

Hallenbäder

Hohe Energieeffizienz durch Schichtlüftung „Abwärts“

Energieeffizienz ist in Hallenbädern ein großes Thema. Auf kommunaler Ebene ist man sich der Bedeutung des Schwimmsports für Vereine und Schulen sowie für die Freizeitgestaltung bewusst, gleichzeitig stellt der Betrieb eines Hallenbades für Kommunen eine hohe finanzielle Belastung dar. Ein „Weiter so“ ist aufgrund der hohen laufenden Kosten dabei keine Option.



① Luftführung in einem Hallenbad, hier untersucht mit einem Nebelgerät.

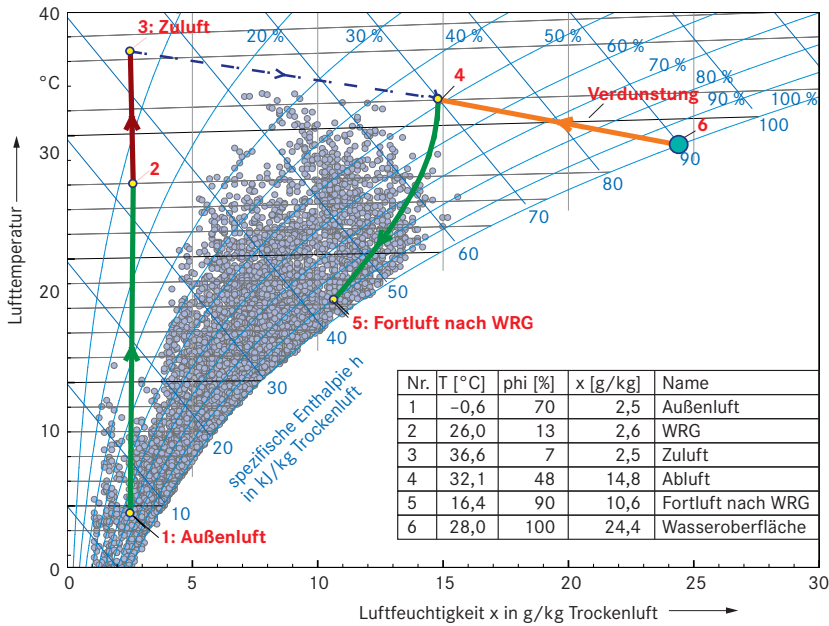
Hallenbäder haben ganzjährig einen hohen Wärme- und Strombedarf. Laut einer Studie der Gesellschaft für das deutsche Badewesen (DGfDB) liegt der Verbrauch von Hallenbädern bis 500 m² Beckenfläche bei durchschnittlichen 3.500 kWh/a bei der Wärme und 1.100 kWh/a je m² Beckenfläche beim Strom. Dies ergibt Energiekosten von ca. 360.000 € pro Jahr für ein durchschnittliches städtisches Bad.¹ Dass es besser gehen kann, zeigt das Hallenbad in Baesweiler, das 2017 umfassend saniert wurde. Das Bad hatte im Jahr 2022 einen Wärmebedarf von 1.750 kWh/m²a und einen Stromverbrauch von 475 kWh/m², benötigte also nur etwa halb so viel wie der Bäderdurchschnitt. Seit der Sanierung werden hier ca. 55 % Energie und Kosten von ca. 200.000 €/a eingespart.

Rezepte für das „energieeffiziente Hallenbad“

Die Zusammenhänge der Energieverbräuche in einem Hallenbad sind komplex, Wasser- und Luftsysteme sind eng gekoppelt. Im Vordergrund des Interesses stehen ein hoher Nutzerkomfort und der Schutz der Gebäudehülle vor Feuchteschäden. Dennoch bieten gerade die hohen Anforderungen Hebel für Einsparungen.

Ein Teil des Erfolges liegt natürlich in einer effizienteren Technik und einer hochwertigen Dämmung der Gebäudehülle. Bei Raumtemperaturen von 32 bis 34 °C sind die Wärmeverluste viel höher als in „nor-

¹ Strompreis 36 ct/kWh, Fernwärmebezug 0,4 ct/kWh, Durchschnittswerte Stand Mitte 2023, Beckenfläche 500 m²



② Mollier h,x-Diagramm, Luftdruck 1.000 hPa: Typische Luftzustände in einem Hallenbad

malen“ Gebäuden, eine Dämmung nach dem Passivhausstandard ist hier kein Luxus, sondern mittlerweile Standard. Auch in der Beckenwassertechnik und Hydraulik des Bades lassen sich hohe Einsparungen durch konsequent niedrige Druckverluste und effiziente Pumpen- und Filtertechnik erzielen. Aber im Zentrum der Effizienzmaßnahmen steht bei Hallenbädern die Raumlufttechnik, und die beeinflusst den Energiebedarf gleich mehrfach:

