorität haben. Dabei sind nicht nur die wärmeübertragenden Bauteile im Bereich der Regelkonstruktionen gut zu dämmen, sondern in gleichem Maße müssen Orte mit Wärmebrückenwirkungen in das Wärmedämmkonzept mit einbezogen werden. Weiterhin sind im Rahmen einer Ganzheitsbetrachtung die Belange des Dichtheitskonzeptes und die Umsetzung in Dichtheitssysteme zu berücksichtigen.

Die vorgestellten Lösungsvorschläge für einige Anschlussbereiche (Details) sollen dem Bauherrn helfen, die Wichtigkeit von besonderen Maßnahmen in diesen Bereichen zu verstehen, um hier sinnvoll Geld zu investieren. Für die Planenden und Ausführenden können sie als Anhalt bei der Entwicklung eigener Lösungen dienen.

Die DIN 4108-7 Ausgabe August 2001 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden Teil 7: „Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen; Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele“ gibt Hilfestellung bei der Festlegung von Maßnahmen zur Sicherstellung der Luftdichtheit. Sie enthält Darstellungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Ausführungsbeispiele, einschließlich Angaben zu geeigneten Materialien zur Einhaltung der Anforderungen.

Beim Nachweis des Wärmeschutzes gemäß Energieeinsparverordnung kann der Einfluss der Gebäudedichtheit berücksichtigt werden; dies ist eine so genannte „Kann-Bestimmung“.

Die Gebäudedichtheit ist nachgewiesen, wenn folgende Grenzwerte im Rahmen einer Messung bei 50 Pa Druckdifferenz nicht überschritten werden:

- bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlage $n = 3 \text{ h}^{-1}$ und
- bei Gebäuden mit raumluftechnische Anlage $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$

Der Nachweis der Gebäudedichtheit wirkt sich bei der Ausgestaltung der Wärmeschutzmaßnahmen beziehungsweise Energieeinsparmaßnahmen günstig aus, da die hier erzielte „Einsparung“ bei der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste an anderer Stelle „verrechnet“ werden kann. Auch unter Einrechnung der Kosten für die Überprüfung der Gebäudedichtheit ist dies sehr wirtschaftlich und immer zu empfehlen. Die Messung der Gebäudedichtheit in einem möglichst frühen Stadium der Gebäudeerstellung hilft auch, Orte mit Undichtheiten zu erkennen und Maßnahmen zur Beseitigung der Undichtheiten kostengünstig durchzuführen. Die Messung hilft weiterhin Feuchteschäden und spätere Rechtsstreitigkeiten zu vermeiden.

3. Messung der Gebäudedichtheit

Es gibt verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Gebäudedichtheit. Das Differenzdruckverfahren (Blower-Door-Verfahren) eignet sich hierfür besonders gut. Mit diesem Verfahren können die relative Gebäudedichtheit bestimmt und vorhandene Undichtheiten in den Außenbauteilen aufgespürt werden. Die relative Gebäudedichtheit ist wie folgt definiert: Der von einem Ventilator geförderte Luftvolumenstrom pro Stunde aus dem Gebäude heraus (Unterdruckmessung) beziehungsweise in das Gebäude hinein (Überdruckmessung) wird bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa gemessen.

Dieser Luftvolumenstrom wird durch das austauschfähige Luftvolumen des Gebäudes dividiert. Das Ergebnis ist die Luftwechselzahl. Sie wird als n_{50} -Wert gekennzeichnet und zwar in der Einheit h^{-1} . Das Ergebnis, gemittelt aus den Über- und Unterdruckmessungen von beispielsweise $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ bedeutet, dass das austauschfähige Luftvolumen unter Prüfbedingungen bei 50

* Der Autor ist Architekt und wurde 1975 zum Professor an der damaligen Technischen Universität Hannover (heute Universität Hannover) ernannt. Er war Leiter der Abteilung Baustoffkunde und Bauphysik im Institut für Bautechnik und Entwerfen. Seit November 2003 befindet er sich im Ruhestand. Wolf-Hagen Pohl referierte zu diesem Thema am 30. Januar 2004 auf dem 12. Deutschen Klempnerstag in Würzburg.

Pa Druckdifferenz in einer Stunde 1,5-mal mit Außenluft ausgetauscht wird. Der Messvorgang wird nachfolgend in einer vereinfachten Darstellung beschrieben. Für die Messung wird ein Ventilator in eine Außentüröffnung einer Wohnung oder eines Gebäudes luftdicht eingebaut. Dies geschieht mit Hilfe einer Spezialfolie, einem Spannrahmen und Abdichtungsmaterialien. In dieser Spezialfolie befindet sich eine Öffnung, in die ein Ventilator mit einer Durchflusssdüse luftdicht installiert wird (Bild 24.).

Durch das Öffnen aller Innentüren wird aus dem Vielraumgebäude ein „Ein-Zonen-Gebäude“. Nach dem Schließen aller Fenster und Fenstertüren und dem Abkleben von Funktionsöffnungen (Kamine, Schornsteine, Öffnungen von innen liegenden Entlüftungrohrleitungen, Komponenten einer eventuell vorhandenen Lüftungsanlage, dies sind Zuluft- und Abluftventile und so weiter) wird im Gebäude durch den Betrieb des Ventilators ein Unter- beziehungsweise ein Überdruck aufgebaut. Mit Hilfe eines elektronischen Gerätes zur Regelung der Ventilatorleistung und verschiedener Reduzierblenden auf der Ventilatoröffnung können Gebäude mit unterschiedlichen Luftvolumina und Dichtigkeitsgraden überprüft werden.

Das Differenzdruck-Verfahren ermöglicht auch das Aufspüren von Orten mit Undichtheiten im Bereich der inneren Bauteiloberfläche der Außenbauteile. Hierzu wird die Druckdifferenz von 50 Pa für die Dauer der Suche nach Undichtheiten aufrechterhalten. In Kenntnis der Struktur und des Aufbaus der Außenbauteile (Fugen, Anschlüsse von Bauteilen, Stöße von Folien, Durchdringungen und so weiter) werden diese Orte mit einem Unter- oder einem Überdruck überprüft. Hier können Luftgeschwindigkeitsmessgeräte, der Strömungsprüfer für Luft (Sichtbarmachen der Luftströmung) – siehe Bild 25. und 26. – oder eine Thermografiekamera eingesetzt werden.

Der Ort mit einer Undichtheit (Austrittsstelle an der inneren Bauteiloberfläche) ist bei einem Unterdruck die Austrittsstelle der Außenluft in den Innenraum. Die Eintrittsstelle der Außenluft in das Bauteil kann jedoch weit entfernt liegen. Dies trifft beispielsweise zu bei Dächern, bei denen eine mit Abstand aufgebrachte innere Bekleidung (zum Beispiel Gipskarton) vorhanden ist oder auch bei Schächten, leichten Trennwänden und bei Abseiten im Bereich von Drempeln. Diese „Räume“ stehen ohne spezielle Abdichtungsmaßnahmen strömungstechnisch miteinander in Verbindung

(Hohlkammersysteme).

