Luftführung in Schwimmhallen in Zeiten von Corona

Raumluftströmungen in Schwimmhallen sind, aufgrund der Einflüsse von Feuchte und Temperatur, komplex. Dies ist auch aktuell im Zusammenhang mit der Corona-Prävention von Bedeutung. Dabei kommt es nicht allein auf die Luftmenge an, sondern auch auf die Luftführung.

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

Fotos/Abbildungen: INCO

Stand der Diskussion

Bisher wurde zum Schutz gegen eine Übertragung des Coronavirus nur die Gesamt-Luftmenge der Lüftungsanlage betrachtet sowie deren mögliche Übertragung von Viren in Abhängigkeit von dem Umluftanteil und der Reduktion durch Filterstufen.

Bis zur Erlangung sicheren Wissens wurde hier ein maximaler Volumenstrom bei 100-%-Außenluft- und 0-%-Umluft-Anteil empfohlen. Dies ist im Moment die richtige Maßnahme. Es sind jedoch folgende Randbedingungen zu beachten:

- Die Kombination von 100 % Volumenstrom plus 100 % Außenluft führt im Winter zu einem starken Abfall der Luftfeuchte, wodurch die Anfälligkeit gegenüber Viren deutlich erhöht wird[1),2)] Dies muss beachtet und ggf. vor dem Winter angepasst werden, z. B. durch das Begrenzen auf mindestens 40 % Feuchte.
- Es stellt sich die Frage: Können und müssen wir die resultierenden, sehr hohen Energieverbräuche langfristig hinnehmen oder gibt es bessere Lösungen, die Gesundheit und Umwelt gleichermaßen schützen?

Die Frage nach dem notwendigen Luftwechsel wird bei einem kleinen Raum anders ausfallen als bei einem großen Raum wie einer Schwimmhalle. Geht man davon aus, dass meist nur wenige Personen als Virenquelle infrage kommen, dann wird sich die Virenkonzentration in einer großen Halle schneller „verdünnen". Es ist also zu erwarten, dass die Verdünnung der Keimzahlen so groß ist, dass geringere Luftwechselzahlen ausreichen. Auf diese Fragen werden Studien, die derzeit laufen, Antworten geben. Der CO_2-Gehalt der Luft, der in der Diskussion um das Coronavirus als Qualitätskriterium für einen ausreichenden Außenluftwechsel angesehen wird, kann in einer Umkleide genutzt werden. Der Wert greift in der Schwimmhalle nicht, da der zum Entfeuchten notwendige Volumenstrom generell so hoch ist, dass der CO_2-Wert mit der Ausatmung von Personen nur unwesentlich von der Außenkonzentration abweicht. Aufgrund des permanenten Entfeuchtungsbedarfs kann jedoch die relative bzw. absolute Luftfeuchte als Lüftungsindikator genutzt werden.

Besonderheiten der Raumluftströmung in Schwimmhallen

Auch wenn zu erwarten ist, dass in Schwimmhallen ein moderater Raumluftvolumenstrom ausreichend ist, um eine Ansteckung zu vermeiden, müssen die Fallstricke der Luftführung in Schwimmhallen beachtet werden. Die Luftverteilung in Schwimmhallen kann auch bei hohen Volumenströmen an verschiedenen Stellen im Raum sehr unterschiedlich ausfallen und damit an einigen Positionen zu gering für den Infektionsschutz sein.

Diesen Effekt hat jeder schon einmal festgestellt, der probiert hat, die Luftfeuchte einer Schwimmhalle festzustellen und sich dabei mit dem Messgerät im Raum bewegt. Es können sich lokale Bereiche mit sehr hoher Luftfeuchtigkeit im Aufenthaltsbereich einstellen. Diese Bereiche werden von der Raumluftströmung nur unzureichend erreicht. Dort konzentrieren sich auch die aus dem Becken-

wasser ausgasenden Schadstoffe auf, wie ein Abgleich mit Schadstoff-Messungen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) in einer großen Anzahl von Bädern ergab[3]. Es ist zu erwarten, dass in diesen Bereichen auch die Ansteckungsgefahr erhöht ist. Sie können mit einem einfachen Feuchtemessgerät ausgemacht werden.

