



Raumluftströmung in Schwimmhallen

Teil 2: Luftführung abwärts

In Schwimmhallen hat die Luftführung nicht nur entscheidenden Einfluss auf die Aufenthaltsqualität und die Schadstoffbelastung, sondern auch auf die Verdunstung und damit auf den größten Energieverbraucher. Dies ist eine der wenigen großen Stellschrauben des Energieverbrauchs in Bädern. Das Einsparpotenzial Wärme im Bad beträgt bis zu 25 %.

Mit diesem Erfahrungsbericht wollen wir einen Beitrag zur Energieeffizienz leisten. In unserem Artikel „Luftführung in Schwimmhallen in den Zeiten von Corona“ (siehe AB 10/2020, Seite 704 ff.) haben wir bereits die physikalischen Grundlagen für die Luftführung in Schwimmbädern und die Bedeutung für den Infektionsschutz erläutert. Außerdem wurde über die „Luftführung abwärts“ und deren Vorteile berichtet. Nun geht es darum, diese genauer zu beleuchten und Hinweise zur Ausführung zu geben. Anhand von umgesetzten Anlagen werden Erfolge und Fallstricke dargestellt.



Fotos (wenn nicht anders angegeben): INCO

Autoren:

Dipl.-Ing. Jörn Kaluza, Geschäftsführer INCO Ingenieurbüro GmbH, Aachen, und Mitglied der DGfdB-Arbeitskreise Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär- und Elektrotechnik (HLSE) und Energie und Ressourcen sowie Dr.-Ing. Eckehard Fiedler, Gruppenleiter Simulation und Berechnung, Krantz GmbH, Aachen

Die Basics aus Teil 1

Bei der bisherigen Luftströmung in Schwimmhallen, z. B. mit Induktionsauslässen und Luftstrahlen vor den Fassaden von unten, wird die Luft durch die Induktion der Luftstrahlen vielfach wieder angesaugt und so in der Halle verteilt: die sog. Mischlüftung. Wasserdampf ist zwar leichter als Luft, aber ein Aufkonzentrieren von Feuchte an der Decke wurde von uns in keinem Fall beobachtet. Die klassische Absaugung an der Decke erscheint daher nicht notwendig. Ort und Ausführung der Abluft im oberen

Hallenbereich haben keinen Einfluss auf die Raumluchtströmung, da die Luftkonditionen überall fast gleich sind.

Für die Luftströmung in Wassernähe gilt: Feuchte Luft ist leichter als trockene. Allerdings ist warme Luft ebenfalls leichter als kalte, und dies überwiegt in den meisten Fällen. So ist z. B. Luft mit 30 °C bei 50 % relativer Feuchte „gleich schwer“ wie Luft mit 29 °C bei 75 % relativer Feuchte. Bei mehr als 2 °C Übertemperatur der Raumlucht über der Wassertemperatur stellt sich in der Regel eine stabile horizontale Temperaturschichtung

ein. Diese Schichtung reduziert auch die Verdunstung, die einen wesentlichen Anteil des Wärmebedarfs des Bades verursacht.

Die Luftführung abwärts nutzt diese Temperatur- und Dichteschichtung in Bodennähe aus, um Feuchte und Schadstoffe gezielt abzuführen. Entscheidend hierfür ist die Schicht ca. 0,5 bis max. 1,0 m von der Wasseroberfläche. Die Luftführung oberhalb dieses Bereiches muss so gestaltet sein, dass sie die Schichtung in Bodennähe nicht zerstört. Dies gelingt nur, wenn zum einen die Luft in der Halle wärmer ist als im Beckenwasser, und zum anderen, wenn die Zuluft mit wenig Induktion eingebracht wird.

Mit einer Abluft in Bodennähe können Feuchte und Schadstoffe kontrolliert abgeführt werden. Durch das Dichtegefälle „fließt die Luft wie Wasser“. Das „Fließen“ geschieht langsam, aber stetig, und oft ist die Wirkung in toten Ecken und Winkeln besser als

bei einer Mischlüftung. Die Anordnung der Abluftentnahme an einer Stelle ist dann bereits ausreichend, wie im folgenden Ausführungsbeispiel zu sehen ist.

Erfahrungsbericht Hallenbad Düsseldorf Niederheid

Das Hallenbad Düsseldorf Niederheid war 2015 eines der ersten Projekte mit Luftführung abwärts. Die Zuluft konnte wahlweise mit den bestehenden Gittern vor der Fassade oder über ein neuerrichtetes, zentrales, großflächiges Gitter über den Deckensegeln eingebracht werden. Die Abluft wird an einer Stelle mit einem ca. 1,5 m breiten und 2,2 m hohen Gitter abgeführt. Von hinten wurde das Abluftgitter teilweise geschlossen, so dass die Höhe der Absaugung variiert werden konnte. Unser ursprüngliches Ziel war, eine raumhohe Temperaturschichtung zu erreichen. Dies stellte sich nicht ein. Jedoch bildete sich eine Schichtung in Bodennähe aus,

die über mehrere Becken hinweg zu der Abluftöffnung fließt.

Die Lüftungsanlage wurde im Zuge der Sanierung ebenfalls erneuert. Der Volumenstrom von 35 000 m³/h ist auf eine zweiachsige Lüftungsanlage mit hocheffizienten Gegenstromwärmetauschern aufgeteilt. Die Gebäudehülle wurde mit einer Dreifachverglasung und einer verstärkten Dachdämmung erneuert. Eine optimale Fassade ist Grundvoraussetzung für die Luftführung abwärts, da man nicht mehr gezwungen ist, die Fassade von unten mit Zuluft kondensatfrei zu halten.

Ergebnisse im Betrieb

Die schon oben dargestellte Luftschichtung ist auch im Betrieb stabil, die Untersuchungen mit Nebel sind gut reproduzierbar.

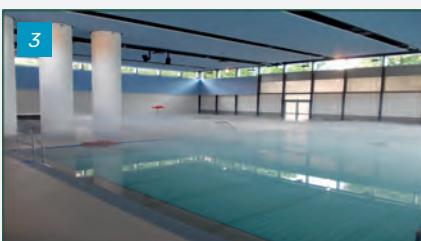
Erreichte Feuchteschichtung

Der Feuchteunterschied zwischen der Feuchte am Boden (67 %) und der

an den nur 50 cm höheren Sitzbänken (52 %) war sehr erstaunlich. Bisher war eine höhere Luftfeuchte zur Verringerung der Verdunstung durch die Bauphysik und die zumutbare Feuchtelast für das Personal begrenzt. Eine Erhöhung war häufig nur im geringen Umfang, maximal um 5 % relative Luftfeuchte, möglich. Die Feuchte an der Wasseroberfläche ist jetzt von der Raumfeuchte entkoppelt. In den Folgeprojekten ist die Feuchteschichtung noch deutlicher ausgefallen.

Auswirkung auf Verdunstung und Wärmebedarf

Der notwendige Luftvolumenstrom für die Entfeuchtung wurde ermittelt, indem ein bedarfsabhängiger Betrieb ohne Umluft – Sollwert 31 °C, 50 % – gefahren wurde, d. h., die Feuchteregelung hat den Anlagenvolumenstrom angesteuert bei 100 % Außenluft. Anders als bei der Ansteuerung von Umluft- und Außen-Fortluftklappen ist der für die Entfeuchtung notwendige Volumenstrom direkt mit den



1 | Start der Schichtung über dem Schwimmerbecken im Hallenbad Niederheid

2 | Überströmung zum Nichtschwimmerbecken

3 | Der Nebel, eingebracht in die feuchte Schicht über dem Becken, zeigt die gleichmäßige Absaugung über das ganze Becken.