Die leichte Trennwand stellt auch ein Hohlkammersystem dar. Die luftdichte Schicht des Daches darf nicht an diese Wand angeschlossen werden, sondern muss in der Ebene des Daches, das heißt über der Wand ohne Unterbrechung durchlaufen (Bild 23. in Teil 1 dieser Veröffentlichung).

Das Beseitigen der Undichtheit an der Eintrittsstelle bedingt dann häufig einen großen Aufwand, bis hin zur Entfernung der inneren Bekleidung. Die Messung sollte daher immer dann durchgeführt werden, wenn die luftdichten Schichten und ihre Anschlüsse hergestellt worden sind. Jedoch sollten die luftdichten Schichten und Anschlüsse dabei noch nicht mit Deckschichten oder anderen Ausbauelementen, beispielsweise leichten Trennwänden, bedeckt sein.

Dies bedingt, dass dieser Aspekt beim Aufstellen des Dichtheitskonzeptes bereits berücksichtigt und der Termin zur Durchführung der Messung in den Ablaufplan der Arbeiten frühzeitig eingeplant wird. Messungen, die während dieses Ausbaustandes durchgeführt werden, haben den Vorteil, dass vorhandene Undichtheiten schnell erkannt und mit relativ einfachen Mitteln kostengünstig beseitigt werden können. Die vorgenannte Empfehlung sollte besonders bei Leichtbauten berücksichtigt werden, da diese Bauweise in vielen Fällen ein sich über das ganze Gebäude erstreckendes zusammenhängendes Hohlkammersystem ergibt.

In Abhängigkeit von der „Qualität“ der noch durchzuführenden Ausbauarbeiten muss nach Fertigstellung dieser Arbeiten und dem Einzug der Bewohner eventuell noch eine Kontrollmessung durchgeführt werden. Hierbei wird dann untersucht, ob im Rahmen der Ausbauarbeiten (Elektroinstallationen, innere Bekleidung etc.), nach Einbau der luftdichten Schichten, dabei die luftdichten Schichten beschädigt worden sind.

Die Luftdichtheitsmessung sollte immer durchgeführt werden, da sie ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweist und hilft, Ärger zu vermeiden. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis wird bei Einrechnung des Bonus im Wärmeschutznachweis weiter gesteigert, da sich bei dem Dichtheitsnachweis, bedingt durch die geringeren Lüftungswärmeverluste, geringere Anforderungen an die baulichen Maßnahmen des Wärmeschutzes ergeben. Wird der Bonus in Anspruch genommen, (gemäß Energieeinsparverordnung), so ist eine Messung der Gebäudedichtheit ohnehin zwingend erforderlich.



Bild 24.: Messapparatur zur Überprüfung der Luftdurchlässigkeit von Außenbauteilen, in eine Außentür eingebauter Spannrahmen mit Folie, Ventilator mit Abdeckblenden, gesteuert über eine Drehzahlregelung und Messuhren.



Bild 25.: Strömungsprüfer für Luft zum Sichtbarmachen von Luftströmungen bei Undichtheiten in der Fläche von Außenbauteilen, Anschlüssen und Durchdringungen der luftdichten Schicht. Aufgesägtes Glasröhrchen – durch Drücken auf den Gummiball wird Rauch freigesetzt.



Bild 26.: Bei einer Unterdruckmessung oder bei Windanströmung an der dem Wind zugewandten Seite (Luv-Seite) strömt bei der undichten Fuge kalte Außenluft nach innen. Es entstehen Zuglufterscheinungen. Die einströmende kalte Außenluft wird durch den freigesetzten Rauch gut sichtbar gemacht. Bei einer Überdruckmessung, oder bei Windanströmung an der dem Wind abgewandten Seite (Lee-Seite) und bei Windstille sowie einer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen (Winter), dringt warme und feuchte Innenluft nach außen. Es entstehen große Lüftungswärmeverluste und im Inneren des Daches Tauwasser.

Original

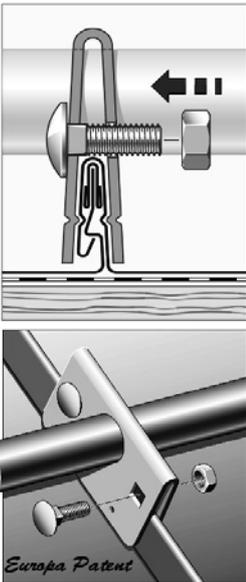
NAKRA®

Von uns gibts was aufs Dach!

www.nakra.de

Original NAKRA | Siemensstrasse 18a | D-63755 Alzenau | fon: 0 60 23/ 91 99-0 | fax: 0 60 23/ 91 99-10 | e-mail: info@nakra.de

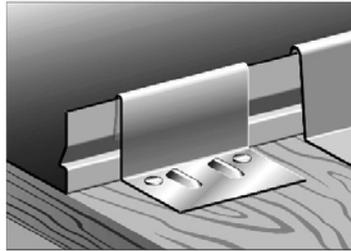
Fordern Sie unseren farbigen Gesamtkatalog an!



SM-Klemmfaust

- Snapfalz-Profil -

25 mm und 38 mm
Profilhöhe
aus Edelstahl 1.4301 -
einteilig - mit vormontierten
Edelstahlschrauben M12 -
geschlossene Rohrführung
35 mm Durchmesser -
einschließlich Einlageprofil
aus Edelstahl



SM-Krabban für Snap-falz
25 mm und 38 mm
Profilhöhe
aus Edelstahl 1.4301
zur Befestigung auf der
Wärmedämmung,
Dämmstoffhöhe
20 mm bis 400 mm

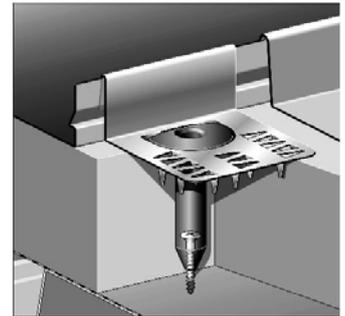
SM-Haft für Snap-falz
25 mm und 38 mm
Profilhöhe
aus Edelstahl 1.4301

SM-SYSTEME

Befestigungssysteme
für Dach und Wand

71634 Ludwigsburg
Telefon 0 71 41 / 23 09 - 0
Telefax 0 71 41 / 23 09 - 85

Teinacher Straße 38
E-Mail: sm-systeme@t-online.de
Internet: <http://www.sm-systeme.de>



