

# Bauschäden-Sammlung

Redaktion: Günter Zimmermann

## Belüftetes Lagerhallendach mit Mineralfaser-Unterdecke Tauwasserbildung infolge Luftströmung

6/94

Eine Lagerhalle für Rohkakao ist wegen Schwitzwasserbildung an der Dachunterseite mit abtropfendem Wasser und dadurch verbundener Beeinträchtigung des Lagergutes mit einer wärmedämmenden Industriehallen-Unterdecke versehen worden. Diese besteht aus alukaschierten Mineralfaserplatten, die in ein sichtbares Schienensystem eingelegt sind. Trotz ausreichend hohen Diffusionswiderstandes des Gesamtsystems ( $s_d = 60 \text{ m}$ ) und kräftiger Belüftung des Dachhohlraumes trat an der Unterseite der Dachdeckung aus Asbestzement-Wellplatten Kondensat mit Reifbildung auf, so daß bei Erwärmung der Dachfläche die gleichen Tropfwasserbildungen entstanden wie ohne Unterdecke.

Aufgrund der Höhe der unbeheizten Halle und der zum Außenklima verzögerten Temperatur- und Feuchtigkeitsangleichung des Lagergutes konnte feuchtwarme Luft durch thermischen Auftrieb aufsteigen und durch die Fugen zwischen den Mineralfaserplatten und dem Schienensystem strömen. Die Sanierung der Dachfläche wurde auf unkonventionelle Weise durch Abdichten des belüfteten Hohlraumes gegen die Außenluft erreicht.

### Sachverhalt

In einer Lagerhalle im Hamburger Freihafenbereich mit einer Länge von 160 m und einer Breite von 60 m und einer Höhe im First von 13,5 m lagern 60 000 t Rohkakao. Die Halle weist für den Warentransport große Tore auf und ist unbeheizt. Auf den Dreigelenk-Bindern aus Brettschichtholz mit ebenfalls hölzernen Pfetten ist eine Dachdeckung aus Faserzement-Wellplatten verlegt. Zunächst war keine Wärmedämmung vorhanden.

Die 60 000 t Rohkakao haben eine Oberfläche in der Größenordnung von 15 km<sup>2</sup>. Sie wirken deshalb nicht nur als wärmespeichernde Masse, sondern können auch erhebliche Feuchtigkeitsmengen aufnehmen und abgeben. Dieser Ausgleich erfolgt gegenüber dem Außenklima zeitverzögert. Die Kakaoernte geben deshalb bei küh-

ler Witterung die zuvor aufgenommene Feuchtigkeit ab, wobei nach Aussage der Stauerei nicht nur Wasser, sondern auch einige ätherische Öle mitgeführt werden. Bei Kondensationserscheinungen unterhalb der Faserzement-Wellplatten wurden beim Abtropfen Reaktionsprodukte sowie Farbpigmente aus dem Holz der Dachkonstruktion mitgeführt und tropften auf die Säcke, in denen sich die Kakaoernte befinden (Abb. 1).

Zur Vermeidung weiterer Tauwasserabtropfungen wurde eine wärmedämmende Unterdecke aus 60 mm dicken Mineralfaserplatten eingelegt, die raumseitig hinter einer Glasvlieskaschierung eine Aluminiumfolie enthalten. Vor Einbau dieser Unterdecke hat der Hersteller der Mineralfaserplatten den Diffusionswiderstand der Gesamtkonstruktion einschließlich sichtbarer Tragschiene nach DIN 52 615 [1] prüfen lassen. Dabei ergab sich



Abb. 1



Abb. 2 Δ

Abb. 3 ▽



Abb. 1: Traufseitiger Anschluß der Unterdecke an die Außenwand. Die Randfuge wurde lediglich mit Mineralfasermaterial verstopft. Links und rechts Säcke mit Kakaoernte.

unter ist der Deckenanschluß an die Außenwand zu erkennen.