4 | Nebel kurz vor dem Abluftgitter

Ventilator-Messblenden messbar. Es stellte sich ein extrem niedriger Volumenstrom ein, der unter 20 % des Anlagen-Nennvolumenstroms lag. Dies war der Nachweis, dass die Verdunstung stark reduziert wurde. Um bei der Lufthygiene auf der sicheren Seite zu bleiben, wurde ein Mindestvolumenstrom von 30 % eingestellt. Es wurde akzeptiert, dass die Luftfeuchte im Aufenthaltsbereich sich dadurch unter 50 % einstellt.

Das Schwimmerbecken hatte keine Beckenbeheizung mehr benötigt. Die Temperatur ist sogar ohne Beheizung über den Sollwert von 27 °C gestiegen. Ein Phänomen, das einige Irritationen verursacht hat. Dies war zu einem großen Teil der geringen Verdunstungswärme geschuldet. Das Becken wird durch die Beckenwasserpumpen, die Personen, einen Anteil Wärme aus Abgaswärmetauschern und insbesondere durch die Strahlung der Umschließungsflächen geheizt.

In weiteren Projekten konnte bestätigt werden, dass der Wärmeverbrauch immer deutlich reduziert wurde; eine Beckenwassertemperaturerhöhung über den Sollwert mit den weiterentwickelten Betriebsweisen trat nicht mehr auf.

Die Ventilatorleistung stellte sich im Betrieb bei geringer und mittlerer Besucherbelastung unter $P = 2 \text{ kW}$ ein (30 % Volumenstrom, $P = 17 \%$ von $P_{\text{Nenn}} = 12 \text{ kW}$, Summe beider Achsen) – ein schöner Nebeneffekt.

Werden die Schadstoffe sicher abgeführt?

Mit der Schichtung und unteren Ab-saugung soll der Aufenthaltsbereich

frei von Schadstoffen gehalten werden. Aber was bedeutet dies für die Luftschicht über dem Wasser? Werden die Badegäste einer erhöhten Konzentration von Chlor-Abbauprodukten ausgesetzt? Ist der Luftwechsel durch das Absaugen an einer Stelle ausreichend, um die Schadstoffkonzentration gering zu halten? Rechnerisch werden wir dies im Verlauf des Artikels noch nachweisen.

Um die Schadstoffabfuhr in der Praxis nachzuweisen, wurden im Hallenbad Niederheid THM-Messungen durchgeführt. Dies ist aufwändig und sollte von spezialisierten und unabhängigen Laboren durchgeführt werden. Daher wurde das Bad in die THM-Messreihe verschiedener Bäder im Rahmen einer Studie der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), „Passivhaus-Konzept für Hallenbäder“, an der wir mitgearbeitet haben, aufgenommen. Die Beckenwasserqualität als Emitent wurde in allen untersuchten Bädern miterfasst und bewertet.

Die Schadstoffkonzentration in der Luft war in Niederheid insgesamt sehr niedrig. Wie zu erwarten, waren die Konzentrationen in der Aufenthaltszone durch die Luftführung abwärts deutlich niedriger als in Bodennähe. Typische Messwerte bei Badebetrieb waren:

- in einer Höhe von 20 cm über Wasser: 21 bis 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ THM und
- in einer Höhe von 1,5 m: 5 bis 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ THM.

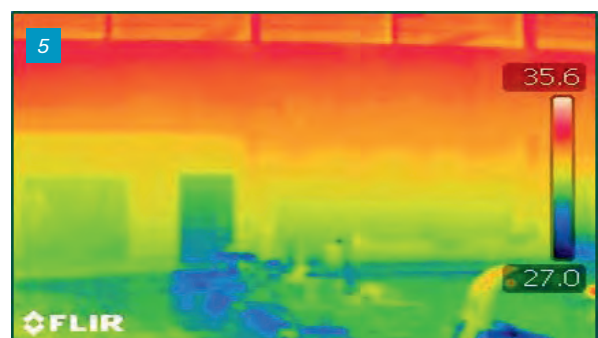
Insgesamt waren die Werte niedriger als in Vergleichsbädern. Die THM sind hier als Indikator zu sehen, stellvertretend für alle Schadstoffe an der Wasseroberfläche und auch für Aerosole mit Coronaviren. Diese werden ebenfalls effektiv unten abgesaugt und mit der Abluft entfernt.

Soweit die Erfolgsmeldungen dieser Anlage, die uns selbst überrascht haben. Jetzt kommen die ersten „Niederlagen“ bzw. einzuhaltenden Randbedingungen.

Unterlaufen der Raumluftrömung

Einige Schwimmmeister:innen sind es gewohnt, im Schwimmraum die Tür zur Umkleidekabine aufstehen zu lassen. Steht zusätzlich die Tür zur Halle auf, strömt aus der Umkleidekabine „kühlere“ Luft in die Schwimmhalle. Dadurch wird die Schichtung in der Schwimmhalle „unterlaufen“. Die kalte Luft sortiert sich nach ihrer Dichte ein und fließt zwischen Wasseroberfläche und Hallenluftströmung – mit der Wirkung, dass der Bereich „kaltfeuchter“ Luft in die Aufenthaltszone angehoben wird, z. B. 28° C, 80 %, bis

→ 5 | Unterlaufen der Raumluftrömung im Infrarotbild





6 | Schichtung wird durch Zuluft vor der Fassade angesaugt.

Aufrechterhaltung der Schichtung in Bodennähe (Höhe: 0,5 bis 0,7 m). Eine Strahlung von der Decke zum Boden führt zu einem Wärmetransport zum Boden und ans Becken.

in 2 m Höhe. Mit der Feuchte erhöht sich auch die Schadstoffkonzentration in der Aufenthaltszone. Es folgten Beschwerden, dass die Luft zu feucht ist. Nach Schließung der Tür zu den Nebenräumen fällt die Feuchte im Aufenthaltsbereich wieder innerhalb weniger Minuten. Das Ergebnis war gut reproduzierbar.

Das „Unterlaufen“ der Hallenluftströmung tritt aber ebenfalls in Schwimmhallen mit konventioneller Luftführung auf (siehe Abbildungen 3 und 4 im Artikel von Stefan Mersmann auf Seite 208). Auch hier wird eine Übertemperatur von 2 bis 4 °C angestrebt, um eine Schichtung über dem Becken zu erhalten. Da nicht gezielt unten angesaugt wird, kann es wesentlich länger dauern, bis sich das kalt-feuchte Polster auflöst. Das Phänomen der unterlaufenen Raumluftrömung ist im Zusammenhang mit Undichte an Ausschwimmkanälen oder dem Kaltlufteinfluss durch Röhrenrutschen weit verbreitet.

Strahlungsasymmetrie

In Niederheid gab es Beschwerden bezüglich der Raumklimaqualität, die nicht durch die Raumfeuchte oder -temperatur erklärt werden konnten. Thermographieaufnahmen zeigten eine starke Strahlungsasymmetrie. An der Decke herrschten sehr viel höhere Temperaturen als im Aufenthaltsbereich. Die entstehende Wärmestrahlung von der Decke führte zu den Befind-

lichkeitsstörungen. Die hohen Temperaturen sind wie folgt entstanden:

Es wurde zunächst nur der induktionsarme Auslass über den Deckensegeln benutzt, quasi als Quellluftauslass an der Decke. Wie oben berichtet, war der notwendige Volumenstrom nur bei 20 bzw. 30 %.

Im Heizfall muss mit der Zuluft auch die für den Raum notwendige Wärme eingebracht werden. Sinkt der Volumenstrom, wird dies von der Regelung durch höhere Zulufttemperaturen kompensiert. Der vergleichsweise sehr geringe Volumenstrom führte zu hohen Zulufttemperaturen. Später werden wir diese Vorgänge rechnerisch nachvollziehen.

Die Luftführung direkt unter der Decke ohne induktive Vermischung mit der Raumluftrömung führte zu einer hohen Lufttemperatur im Deckenbereich. Die Decke nahm diese Temperatur an und gab zu viel Wärmestrahlung an den Aufenthaltsbereich und die Becken ab.