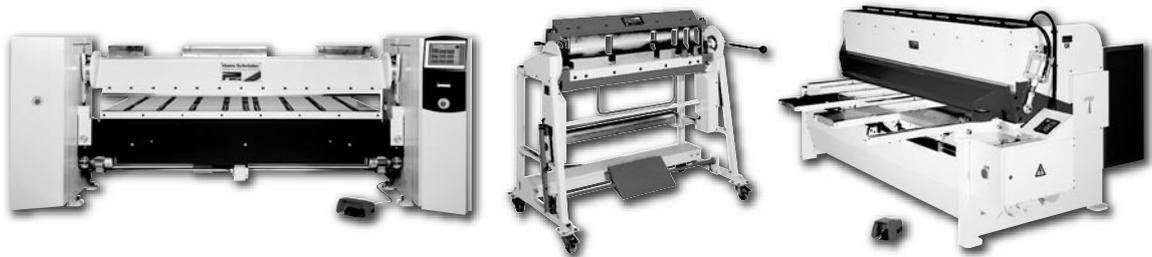
Schröder

Hochleistungsmodelle



Tafelscheren + Abkantmaschinen 1000 – 5000 mm

manuell · motorisch · CNC-gesteuert
POS 2000 TouchScreen-Grafiksteuerung



Hans Schröder Maschinenbau GmbH
Fauchten 2 Tel. 0 88 09 / 92 20-0
D-82405 Wessobrunn-Forst Fax 0 88 09 / 10 19
e-mail: Info@schroeder-maschinenbau.de
www.schroeder-maschinenbau.de

Schröder
Präzision · Perfektion

Für ein Einfamilienhaus entstehen für eine Messung bei Vorliegen einer guten Dichtheit, das heißt das aufwendige Suchen nach Orten mit Undichtheiten kann hierbei entfallen, Kosten in Höhe von etwa 300 EUR. Kosten in Höhe von etwa 600 EUR entstehen, wenn nach Undichtheiten gesucht werden muss. Wird eine Dokumentation, beispielsweise mit Beschreibung der Orte/Lage der Undichtheiten, eine Fotodokumentation und Vorschläge für Sanierungsmaßnahmen gewünscht, so können Kosten in Höhe von etwa 700 EUR bis 1100 EUR entstehen.

Wichtige Anmerkung: Auch bei Vorhandensein eines guten n_{50} -Wertes aus energetischer Sicht sollte dennoch aus feuchtetechnischer Sicht eine Suche zur Lage und Größe der noch vorhandenen Undichtheit durchgeführt werden. Dies ist empfehlenswert, da die Undichtheit, die zu dem guten (kleinen) n_{50} -Wert geführt hat, an *einem* Ort aus einer relativ großen Fehlstelle bestehen und hier ein nennenswerter konvektiver Wasserdampftransport ablaufen kann.

4. Fallstudien

Nachfolgend werden Fallstudien aus feuchtetechnischer Sicht vorgestellt, um den Praxisbezug der vorangegangenen Ausführungen zu vertiefen.

Fallstudie 1

Sachverhalt: In einer belüfteten Dachkonstruktion eines Privatschwimmbades traten massive Feuchteschäden auf. Warum konnte die Belüftung die Feuchtigkeit nicht abführen?

Ursache: Die eingebaute Folie war im Bereich der Stöße der Bahnen und im Übergang zur luftdichten Schicht der Außenwand, hier dem Innenputz, nicht luftdicht ausgebildet worden. Die Luftschicht zwischen der Wärmedämmschicht und der Dachschalung war feuchtetechnisch „überfordert“ (Bild 27. bis 30.).

Eine überschlüssig durchgeführte

rechnerische Abschätzung der erforderlichen Strömungsgeschwindigkeit im Raum oberhalb der Wärmedämmschicht ergab unter Zugrundelegung der vorhandenen Undichtheiten einen Wert von etwa 9 m/s. Diese Strömungsgeschwindigkeit kann mit Hilfe der natürlichen Antriebskräfte (Wind, beziehungsweise thermischer Auftrieb) nicht erreicht werden. Selbst bei aus strömungstechnischer Sicht ideal ausgebildeten Belüftungsräumen treten Strömungsgeschwindigkeiten nur im Bereich von wenigen cm/s auf.

Fallstudie 2

Sachverhalt: Eine große Turnhalle konnte im Winter nicht auf die erforderlichen Innenlufttemperaturen beheizt werden. Die Untersuchung der belüfteten Dachkonstruktion ergab massive Undichtheiten im Bereich der luftdichten Schicht einschließlich ihrer An- und Abschlüsse an andere Bauteile. Feuchteschäden im Inneren der Dachkonstruktion waren jedoch nicht vorhanden. Wie lässt sich dies erklären?

Ursache: Die primäre Tragkonstruktion des Daches besteht aus zwei paarweise angeordneten Spannbetonbindern; jeweils zwischen zwei „Paaren“ und den angrenzenden Giebeln befinden sich Träger aus Brettschichtholz (Bild 31.). Auf diesen Trägern liegt eine Balkenlage, darauf ist eine raue Holzschalung genagelt. Auf der Holzschalung befinden sich eine bituminöse Trennlage und eine Stehfalzdeckung aus Titanzink.

Zwischen den Balken ist eine Mineralfaserdämmschicht, $d = 10$ cm, unterseitig mit einer Aluminiumfolie kaschiert, eingebaut. Zwischen der Wärmedämmschicht und der Holzschalung befindet sich ein 10 cm hoher, belüfteter Raum. Der freie Lüftungsquerschnitt an den Traufen und am First ist gemäß den Forderungen der DIN 4108 ausgeführt. Zwischen den Einfeldträgern aus Brettschichtholz ist eine abgehängte, ballwurfsichere



Bild 27.: Braune Wasserlaufspuren, aus dem Dachaufbau kommend, an der Innenseite der Außenwand des Schwimmbades.



Bild 28.: Entfernen von Wasser aus der Dachkonstruktion, welches über den konvektiven Wasserdampftransport dorthin gelangt ist. Die luftdichte Schicht (Folie) war im Bereich der Stöße und im Anschluss an die Wände nicht luftdicht eingebaut. Es wurden pro Sparrenfeld bis zu 40 Liter Wasser aufgefangen, um „trocken“ weiter untersuchen zu können.



Bild 29.: Nach Ausbau der inneren Deckenbekleidung und der Folie zeigten sich durchfeuchtete Deckenbalken. Deutlich erkennbar sind auch die relativ breiten Fugen zwischen Deckenbalken und den Wärmedämmplatten aus expandiertem PS-Hartschaum. Über diese Fugen gelangte warme und feuchte Schwimmbadluft in den belüfteten Raum oberhalb der Wärmedämmschicht.



Bild 31.: Sporthalle, Primärkonstruktion aus Spannbetonbindern mit Trennvorhang zwischen den Bindern. Ballwurfsichere, akustisch wirksame abgehängte Decke.



Bild 30.: Freigelegter belüfteter Raum oberhalb der Wärmedämmschicht. Wassergesättigte Holzschalung mit Tropfenbildung und Ansiedlung von Pilzkulturen, Beginn der Holzerstörung.



Bild 32.: Aufbau der ballwurfsicheren, akustisch wirksamen, abgehängten Decke mit integrierter Deckenstrahlungsheizung.