Abb. 3: Tropfwasserspuren am sichtseitigen Glasvlies auf der Unterseite der aluminiumkaschierten Mineralfaser-Deckenplatten und am Brettschichtbinder.

Abb. 2: Großformatige Zuluftöffnungen an der Traufe. Direkt dar-



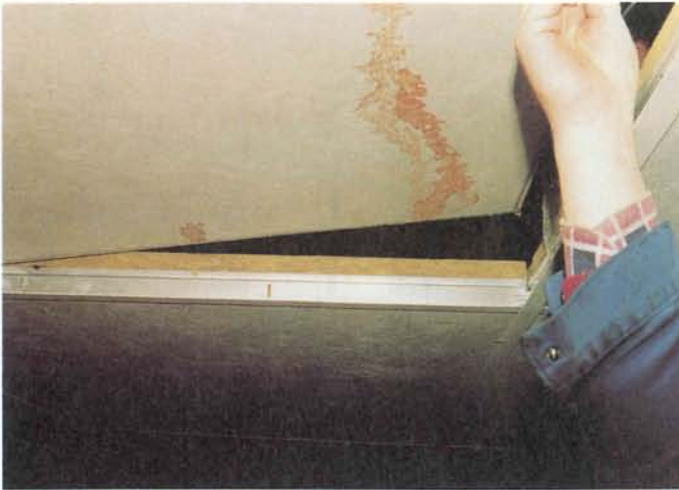


Abb. 4



Abb. 5 △

Abb. 6 ▽



Abb. 4: Dieselbe Deckenplatte wie in Abb. 3 angehoben, und Tragschienensystem mit Tropfwasser Spuren.

Abb. 5 und 6: Deckenhohlraum mit stark durchnässten Pfetten. Stellenweise Wasserperlen auf den Deckenplatten.

eine wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d = 60$  m. Gegenüber der Forderung nach DIN 4108, Teil 3, Ziffer 3.2.3.3.1 von  $s_d \geq 10$  m war demnach eine sechsfache Sicherheit vorhanden. Das beratende Ingenieurbüro stellte seinerzeit die zusätzliche Forderung, daß in dem etwa 60 cm hohen Belüftungshohlraum eine Strömungsgeschwindigkeit von etwa 2 m/s erreicht werden müsse, um die möglicherweise noch eindringende Feuchtigkeit mit Sicherheit nach außen abzuführen. Hierzu wurden am First Abluftkamine aufgesetzt und an der Traufseite großzügig dimensionierte Zuluftöffnungen eingebaut (Abb. 2).

In den beiden folgenden Wintern wurde ein erheblicher Tauwasseranfall festgestellt, den man einerseits an Spuren der abgetropften Flüssigkeit auf den Kakaosäcken und andererseits an Verfärbungen der Glasvlieskaschierung der Mineralfaserplatten feststellen konnte (Abb. 3 u. 4). Nach Aussage der Stauerer sollen diese Tauwassermengen größer gewesen sein als vor Einbau der Unterdecke.

#### Ursachen

Niederschlagswasser konnte sowohl aufgrund der Dachbesichtigung von oben her als auch aufgrund der zeitlichen Zusammenhänge ausgeschlossen werden. Messungen der Strömungsgeschwindigkeit an den Abluftkaminen bei klarem Wetter mit entsprechender Thermik zeigten, daß auch die angestrebte Querbelüftung des Dachhohlraumes erreicht wurde, wenn auch nicht ausgeschlossen werden kann, daß bei nebligem Wetter mit Temperaturen um den Gefrierpunkt im Dach durchaus auch Windstille herrschen kann. Untersuchungen von der Dachunterseite her erfolgten, wie bereits in [2] beschrieben, wiederum durch Raucherzeugung mit einem Strömungsprüfröhrchen. Dabei war festzustellen, daß im Mittel bei etwa 5 bis 10% der Fugenlängen einer Platte Luftströmungen von unten nach oben auftraten. Deutlich stärkere Strömungen als an den T-förmigen Tragprofilen im Plattenfeld traten im Übergangsbereich zu den vertikalen Abschottungen in Angrenzung an die RWA-Klappen auf und auch am traufseitigen Plattenrand in Angrenzung an die Faserzement-Wellplatten der Fassade waren erhebliche Luftströmungen nachweisbar. Hier hatte man lediglich die raumseitigen Hohlräume zwischen den Wellen mit einer Mineralfaserausstopfung verfüllt.