Die erste Annahme, im Heizfall erhöhe sich die Temperaturdifferenz und es werde einfacher, in der ganzen Halle eine raumhohe Schichtlüftung zu erzeugen, ist richtig. Sie scheitert jedoch an der Strahlungsasymmetrie.

Eine raumhohe Schichtung ist, wie sich in den weiteren Versuchen zeigte, auch nicht notwendig. Wichtig ist die

Eine Übertemperatur der Decke durch die Zuluft sollte daher so weit wie möglich vermieden werden.

Die Zuluft sollte auf halber Höhe mit mäßigem Impuls oder alternativ vor dem Fenster, oberhalb der Sitzfläche, eingebracht werden.

Schichtung im Sommerfall

Es stellte sich die Frage, ob im Sommer ohne Heizwärmebedarf die Schichtlüftung aufrechterhalten werden kann. Hier stellen sich in der Praxis keine Probleme ein. Die Schichtung betrifft auch nur den Bereich direkt über der Wasseroberfläche (Höhe: 0,5 bis 0,7 m). Darüber ist die Raumtemperatur > 2 °C über Beckenwassertemperatur einzuhalten. Wie diese Temperatur gehalten wird, ob über Heizung oder über Außenluft, ist für die Schichtung ohne Einfluss. Steigt die Raumluftrömung über den Sollwert, wird die Schichtung noch verstärkt und stabilisiert. Die Luftführung abwärts ist daher unabhängig von Außentemperaturen und dem Heizwärmebedarf.

Schichtung bei direkter Sonneneinstrahlung auf den Beckenumgang

Wir hatten auch Bedenken, dass die Schichtung durch direkte Sonneneinstrahlung zerstört werden könnte. Die Strahlungsdichte ist mit $Q_{\text{Sonne}} = 50$ bis 400 W/m^2 THM deutlich höher als die sonstigen, unten aufgeführten Wärmeströme. Schon vor den Praxisversuchen war klar, dass die Strah-

lung ins Wasser unkritisch ist, da eine Temperaturerhöhung der Beckenwasserfläche durch die Beckenströmung verhindert wird.

Anders sieht es aus, wenn die Sonneneinstrahlung den Beckenumgang erwärmt. Hier war zu befürchten, dass die über dem Beckenumgang aufsteigende erwärmte Luft die Schichtung zerstört. Dies wurde jedoch nicht beobachtet.

Es gibt es viele Faktoren, die die Oberflächentemperatur begrenzen, sodass der aufsteigende Konvektionsstrom moderat ausfiel:

- Reflektion an der Verglasung bei hohem Sonnenstand
- Schräger Einfallswinkel auf den Boden bei niedrigem Sonnenstand
- Wärmespeicherung des Bodens
- Verdunstung von Laufwasser

Entscheidender ist jedoch, dass die aufsteigende Strömung zwar aus der Schichtung Luft „absaugt“, diese dadurch jedoch nicht zerstört wird. Es wird so Feuchte aus der Schichtung nach oben in die Raumluftrömung über der Schichtung abgegeben und kann nicht gezielt abgeführt werden. Die „Bremsse der Verdunstung“ funktioniert jedoch weiter.

Gleiches wurde auch bei bodengleichen Zuluftgittern beobachtet, die vor der Fassade nach oben blasen. Der Induktionsstrom ist so stark, dass auch aus dem Aufenthaltsbereich „runtergesaugt“ wird. Natürlich wird auch die Schichtung stark abgesaugt, bleibt jedoch erhalten. Die Schichtung zeigte sich also deutlich robuster als angenommen.

Schichtung bei konventioneller Raumluftrömung

Die Luftschichtung entsteht nicht nur bei der Luftführung abwärts, sondern häufig auch bei konventionellen Luftführungen in Schwimmhallen. Dass der Verdunstungswärmebedarf bei steigender Hallenlufttemperatur deutlich sinkt, wurde schon sehr früh erkannt, ohne den Wirkmechanismus genauer zu beschreiben. Die Empfehlung für die Lufttemperatur in der VDI 2089 „Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern“ lautete bereits 1970: 2 bis 4 °C über Beckenwassertemperatur Übertemperatur. Dies deckt sich zu 100 % mit unseren Ergebnissen aus den Nebelversuchen und den vorgenannten Werten.

Voraussetzung ist, dass die Schichtung über dem Becken nicht „weggeblasen“ wird. Bei der Standardvariante „Lüftungsgitter unten an der Fassade“ ist häufig eine Schichtung festzustellen, wenn nicht mit dem vollen Volumenstrom betrieben wird (siehe Teil 1, AB 10/2020, Seite 704 ff.). Die Grenzschicht wird auch abgesaugt, hier jedoch durch die Induktionswirkung des nach oben gerichteten Zuluftstrahls. Auch wenn die Zuluft bodennah angeordnet ist, kann sich eine Schichtung ausbilden (siehe Abbildung 6).

Die konventionelle Luftführung mit ausgebildeter Schichtung hat schon sehr viele Elemente der Luftführung abwärts. Diese ist quasi nur eine Weiterentwicklung der konventionellen Luftführung, die versucht, folgende Nachteile zu kompensieren:

GRANUDOS

Beste Wasserqualität mit Calciumhypochlorit

Dosiersysteme für Chlorgranulat und Säure

- Rückstandsfreie Chlordosierung ohne Verstopfungen
- Geringster Eintrag von Desinfektionsnebenprodukten (Chlorate)
- Geringer Wartungsaufwand
- Geringes Gefahrenpotenzial
- Optional mit Mess- und Regetechnik für freies Chlor, pH-Wert, Redoxspannung und Temperatur



Werner Dosiertechnik
The better solution.

WDT Werner Dosiertechnik GmbH & Co. KG
Hettlinger Straße 17 | 86637 Wertingen
Tel. +49 (0) 8272 98697-0
www.werner-dosierttechnik.de

In der Variante mit der Abluft nur an der Decke werden Feuchte und Schadstoffe aus der Grenzschicht in die Raumluft eingemischt anstatt gezielt abgeführt zu werden. Der notwendige Volumenstrom, um die Feuchte zu halten, ist deutlich höher. Wenn die Grenzschicht nicht ausreichend abgesaugt wird, kann die feuchte Schicht anwachsen und feuchte Bereiche in der Halle ausbilden. Dies ist häufig auf der der Fassade abgewandten Seite der Fall. Um dies zu vermeiden, wird die Anlage dann häufig mit maximalem Volumenstrom betrieben. Die Feuchtere-gelung arbeitet nur über die Außen-/Umluftklappen. Es stellt sich 100 % Volumenstrom mit hohem Umluftanteil ein. Dies führt nicht nur zu sehr hohen Stromverbräuchen für die Ventilatoren, sondern auch zu deutlich höheren Luftgeschwindigkeiten an der Wasseroberfläche. Der Verdunstungswärmebedarf steigt entsprechend an. Auch wird es schwierig, die behaglichen Luftgeschwindigkeiten einzuhalten. Der allgemein übliche, in dem aktuellen Entwurf der VDI 2089 übernommene Wert von $V < 0,2$ m/s wird dann häufig deutlich überschritten. Details zum Thema Raumluft-

strömung und Behaglichkeit sind in der „DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung“³⁾ erläutert.

Berechnungen zu den Wärme- und Stoffströmen

Im Folgenden wird versucht, durch eine Abschätzung der Wärme- und Stoffströme die physikalischen Vorgänge bei der Luftführung in Schwimmhallen zu durchleuchten. Der Schwerpunkt liegt auf der Schichtung in Beckennähe. Alle Berechnungen werden anhand einer Standard-Schwimmbad mit Schwimmerbecken 25,0 x 12,5 m, Wassertemperatur 28 °C und Raumluftzustand 30 °C, 50 % gewählt. Als Vorlage diente das Hallenbad Baesweiler.