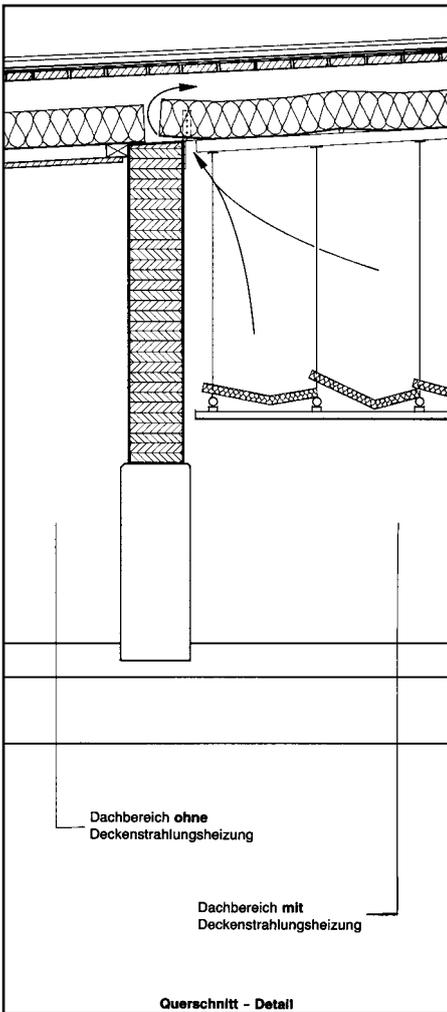


Bild 33.: Querschnitt des vorhandenen Dachaufbaus. Der aluminiumkaschierte Wärmedämmstoff lag nur lose auf dem Brettschichtholzträger auf, stellenweise waren offene Fugen in einer Breite von 2 cm vorhanden (Lit. 05).



Bild 34.: Breite offene Fugen im Anschluss Dämmstoffbahn an angrenzende Bauteile (Lit. 05).

Decke eingebaut, Höhe des Luftraumes 0,9 bis 1,45 m. In diese Decke ist eine Deckenstrahlungsheizung integriert (Bild 32.).

Die kaschierten Dämmstoffbahnen lagen nur lose auf den Brettschichtholzträgern auf; hier waren stellenweise offene Fugen in einer Breite von 2 cm vorhanden (Bild 33. und 34.). Im Bereich der paarweise angeordneten Spannbetonbinder war keine Wärmedämmschicht vorhanden. In Bild 35. ist die sehr breite, offene Fuge zwischen Spannbeton- und Brettschichtholzträger zu sehen; man kann die Unterseite der Brettschalung für die Titanzinkdeckung erkennen, man sieht also von innen in den belüfteten Raum oberhalb der Wärmedämmschicht!

Die Sparren sind mit so genannten Sparrenpfettenankern, dies sind speziell geformte und gelochte Blechprofile, an den Trägern aus Brettschichtholz befestigt. Diese Profile müssen bei der vorhandenen geplanten Situation zwangsläufig die Aluminiumkaschierung der Wärmedämmschicht durchstoßen (Bild 36. und 37.). Die Kabel der Elektroinstallation durchstießen ebenfalls relativ häufig die Aluminium-Kaschierung.

Der Antriebsmotor 2 „Druckkräfte am Gebäude infolge Temperaturunterschied zwischen innen und außen“ ist in diesem Fall besonders wirksam gewesen, da im Raum oberhalb der Deckenstrahlungsheizung bei „Spitzenzeiten“ Lufttemperaturen von 48 °C gemessen wurden.

Eine überschlägige rechnerische Ab-

schätzung ergab für „Spitzenzeiten“ einen Luftdurchsatz durch die vorhandenen Undichtheiten von mehr als zehntausend Kubikmetern pro Stunde. Dieser exorbitant hohe Luftdurchsatz (Lüftungswärmeverluste), verbunden mit der speziellen Situation Deckenstrahlungsheizung, ist die Erklärung für die völlig unzureichende Innenlufttemperatur, trotz Heizung unter „Volllast“.

Die Untersuchung des belüfteten Raumes oberhalb der Wärmedämmschicht ergab ein „überraschendes“ Erscheinungsbild: Die Holzbauteile einschließlich der Schalung waren trocken. Wie ist dies zu erklären? Bedingt durch den stellenweise sehr großen Luftdurchsatz, die Lufttemperatur war relativ hoch (im Bereich über der Deckenstrahlungsheizung im Mittel etwa 40 °C) stellten sich im belüfteten Raum oberhalb der Wärmedämmschicht große Strömungsgeschwindigkeiten ein, partiell betragen sie mehr als 1 m/s. Dies verringert den Wärmeübergangswiderstand an der Innenseite der Holzschalung (Trennfläche zum belüfteten Raum der Dachkonstruktion). Die Holzschalung mit der bituminösen Trennlage besitzt einen relativ großen Wärmedurchlasswiderstand.

Durch diese Gegebenheiten stellten sich hohe Temperaturen an der Unterseite der Holzschalung ein. Mit Hilfe einer komplexen Berechnung, sie kann hier nicht weiter erläutert werden, ergaben sich innere Oberflächentemperaturen der Holzschalung von etwa 20 bis 29 °C. Dies bedeutet:



Bild 35.: Offene, sehr breite Fuge zwischen Spannbetonbindern und Holzbauteilen. Es fehlte hier sogar der Wärmedämmstoff im Dach. Der Blick von innen gelangte so bis unter die Holzschalung für die Titanzinkdeckung, also bis in den belüfteten Raum des Daches (Lit. 05).



Bild 36.: Sparrenpfettenanker durchstoßen zwangsläufig die Aluminiumkaschierung der Wärmedämmschicht. Hier: Misslungene Sanierungsmaßnahme, die selbstklebende Aluminium-Folie löst sich wieder vom Untergrund (Lit. 05).

