

# Bauphysik auf den Kopf gestellt

Von Dr.-Ing. Peter Küffner

In unseren Breitengraden gelten ganz spezifische bauphysikalische Grundsätze. Aber es gibt durchaus auch Ausnahmen. Der folgende Beitrag skizziert die durch die niedrigen Innentemperaturen bedingten Besonderheiten der Gebäudehülle der Skihalle in Neuss (NRW) – einer langgezogenen Metallröhre, die auf einer ehemaligen Mülldeponie gebaut wurde. Denn hier wird die gängige Bauphysik quasi auf den Kopf gestellt.

In Mitteleuropa bzw. Deutschland liegt die Raumtemperatur – wenige heiße Sommertage ausgenommen – eigentlich immer über der Umgebungstemperatur. Dafür gelten die bekannten bauphysikalischen Gesetzmäßigkeiten:

- Wärme wird vom Gebäudeinneren nach außen abgegeben,
- im Gebäudeinneren steigt warme Luft nach oben und bewirkt in den Obergeschossen einen leichten Überdruck,
- die Wasserdampfdiffusion findet von innen nach außen statt,
- Warmluftinfiltrationen erfolgen vom Rauminneren aus in die Gebäudewand und führen zu Kondensatbildung im Wandaufbau oder der Außenwandfläche,
- Raumluftleckagen führen im Winter zu Eisbildungen in der Wandkonstruktion oder auf der Außenseite der Gebäudehülle.

Ganz anders sind jedoch die bauphysikalischen und die wärmetechnischen Gesetzmäßigkeiten bei einem Bauwerk mit einer ganzjährigen Temperatur von  $-5\text{ °C}$  im Rauminneren – und dies ist in der Skihalle in Neuss der Fall. Die nachfolgenden Ausführungen sollen dies zeigen.

## Bauliche Gegebenheiten der Skihalle

Die Skihalle ist als vierseitig freie, schrägliegende Rechteckröhre auf einer tragenden Stahlkonstruktion ausgeführt. Sie hat eine Gesamtlänge von ca. 270 Meter, eine Breite von ca. 50 Meter und eine Raumhöhe von ca. 16 Meter. Der Höhenunterschied vom

obersten Dachpunkt bis untersten Fußpunkt beträgt ca. 50 Meter.



Bild 2: Skihalle in der seitlichen Schrägansicht.



Bild 3: Blick in das Innere der Skihalle.

Die einhüllenden, an die Außenluft angrenzenden Außenflächen des Gebäudes sind recht groß. Die vertikalen Außenwandflächen betragen ca. 10000 Quadratmeter. Die Dach- und Bodenflächen zusammen haben eine Gesamtfläche von ca. 30000 Quadratmeter. Die Wände werden mit Isolierpaneelen in 100 Millimeter Bautiefe gebildet (siehe Bild 4). Das Dach ist als konventionelles Warmdach mit ca. 150 Millimeter

Hartschaumdämmung auf Trapezblech aufgebaut (siehe Bild 5).

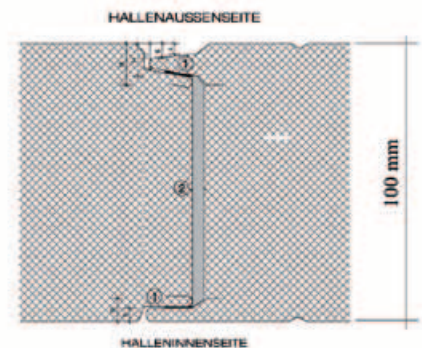


Bild 4: Aufbau der vertikalen Außenwände.

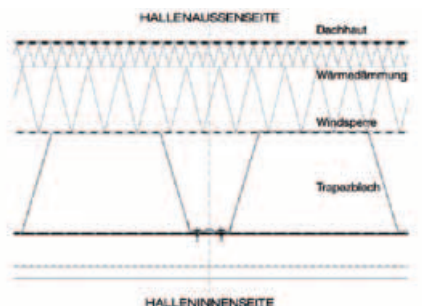


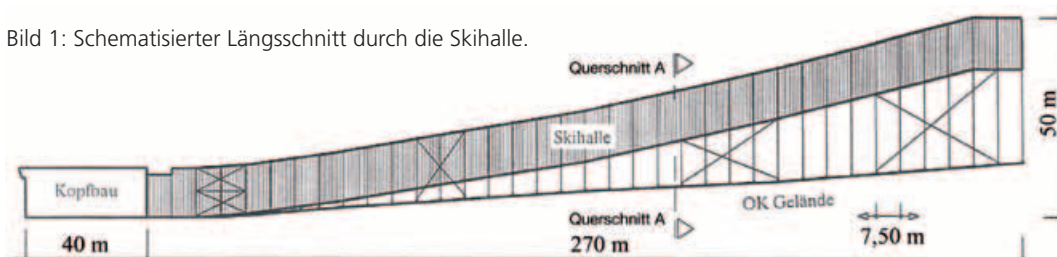
Bild 5: Dachaufbau des Komplexes.