- Zum Schutz des Gebäudes forderte die bisher gültige VDI 2089 in Schwimmhallen eine Luftfeuchte von maximal $\phi = 64\%$ oder $x = 14,3 \text{ g/kg}$.
- Um die geforderte Feuchte zu halten, sind große Außenluftmengen erforderlich. Typisch sind in Hallenbädern Luftwechselraten von ca. 5/h. Trotz Wärmerückgewinnung wird eine beträchtliche Leistung zur Erwärmung der Zuluft benötigt.
- Durch die Entfeuchtung der Raumluft steigt die Beckenwasserverdunstung (s. u.). Die erhebliche Verdunstungswärme wird dabei dem Wasser entzogen und muss über die Beckenwasserheizung nachgeführt werden.
- Die Verdunstungsenthalpie lässt sich trotz Wärmerückgewinnung nur teilweise aus der Abluft rückgewinnen. Mit der Fortluft geht also viel Energie verloren.

Im Zentrum der Zusammenhänge steht die Beckenwasserverdunstung. Gelingt es, die Verdunstungsraten effektiv zu senken, sinken der Wärmebedarf und die notwendigen Luftmengen zur Entfeuchtung.

VDI 2089 und die Berechnung der Beckenwasserverdunstung

Die Auslegung raumlufttechnischer Anlagen in Schwimmbädern erfolgte bisher nach der VDI 2089, wobei die bisher gültige Fassung vom Januar 2010 der Technik enge Grenzen setzt. Sie macht konkrete



Dr.-Ing. Eckehard Fiedler, Abteilungsleiter Energie- und Raumlufsysteme, I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik GmbH, Aachen



Dipl.-Ing. Jörn Kaluza, Geschäftsführer Inco Ingenieurbüro GmbH, Aachen

Angaben zur Berechnung der notwendigen Luftmengen in einem Hallenbad, die zum Schutz der Gebäude heute aber nicht mehr angemessen sind (14,3 % bei 32 °C $\Rightarrow x < 50\%$):

- Soll-Feuchte $\phi < 64\%$ oder $x_s < 14,3 \text{ g/kg}$
 - Wassertemperatur $T_W = 28\text{ °C}$ (Schwimmbecken), 32 °C (Planschbecken)
 - Lufttemperatur $T_L = 2\text{--}4 \text{ K}$ über Wassertemperatur
- Zur Berechnung der Verdunstung macht die VDI 2089 folgende Angaben:
- Wasserübergangskoeffizienten β
 - ruhendes Bad 7 m/h
 - Bad in Wohnhaus 21 m/h
 - Hallenbad je nach Nutzung 28–50 m/h.

Die zugehörige Berechnung der Beckenwasserverdunstung nach VDI 2089 ist komplex. Eine wesentliche Vereinfachung ergibt sich jedoch durch eine Formel, die der Autor in /5/ veröffentlicht hat:

$$\text{Verdunstung} \quad \dot{m} = \beta \cdot K \cdot \Delta x \left[\frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right]$$

$$K(30\text{ °C}) = 1,1 \text{ kg/m}^3$$

$$K(20\text{ °C}) = 1,16 \text{ kg/m}^3 \quad (1)$$

$$\text{Umrechnung } \alpha \text{ in } \beta \quad \beta = 3,19 \alpha \left[\frac{\text{m}^3 \cdot \text{K}}{\text{W} \cdot \text{h}} \right] \quad (2)$$

α [W/m²K] ist der Wärmeübergangskoeffizient an der Oberfläche. Durch die Umrechnungsformel lassen sich die Wasserübergangskoeffizienten auch zur Berechnung des Wärmeübergangs verwenden. Ein Vergleich mit bekannten empirischen Gleichungen zeigt, dass die Werte der VDI sich noch deutlich unterschreiten lassen: Theoretisch wäre unter idealen Bedingungen ein Wasserübergangskoeffizient von 2,5 m/h erreichbar!

Gleichung (1) zeigt, dass der Feuchteübergang proportional von der Differenz der absoluten Feuchte abhängt. Je höher also die Luftfeuchte, desto niedriger können auch die Verdunstungsraten sein. Aber genau hier setzt die VDI 2089 Grenzen.