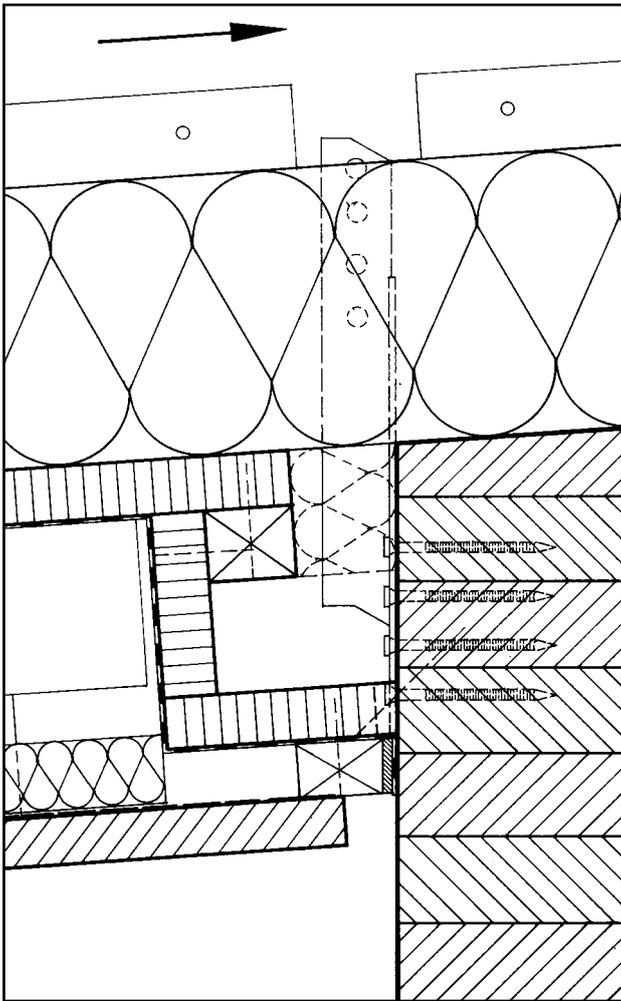


Bild 37.: Empfohlene Sanierungsmaßnahme für den Bereich der Durchstoßpunkte „Sparrenpfettenanker“: Einbau einer Montage-schicht aus Holzwerkstoffplatten, Einbau eines vorgefertigten Winkelstücks und Aufbringen einer Folie mit Dichtband und mechanischer Sicherung. Der Raum zwischen Winkelstück und Brett-schichtholzträger wird mit stopfbarem Dämmstoff ausgefüllt (Lit. 05).



Bild 38.: Blick in den belüfteten Raum oberhalb der Wärmedämmschicht, freier Querschnitt mit Gefällesprung. Die Holzbauteile waren trotz massiver Undichtigkeiten trocken. Die Erklärung für diese merkwürdige Erscheinung befindet sich im Text (Lit. 05).

Eine Tauwasserbildung an der Unterseite der Holzschalung trat *nicht* auf (Bild 38.).

Fallstudie 3

Sachverhalt: In einer Wohnanlage, bestehend aus fünf mehrgeschossigen Wohngebäuden, traten nur in einem Gebäude massive Feuchteschäden im ausgebauten Dachgeschoss (belüftete Konstruktion) auf, trotz luftdichter Schicht und starker Dampfbremse. Was war die Ursache?

Ursache: Im Kellergeschoss befindet sich ein Schwimmbad (Bild 39.). Die Entlüftungsleitung für das Schwimmbad wurde in einem gemauerten Schacht über Dach geführt. In diesen Schacht mündeten auch die Entlüftungsleitungen der innenliegenden Badezimmer aus den darüber liegenden Wohnungen. Die Abmauerung des Schachtes wurde nicht in einem „geschlossenen Zug“ über Dach geführt, sondern endete im Bereich der Wärmedämmschicht des Daches. Die Einfassung der Lüftungsrohre oberhalb der Dachabdichtung wurde in einer wärmegeprägten Holzleichtbaukonstruktion ausgeführt (Bild 40.).

Bild 39.: Querschnitt durch das mehrgeschossige Wohngebäude mit Schwimmbad im Kellergeschoss.

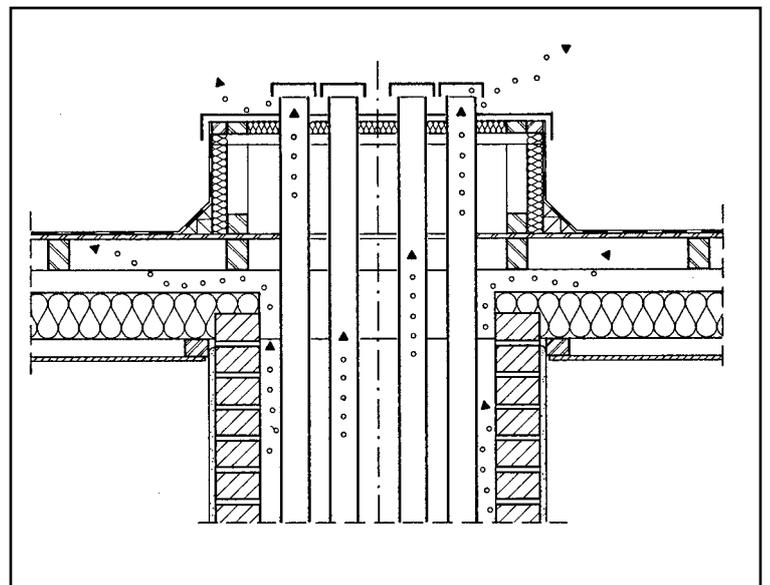
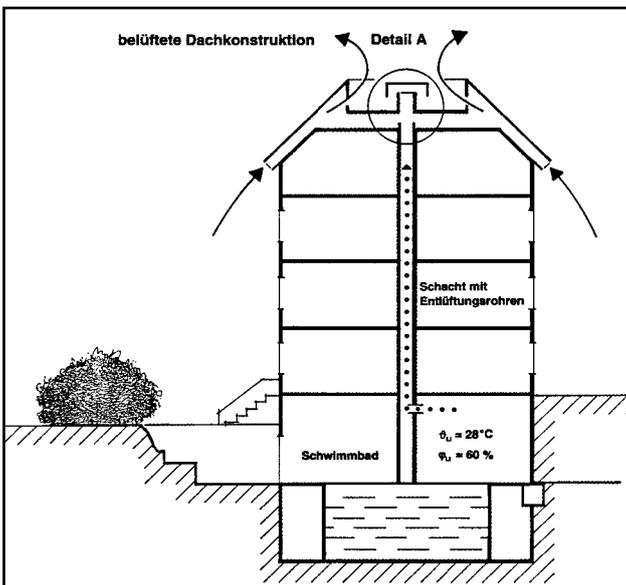


Bild 40.: Detail „A“ aus Bild 39. Anschluss des gemauerten Lüftungsschachtes (mit innenliegenden Rohren) an das belüftete Dach. Die Schachtabmauerung endete im belüfteten Raum.

PERKEO®

HEAVY-DUTY

Qualitätswerkzeuge für Handwerk und Industrie

- Weichlötlötergeräte
- Hartlötlötergeräte
- Aufschweißbrenner
- Montagegeräte
- Druckminderer, Sicherungen, Zubehör

Die Experten für Löt- und Schweißtechnik

PERKEO-WERK GMBH+CO.KG Talweg 5 D-71701 Schwieberdingen
Tel.: +49 (0)7150-35043-0 Fax: +40 perkeo@perkeo-werk.de www.perkeo-werk.de

Werkzeughandel

AMENT

Johann Ament
Köhlerstr. 4
D-91334 Hemhofen
Tel.: 0 91 95/92 96 80
Fax: 0 91 95/92 96 82

Die Schablonen zum vorzeichnen der Dachziegelprofile, die Rundscherer zum ausklinken und die Winkelscherer für zahlreiche schwierige Ausklinkungen in der Werkstatt und auf der Baustelle.