Werden die Schadstoffe sicher abgeführt?

Oben hatten wir schon über die Messung der Luftschadstoffe im Hallenbad Niederheid berichtet. Die sehr niedrigen THM-Werte im Aufenthaltsbereich sind leicht zu erklären: Die Schichtung abwärts führt die Schadstoffe unten ab, bevor sie die Raumluftströmung erreichen. Es konnte jedoch nicht ausgeschlossen werden,

dass durch die Luftführung abwärts die Luftschadstoffe in der Luftschichtung über der Beckenwasseroberfläche „eingeschlossen“ sowie angereichert werden und so die Badenden belasten. Bei den Messungen wurden auch über der Beckenwasseroberfläche keine erhöhten Werte festgestellt. Ein relativ geringer Volumenstrom führt, aufgrund der geringen Schichtdicken, zu hohen Luftwechselraten.

Der Luftvolumenstrom nach VDI 2089 erzeugt einen Luftwechsel von ca. $n = 6/h$ (Schwimmerbecken). Um auch entsprechend der Schichtungszone diesen Luftwechsel zu erreichen, ergibt sich für das 25-x-12,5-m-Becken und eine Schichthöhe von 0,7 m folgender notwendiger Volumenstrom:

$$1\,300\text{ m}^3/h = 312\text{m}^2 \times 0,7\text{m} \times 6/h$$

Bei einem Strömungsquerschnitt von $B = 12,5$ m, $H = 0,7$ m ergibt sich eine notwendige Strömungsgeschwindigkeit von nur $V = 0,04$ m/s.

Dieses Rechenbeispiel zeigt, dass eine Konzentration der Schadstoffe auch an der Beckenoberfläche nicht zu erwarten ist. Erfahrungen zeigen, dass



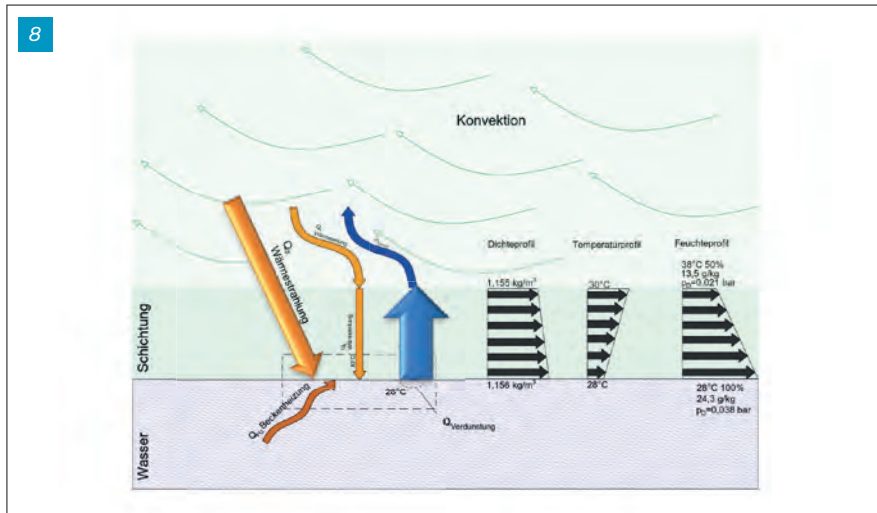
Auch im Lockdown zuverlässig in der Wartung.

Klar sind wir.

Seit über 45 Jahren sorgen wir für Klarheit.

Wir beraten Sie gerne über unsere Dienstleistungen im Bäderbereich. Infos zu Filtersanierung, Betriebsoptimierung, Ultraschalldurchflussmessungen und mehr erhalten Sie unter: info@flamingo-group.de


Flamingo
Company Group



In der Wärmebilanz enthalten sind – neben den Wärmeflüssen über die Gebäudehülle, also direkten Verlusten, – auch gebäudeinterne Wärmeflüsse wie die Wärmeabgabe an die Nebenräume und die Wärmemenge, die an das Schwimmbeckenwasser und den Beckenumgang abgegeben wird.

Fazit: Der für die Heizung notwendige Volumenstrom beträgt nur maximal 25 % vom Nennvolumenstrom. Für die Nichtschwimmerhalle liegt der Wert bei 12 %. Die Heizwärmemenge kann die Lüftung auch übertragen, wenn der Volumenstrom für die Entfeuchtung deutlich reduziert wird.

Maximale Zulufttemperatur

Die eingebrachte Wärmemenge wird durch den Volumenstrom und die Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Abluft bestimmt. Die Ablufttemperatur ist hier im Beispiel Raumtemperatur 30 °C. Für die Zulufttemperatur wird vorstehende Volumenstromberechnung mit max. 50 °C angesetzt. Häufig werden von Anlagenherstellern nur 45 °C vorgesehen. Es wird jedoch übersehen, dass es eine Besonderheit der Schwimmbadlüftungsgeräte ist, dass besonders hohe Zulufttemperaturen notwendig sind, da die Raumtempe-

ratur auch um 10 °C höher ist als in Standardanwendungen. Nicht ohne Grund ist bei Schwimmhallenlüftungsgeräten der Lufterhitzer hinter den Ventilatoren angeordnet. Sonst würden die Ventilatoren den Temperaturen nicht standhalten. Auch alle Kanaleinbauteile einer Schwimmhallen-Zuluft sollten für das höhere Temperaturniveau geeignet sein.

Betrachtet man die Temperaturdifferenzen bei Zulufttemperatur

$$45\text{ °C } dT = 45 - 30\text{ °C} = 15\text{ °C}$$

und Zulufttemperatur

$$50\text{ °C } dT = 50 - 30\text{ °C} = 20\text{ °C},$$

so kann bei Zulufttemperatur 50 °C ca. ein Drittel mehr Wärme transportiert werden. Andersherum betrachtet ist der notwendige Volumenstrom bei 50 °C ca. ein Drittel niedriger. Eine Zulufttemperatur von 45 °C ist im Standardfall auch ausreichend. Bei der Luftführung abwärts fällt der notwendige Volumenstrom deutlich niedriger aus, sodass die Zulufttemperatur mit 45 °C eine Einschränkung darstellen würde. Für die Luftführung abwärts sollte daher die Zulufttemperatur mit maximal 50 °C eingestellt werden.

Was ist zum Erhalt der Schichtung notwendig?

Die Schichtung lebt von der Erhaltung des Temperaturgradienten. Würden wir die Raumluftströmung gedanklich anhalten, würde Folgendes in der Grenzschicht eintreten: Durch die Wärmeleitung würde sich die Temperatur der Luft nach oben hin abkühlen. Allerdings würde dieser Prozess sehr langsam ablaufen, da es sich um eine stehende Luftschicht mit entsprechend geringer Wärmeleitung handelt.

Gleichzeitig würde der Wasserdampf von der Wasseroberfläche in die höheren Luftschichten diffundieren. Ebenfalls sehr langsam, analog zum Wärmetransport. Die Grenzschicht würde also anwachsen. Die Schichtung ist daher kein statischer, sondern ein dynamischer Prozess. Um die Schichtung ruhend stabil zu halten, müssen von oben der notwendige Wärmestrom zugeführt und der nach oben diffundierte Wasserdampf abgeführt werden. Dies erfolgt durch die Raumluftströmung.

Ideal wäre die flächige Absaugung der Grenzschicht nach unten, analog zur Absaugung von Grenzschichten zur Aufrechterhaltung laminarer Strömungen. Die nahezu stehende Luftschicht hätte extrem niedrige Wärme- und Stoffströme. Der Wasserdampf würde gegen die Diffusionsrichtung mit hoher Konzentration, d. h. mit hoher Effektivität, abgesaugt. Nur leider können wir keine Löcher ins Wasser bohren und die Luft nach unten absaugen. Man kann höchstens umlaufend an der Rinne absaugen. Statt flächig nach unten abzusaugen, ist es jedoch ausreichend, die Schicht hori-

zontal an einem tiefen Punkt abziehen. Die Schichtung fließt „wie Wasser“ zu diesem Punkt. Die Nachspeisung erfolgt flächig von oben mit der notwendigen warmen und trockenen Luft.