Bei der meßtechnischen Bestimmung der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke nach DIN 52615 wird die bei einem vorgegebenen Dampfdruckgefälle in einem ebenfalls festgelegten Zeitraum durch das Bauteil diffundierende Wasserdampfmenge gemessen. Bei diesem Versuch herrschte auf beiden Seiten der gleiche barometrische Luftdruck. In der bis zu 13,5 m hohen Halle ergibt sich aber bei Temperaturunterschieden zwischen dem Innen- und Außenbereich und bei Nachströmen kalter Außenluft durch die großen geöffneten Tore ein thermischer Auftrieb, der sich dem barometrischen Luftdruck überlagert, so daß Wasserdampftransport durch Konvektion eintritt.

Die Luftströmung durch Auftrieb wird im vorliegenden Fall aber noch durch ein zweites Phänomen unterstützt. Die vom bauphysikalischen Berater geforderte starke Strömung in der Belüftungsebene des Kaldaches führt nämlich nach dem Strömungsgesetz von Bernoulli zu einem verringerten Druck (= Sog) in Querrichtung, so daß die Hallenluft in den Unterdeckenbereich hineingesaugt wird. Hier treten also Effekte auf, die seinerzeit bei den meßtechnischen Voruntersuchungen nicht bedacht worden sind.

Der mitgenommene Wasserdampf kondensierte an der Unterseite der Faserzementwellplatten zu Reif und tropfte bei nachfolgender Erwärmung ab. Die Abb. 5 und 6 wurden erst zwei Tage nach einem erneuten Wasseraustritt fotografiert. Die durchnässten Pfetten sind noch deutlich zu erkennen und auf den hydrophobierten Mineralfaser-Deckenplatten stehen an einzelnen Punkten noch Wassertropfen. Da die Mineralfaser-Deckenplatten das vom Dach abtropfende Wasser aufgrund der Hydrophobierung nicht aufsaugen, ist dieses, immer wenn sich größere Mengen angesammelt hatten, entlang der Deckenschrägung gemäß Abb. 8 bis zur nächsten Querschiene hinabgelaufen und dann dort nach unten ausgetreten (siehe auch Abb. 3 und 4). Zum Teil saugte sich das Wasser aufgrund der Kapillarwirkung des sichtseitigen Vlieses um eine geringe Strecke aufwärts. Der größere Teil lief dann aber auf der Unterseite der Deckenplatte weiter in Richtung zur Traufe. Dies ist an den Farbspuren gemäß Abb. 3 deutlich zu erkennen. Hier sind auch Abtropfungen an den senkrechten Flächen der Brettschichtbinder zu sehen.



## Sanierung

Die seinerzeit von dem bauphysikalischen Berater vorgegebene Vorgehensweise, die Innenseite der Unterdecke ausreichend dicht gegen Dampfdiffusion zu machen und oberhalb der Wärmedämmebene einen ausreichend großen Belüftungsquerschnitt vorzusehen, ist prinzipiell richtig. Dabei ist lediglich nicht bedacht worden, daß die Überlagerung der Diffusion durch Luftströmung (Konvektion) bei der hier vorgegebenen baulichen Situation ebenfalls zu berücksichtigen ist.

