

Klimatisierung von Eissporthallen

Schichtlüftungssysteme sorgen für bessere Nutzungsbedingungen und höhere Gebäudesicherheit

Dr.-Ing. Eckehard Fiedler, Forschung & Entwicklung, caverion



Abb.1: Kegelförmiger Verdrängungsauslass VA-K von KRANTZ KOMPONENTEN

Ein Schichtlüftungssystem sorgt für mehr Komfort und Sicherheit für Nutzer und Zuschauer in den Eishallen. Gebäudeschäden, verursacht durch Kondensation im Dachbereich, können mittels eines entsprechenden Lüftungskonzeptes minimiert werden. Die Klimatisierung von Eissporthallen dient nicht allein dem Nutzerkomfort. Zu hohe Luftfeuchte führt durch Reifbildung zu einer schlechten Eisqualität, Nebelbildung kann den Spielbetrieb beeinträchtigen. Dauerhafte Kondensation im Dachbereich verursacht gravierende Gebäudeschäden und wird z. B. als eine Hauptursache für den Einsturz der Eissporthalle in Bad Reichenhall im Januar 2006 vermutet. In der Eisarena Wolfsburg wurde nun ein innovatives Lüftungskonzept für Eishallen realisiert, das auch weitergehende Nutzeranforderungen erfüllt und sich durch eine hohe Energieeffizienz auszeichnet.

Der Betrieb von Eissporthallen ist sehr kostenintensiv. Nach einer Studie der Fachhochschule Erfurt [1] verursacht die Kälteerzeugung ca. 35 % der Betriebskosten, gefolgt von 32 % für die Beheizung der Halle. Der Wärmeaustausch zwischen Halle und Eis ist damit eine der Hauptursachen für den Energieverbrauch. Die Verteilung der Wärmeströme in das Eis ist folgende [1]:

- ▶ 44 % Konvektion
- ▶ 19 % Strahlung
- ▶ 16 % Reifbildung
- ▶ 13 % Eispflege
- ▶ 8 % Beleuchtung und Bodenwärmeleitung

In doppelter Hinsicht bedeutsam ist der Feuchteaustausch zwischen Hallenluft und Eis in der Form von Reifbildung. Reif bildet sich als weißlicher Belag auf dem Eis und macht die Oberfläche stumpf. Neben energetischen Aspekten besteht daher auch ein sportliches Interesse an einer Minimierung der Reifbildung. Ein effizientes Mittel zur Senkung des Energieverbrauches ist die Absenkung der Hallenlufttemperatur. Eishockeyspieler bevorzugen Lufttemperaturen von 8°C über dem Eis. Für Zuschauer sind solche Temperaturen allerdings nur bedingt zu-

mutbar. Niedrige Temperaturen in der Halle können weitere negative Folgen haben. So steht die Hallendecke in intensivem Strahlungsaustausch mit dem Eis. Bei einer Hallenlufttemperatur von +15°C und einer Außentemperatur von +30°C liegt die Temperatur der Dachinnenfläche bei 9,5°C [1]. Der Strahlungswärmeaustausch zwischen Dach und Eis liegt bei 75W/m², die aus der Hallenluft nachgeliefert werden müs-

sen. Infiltration im Dachbereich kann hier zur Tropfenkondensation (Schwitzwasserbildung) an der Dachkonstruktion führen. Gelegentlich wird über die Bildung von Eisaufwachungen (Stalagmiten) durch Tropfwasser auf der Eisfläche berichtet. Von Lüftungsanlagen wird in Eishallen gefordert, dass sie eine Nebelbildung verhindern sollen. Nebel entsteht, wenn kalte mit feuchtwarmer Luft gemischt wird und die