Wie viel Störimpuls verträgt eine Schichtung?

Es gibt verschiedene Gründe, warum sich eine Schicht auflösen kann:

- zu viel Impuls nach unten
- zu viel „Induktion“, sodass die Luft der Schicht von oben weggesaugt wird
- zu viel Abluft unten, sodass die Schicht durch den Auslass abgesaugt wird

Da aber die Luftmenge vorgegeben ist, ist es gut, eine Abluft in der Raumluft oberhalb der Schichtung und eine weitere unten in der Schichtung zu haben. Dann kann man das gut steuern.

Eine Vielzahl von durchgeführten Nebeltests hat gezeigt, dass die Schichtung stabil genug ist, um dem Eindringen dynamischer Raumluftströmung bis zu einem gewissen Punkt zu widerstehen. Steigen die Raumluftgeschwindigkeiten an, wird die Schichtung zerstört. Dann wiederum werden sehr viel größere Luftströmungen für die Entfeuchtung notwendig. Mehrere Betriebszustände sind daher möglich: Es kommt vor, dass eine Anlage auf Vollast läuft und sich nach dem Ausschalten und kontrollierten Hochfahren auf sehr viel niedrigerem Niveau einpendelt.

Eine quantitative Aussage zu zulässigen Raumluftgeschwindigkeiten und zur Auslegung der Zuluftführung muss durch weiterführende Untersuchungen ermittelt werden. Berechnungen aus dem Dichteunterschied lassen vermuten, dass die zulässige maximale Raumluft-Geschwindigkeit in der Größenordnung von 0,15 m/s liegt.

Bilanz Wärme- und Stoffströme an der Wasseroberfläche

Da die Raumlufttemperatur zur Aufrechterhaltung der Schichtung mindestens 2 °C höher sein muss als die Beckenwassertemperatur, gibt es eine kontinuierliche Wärmeabgabe an das Wasser. Vereinfacht wird hier ein linearer Gradient der Feuchte und Temperatur in der Luftschicht über der Wasseroberfläche angenommen.

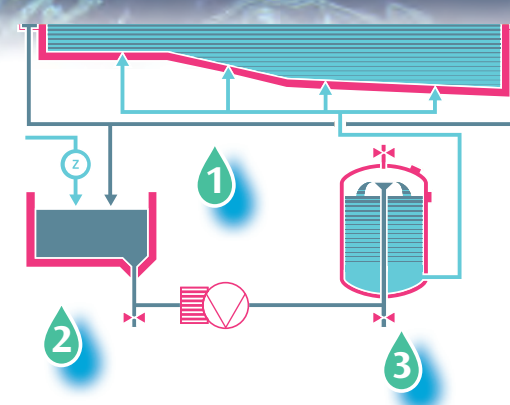
Da die Wärmemenge in der Regel niedriger sein wird als die an der Wasseroberfläche auftretende Verdunstungswärmemenge, ist diese Wärmemenge nicht verloren, sondern unterstützt die Beheizung des Beckens. Die Wassertemperatur wird durch die Beckenwasserheizung konstant gehalten. Bei der Veränderung der Raumluftströmung brauchen wir nicht separat nachzuregeln. Dennoch soll eine quantitative Abschätzung erfolgen, um ein Gefühl für die Vorgänge in der Grenzschicht der Wasseroberfläche zu bekommen. Die Wärmebilanz (siehe Abbildung 8) an der Wasseroberfläche ist:

$$Q_{\text{Verdunstung}} - (Q_{\text{Strahlung}} + Q_{\text{Konvektion}}) = Q_{\text{Heizung}}$$

Q_{Heizung} ist der Wärmestrom vom Becken an die Beckenoberfläche, unabhängig davon, wie die Wärme ins Wasser eingebracht wird. ▶



Wir reinigen und desinfizieren professionell.



Vorbeugend oder im Fall einer Verkeimung sollten Sie uns als Profis beauftragen:

- 1 Rohrleitungssystem:**
Wir desinfizieren den kompletten Wasserkreislauf.
- 2 Wasserspeicher:**
Wir reinigen und desinfizieren wirksam gemäß DIN 19643-1.
- 3 Filtermaterial:**
Wir beseitigen organische Substanzen.

dp Wasseraufbereitung Poschen GmbH

Obenketzberg 7 · 42653 Solingen
Telefon 02 12/38 08 58 15

info@dp-wasseraufbereitung.de
www.dp-wasseraufbereitung.de

zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001



Q – Verdunstung, latente Wärme

Für die Berechnung der Verdunstung an der Wasseroberfläche gibt es mehrere Ansätze, die in der ASHRAE-Studie¹⁾ zusammengefasst wurden. Alle Ansätze basieren auf dem Dampfdruck-Unterschied zwischen Wasseroberfläche und Raumluft. Sie unterscheiden sich durch Formelansätze und empirische Evaluierung. In Deutschland hat sich, neben der Berechnung nach Karl Biasin²⁾, die Berechnung nach VDI 2089 durchgesetzt:

$$\dot{M}_{D,B,u/b} = \frac{\beta_{u/b}}{R_D \cdot \bar{T}} (\rho_{D,W} - \rho_{D,L}) A_B$$

Die Verdunstungsfaktoren β_0 wurden empirisch ermittelt. Sie sind auf die Beckenwasserfläche bezogen und enthalten auch die Verdunstung in der Rinne sowie vom Schleppwasser auf dem Beckenumgang.

Die Verdunstung liegt nach VDI 2089 je nach Nutzung zwischen ca. 80 und ca. 550 g/m²h. Dies entspricht einem Verdampfungswärmefluss von 50 bis 340 W/m². Die Verdunstungswärme bei ca. 28 °C ist für Wasser 2430 kJ/kg entsprechend 0,675 kWh/kg.

Verdunstung an stehender Luftschicht

Für eine stehende Luftschicht ist die Berechnung der Dampfdiffusion gut bekannt und kann daher als ein gesicherter Vergleichswert betrachtet werden. Eine stehende Luftschicht mit einer Dicke von 2 cm und den Randbedingungen unseres Bad-Beispiels (Wassertemperatur 28 °C, Luft 30 °C, relative Luftfeuchte 50 %) hat eine Verdunstung von 63 g/m²h zur Folge. Die entsprechende Verdunstungswärme ist 42 W/m². Dieser

2	\dot{M}_G	an der Wasseroberfläche austretender Gasmassenstrom	kg/h
	$p_{D,L}$	Wasserdampfpartialdruck in der Schwimmhallenluft	Pa
	$p_{D,W}$	Sättigungsdampfdruck bei gegebener Wassertemperatur	Pa
	R_D	Spezifische Gaskonstante für Wasserdampf	461,52 J/kg K
	t_o	Oberflächentemperatur	°C
	t_w	Wassertemperatur	°C
	t_r	Raumlufttemperatur	°C
	\bar{T}	arithmetisches Mittel von Wasser- und Lufttemperatur	°C
	β_0	Wasserübergangskoeffizient für benutztes Becken ohne Wasserattraktionen	m/h

3		Wasserübergangskoeffizient	
	Becken	unbenutztes Becken β_u in m/h	benutztes Becken β_b in m/h
	Becken mit abgedeckter Wasseroberfläche	0,7	-
	Hallenbad, Wassertiefe < 1,35 m	7	28
	Hallenbad, Wassertiefe > 1,35 m	7	40
	Wellenbecken bei Wellenbetrieb	7	50
	Rutschen und Rutschauffangbecken, Wildwasserkanal	-	50



Tabelle 2: Quelle: VDI 2089

Tabelle 3: Werte für den Wasserübergangskoeffizienten

Wert entspricht etwa den Angaben der VDI 2089 im Ruhebetrieb, wenn man berücksichtigt, dass bei der VDI die Verdunstung der Rinne enthalten ist. Würde es gelingen, eine stehende Luftschicht von 4 cm zu erreichen, würde sich die Verdunstung halbieren.