Die prinzipiell richtige Vorgehensweise zur Sanierung hätte also darin bestanden, sämtliche Auflagerfugen der Deckenplatten auf dem Tragschienensystem sowie sämtliche Anschlußfugen auch gegen Luftströmung abzudichten. Bei der Hallengrundfläche von 160 m x 60 m sind einschließlich der Anschlüsse an die RWA-Klappen etwa 6200 Deckenplatten mit den Abmessungen 1,25 m x 1,25 m verarbeitet worden. Damit beträgt die Fugenlänge der Plattenkanten bereits 31 000 m. Dagegen fallen längenmäßig mit etwa 500 m die Anschlüsse an die beiden Traufen und an die RWA-Klappen kaum ins Gewicht. Sie sind aber wegen ihrer großen Breite noch wesentlich schlechter abzudichten als die Auflagerfugen.

Dies führte sehr schnell zu der Erkenntnis, daß eine Nachbesserung in der „bauphysikalisch richtigen“ Art nicht möglich sein würde, denn dies hätte eine völlige Neumontage der Decke über dem dort lagernden Gut bedeutet ohne die Möglichkeit, die Halle sinnvoll einzurüsten. Nach einer ausführlichen Diskussion der zur Wahl stehenden Möglichkeiten mit dem Bauherrn, dem Bauunternehmer, dem anwendungstechnischen Berater des Materiallieferanten und dem Gutachter entschloß man sich zu einer unkonventionellen Lösung.

Aus der Erkenntnis, daß ein Herinströmen der Luft in den Dachhohlraum mit baupraktischen Mitteln nicht verhindert werden kann, entstand die Überlegung, daß bei einem Abdichten der Zuluftöffnungen an der Traufseite und der Abluftkamine am First das Herausströmen unkontrollierbar großer Luftmengen aus dem Dachhohlraum weitgehend verhindert werden wird. Damit konnte man wiederum unterstellen, daß auch die Zuströmung feuchtwarmer Luft in den Dachhohlraum hinein im entsprechenden Maße abnimmt, so daß man weitgehend nur noch die

Diffusionsvorgänge betrachten muß, für die bereits ein ausreichend hoher Diffusionswiderstand nachgewiesen worden war.

Gleichzeitig wurden besonders stark durch Abtropfspuren optisch beeinträchtigte Platten ausgetauscht und kleine Schäden durch einen weißen Farbauftrag beseitigt, um die anschließende Sichtkontrolle des Erfolges zu erleichtern.

In den beiden Wintern 1992/93 und 1993/94 sind keine neuen Tropfwasserschäden beobachtet worden.

## Stellungnahme

Diffusionsvorgänge werden in ihrer Auswirkung auf das bauphysikalische Verhalten im allgemeinen deutlich überschätzt. Bauschadensbegutachtungen, bei denen falsch berechnete Diffusionsvorgänge als Ursache ermittelt werden können, haben im Beratungsbüro des Autors einen Anteil von deutlich unter 10%. Dagegen werden konvektive Luftströmungen bei der Planung von Dächern in erschreckendem Maße vernachlässigt, während bei den Bauschadensbegutachtungen gerade dieser Anteil weit mehr als 90% beträgt. Dabei werden derartige Untersuchungen im allgemeinen nur dann veranlaßt, wenn aus dem Dach heraustropfendes Wasser unübersehbar zeigt, daß irgend etwas nicht stimmt.

Rechnet man die Dunkelziffer der Fälle hinzu, bei denen durch konvektive Luftströmung lediglich Zugluft aus den Steckdosen von Dachgeschoßwohnungen oder ungeahnt hohe Heizenergieverluste auftreten, so dürfte der Anteil bei über 99% liegen. Die Planungsaufgabe zur Schadensvermeidung ist also, Dächer zu konstruieren, die nicht nur ausreichend dampfdicht, sondern absolut luftdicht sind, auch wenn durch Windanströmung oder (wie hier durch Auftrieb) Luftdruckdifferenzen innen/außen auftreten.