Legt man die Werte nach VDI 2089:2010 zugrunde, dann ergeben sich für ein ruhendes Standardbecken von 12,5 m × 25 m folgende Wasserverluste:

$$\text{Feuchtedifferenz} \quad \Delta x = 24,4 \text{ g/kg} - 14,3 \text{ g/kg} = 10,1 \text{ g/kg} \quad (3)$$

$$\text{Verdunstung} \quad \dot{m}_w = 7 \frac{\text{m}}{\text{h}} \cdot 1,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10,1 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 78 \frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

$$\text{Wasserverlust pro Tag} \quad m = 78 \frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \cdot 24 \text{ h} \cdot 312 \text{ m}^2 = 584 \text{ kg}$$

$$\text{Energieverlust} \quad q_{\text{H}_2\text{O}} = 2.257 \text{ kJ/kg} = 0,63 \text{ kWh/kg}$$

$$Q = 330 \text{ kWh}$$

Mehr als 0,5 m³ Wasser geht schon bei ruhendem Becken pro Tag durch die Beckenwasserverdunstung verloren, im Betrieb steigt dieser Verlust um den Faktor 3–7. Dies entspricht einer Energiemenge von 2.200 kWh oder dem Heizwert von 200 l Heizöl pro Tag und Becken!

Einfluss der Luftführung

Der Luftführung wurde in Schwimmbädern in der Vergangenheit wenig Bedeutung zugemessen. Im Vordergrund standen häufig eine ausreichende Luftverteilung, geringe Zugerscheinungen und die Vermeidung von Kondensation an den Fassaden. So etablierten sich einige gängige Systeme, die im Folgenden kurz skizziert werden.

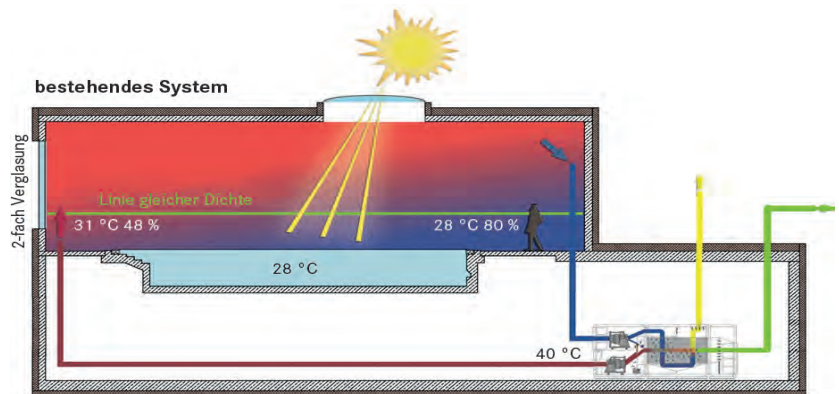
Auslassanordnung Zuluft an der Fassade, Abluft oben

Feuchte Luft ist leichter als trockene. Daher wird warme Luft von unten eingebracht, um die feuchte Luft oben erfassen zu können. Die Warmluft wird vorzugsweise unter den Fenstern ausgebracht, um diese durch einen Warmluftschleier vor Kondensation zu schützen (Bild ③).

Dieses Konzept war höchst sinnvoll, als Fassaden noch schlecht isoliert waren. Andernfalls kam es an den Fassaden nicht nur zur Kondensation, es stellten sich auch Kaltluftströme ein, die für Badegäste höchst unangenehm waren.

Auch heute noch sind die Wärmeverluste an der Fassade höher als an den sonstigen Wänden, die Verhältnisse sind aber nicht vergleichbar. Zum einen sind die Oberflächentemperaturen an der Innenseite der Verglasung nur 1–2 K niedriger als die Lufttemperatur, so dass es nicht zu Kondensation kommt, zum anderen sind auch die Wärmeverluste so gering, dass keine Behaglichkeitseinschränkungen auftreten.

Die von unten aufsteigende Luft sorgt allerdings dafür, dass sich in der Halle keine Schichtung ausbilden kann (Bild ④). Da die „trockene“ Hallenluft



③ Luftführung von unten nach oben

bis nah an die Wasseroberfläche gelangt, sind die Verdunstungsverluste auch bei ruhendem Becken vergleichsweise hoch.

Die fehlende Schichtung sorgt zudem für „merkwürdige“ Effekte in Schwimmhallen: Zwar ist es physikalisch richtig, dass feuchte Luft leichter ist als trockene, allerdings ist der Effekt bei den üblichen Raumfeuchten gering. Schon eine Temperaturerhöhung von 1 K hat etwa den gleichen Effekt wie eine Erhöhung der relativen Feuchte um 40 %. Dies sorgt dafür, dass feuchtkalte Nester direkt neben wärmeren und trockeneren Bereichen liegen können, ohne dass sie sich gegenseitig beeinflussen (siehe auch /3/ und /4/).