Die drei unentbehrlichen ASSE für jeden Spengler

www.auslinkscheren.de E-Mail: AmentScheren@aol.com

Vertretung

Der Chef ist krank
Der Chef will in Urlaub
Der Chef braucht Unterstützung

Abhilfe durch erfahrenen Geschäftsführer
Meister; Techniker; Sachverständiger

**Bundesweiter Einsatz kurzfristig
freiberuflich möglich**

Tel.: (01 72) 3 42 48 44

SEIDLEREISEN®

für **MÄNNERVOM DACH®**

Rinnenhalter, Turmspitzen für den Denkmalschutz

B-M Erdmann GmbH
10969 Berlin-Kreuzberg · Gitschiner Str. 91
Tel. (0 30) 6 15 08 83 30 Fax (0 30) 6 14 10 52
15749 Mittenwalde/Mark · Loickstr. (MAG)
Tel. (03 37 64) 2 17 07 Fax (03 37 64) 6 27 78
www.seidlereisen.de

ZinCuTec®

Wir lassen **Kupfer** und **Zink** schnell alt aussehen!

- patinieren
- oxidieren
- vorbewittern

Info: Firma Sanibär · Inhaber: Jürgen Leuchte · Siemensstrasse 9
72622 Nürtingen · Tel.: 07022/969712 · Fax 07022/969713
E-Mail: Sanibaer@t-online.de · www.patinierung.de

Laubfang

direkt im Zugriff

bequeme und gefahrlose Laubentfernung in Griffhöhe

- Doppelscharnier ermöglicht 100%igen Zugriff
- Öffnung geschützt durch Umschlag
- Korb durch Sicherungsstab gesichert

Unser Tip
empfehlenswert bei Haus und Hof mit Laubbäumen, Büschen, Sträuchern etc.

Euro-Patent

Marzari Technik

88299 Leutkirch-Heggelbach
Telefon (07561) 3758 · Fax (07561) 72624

6-Meter Bauprofile: Abkanten ohne Drehen und Wenden!

Ihre Vorteile:

- Einlegetiefe bis 1.170 mm
- Biegeleistung bis 3,0 mm
- Arbeitslänge 4-, 6-, 8- oder 10 m
- Höchste Biegegenauigkeit
- TWIN-BEND, d.h. 2 Biegewangen, eine oben und eine unten – 50% Zeitersparnis!

Fragen Sie uns!

JORNS AG
Swissmade

Telefon 081 02/894 88 · Fax 081 02/894 60 · www.maschinen-stockert.de



Bild 41.: In einem Nebenraum der Wohnung im Dachgeschoss wurde eine Öffnung in dem Dach vorgenommen und mit einer reißfesten Folie luftdicht verschlossen. Nach 14 Tagen war der „Foliensack“ mit Wasser gefüllt.



Bild 42.: Büro mit abgehängter Decke. Braun gefärbte Wasserlaufspuren an der Innenseite der Außenwand (Lit. 08).

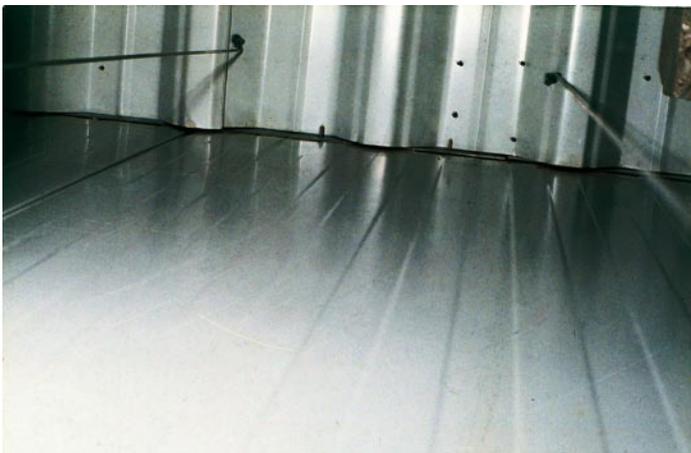


Bild 43.: Unterseite der Trapezbleche im Übergang zur Außenwand. Dort ist eine systembedingte Fuge vorhanden. Diese Fuge war nicht speziell abgedichtet (Lit. 08).



Bild 44.: Öffnung im Bereich der Flachdachabdichtung im Übergang zur Attikaabdichtung (Kunststoffabdichtungsbahn). Hier wurden „Kanäle“ festgestellt, die nach unten führten. Der Finger zeigt auf einen derartigen Kanal (Lit. 08).

Durch diese Ausführung endeten die Hohlräume zwischen den Entlüftungsröhrren und den gemauerten Schachtwandungen nach oben hin offen in den belüfteten Raum oberhalb der Wärmedämmschicht. Da die Einführungen der Entlüftungsöffnungsprofile im Schwimmbad, beziehungsweise in den innenliegenden Bädern der Wohnungen nicht luftdicht an den Putz der Schachtabmauerung eingedichtet waren, gelangte warme und feuchte Innenluft, vor allem Schwimmbadluft in den Schacht und von dort in den belüfteten Raum oberhalb der Wärmedämmschicht.

Die durchgeführte rechnerische Abschätzung des konvektiven Wasserdampftransportes und die Messungen/Beobachtung ergaben eine sehr gute Übereinstimmung: Der belüftete Raum oberhalb der Wärmedämmschicht war durch den relativ großen Feuchteintrag über den konvektiven Wasserdampftransport innerhalb von etwa 14 Tagen feuchte-

technisch „blockiert“, das heißt, die Holzbauteile des Daches wurden bis zur Fasersättigung aufgefeuchtet und Wasser tropfte in die unteren Schichten des belüfteten Daches und von dort in die Innenräume (Bild 41.).

Fallstudie 4

Sachverhalt: In einer großen Halle, in der aus produktionstechnischen Gründen ein kleiner Überdruck durch eine raumluftechnische Anlage erzeugt werden musste (erforderlich war eine staubarme, konditionierte Luft), traten in der Halle und im angrenzenden Bürotrakt an den Außenwänden unterhalb der abgehängten Decke braune Wasserlaufspuren auf, trotz Dampfsperre, bituminöser Schweißbahn mit Aluminium-Einlage auf der Unterkonstruktion aus Trapezblechen (Bild 42.).

Die Außenwand besteht aus einer Metall/Wärmedämmschicht/Metall-Verbundkonstruktion. Welche Ver-

säumnisse in Planung und Ausführung haben zu diesem Schaden geführt?

Ursachen: Zwischen den Trapezblechen und der Außenwand war eine „systembedingte“ Fuge vorhanden (Bild 43.). Die Schweißbahn auf den Trapezblechen (Aufgabe: Dampfsperre und luftdichte Schicht) war zwar an die Außenwandelemente im Bereich der Attika herangeführt; sie war jedoch nur stellenweise an die Außenwand „angedichtet“ worden.