Carsten Ruhe

## Literatur

- [1] DIN 52615: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen, November 1987
- [2] Ruhe, C.: Belüftetes Dach eines Rinderstalles, starker Schimmelfall. Bauschäden-Sammlung, Band 9, S. 32–35, IRB-Verlag, Stuttgart, 1993

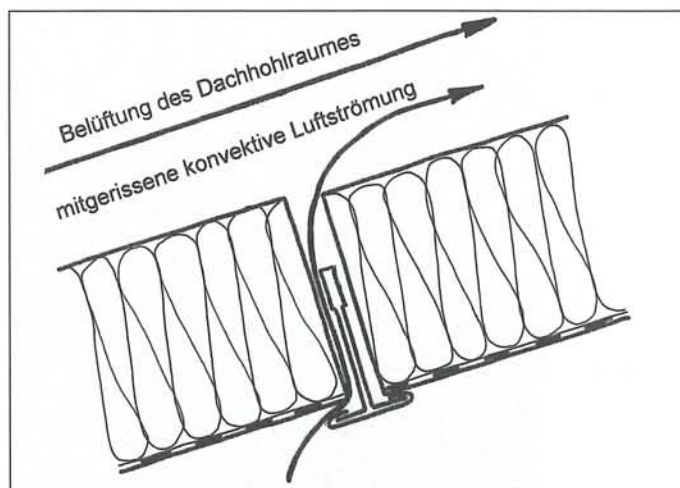


Abb. 7 Δ

Abb. 8 ▽

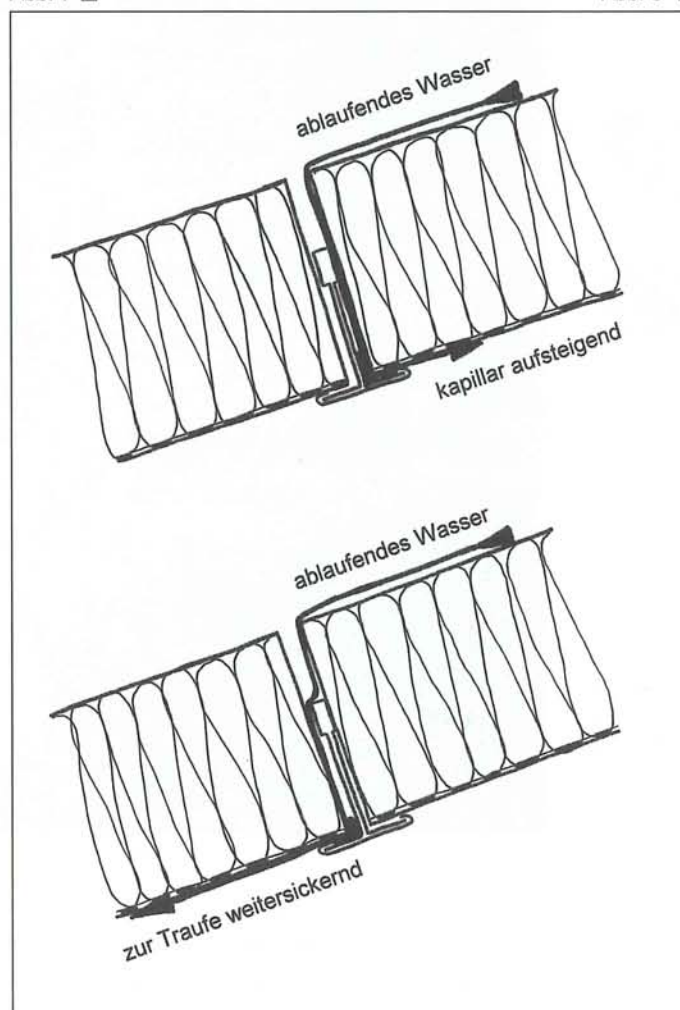


Abb. 7: Prinzipschnitt durch das Deckensystem zur Erläuterung der Konvektionsströmungen.

Abb. 8: Prinzipschnitt durch das Deckensystem zur Erläuterung der Abtropfvorgänge.