Auslassanordnung Zuluft oben und Abluft oben

Im Bestand gibt es einige Bäder mit der Anordnung:

- Zuluft vor der Fassade von oben nach unten blasend und
- Abluft oben.

Hier sollten die Probleme mit Auslässen unten und eindringendem Putzwasser vermieden werden. Leider funktioniert hier die Raumluftrömung nur mit Einschränkungen. Da die Luft entsprechend dem Heizbedarf mit stark schwankender Temperatur eingebracht wird, ist es schwierig, den Zuluft-Strahl richtig zu dimensionieren und einzuregulieren.

Im Sommer ist die Zuluft kälter und der Strahl wird verstärkt. Es stellen sich Zugerscheinungen im Aufenthaltsbereich ein. Zudem erhöhen sich die Luftgeschwindigkeit über der Wasseroberfläche und die Verdunstung und damit steigt der Wärmebedarf stark an. Um dies zu vermeiden, muss der Volumenstrom gedrosselt werden.

Im Winter dringt der warme Strahl mit diesem geringer eingestellten Volumenstrom gegen den Auftrieb nicht bis unten durch. Die Raumluftrömung erreicht die Aufenthaltszone nicht. Es bildet sich ein warmes Polster oben mit der Raumluftrömung Zuluft oben – Abluft oben. Die Dachkonstruktion ist daher nicht gefährdet.

Die „kalt-feuchte Zone“ über der Wasseroberfläche wächst nach oben und erfüllt den kompletten Auf-



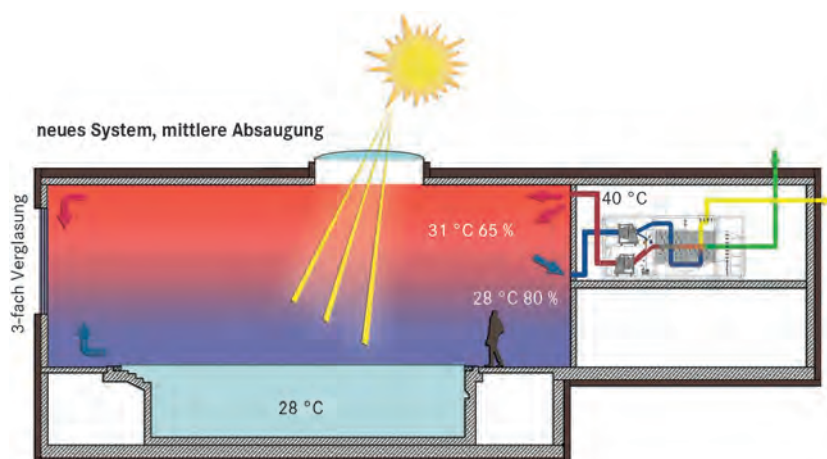
④ Nebelversuch Standard-Luftführung

enthaltbereich. Die Feuchte steigt bis teilweise über 90%. Der Bereich ist „schlecht durchlüftet“. Versuche, dies durch Regelungstechnik in den Griff zu bekommen, können nur Teilerfolge verzeichnen. Es gibt aber auch modernere Varianten dieser Anordnung, die mit den gleichen Problemen zu kämpfen haben: Lüftungsgeräte werden auf den Duschräumen installiert. Die Zuluft wird mit Weitwurfdüsen von der fensterabgewandten Seite eingebracht. Dank Dreifachverglasung gibt es kein Kondensat an den Scheiben. Die Abluft wird oben entnommen (Bild 5).

Auch diese tendieren dazu, ein feuchtes Polster im Aufenthaltsbereich aufzubauen. Hier gibt es folgende praktizierte Lösungen:

- Zuluft Volumenstrom erhöhen, um eine Schichtung zu vermeiden. Dies führt jedoch zu Zugluft im Aufenthaltsbereich und Luftgeschwindigkeiten deutlich über 0,2 m/s. Dies bedeutet auch eine erhöhte Verdunstung bzw. einen hohen Energieverbrauch.
- Die Raumlufttemperatur unter Beckenwassertemperatur einstellen. Im Verhältnis zur Raumlufttemperatur ist die Luft an der Beckenoberfläche jetzt „feucht und warm“, sie steigt auf. Sie bildet sogar einen Konvektionsstrom, der die Luftströmung raumgreifend dominieren kann. Zuluft wird gut eingemischt. Leider funktioniert die Konvektionsströmung so gut, dass die Feuchteunterschiede zwischen aufsteigender Luft und abwärts rezirkulierender Raumluft gering sind. Eine konzentrierte Absaugung der Feuchte an der Decke ist auch in dieser Konstellation nicht zu erreichen. Dafür steigen die Verdunstung an der Beckenwasser Oberfläche und der Wärmeverbrauch des Bades deutlich an, es treten hohe Energieverluste auf.