## Problematik

In der Skihalle lagern permanent ca. 10.000 Tonnen Schnee und Eis und bilden die Grundlage für den ganzjährigen Skispaß. Und doch bereiten einige Hundert Kilogramm Eis an ungewollten Stellen erhebliches Kopfzerbrechen. Es bilden sich nämlich im Dach- und Wandbereich unerwünschte Vereisungen in flächiger oder zapfenartiger Form.

Auf den Bildern 6 und 7 sind derartige Vereisungen im Dach- und Wandbereich zu sehen. Hinzu kommt, dass durch die Eisbildung auch die Wand- und Dachkonstruktion in Mitleidenschaft gezogen wird, da das volumenvergrößerte

Bild 1: Schematisierter Längsschnitt durch die Skihalle.



# Wir machen mehr aus grauen Mäusen.

FREYLER – Fassaden  
mit starkem Charakter.

bernde Eis die mehrschalige Konstruktion aufsprengt und beschädigt (Bild 8).



Bild 6: Eiszapfen, die sich im Dachbereich bilden.



Bild 7: Flächige Vereisung im Wandbereich.



Bild 8: Durch die Eisbildung werden die Paneelfugen auseinandergedrückt und beschädigt.

## Bauphysikalische Betrachtung

Die Skihalle kann als eine umlaufend wärmeisolierte, schrägliegende Rechteckröhre angesehen werden. Die Röhre ist allseits geschlossen und fensterlos, jedoch am unteren Ende mit Eingangstüren versehen, die beim Aus- und Eintritt von den Skifahrern geöffnet werden. Die Temperatur in der Halle liegt konstant bei ca.  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , die Luftfeuchte bei ca. 90 %. Beim Öffnen der Zugangstüren ist stets ein Luft-

Gegendruck zu spüren, obwohl die Halle nicht mit Überdruck belüftet wird. Gleichzeitig ist beim Eintreten deutlich ein Gegenluftzug zu spüren. Worauf ist dies zurückzuführen? Die Bauphysik liefert die Antwort. Warme Luft ist leichter und steigt nach oben, kalte Luft dagegen ist schwerer und sinkt ab. Genau dieser Effekt tritt in dieser schrägliegenden, mit kalter Luft gefüllten Metall-Röhre auf (siehe Bild 9). Dies führt dazu, dass am oberen Ende ein Unterdruck entsteht, der immerhin 10 mbar oder  $1\text{ kN/m}^2$  ausmacht. Das heißt: Es herrscht permanent im oberen Hallenbereich ein Unterdruck gegenüber dem atmosphärischen Außenluftdruck. Die Außenluft drückt somit mit ca.  $1\text{ kN/m}^2$  gegen die Dach- und Wandflächen im oberen Hallenbereich. Da ein Gebäude niemals vollständig luftdicht ist, das heißt in Praxis ein  $a$ -Wert = 0 nicht erzielbar ist, wird warme Außenluft durch Leckageöffnungen in der Außenhülle in das Gebäude eingetragen.

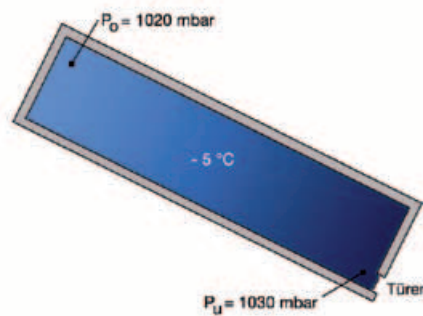
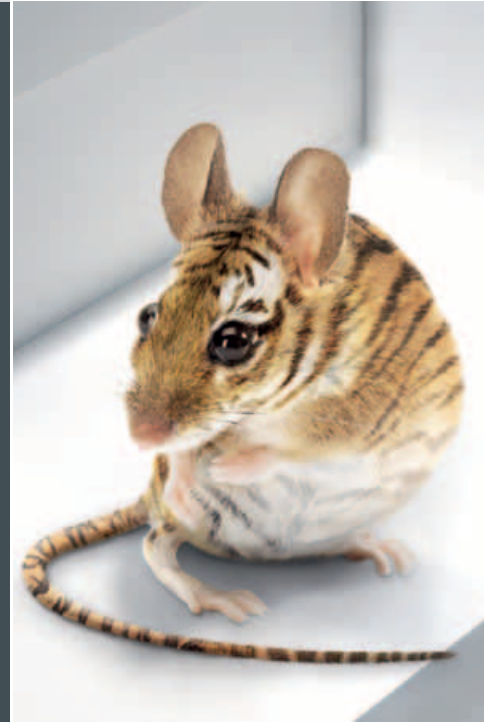


Bild 9: Die kalte Luft sinkt in der Röhre nach unten.