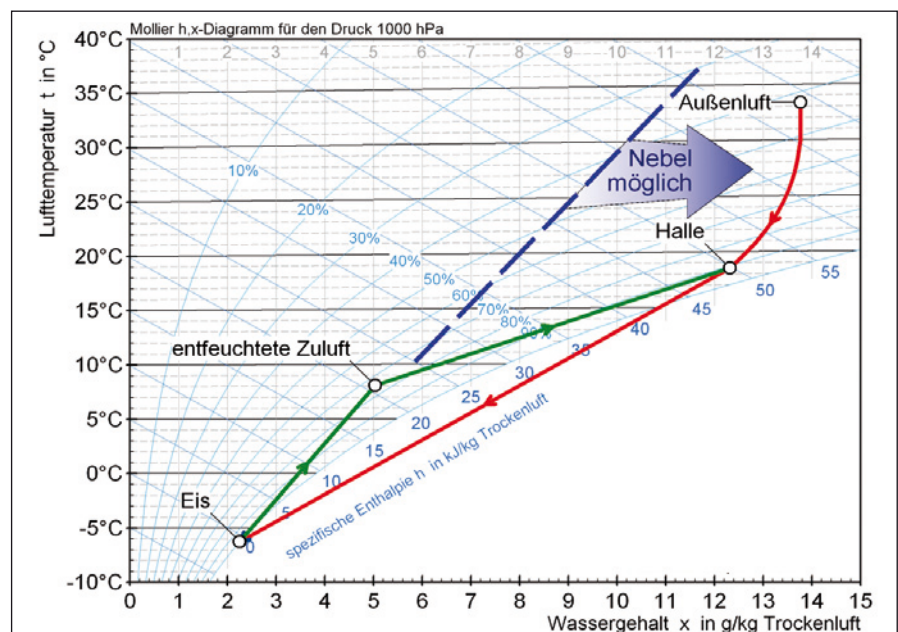


Abb.2: Mischungsgeraden in einer Eissporthalle, Grafik Caverion

Die Energiesparer unter den Ventilatoren - **ECblue**

ECblue steht für die Energiesparmotoren mit neuester, integrierter EC-Technologie von Ziehl-Abegg. Die genial einfache Bedienbarkeit, höchster Wirkungsgrad und eine sehr hohe Zuverlässigkeit zeichnen ECblue aus.

In Kombination mit den aerodynamisch bestmöglichen Laufrädern erzielen die ECblue Produkte von Ziehl-Abegg wirkungsgradoptimale Luftdynamik.

Unsere Umwelt freut sich ebenfalls über ECblue. Denn am saubersten ist die Energie, die nicht verbraucht wird. Unsere Experten beraten Sie gerne.



Mehr unter
www.ec-blue.de

ZIEHL-ABEGG 

Mischungsgerade im Mollier-h,x-Diagramm im Nebelgebiet liegt, Abb.2. Direkt an der Eisoberfläche liegt eine dünne Luftschicht, die bereits bei einer absoluten Feuchte von $x=2,2\text{g/kg}$ gesättigt ist. Kühlt sich im Hochsommer infiltrierte Außenluft am Hallendach ab, dann kommt es bei der Mischung fast zwangsläufig zur Nebelbildung. Nach Einschalten der Belüftung und zusätzlicher interner Wärmelasten wie Scheinwerfern verschwindet häufig der Nebel sehr schnell. Die Entfeuchtung der Hallenluft erfolgt dabei stärker durch die Eisfläche als durch die Zuluft mit den erwähnten negativen Folgen für die Eisqualität.

Zur Sicherung der Eisqualität bestand der Wunsch des Betreibers, die Eisfläche mit voll entfeuchteter Luft* ($x=5\text{g/kg}$) zu beaufschlagen. Für die Publikumsbereiche sollte die Entfeuchtung lediglich auf minimal 12g/kg erfolgen, um hier die Betriebskosten zu senken.

Bei runden Strahldüsen nimmt das Strahlvolumen nach folgender Gleichung zu:

$$\frac{\dot{V}(x)}{\dot{V}_0} \approx \frac{2}{7} \cdot \frac{x}{s}$$

Bei einem Düsendurchmesser von $s=250\text{ mm}$ beträgt die Volumenzunahme nach einer Lauflänge von $x=10\text{ m}$ bereits $\dot{V}_x/\dot{V}_0=11,4$. Der Strahl besteht also zu über 90 % aus induzierter Hallenluft, die Untertemperatur beträgt weniger als 1°C .

Für die Realisierung eines solchen Konzeptes bietet sich grundsätzlich das Prinzip der Schichtlüftung an, bei dem die natürliche Tendenz der Luft zur Schichtbildung genutzt wird. Voraussetzung hierfür ist, dass die Luftschichten unterschiedlich temperiert sind, so dass sich warme Luft über kälterer aufschichten kann. Da Luft eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt, kommt es zwischen den Schichten nur zu einem sehr geringen Wärmeaustausch. Im industriellen Sektor ist die

* Der Ausdruck „voll entfeuchtet“ bezieht sich darauf, dass eine weitere Entfeuchtung mit üblichen Mitteln der Klimatechnik nicht wirtschaftlich möglich ist. Die Sättigungstemperatur bei $x=5\text{ g/kg}$ beträgt nur noch $3,7^\circ\text{C}$, so dass im Kühler Vereisungsgefahr besteht.