Die Außenwandelemente sind im Abstand von etwa 70 cm miteinander kraftschlüssig verbunden. An diesen Orten entstanden kleine, etwa 2 * 2 cm große „Kanäle“ (Bild 44.). Dazu kommt, dass die Oberflächen der Außenwand aus einer Metall/Wärmedämmschicht/Metall-Verbundkonstruktion zur Erzielung einer größeren Steifigkeit nach dem „Korrosierprinzip“ geformt sind, auch hier sind in der Fläche kleine „Kanäle“ vorhanden (Bild 45.). Sie stel-

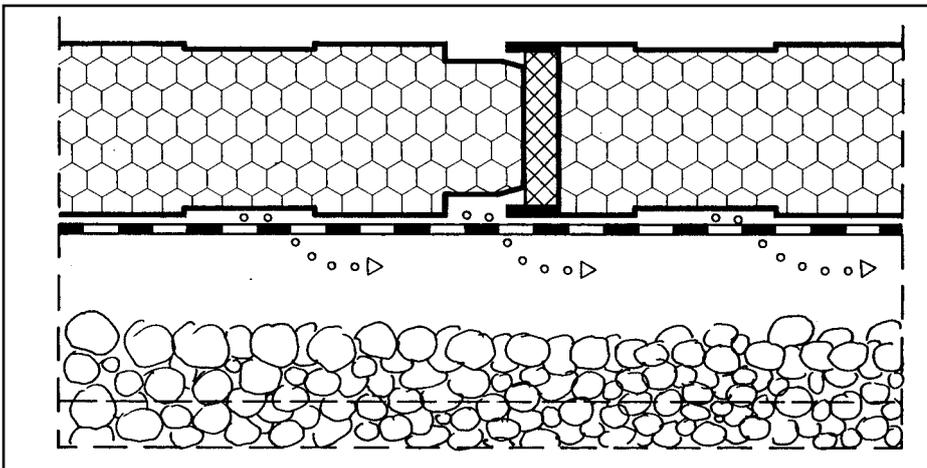


Bild 45.: Querschnitt durch die Attika. Offene Kanäle im Bereich der Elementstöße und der Elementprofilierung mit breiten Fugen (Lit. 08).

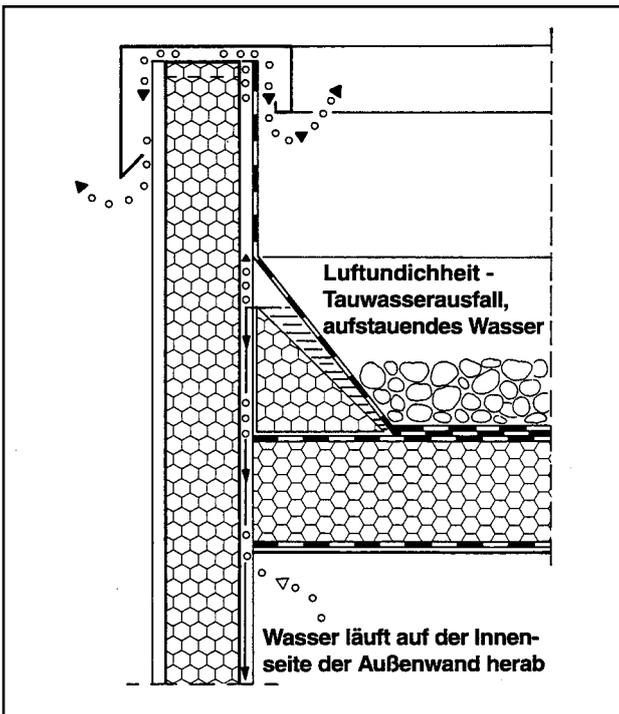


Bild 46.: Darstellung des Weges des konvektiven Wasserdampftransportes durch die offenen Fugen im Anschluss Dach an Außenwand. Tauwasserbildung an der kalten Kunststoffdachabdichtungsbahn. Bei winterlichen Temperaturen entsteht hier Eis, das bei Besonnung auftaut und durch die offenen Fugen nach innen läuft (Lit. 08).

len auch eine offene Verbindung zwischen dem Innenraum (Halle, Büro) und dem Hohlraum zwischen dem Keil aus Wärmedämmstoff und der Kunststoff-Dachabdichtungsbahn der Attikaabdichtung dar.

Infolge des Überdrucks in der Halle gegenüber außen entwich warme und feuchte Innenluft durch die „Kanäle“ in den oben beschriebenen Hohlraum und von dort unterhalb der Attikaabdeckung weiter nach außen. An der kalten Kunststoffolie, bei wolkenlosem nächtlichem Winterhimmel unterkühlt diese Folie sehr deutlich unter Lufttemperatur, so dass hier Tauwasser entstand, das sich im Laufe der Nacht in Eisform ansammeln konnte. Dieses Wasser taute bei Besonnung auf und lief dann nach innen (Bild 42 und 46.).

Fallstudie 5

Sachverhalt: Das Dach eines Bürogebäudes wurde als nicht belüftete Konstruktion mit Titanzinkdeckung ausgeführt. Nach relativ kurzer Zeit traten Feuchteschäden im Gebäudeinneren und Korrosionserscheinungen an der Metalldeckung auf, trotz dampfdichter Wärmedämmung aus Schaumglas (Bild 47. und 48.). Wie sind diese Schäden entstanden?

Ursache: Der „First“ des Daches besteht aus einer Glasdachkonstruktion zur Belichtung des Flures. Im Anschlussbereich Glasdachkonstruktion/Metalldeckung wurden die Scharen aufgekantet. Das Gebäude wurde im Hinblick auf die Luftdichtheit messtechnisch überprüft. Bei der Suche nach Undichtheiten wurden im Anschlussbereich



Bild 47.: Anschluss Dachfläche an dreieckförmiges Oberlichtband im First, Korrosion an der Titanzinkdeckung.



Bild 48.: Korrodierte Titanzinkdeckung im Bereich der in die Schaumglasplatten eingelassenen Holzwerkstoffstreifen.



Bild 49.: Innerer Anschluss des Glasdaches an das geneigte Dach mit Titanzinkdeckung. Die innere Bekleidung wurde teilweise entfernt. Im Bereich der Tragelemente des Glasdaches hat sich die angeklebte Dampfsperre/luftdichte Schicht abgelöst. Der freigesetzte Rauch zeigt deutlich die Luftströmung in den Anschlussbereich Lichtband im First an den Aufkantungsbereich der Titanzinkdeckung, an den kalten Metallteilen entstand Tauwasser.



Bild 50.: Im Bereich der Aufkantung ist das Tauwasser hinter die Zinkschar gelaufen, es sind deutlich Laufspuren von Wasser zu erkennen. Das Tauwasser gelangte dann in die Holzwerkstoffstreifen in den Schaumglasplatten.

Glasdachkonstruktion/Metalldach Undichtheiten festgestellt. Hier strömte warme und feuchte Innenluft in das Innere der Konstruktion (Bild 49.).

Auf dem Weg nach draußen gelangte die Luft an kalte Metallteile, es entstand Tauwasser. Dieses Wasser konnte in dem Anschlussbereich hinter die aufgekanteten Schare gelangen (Bild 50.). Es lief auf der Kaschierung der Schaumglasplatten ab und gelangte dann zu den in die Schaumglasplatten eingelassenen streifenförmigen Holzwerkstoffplatten (Befestigungspunkte für die Hafte). Dort wurde es „gespeichert“ und führte dann bei Besonnung zu der unterseitigen Korrosion des Titanzinks (Bild 48.).