Bei normalen Gebäuden ist es so, dass im Rauminneren die warme Raumluft ansteigt und durch Leckagestellen ins Freie tritt. Das heißt: Es kommt zu thermisch bedingten Raumlufteleckagen von innen nach außen. Dies kehrt sich im vorliegenden Fall um. Die Kaltluft in der Halle fällt schräg nach unten und zieht über Leckagestellen von außen warme Außenluft nach innen. Mit dieser warmen Außenluft wird auch die darin enthaltene Luftfeuchtigkeit eingetragen, die sofort an kalten Teilen kondensiert und anschließend in den Eiszustand übergeht. Dieser Vorgang läuft kontinuierlich ab – Tag und Nacht. Damit lässt sich das starke Anwachsen von Eiszapfen und Eisflächen im Decken- und Wandbereich erklären. Besonders kritische Leckagestellen, wo warme Außenluft eintreten kann, sind die Attika und Wandfugen. Bild 10 zeigt zwei derartige Leckagestellen in der Attika. Allein an diesen beiden Leckagestellen strömen täglich etwa 500 Kubikmeter Warmluft ein und tragen zu einer Eisbildung von 5 bis 10 kg bei.



Natürlich steht bei Gewerbe- und Industriebauten der Nutzwert im Vordergrund – aber muss deshalb wirklich einer aussehen wie der andere? Eine architektonisch reizvolle Fassade sagt letztlich mehr über die Modernität, Innovationskraft und Kreativität Ihres Unternehmens als 1000 Worte. Und die Spezialisten von FREYLER Metallbau sorgen dafür, dass weder das Budget noch die Funktionalität darunter leiden.

### FREYLER Metallbau GmbH

Draisstraße 4  
79341 Kenzingen  
Tel. 07644 805-0  
Fax 07644 805-266  
metallbau@freyler.de  
www.freyler.de





Bild 10: Leckagestellen in der Attika.



ibft - Dr. Küffner & Lummertzheim GmbH (12)

Bild 11: Durch Ansteigen der Oberflächentemperatur bilden sich Wassertropfen.

Die Ursache der Eisbildung ist damit geklärt. Auch der Vorgang des Lösens und Abfallens der Eisplatten bzw. Eiszapfen lässt sich bauphysikalisch beschreiben. Das Eis friert auf den raumseitigen Metallflächen fest und kann nur mit größter Mühe entfernt werden. Bei intensiver Sonnenbestrahlung der Außenwände können sich die Dachfläche bzw. die Thermowandelemente auf der Außenseite auf 50 bis 60 °C erwärmen. Bei dieser hohen Außentemperatur reicht die vorhandene Wärmeisolierung nicht mehr aus, um sicherzustellen, dass auf der Raumseite die Oberflächentemperatur unter 0 °C bleibt. Es kommt zu einem Temperaturanstieg auf der Innenfläche von über 0 °C. Das anhaftende Eis schmilzt an der Auflagefläche. Damit ist die Haftfähigkeit des Eises nicht mehr gegeben und die Platten bzw. Zapfen rutschen oder fallen nach unten ab.

Auf Bild 11 ist ein derartiger Zustand zu sehen. Links ist das noch flächig anhaftende Eis zu sehen, am horizontalen Träger sind bereits erste Wassertropfen erkennbar. Dies sind Zeichen dafür, dass hier die Oberflächentemperatur bereits im positiven Bereich liegt. Es ist nur mehr eine Frage der Zeit, bis die Eisscholle an ihrer Auflagerstelle anschmilzt und abfällt.

### Erkenntnisse

Bei Gebäuden mit Temperaturen im Minusbereich ist die Luftdichtigkeit der Außenfläche von fundamentaler Bedeutung. Die Außenfläche muss gleichzeitig die Funktion der Regenabdichtung und der Dampfsperre übernehmen. Innenliegende Dampfsperren sind nur bedingt wirksam. Leckagestellen in der Außenfläche führen unweigerlich zum

Einströmen von warmer, feuchter Außenluft und zu einer fortlaufenden, additiven Eisbildung in der Konstruktion selbst oder auf den kalten Raumbooberflächen.



ibft - Dr. Küffner & Lummertzheim GmbH in Düsseldorf und langjähriges Mitglied des UBF.

Dr.-Ing. Peter Küffner ist Mitinhaber des Ingenieurbüros



## THINK GLOBAL. MEET US WORLDWIDE.

Die R+T ist die Nummer 1. Weltweit. Sie ist Branchentreff, Branchenbarometer und Innovationsplattform. Auch in Shanghai, Istanbul, Melbourne und São Paulo haben sich erfolgreiche Tochtermessen etabliert, treffen sich Fachleute aus aller Welt, um neue Kooperationen einzugehen und Geschäfte anzubahnen. Ganz nach dem Motto der R+T: Think global – meet us worldwide.

[www.rt-expo.com](http://www.rt-expo.com)

Mitten im Markt

Messe Stuttgart



## R+T STUTTGART

Weltleitmesse für Rollläden, Tore und Sonnenschutz

27. Februar – 3. März 2018  
Messe Stuttgart

### R+T TURKEY

12. – 15. November 2015  
Istanbul

### R+T ASIA

22. – 24. März 2016  
Shanghai

### R+T SOUTH AMERICA

8. – 11. Juni 2016  
São Paulo

### R+T AUSTRALIA

August 2017  
Melbourne