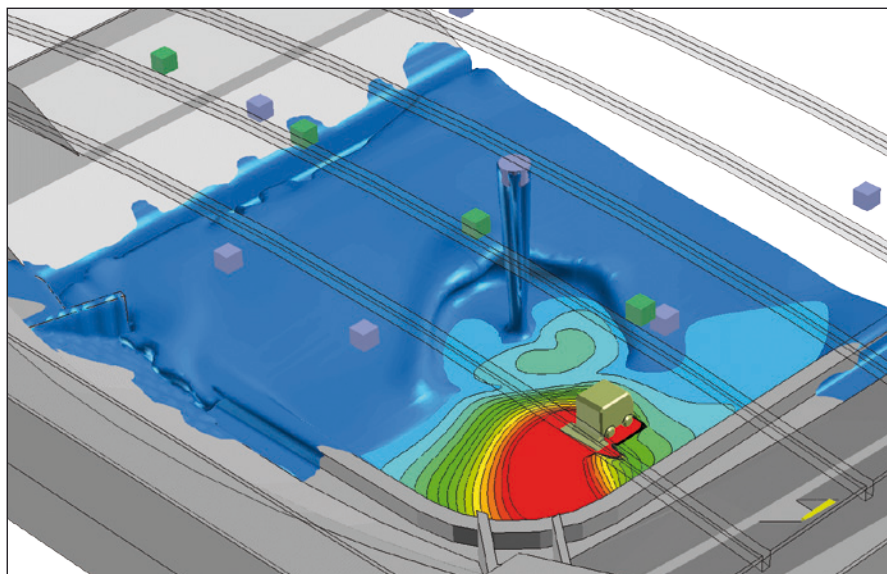


Abb.3: Numerische Simulation der Luftschichtung über dem Eis

Schichtlüftung ein häufig verwendetes Prinzip. Dabei muss kühle Zuluft vom Boden her eingebracht werden, z.B. durch Quell-Luftdurchlässe, damit es zu einer Schichtung kommt.

Bei einer Einbringung unter dem Hallendach kommt es mit üblichen Luftdurchlässen zu einer Vermischung von kalter Zuluft und warmer Hallenluft, so dass sich keine Schichtung einstellt (siehe Kasten). Für die Eisarena Wolfsburg wurden daher Spezial-Luftdurchlässe der Firma caverion, GB KRANTZ KOMponenten verwendet, mit denen eine Verdrängungslüftung auch von der Decke her möglich ist.

NUMERISCHE SIMULATION DER EISFLÄCHE

Zur Prüfung dieses Konzeptes wurde zunächst eine numerische Strömungssimulation durchgeführt, Abb. 3.

Da die Entfeuchtung der Raumluft durch die Eisfläche einen gravierenden Einfluss auf das Hallenklima hat, mussten die Transportvorgänge der Feuchte im Modell mit abgebildet werden. Für die Eisoberfläche wurde eine konstante absolute Feuchte von $x=2,3\text{g/kg}$ festgelegt. Die Zuluftfeuchte wurde entsprechend der vorgegebenen Anlagendaten mit 5g/kg bzw. 12g/kg angesetzt. Für