Beide vorstehenden Maßnahmen sind geeignet, um lokale Durchströmungsmängel zu beseitigen. Aufgrund der Nachteile, insbesondere der Erhöhung des Wärmeverbrauches, sollten in diesen Fällen weitere Maßnahmen ergriffen werden.



5 Aktuelle Variante der Luftführung

Was ändert sich mit der neuen VDI 2089:2023?

Die Erfahrungen aus ausgeführten Bädern sind in die VDI 2089 eingeflossen. Neben vielen Detailanpassungen ändern sich vor allem drei Eckwerte:

- Die Raumluftfeuchte darf – bei geeigneten Voraussetzungen – zeitweise bis auf 17 g/kg angehoben werden.
- Die Mindestaußenluftrate wird von 30 auf 15% des Auslegungswertes gesenkt.
- Bei Überwachung der Feuchte ist zukünftig nachts auch ein intermittierender Betrieb möglich.

Die Neufassung der VDI 2089 ist im September 2023 erschienen.

Im Trend: Schichtlüftung „nach unten“

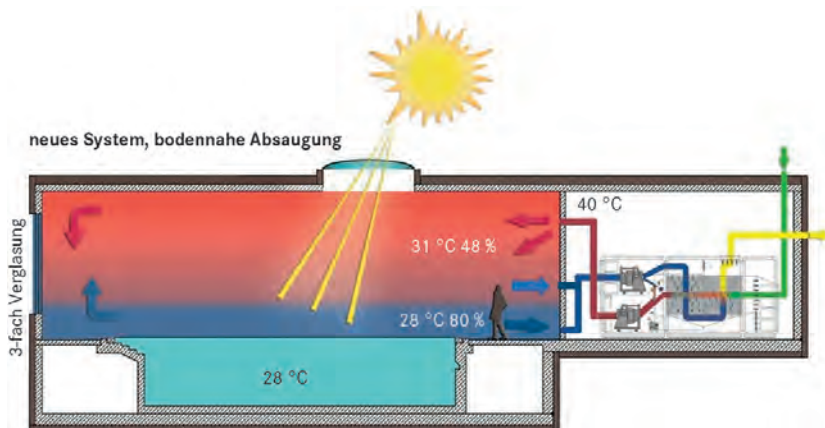
Einen neuen und vielversprechenden Ansatz versprechen Schichtlüftungssysteme für Schwimmhallen. Wie gezeigt, genügen schon 2–3 K Übertemperatur, um eine stabile Luftschichtung zu erreichen. Unter dem Hallendach können dabei durchaus induktive Systeme zum Einsatz kommen, die für eine Verteilung von Zuluft und Wärme sorgen. Über dem Becken soll dagegen eine ruhige Quellluftschicht mit leichter Untertemperatur liegen. In der Lüftungstechnik werden solche Systeme als „Misch-Quelllüftung“ bezeichnet (siehe VDI 3804, MQL), da in einem Raum gleichzeitig zwei unterschiedliche Strömungsformen vorliegen. Bei sorgfältigem Abgleich der Systeme lassen sich stabile Schichtungen auch während des Badebetriebes erreichen.

Im Gegensatz zu vielen anderen Luftführungssystemen kommt es bei der Schichtlüftung „von oben nach unten“ darauf an, Abluft in zwei unterschiedlichen Höhen im Raum zu haben.

1. Zwischen 0 und 30% der Abluft wird in Bodennähe angesaugt, in einer Höhe bis ca. 50 cm über dem Boden. Damit erreicht man eine gezielte Absaugung der feuchten Oberflächenschicht über der Wasseroberfläche.

2. Der überwiegende Teil der Abluft, zwischen 70 und 100%, wird im oberen Teil der Halle abgeführt.

Mit der Absaugung der bodennahen Schicht werden Feuchte und Schadstoffe aus dem Wasser gezielt abgeführt. Über das Verhältnis von unterer und oberer Abluft kann der Feuchteaustrag aus dem Bad gezielt gesteuert werden. Die Zuluft wird bei diesem System über impulsarme Luftauslässe in Deckennähe eingebracht und auf der gegenüberliegenden gleichen Raumseite am Boden wieder abgesaugt. Man bekommt hier eine gut definierte Deckenströmung mit eher trockener Frischluft unter der Decke und einen kontinuierlichen Luftabzug aus der Quellluftschicht über dem Becken, was für eine klar definierte Abfuhr von Feuchte und Schadstoffen sorgt.