Q – Konvektion

Beim konvektivem Wärmestrom ist die Wärmeübertragung von der Luft an das Wasser gemeint, der im Wesentlichen durch Luftkonvektion erfolgt, aber auch kleine Anteile von Wärmeleitung beinhaltet.

Die Konvektion hängt, wie der Stoffübergang (Verdunstung), von den

Strömungsverhältnissen an der Wasseroberfläche ab. Höherer Wärmeübergang beinhaltet daher auch höhere Verdunstung. Die Abhängigkeit ist proportional. Bekannt als „das Prinzip der Analogie von Stoff- und Wärmeaustausch“. Dieses Wissen hilft bei der Einschätzung der Verdunstung. Oft ist der Wärmeübergang besser bekannt als der Wasserdampftransport. Der Wasserdampftransport kann dann aus dem Wärmeübergang ermittelt werden.

Die stehende Luftschicht kann durch die Temperaturschichtung an der Wasseroberfläche entstehen. Eine rein stehende Luftschicht über einer Wasserfläche ohne jegliche hori-

zontale Bewegung haben wir in der Praxis nicht beobachtet. Hier wird die stehende Luftschicht als Grenzwert ohne den Strahlungsanteil betrachtet. Die „Wärmedämmeigenschaften“ einer stehenden Luftschicht horizontal von oben nach unten sind sehr gut (besser als PU Schaum):

$$\lambda_{\text{Luft}} = 0,0262 \text{ W}/(\text{°K} \times \text{m}).$$

Z. B. Luftschicht von 5 cm führt zu

$$U = 0,5 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ °C } Q_{\text{Konvektion}} \text{ min} \\ = (30 - 28 \text{ °C}) 0,5 \text{ W}/\text{m}^2 = 1 \text{ W}/\text{m}^2$$

Mit steigende Luftgeschwindigkeit erhöht sich der Wärmeübergang auf

$$U = 3 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ °C } Q_{\text{Konvektion}} \text{ min} = 6 \text{ W}/\text{m}^2$$

Der Wärmeübergang von der Luft an Wasser spielt also eine untergeordnete Rolle.

Q – Strahlung

Für den Strahlungsaustausch mit der Beckenoberfläche ist die Temperatur der Raumumschließungsflächen maßgebend. Die Decken bilden hierbei den größten Anteil.

Wasser ist für Strahlung im sichtbaren Frequenzbereich bekanntlich transparent. Im Frequenzbereich der Wärmestrahlung ist Wasser jedoch „schwarz“. Der Absorptionskoeffizient (= Emissionskoeffizient) von einer Wasseroberfläche ist mit > 97 % sehr hoch. Für den Absorptionskoeffizienten der Umschließungsflächen wird 0,94 angesetzt.

Der Strahlungsaustausch ist proportional zu T⁴, und damit entwickelt er sich ordentlich dynamisch. Bezugs-

punkt ist jedoch der absolute Nullpunkt (T in Kelvin). Mit ausreichender Genauigkeit kann der Strahlungsaustausch in der Nähe von 30 °C linearisiert werden:

$$U_{\text{Strahlung}} = 5,8 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ °C } Q_{\text{Strahlung}} \\ = 5,8 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K } (T_{\text{Raum}} - T_{\text{Wasser}})$$

Die Strahlungsleistung von der Decke ist stark abhängig davon, inwieweit die Zuluft die Deckentemperatur beeinflusst. Dieser Einfluss kann sehr unterschiedlich ausfallen und reicht von leichter Übertemperatur über der Raumtemperatur:

$$Q_{\text{Strahlung, min}} = 5,8 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K } (31 \text{ °C} - 28 \text{ °C}) \\ = 17,4 \text{ W}/\text{m}^2$$

bis hin zu starken Zuluft-Einfluss mit:

$$Q_{\text{Strahlung, max}} = 5,8 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K } (38 \text{ °C} - 28 \text{ °C}) \\ = 58 \text{ W}/\text{m}^2$$

Diese Wärmestrahlung kann bei geringer Beckenwasserverdunstung (guter Schichtung) Q_{Verdunstung} übersteigen, d. h. die Wassertemperatur steigt.

Die Strahlung wurde allerdings als unangenehm wahrgenommen (Strahlungsasymmetrie) und muss vermieden werden. Hinweise zur Befindlichkeit und Strahlungsasymmetrie werden in der DIN EN ISO 7730 „Ergonomie der thermischen Umgebung“³⁾ gegeben. Hier wird die erhöhte Strahlung von der Decke auch deutlich kritischer bewertet als z. B. erhöhte Strahlung von den Wandflächen.

Fazit Wärme- und Stoffströme


Auch wenn die Wärme- und Stoffströme nicht exakt berechnet wurden, gibt die Auseinandersetzung mit den

Gesetzmäßigkeiten doch einen guten Eindruck von dem Geschehen an der Wasseroberfläche.

Allgemein zu wenig beachtet wird der Einfluss der Wärmestrahlung, die bei den Wärmeflüssen in der Schwimmhalle dominant werden kann und fast immer größer ist als die Wärmeübertragung durch Konvektion an die Raumflächen. Auch die Unterschreitung von Taupunkttemperaturen an der Hüllfläche müsste diesbezüglich noch einmal betrachtet werden.

Zur Aufrechterhaltung der Temperaturschichtung sind geringe Wärmemengen notwendig, die in die Beheizung des Beckens eingehen und deutlich unter der Verdunstungswärme liegen. Verdunstungs- und Wärmeübergang sind aufgrund ähnlicher physikalischer Vorgänge aneinander gekoppelt und entwickeln sich proportional zueinander. Die Verdunstung ist stark von der Luftgeschwindigkeit in der Nähe der Beckenoberfläche abhängig.

Mehrere Becken-Temperaturen in einer Schwimmhalle

Werden mehrere Becken in einer Schwimmhalle mit unterschiedlicher Beckentemperatur betrieben, hat man das Problem, dass man für die Raumtemperatur und Luftfeuchte nur einen Wert vorgeben und einhalten kann. Dies ist nicht nur für den Betrieb mit Luftführung abwärts zu beachten. Insbesondere betrifft dies auch separate Schwimmhallen mit großflächigem Raumluftverbund. Stellt man hier unterschiedliche Lufttemperaturen ein, führt dies immer zu „Zugluftproblemen“ durch den starken Luftaustausch. 

4 Standardwerte der Beckentemperaturen	Schwimmerbecken	Lehrbecken	Planschbecken
Temperatur der Becken	28 °C	30 °C	32 °C
Lufttemperatur 2° C+	30 °C	32 °C	34 °C
Lufttemperatur Kompromiss	32 °C (min. 31,5 °C)		
relative und absolute Feuchte, Dampfdruck	48 %, 14,5 g/kg, 0,023 Bar		
Übertemperatur Luft-Wasser	4 °C	2 °C	0 °C

←
Tabelle 4: Raumlufttemperatur bei einer Schwimmhalle mit mehreren Becken

Bei der Luftführung abwärts ist die Vorgabe Lufttemperatur 2 bis 4 °C über Beckenwassertemperatur „systemrelevant“. Wird hier nicht eine Mindest-Übertemperatur eingehalten, funktioniert die Luftschichtung nicht. Die Lüftung funktioniert dann als „normale Luftführung“ ohne Luftschichtung weiter. Die Teilabsaugung in Bodennähe hat für diesen Betriebszustand keine Nachteile. Insofern ist untere Absaugung eine „sichere Sache“ und auch sicherer als die Absaugung nur von oben.