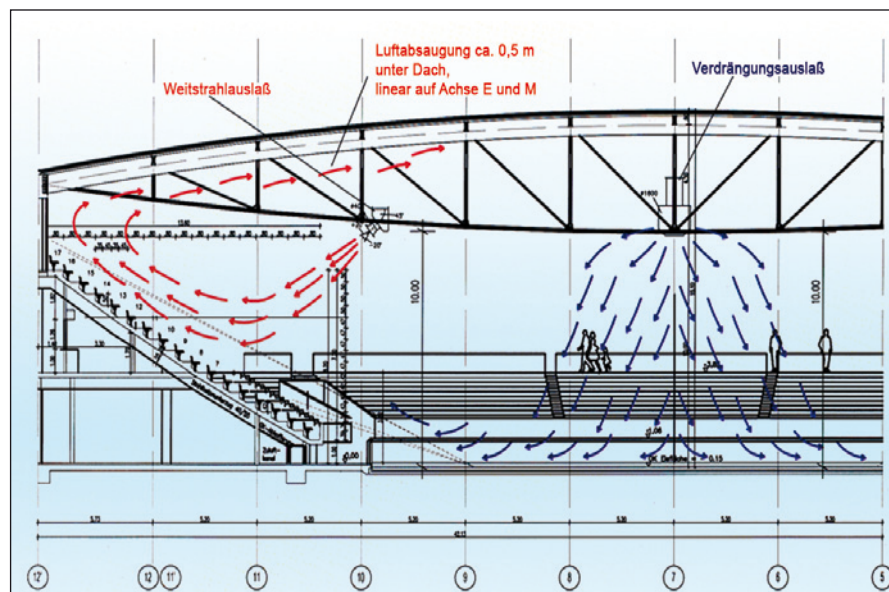


Abb.4: Luftführung in der Eisarena Wolfsburg

Klima-Zentralgeräte

auch nach VDI 6022

- ▶ Standard-Geräte
- ▶ Comfort-Geräte
- ▶ Schwimmbad-Geräte
- ▶ Hygienegeräte
- ▶ Direktbefeuerte Geräte
- ▶ Kältegeräte
- ▶ Wetterfeste Geräte zur Außenaufstellung

Flachbau-Klimageräte

auch nach VDI 6022

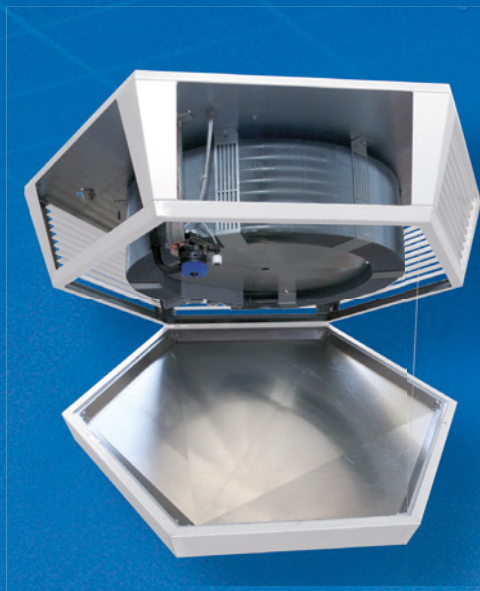
- ▶ Standard-Geräte
- ▶ Comfort-Geräte

Dezentrale Geräte

auch nach VDI 6022

- ▶ Deckenluftgeräte
- ▶ Kassettendecken-Luftheizer
- ▶ Wandgeräte
- ▶ Warmlufterzeuger
- ▶ Dachventilatoren

Maximale Effizienz und zertifizierte Hygiene

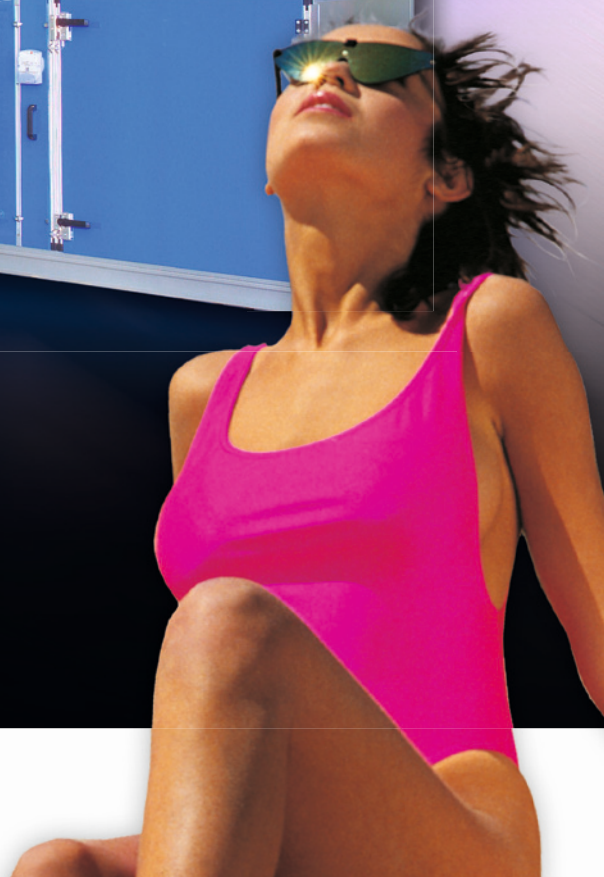


Klima für alle Fälle



WOLF Anlagen-Technik GmbH & Co. KG
Geschäftsbereich Heizung - Lüftung - Klimatechnik
Münchener Str. 54
85290 Geisenfeld, GERMANY
Telefon +49 (0)8452 99-0
Telefax +49 (0)8452 99-250
E-Mail info.hlk@wolf-geisenfeld.de
Internet www.wolf-geisenfeld.de