⑥ Verbesserte Variante mit doppelter Absaugung unten

Warum ist dieser Ansatz so erfolgreich?

- Nach unseren Erfahrungen bildet sich über dem Becken eine deutliche Schichtung aus. Während an der Wasseroberfläche Feuchtwerte über 70% gemessen werden, liegt die Feuchte in 1 m Höhe schon unter 50%. So sind Schwimmende und Bademeister gleichermaßen zufrieden.
- Bei der „Schichtlüftung“ fließt die Luft – ähnlich wie Wasser – quer durch die Halle. Im unteren Teil fließt die etwas kühlere Luft (28–29 °C), im oberen Hallenteil die etwas wärmere (30–32 °C). Wird die Luft in richtiger Höhe abgesaugt, dann kann sie langsam und stetig „nachfließen“. Anstelle eines „Impulses“ wird hier die Schwerkraft genutzt, um ein optimales Ausspülen der becken-nahen Luftschicht zu erreichen (Bild ⑥).

Die Raumluftströmung des Aufenthaltsbereiches wird größtenteils von der Luftströmung an der Beckenoberfläche entkoppelt. Das Badpersonal ist deutlich weniger durch Feuchte und Schadstoffe belastet. Durch die Wahl der Absaugposition kann der Feuchtehaushalt unabhängig von der Abluftmenge gesteuert werden.

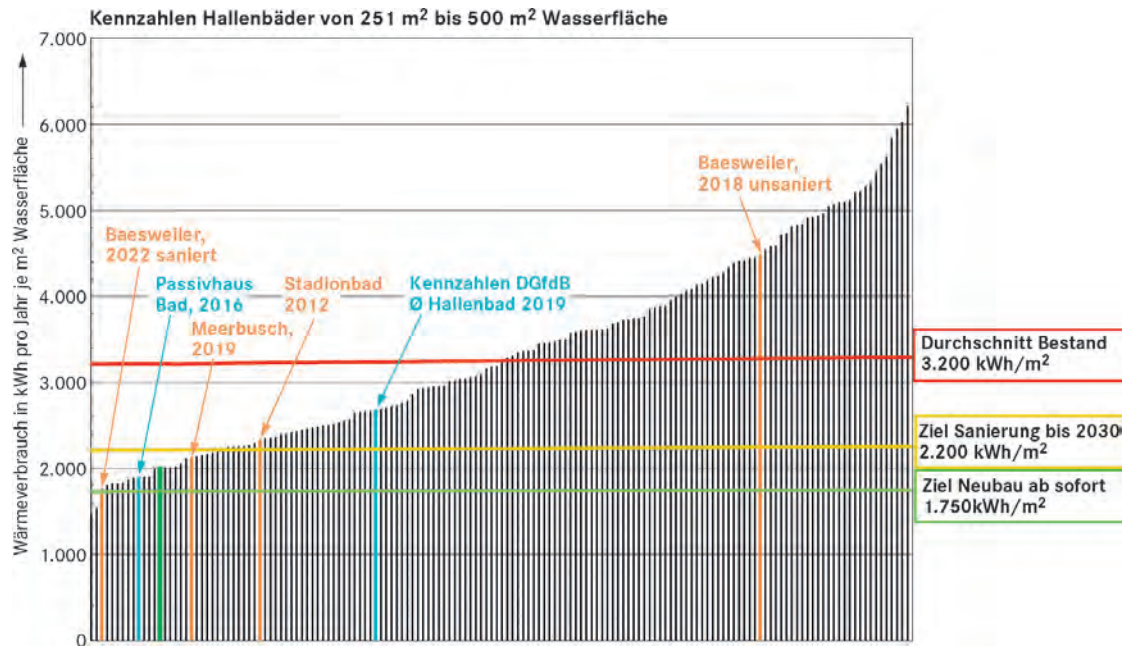
Dieses Prinzip der „Luftführung abwärts in Schwimmhallen“ haben wir vielfach erfolgreich angewendet – mit zum Teil extremen Einsparungen an Wärme und Ventilatorstrom. Generell sind die Schichtungen in Schwimmbädern empfindlich, daher muss die Auswahl der Systeme sorgfältig erfolgen. Bei richtiger Anwendung lassen sich mit Schichtlüftung bis zu 80% der Verdunstungsverluste vermeiden und damit die Energieverbräuche erheblich senken.