Die Übertemperatur gilt dann eigentlich für das wärmste Becken. Das ist in der Regel das Planschbecken mit z. B. 32 °C. Die geforderte Lufttemperatur wäre dann 34 °C. Diesen Wert für die gesamte Schwimmhalle einzustellen, trifft meist nicht auf Akzeptanz, insbesondere beim Personal. Es wird also einen Kompromiss geben müssen. Zu beachten ist, dass das Schwüle-Empfinden höherer Temperatur durch niedrigere Feuchte kompensiert werden kann. Hier wiederum greift eine der Stärken der Luftführung abwärts: Feuchte an der Grenzschicht wird von der Raumluftfeuchte entkoppelt. Es kann eine niedrige Raumluftfeuchte eingestellt werden, ohne den Energieverbrauch zu erhöhen.

Das Planschbecken hat aufgrund der geringen Fläche auch einen geringen Einfluss auf die gesamte Raumluftströmung und den gesamten Energieverbrauch. Es kann bei der

Kompromissfindung vernachlässigt werden. Zu beachten ist jedoch, dass durch über dem Planschbecken aufsteigende feuchtwarme Konvektions-Luftströme Behaglichkeitsprobleme entstehen können.

Da das Lehrbecken das kleinere Becken ist, könnte man auch hier noch einen Kompromiss machen, sollte aber für die Hallenlufttemperatur nicht unter 31,5 °C, Übertemperatur + 1,5 °C gehen, um die Raumluftströmung abwärts insgesamt nicht zu gefährden.

Auslegung der Lüftungsanlagen

Die Luftströmung abwärts reduziert die durchschnittlichen Volumenströme deutlich. Wie wirkt sich dies auf die Anlagenauslegung aus? Die maximale Luftmenge kann nicht reduziert werden, da diese für den Sommerfall benötigt wird. Bei hohen Luftmengen liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor, dass die Schichtung in diesem Fall erhalten bleibt. Für die Auslegung ist daher der maximale Volumenstrom nach VDI 2089 anzusetzen. Für die energetische Auslegung der Anlage ist jedoch dieser Betriebspunkt so nicht relevant, da es nur wenige Stunden im Jahr sind. Die Anlage muss den maximalen Volumenstrom fördern können. Die hohe Effizienzklasse A+ braucht die Anlage erst bei geringerem Volumenstrom zu erreichen, z. B. bei 80 %.

Der Stromverbrauch von Ventilatoren sinkt mit dem Exponenten ca. 2,6 zum Volumenstrom sehr stark. Da die Anlage die meiste Zeit mit sehr viel niedrigerem Volumenstrom betrieben wird (30 bis 50 % Volumenstrom), sinkt der Stromverbrauch auf 10 %. Diese Einsparung von 90 % ist jedoch nur zu realisieren, wenn bei der Auslegung darauf geachtet wird, dass die Anlage in diesen Betriebspunkten einen sehr guten Wirkungsgrad aufweist. Bei der Auslegung sind insbesondere die Kennlinien der Ventilatoren zu prüfen.

Die Frage, ob die Auslegung bei einer derart großen Einsparung noch wirtschaftlich ist, ist mit einem klaren „Ja“ zu beantworten. Zudem wird die Anlagengröße gegenüber dem derzeitigen Standard nicht vergrößert, sondern lediglich weniger reduziert. Die Investitionskosten gegenüber derzeitigem Stand sinken etwas. Die Auslegung beinhaltet auch die Reserve für eine „nicht ganz so optimale Bauausführung wie geplant“, die in der Realität eintritt. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist auch, dass zusätzlich der Wärmerückgewinnungsgrad bei Teillast steigt.

Man muss man sich daran gewöhnen, dass eine Lüftungsanlage einer Schwimmhalle mit 2 statt mit 20 kWel betrieben werden kann. Letztendlich ist dieses Umdenken notwendig, um die Effizienzsteigerung für die Klimawende 2050 zu erreichen.

Lösung bei Luftführungsproblemen am Beispiel des Freizeitbades Aquana

Bei Schwimmhallen mit Zuluft von oben und Abluft oben treten häufig Luftführungsprobleme auf wie in Teil 1 in der Oktober-Ausgabe bereits beschrieben. So gab es auch im Freizeitbad Aquana Würselen lange Zeit Probleme mit der Luftführung. Die Zuluft wird auf halber Raumhöhe mit Weitwurfdüsen eingebracht. Die Abluft wird am höchsten Punkt entnommen. Erschwerend kommt hinzu, dass eine Röhrenrutsche mit Wasserstrahl-Antrieb installiert ist, die große Mengen feucht-kalter Luft produziert. Dies hat dazu geführt, dass sich im Aufenthaltsbereich feuchte Luft angesammelt hat. Wurden die Zuluftstrahlen nach unten gerichtet, kam es zu starken Zugluft-Erscheinungen im Aufenthaltsbereich. In der Vergangenheit wurde versucht, das Problem mit Erhöhung der – ohnehin schon sehr großen – Ventilatorleistung zu bewältigen. Ohne Erfolg.

Wir haben dann einen Teil der Abluft nach unten verlegt. Hierzu wurde eine Absaugung in der Nähe des Austritts der Rutsche installiert, um die austretenden feuchtkalten Luftmassen zu erfassen. Bei der Regelung der Lüftungsanlage wurde der Volumenstrom an den Entfeuchtungsbedarf gekoppelt.

Ergebnis: Das Feuchte-Polster im Aufenthaltsbereich konnte komplett abgesaugt werden. Es stellte sich ein stabiler Zustand ohne Zugluftprobleme ein. Der Anlagen-Volumenstrom hat sich um 40 % reduziert. Die elektrische Ventilatorleistung wurde um 75 % reduziert. Die analoge Problematik bestand im Bereich des Schwimmerbeckens.

Maßnahmen:

- Die Absaugung wurde an einer Stelle nach unten verzogen.
- Die Feuchte wird im ganzen Raum auf einer Höhe abgezogen.

Komplettsanierung des Hallenbades Meerbusch

Das Hallenbad Meerbusch wurde Ende 2017 nach einer Komplettsanierung wiedereröffnet. Die Architektur wurde vom Planteam Ruhr in Gelsenkirchen ausgeführt, die TGA

Der intelligente Filter aus Deutschland

Tubularer Anschwemmfilter

Kein Platz für neue Sandfilter? Hier die neue Raumsparlösung von WTA. Der Tubulare Anschwemmfilter ist **kleiner, leichter, effizienter und ökologischer**.

Im Vergleich zu einem geschlossenem Schnellfilter sparen Sie:

- 90 % Gesamtgewicht – wichtig für Ihre Gebäudestatik
- 60 % Transportgewicht – wichtig für Ihre Kosten
- 66 % Platzeinsparung – wichtig für Sanierung und Bauablauf
- bis 95% Wassereinsparung (Bedarf für Verdünnung beachten)
- 1µm Trenngrenze – ein Großteil Bakterien wird zurückgehalten
- geringeres Verkeimungsrisiko – Erneuerung des Filterhilfsstoffes wöchentlich nach DIN 19643

Aktuell in den **Größen 30, 60,120 oder 200 m³/h.**

Vom eigentlichen Filter bis zum vollautomatischen Filter-System mit Kamera-Überwachung des Filterbettes, bei Bedarf mit automatischem und staubfreiem Handling des Filterhilfsstoffes, lieferbar.

Rufen Sie uns jetzt an!