Anmerkung: Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch Feuchtigkeit aus Regen oder morgendlichem Tau im Zuge der Herstellung des Daches beim Einbau der Scharen in den Holzwerkstoffplatten eingeschlossen wurde.

Hinweis

Der Autor hat diese Veröffentlichung nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Gleichwohl können inhaltliche und auch technische Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Alle Angaben sowohl im Text als auch in den Abbildungen erfolgen daher ohne Gewähr; sie sind eigenver-

antwortlich zu überprüfen. Die Haftung des Autors für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Autors ist es nicht gestattet, diese Veröffentlichung oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotografie, Fotokopie, Mikrokopie und so weiter) zu vervielfältigen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen vorzunehmen.

5. Literatur

01 Buderus (Herausgeber): Handbuch für Heizungs- und Klimatechnik. 32. Auflage. Düsseldorf 1975.

02 Esdorn, H.; Rheinländer, J.: Zur rechnerischen Ermittlung von Fugendurchlasskoeffizienten und Druckexponenten für Bauteiltypen. In HLH 29 (1978), Nr. 3, S. 101-108.

03 Hausladen, G.: Luftwechsel in Wohnungen. In: HLH 29 (1978). Nr. 1, S. 21-28.

04 Kappler, H. P.: Wasserdampfkongression durch thermischen Auftrieb in einer Schwimmhalle: Kondensatbildung am Dachrand. Bauschädensammlung. Bd. 2. Stuttgart: Forum, 1976. Seite 19-28.

05 Pohl, W.-H.: Belüftete Dächer mit Metalldeckung, Feuchteschutz, bauphysikalische Grundlagen, Fallstudien, Beispiele; Rheinzink-Architekturreihe Band 1, Hrsg.: Rheinzink GmbH & Co. KG, 4354 Datteln 1991.

06 Pohl, W.-H.; Horschler, S.: Energieeffiziente Wohngebäude – Planen bauen nutzen. Im Auftrag von BEB Erdgas und Erdöl GmbH, Riethorst 12, 30659 Hannover 2002.

07 Pohl, W.-H.; Horschler, S.; Pohl, R.: Teil 1 Konstruktionsempfehlungen und optimierte Anschlussituationen (Details), aus: Niedrigenergiehäuser unter Verwendung des Dämmstoffes Styropor. AIF-Forschungsvorhaben Nr. 9289, Bauforschung für die Praxis, Band 31, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1997.

08 Pohl, W.-H.: Schadensfreies Planen und Bauen: Kampf gegen das Wasser. Kalksandstein Bauseminar 1998.

09 Pohl, W.-H.; Horschler, S.; Pohl, R.: Gebäudedichtheit, Luftdichtheit, Lösungsvorschläge, Details. Informationen für Planende, Ausführende und Nutzer. 1. Ausgabe. Hrsg.: VEW Energie AG Abteilung Anwendungstechnik. Marketing + Wirtschaftsverlag Flade+Partner mbH, München, 08/1999. ISBN: 3-922804-30-6.

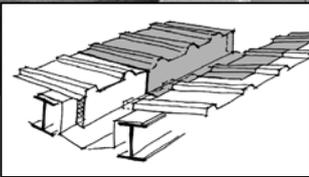
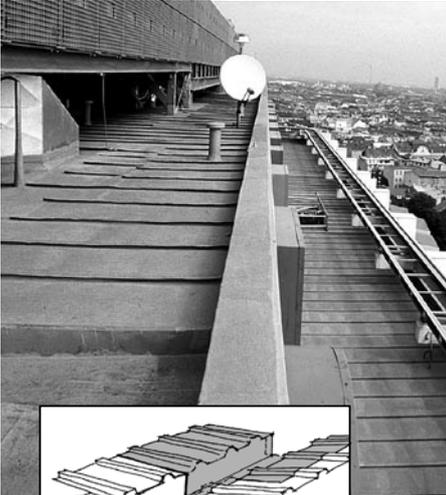
10 Sage, K.: Handbuch Heizung und Klimatechnik: Lufttechnische Anlagen, Bd. 2. Berlin 1971.



KEMPER SYSTEM

DACH	PARKDECK BRÜCKE
BALKON TERRASSE	SONDER BAU

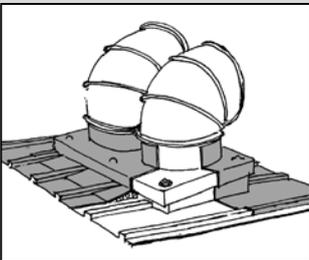
KEMPEROL® Kombi-Dach



Anschlüsse „flüssig“ abdichten:

Sicherheit mit Garantie

- Mit CE-Kennzeichen
- Mehr Langzeitsicherheit
- Weniger Schwachstellen
- Geringere Kosten
- Einfache Verarbeitung



KEMPER SYSTEM

GmbH & Co. KG
Holländische Str. 32-36
D-34246 Vellmar
Tel. +49(0)561-8295-0
Fax +49(0)561-8295-10
e-mail: post@kemper-system.com
www.kemperol.de

GESCHMACKVOLL!



Edelstahl für Dach und Fassade

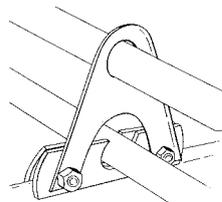
Schön anzusehen. Gut zu verarbeiten. Schon daran gedacht?

Nicht nur Prestige-Objekten verleiht Edelstahl Glanz. Mit Ugitop/Uginox lassen sich auch bei alltäglichen Bauten einzigartige architektonische Akzente setzen. Durch viele individuelle Oberflächen. Und die Verarbeitung: Keine Kaltsprödigkeit, keine Kontaktterrosion, leicht zu löten. Geschmack gefunden?



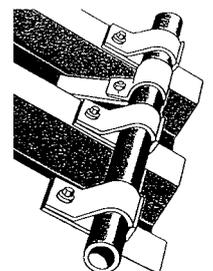
Brandt Edelstahl GmbH (für PLZ-Gebiete 0-5) · Niederkasseler Str. 3d · 51147 Köln · Tel. 02203-63964 · Fax 02203-62601
RCC & WEHA GmbH (für PLZ-Gebiete 6-9) · Dieselstr. 5 · 74372 Sersheim · Tel. 07042-8310-0 · Fax 07042-8310-41

IHR PARTNER RUND UM'S DACH



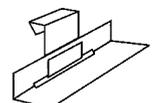
Schneefangsysteme:

- Metallfalzdächer
- Trapez- und Leistendächer



Befestigungssysteme:

Komplettes Haftprogramm für
Metallfalzdächer nach Fachregeln



Kling Spenglerei GmbH · Im Steinach 44 · 87561 Oberstdorf
Telefon: 08322-4531 · Telefax: 08322-7586