WOLF
GEISENFELD



die Umrechnung der absoluten in relative Feuchte kann folgende Formel zur Anwendung kommen:

$$\Phi = \frac{168}{\left(\frac{615}{x} + 1\right)} \cdot e^{\left(\frac{17,9 \cdot t}{233+t}\right)}$$

Φ : relative Feuchte, Skalierung 1=100 %,
 x: absolute Feuchte in g/kg trockene Luft,
 t: Temperatur in °C. Nebelbildung findet in Bereichen statt, in denen $\Phi > 1$ ist.

Bei der Modellierung des Strahlungsaustausches wurde auf Messergebnisse aus vergleichbaren Hallen zurückgegriffen, mit denen die Oberflächentemperaturen realitätsnah dargestellt werden konnten.

Bei der Simulation zeigt sich, dass in der Halle mit dem vorgeschlagenen Konzept eine günstige Schichtung ohne Nebelbildung erreicht werden kann. Die Luftmengen und Luftdurchlassanordnungen konnten so im Vorfeld bereits geprüft und optimiert werden.

ALTES EIS IN NEUEN HALLEN

Bei der Sanierung der Eisarena Wolfsburg wurde die Halle komplett neu errichtet, Kälteanlage und Eisfläche wurden allerdings erhalten und lediglich modernisiert. Für die Klimatisierung kam daher nur eine

Luftführung von oben in Frage, da Eingriffe in die bestehende Kälteverrohrung vermieden werden sollten.

In der Eisarena Wolfsburg musste die Zuluft in einer Höhe von 10m eingebracht werden, Abb.4. Bei einer weiteren Absenkung der Luftdurchlässe wäre es zu Sichtbehinderungen der Zuschauer gekommen. Eine Lösung für die Zuluft einbringung fand sich schließlich in einem Spezial-Luftdurchlass von KRANTZ KOMPONENTEN, der ursprünglich für Flugzeuglackierhallen entwickelt worden war. In solchen Hallen soll ebenfalls eine Schichtlüftung erfolgen.

Es erfolgt hier die Lufteinbringung aus einer Höhe von bis zu 32 m. Sogenannte „Kegelförmige Verdrängungsauslässe“ vom Typ VA-K, Abb.1, mit Durchmessern bis zu 2,5 m werden hier eingesetzt, um eine Verdrängungslüftung von oben zu realisieren. Aufgrund der kleineren Luftmenge konnte die Lufteinbringung der voll entfeuchteten Luft in der Eisarena Wolfsburg über nur zwei Luftdurchlässe mit einem Durchmesser von 800 mm erfolgen.

Jeder dieser Luftdurchlässe versorgt dabei eine Spielfeldhälfte. Bei einer Montagehöhe von 10m erreicht die Zuluft die Eisfläche fast unvermischt und breitet sich

dort als schützendes Luftpolster über dem Eis aus, Abb.4. Bei 8 °C Zulufttemperatur und einer relativen Zuluftfeuchte von 50 % werden in 2 m Höhe noch 8,5 °C und 55 % gemessen.

Für die Belüftung der Zuschauerreihen wurden Weitstrahlauslässe, Abb.11, mit einstellbarer Wurfcharakteristik eingesetzt, die schräg von oben die Zuschauerreihen beaufschlagen. Mit diesen Luftdurchlässen kann den Zuschauern gezielt wärmere Luft zugeführt werden, ohne die Schichtung über dem Eis zu stören.

PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN

Mittlerweile liegen Erfahrungen aus der ersten Betriebssaison der Anlage vor, die eine durchweg positive Bilanz zulassen. Insbesondere die unterschiedlichen Bedingungen, die gleichzeitig in der Halle herrschen, beeindruckten Betreiber und Zuschauer. Während am Eis frostige 8 °C herrschen (was insbesondere von den Hockeyspielern gewünscht wird), breitete sich auf den Rängen bei angenehmen 22 °C Picknickstimmung aus. Kondensatbildung an der Decke wurde nicht beobachtet.