Erfahrungen zur Luftführung abwärts anhand des Projektes Hallenbad Düsseldorf Niederheid

Das Hallenbad Niederheid ist eines der ersten Projekte, die wir mit Luftführung abwärts realisiert haben. 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. 1,50 m breiten und 2,20 m hohen Gitter abgeführt. Von hinten wurde das Abluftgitter teilweise geschlossen, so dass die Höhe der Absaugung variiert werden konnte. Es bildete sich eine Schichtung in Bodennähe aus, die über mehrere Becken hinweg zur Abluftöffnung fließt. Die Lüftungsanlage wurde im Zuge der Badsanierung ebenfalls erneuert. Der Volumenstrom von



⑦ Luftschichtung im Betrieb



⑧ Wärmebedarf von Schwimmbädern im Vergleich, Sanierungserfolg Hallenbad Meerbusch

35.000 m³/h ist auf zwei Lüftungsanlagen 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 Kondensat frei zu halten.

Ergebnisse im Betrieb: Die Luftschichtung ist auch im Betrieb stabil, die Untersuchungen mit Nebel sind gut reproduzierbar (Bild 7).

Erreichte Feuchteschichtung

Der Feuchteunterschied zwischen der Feuchte am Boden (67%) und der nur 50 cm höher liegenden Sitzbänke (52%) war erstaunlich.

Auswirkung auf Verdunstung und Wärmebedarf

Der notwendige Luftvolumenstrom für die Entfeuchtung wurde ermittelt, indem ein bedarfsabhängiger Betrieb ohne Umluft, Sollwert 31 °C auf 50% gefahren wurde, d. h. die Feuchteregelung hat den Anlagenvolumenstrom angesteuert bei 100% Außenluft. Anders als bei der Ansteuerung von Umluft-, Außen-Fortluftklappen ist der für die Entfeuchtung notwendige Volumenstrom direkt mit den Ventilator-Messblenden erfassbar. 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 dann ein Mindestvolumenstrom von 30% eingestellt. Es wurde akzeptiert, dass die Luftfeuchte im Aufenthaltsbereich sich dadurch unter 50% einstellt.

Das Schwimmerbecken benötigt heute keine Beckenbeheizung mehr. Die Temperatur steigt sogar ohne Beheizung über den Sollwert von 27 °C, ein Phänomen, das einige Irritationen verursacht hat. Geschuldet war es zu einem großen Teil der geringen Verdunstungswärme. Das Becken wird durch die Beckenwasserpumpen, die Personen, einem Anteil Wärme aus Abgaswärmetauscher und insbesondere der Strahlung der Umschließungsflächen geheizt.

In weiteren Projekten konnte bestätigt werden, dass der Wärmeverbrauch immer deutlich sank; eine Beckenwassertemperaturerhöhung über den Sollwert trat mit der weiterentwickelten Betriebsweise (reduzierter Strahlungsanteil siehe unten) nicht mehr auf. Als ein schöner Nebeneffekt stellte sich die Ventilatorleistung im Betrieb bei geringer und mittlerer Besucherbelastung unter $P = 2 \text{ kW}_{el}$ ein (30% Volumenstrom, $P = 17\%$ von $P_{Nenn} = 12 \text{ kW}$, Summe beide Achsen).

Werden die Schadstoffe sicher abgeführt?

Mit der Schichtung und unteren Absaugung soll der Aufenthaltsbereich frei von Schadstoffen gehalten werden. Aber was bedeutet dies für die Luftschicht über dem Wasser? Wie sieht es mit der Schadstoffbelastung für die Badenden aus? Ist der Luftwechsel durch das Absaugen an nur einer Stelle ausreichend, um sie gering zu halten? Einen rechnerischen Nachweis zeigen wir unten.

Um die Schadstoffabfuhr in der Praxis nachzuweisen, wurden im Hallenbad Niederheid THM-Messungen durchgeführt (THM: Trihalogenmethane, die bei der Chlorierung von Badewasser entstehen). Dies ist aufwändig und sollte von spezialisierten und unabhängigen Laboren durchgeführt werden. Daher wurde das Bad in die THM-Messreihe verschiedener