T: +49 (0) 37 41 – 55 84 0

M: +49 (0) 151 64 40 08 47

oder finden Sie weitere Informationen hier:



wta-vogtland.de/anschwemmfilter

nach DIN 19624
& DIN 19643



WTA
VOGTLAND
INNOVATIVE WASSERAUFBEREITUNG

www.wta-vogtland.de | info@wta-vogtland.de



9 | Vor der Sanierung im Aquana: Nebel der Zuluft zeigt das hohe Feuchte-Polster

10 | Eine Absaugung unten wurde nachgerüstet (ca. 50 % des Volumenstroms). Die „Schichtgrenze“ wandert bis unterhalb der Absaugung.



von uns geplant. Es handelt sich um ein kommunales Standard-Bad mit einem Kombibecken (25,0 x 12,5 m), einem Lehrschwimmbecken (8,5 x 12,5 m) und einem Planschbecken (50 m²).

Neben der energetisch optimierten Lüftungstechnik inkl. Luftführung abwärts wurde auch die Beckenwassertechnik mit einer besonders energiesparenden Filterkreis-Variante installiert, von der wir gern an anderer Stelle berichten würden. Die Luftführung abwärts haben wir durch Abluft-Teilvolumenstrom unter den Wärmebänken rings ums

Becken und durch ein zentrales, bodennahes Abluftgitter realisiert. Die Zuluft wird durch Weitwurfdüsen auf halber Höhe eingebracht, damit die Decke nicht von der Zuluft-Temperatur erwärmt wird. Die Austrittsgeschwindigkeit wurde niedrig gewählt, um die Schicht an der Beckenwasseroberfläche nicht zu gefährden. Gleichzeitig wollen wir mit der Anlage sehr weit „herunterfahren“ können (30 % Volumenstrom, 10 % Impuls). Um bei dieser geringen Luftmenge die Raumdurchströmung gewährleisten zu können, wurde jeder zweite Auslass einzeln mit motorischen Drosseln abschaltbar ausgestattet. Bei Teillast

kann der Volumenstrom auf weniger Auslässe zu konzentriert werden. In der Praxis war es jedoch ausreichend, auch bei niedrigem Volumenstrom alle Auslässe zu verwenden.

Ergebnis

Die Auswertung des ersten Betriebsjahres zeigte, dass die erreichten Wärmeverbräuche des Bades deutlich niedriger ausgefallen sind, als anhand der Prognosen im Rahmen der Planung zu erwarten war. Hierzu wurde der Wärmebedarf des Bades in die spezifische, auf die Beckenwasserfläche bezogene Statistik der DGfDB (Befragung „Kennzahlen

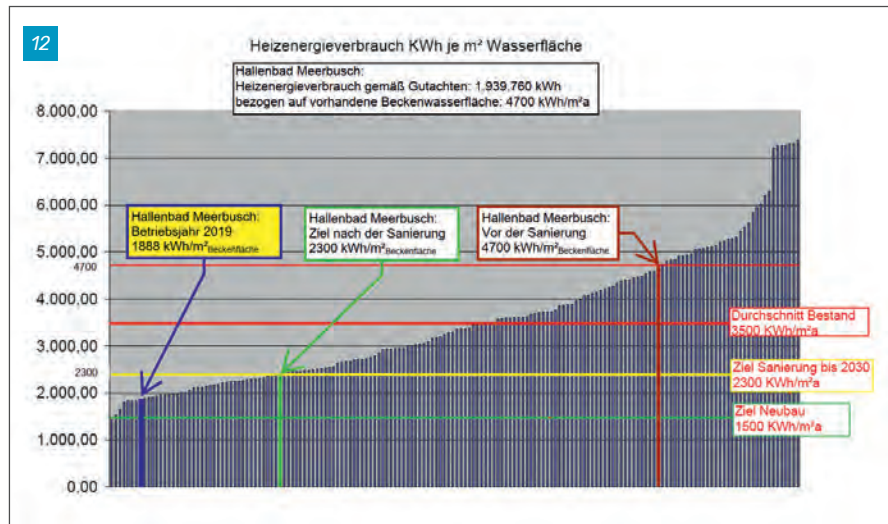


11 | Beispiel Hallenbad Meerbusch: Abluft unter den Wärmebänken

→

12 | Heizenergieverbrauch
KWh je m² Wasserfläche

13 | Stromverbrauch KWh je m² Wasserfläche, Daten: DGfDB-Report „Kennzahlen Schwimmbäder“, Kategorie kommunale Hallenbäder (ca. 400 m² Wasserfläche)



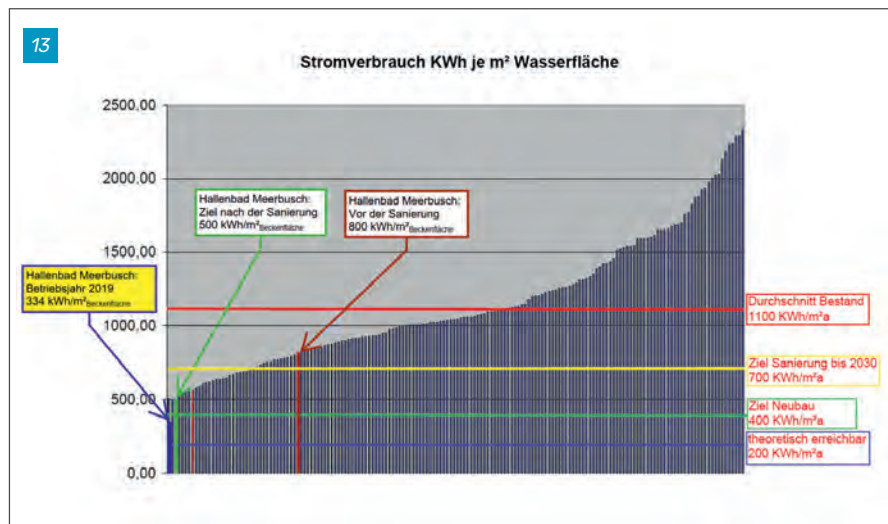
Schwimmbäder“) eingetragen (siehe Abbildung 12).

In dem Wärmeverbrauch des Bades fließen sehr viele Faktoren ein. Die Einsparung ist jedoch so signifikant, dass diese ohne die massive Wirkung der Luftführung abwärts möglich wäre.

Die durchschnittliche elektrische Antriebsleistung für das Schwimmhallenlüftungsgerät (Zuluft und Abluft) betrug nur 2,3 kW. Dies spiegelte sich, zusammen mit anderen Stromeffizienz-Maßnahmen, in dem Gesamtstromverbrauch des Bades wider (siehe Abbildung 13).

Zusammenfassung

Moderne, hoch isolierte Glasfassaden ermöglichen auch neue und effizientere Konzepte der Luftführung in Schwimmhallen. Im vorliegenden Artikel wurde das Konzept einer „Luftführung abwärts“ genauer beleuchtet und es wurden Ausführungshinweise gegeben.



Bei der „Luftführung abwärts“ handelt es sich um eine Misch-Quelllüftung, bei der im oberen Teil der Halle die Luft gut durchmischt wird, während im unteren Teil eine Luftschichtung erhalten bleibt. Durch geeignete Wahl von Luftauslässen und Regeltemperaturen kann eine solche Schichtung auch im Betrieb erreicht werden, wodurch die Verdunstungsverluste des Bades um bis zu 80 % gesenkt werden können. Eine geregelte Abluft in Bodennähe erlaubt es, die Feuchte über dem Becken exakt zu regeln und die Abfuhr von Schadstoffen sicherzustellen. Die Raumluft im Aufenthaltsbereich hat eine geringere Feuchte und Schadstoffkonzentration.

Die Realisierung der Luftführung abwärts erfordert ein gutes Zusammenspiel aller Gewerke. Werden die Anlagen sorgfältig gebaut und in Betrieb genommen, dann lassen sich die Energiekosten eines Bades um bis zu 25 % senken.

Quellen

- ASHRAE Transactions: Methods for calculation of evaporation from swimming pools and other water surfaces, 2014
- Biasin, K. und Krumme, W.: Die Wasserverdunstung in einem Innenschwimmbad. In: Elektrowärme international, Heft 32 (1974); A3, A 115 und A 129
- DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.