Nebelversuche, die an der betriebsfertigen Anlage durchgeführt wurden, zeigten ein-



Abb. 5-10 v.l.: Die Temperaturen auf dem Eis liegen bei optimalen Kältetemperaturen, während die Zuschauer auf den Rängen keineswegs frieren müssen. Die Kaltluftschicht auf dem Eis (Abb. 10) bleibt bei dieser Konzeption ungestört.

drucksvoll die Wirkung der Anlage. Die mit +8 °C eingebrachte Zuluft quillt zunächst fast impulsfrei aus dem Luftdurchlass aus, Abb. 5, bevor sie im Zeitlupentempo durch die Schwerkraft beschleunigt wird, Abb. 6 bis Abb. 8. Etwa 2 m über der Eisfläche trifft die Zuluft auf ein Kaltluftpolster, das



Abb. 11: Weitstrahlauslass Typ SW, KRANTZ KOMPONENTEN

sich über der Eisfläche bildet und wird von diesem abgebremst. Diese Kaltluftschicht blieb auch nach ca. 15-minütiger Nebeleinbringung vollkommen ungestört, wie in Abb.9 belegt. Die Zuluft schichtet sich über dieser Kaltluftschicht auf und fließt schließlich über die Verglasung der Bande nach außen ab, Abb. 10.

In Abb.9 ist unter dem Auftreffpunkt der Zuluft ein ringförmiger Bereich mit Reifbildung zu erkennen. Da im stationären Betrieb ein Kontakt der Zuluft mit dem Eis nicht erfolgt, besteht der begründete Verdacht, dass diese Reifbildung während der Wiederanfrierphase nach der Eisaufbereitung entsteht. In dieser Zeit ist das schützende Kaltluftpolster gestört und die Zuluft kann bis zum Eis vordringen. Eine Abschaltung der Zuluft während der Eisaufbereitung ist daher anzuraten.

Die Luftschichtung über dem Eis hat neben dem Eisschutz einen weiteren positiven Aspekt, wie Abb.2 (grüne Linie) zeigt. Bei einem Zuluftzustand $T=8\text{ °C}/x=5\text{ g/kg}$ liegen beide Mischungsgerechten (Eis/Zuluft, Zuluft/Halle) außerhalb des Nebelgebietes. Dies deckt sich mit Beobachtungen, dass Nebel auf der Eisfläche sich nach Einschalten der Anlage nach einer Verzögerung von wenigen Minuten plötzlich auflöst. Die sehr langsam strömende Zuluft benötigt ca. 3-5 Minuten, um sich über der Eisfläche vollständig auszubreiten. Erst danach kann sich die Pufferwirkung der Zuluft voll entfalten.

Als Fazit der wissenschaftlichen Begleitung konnte bei diesem Projekt festgehalten werden, dass die Schichtlüftung für Eishallen ideal geeignet ist. Je weniger die natürliche Tendenz der Luft zur Schichtung gestört wird, desto wirksamer ist die Anlage. Ein effektiver Schutz der Eisfläche ist dabei schon mit geringen Luftmengen von $5\text{-}7\text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ möglich.

AUSBLICK

Das in Wolfsburg realisierte Konzept hat sich sehr gut bewährt und kann insbesondere für den Umbau bestehender Hallen empfohlen werden. Die Luftzuführung von oben ist ohne Eingriffe in den Hallenboden realisierbar. Zur Vermeidung von lokaler Reifbildung unter ungünstigen Bedingungen sollten die Luftmengen je Luftdurchlass für die Verdrängungsauslässe auf $4000\text{-}5000\text{ m}^3/\text{h}$ reduziert werden. Dies ist leicht durch Erhöhung der Auslasszahl erreichbar, indem drei Luftdurchlässe entlang der Spielfeldachse positioniert werden. Einer Mischlüftung mit Weitstrahlauslässen ist das vorgestellte Konzept hinsichtlich Eisschutz und Zuschauerkomfort weit überlegen. Nach bisherigen Erfahrungen ist eine deutliche Reduzierung des Energieverbrauchs zu erwarten, konkrete Verbrauchszahlen liegen aber bisher noch nicht vor.

*Autor: Dr.-Ing. Eckehard Fiedler
Forschung & Entwicklung,
caverion GmbH, Aachen
GB KRANTZ KOMPONENTEN*

*Fotos / Grafiken: caverion
www.caverion.com*

Literatur

- [1] Schnelles Eis – Untersuchung zur Beeinflussung von Qualität und Energieaufwand beim Sparteis, Wilhelm Wienrich, Marco Anhalt, FH Erfurt, herausgegeben durch Bundesinstitut für Sportwissenschaft. Berichte B3/02, ISBN 3-89001-140-3