Dichte der Luft in kg/m³

Lufttemperatur	Relative Feuchte												
	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
26	1,174	1,173	1,173	1,172	1,171	1,170	1,170	1,169	1,168	1,167	1,167	1,166	1,165
27	1,170	1,169	1,168	1,168	1,167	1,166	1,165	1,164	1,164	1,163	1,162	1,161	1,160
28	1,166	1,165	1,164	1,163	1,162	1,161	1,161	1,160	1,159	1,158	1,157	1,157	1,156
29	1,161	1,160	1,160	1,159	1,158	1,157	1,156	1,155	1,154	1,154	1,153	1,152	1,151
30	1,157	1,156	1,155	1,154	1,153	1,153	1,152	1,151	1,150	1,149	1,148	1,147	1,146
31	1,153	1,152	1,151	1,150	1,149	1,148	1,147	1,146	1,145	1,144	1,143	1,142	1,141
32	1,149	1,148	1,147	1,146	1,145	1,144	1,142	1,141	1,140	1,139	1,138	1,137	1,136
33	1,144	1,143	1,142	1,141	1,140	1,139	1,138	1,137	1,136	1,135	1,134	1,133	1,131
34	1,130	1,139	1,138	1,137	1,136	1,134	1,133	1,132	1,131	1,130	1,129	1,128	1,127
35	1,136	1,135	1,134	1,132	1,131	1,130	1,129	1,128	1,126	1,125	1,124	1,123	1,122

Bäder im Rahmen einer DBU-Studie (Passivhaus-Konzept für Hallenbäder Auswertung und Leitfaden) aufgenommen. Die Qualität des Beckenwassers als Emittent wurde in allen untersuchten Bädern mit-erfasst und bewertet.

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

- 20 cm über Wasser, THM-Werte 21 µg/m³
 - 1,5 m Höhe, Belastung des Personals 5–10 µg/m³
- Insgesamt lagen die Werte niedriger als in Vergleichsbädern.

Referenzdaten für den Energieverbrauch

Die sanierten oder mit Schichtlüftung neu geplanten Bäder zeigen durchweg sehr niedrige Energieverbräuche. Allerdings wäre es vermessen, dies nur dem Lüftungssystem zuzuschreiben. Neben der Lüftung verbirgt sich vor allem in der Beckenwassertechnik oft sehr großes Einsparpotenzial. Des Weiteren haben Duschen und Umkleiden ebenso ihren Anteil am Energieverbrauch, der sich durch sorgfältige Planung und bedarfsgerechte Regelung deutlich nach unten bringen lässt.

Als Referenz zur Bewertung von Bädern kann die auf die Beckenwasserfläche bezogene Statistik des DGfB genutzt werden, die die enorme Spannweite bei bestehenden Bädern zeigt, im Bild ⑧ mit dem Beispiel Hallenbad Baesweiler.

Das Bad wurde ab 2017 saniert, insbesondere wurde die Gebäudehülle verbessert, eine hoch isolierte Dreifachverglasung vorgesehen und die gesamte Technik erneuert oder grundsaniert. Der Wärmeverbrauch des Bades lag vor der Sanierung bei 3.900 kWh/m² Beckenfläche. Im Jahr 2022 bei weitgehend normalem Badebetrieb wurde ein Wärmeverbrauch von 1.750 kWh/m² gemessen, er sank also um 55%! Im Bereich der Stromaufnahme wur-

den durch die verringerten Luftmengen sowie Optimierungen der Beckenwasserhydraulik Reduktionen in ähnlicher Größenordnung erreicht.

Zusammenfassung

Moderne, hoch isolierte Glasfassaden ermöglichen neue und effizientere Konzepte der Luftführung in Schwimmhallen.

Im vorliegenden Artikel wird das Konzept einer „Luftführung abwärts“ genauer beleuchtet. 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 hat dann eine geringere Feuchte und Schadstoffkonzentration als beim Einsatz von konventionellen Luftführungssystemen.

Die Realisierung der Luftführung abwärts erfordert ein gutes Zusammenspiel aller Gewerke. Werden die Anlagen sorgfältig geplant, gebaut und in Betrieb genommen, dann lassen sich die Energiekosten eines Bades um mehr als 25 % senken. Dass das Konzept funktioniert und praxistauglich ist wird an mehreren ausgeführten Projekten gezeigt.

Literatur

- /1/ VDI 2089: 2010-01, Beuth Verlag
- /2/ VDI 2089: 2023-09, Beuth Verlag
- /3/ Luftführung in Schwimmhallen, Teil 1: „Luftführung in Zeiten von Corona“ Archiv des Badewesens 10/2020
- /4/ Luftführung in Schwimmhallen, Teil 2: „Luftführung abwärts“ Archiv des Badewesens 03/2021
- /5/ Luftführung in Schwimmhallen, Teil 3: „Berechnung der Verdunstungsverluste und des Wärmeüberganges“ Archiv des Badewesens 01/2022