Um zu verstehen, wie solche schlecht belüfteten Bereiche entstehen, werden im Folgenden die Besonderheiten der Raumluftströmung im Schwimmbad genauer betrachtet.

Hinweis: geringer Außenluftvolumenstrom
Die Erfahrung zeigt, dass einige Schwimmbäder mit sehr hoher Feuchte, d. h. sehr geringem Außenluftvolumenstrom, betrieben werden.
Ein zugesetztes Außenluftgitter oder ein defekter Feuchtefühler sind die häufigsten Ursachen.
Hier ist erhöhte Ansteckungsgefahr nicht auszuschließen. Dies kann durch einfache Feuchtemessung erkannt werden.

Anforderungen an die Luftführung in Schwimmhallen

Im Bestand der Bäder wird die Zuluft häufig vor der Fensterfassade unten eingebracht und die Abluft an der Decke „abgesaugt". Die Begründung der Abluft an der Decke war: Wasserdampf ist leichter als Luft. Er steigt auf und kann oben abgezogen werden. Hier muss jedoch Folgendes klar gestellt werden:

Wasserdampf steigt nicht als Dampfblase auf, weil reiner Wasserdampf bei Raumlufttemperatur und Atmosphären-Luftdruck sofort kondensieren würde. Dies wäre erst bei über 100 °C möglich. Einen Wasserdampfvolumenstrom, unabhängig vom Luftvolumenstrom, gibt es daher nicht. Richtig ist, dass die Luft zu einem gewissen Anteil Wasserdampf aufnimmt. Diese feuchte Luft ist daher leichter als trockene Luft.

Wasserdampf ist aufgrund seines geringeren Atomgewichtes N_2 = 28u, O_2 = 32u, H_2O = 18u ca. ein Drittel leichter als Luft. Dieser Effekt wird jedoch dadurch deutlich reduziert, dass der Wasseranteil der Luft bei üblichen Raumtemperaturen gering (< 2 %) ist. Eine Anhebung der Feuchte um 10 % hat bei 28 °C daher den gleichen Effekt wie eine Temperaturerhöhung um 0,4 K *(siehe Abbildung 2)*.

Eine Anhebung der Feuchte von 50 auf 100 % entspräche etwa einer Temperaturanhebung von 28 auf 30 °C. Ab 2 °C Übertemperatur erfolgt daher eine Schichtung über der Beckenoberfläche, was auch dem VDI-6089-Wert „2–4 °C über Beckentemperatur" entspricht.

Die Lüftung und Raumluftströmungen haben in Schwimmhallen verschiedene Anforderungen zu erfüllen:

- Transport der Feuchte aus der Verdunstung des Beckenwassers. Feuchte im Aufenthaltsbereich: 50–65 %.
- Behagliche Raumluftkonditionen sowohl für unbekleidete, nasse Besucher als auch für das leicht bekleidete, trockene Schwimmbadpersonal.
- Schutz der Baukonstruktion vor Tauwasser und Schimmelbildung.
- Entfernung der Luftschadstoffe (aus dem Beckenwasser ausgasende Schadstoffe, Nebenprodukte der Desinfektion) und Verhinderung der Aufkonzentration in den Aufenthaltszonen, insbesondere im Hinblick auf das Schwimmbadpersonal.
- Beheizung der Schwimmhalle. Dafür muss die Zuluft ist bis 50 °C warm sein. Die Luftströmung muss diese Temperatur reduzieren und die Wärme im Raum verteilen.
- Gleichmäßige Verteilung der Frischluft im ganzen Raum.
- Verhinderung zu hoher Luftgeschwindigkeiten (< 0,2 m/s) im Aufenthaltsbereich (Behaglichkeit).
- Verhinderung zu hoher Luftgeschwindigkeiten an der Beckenwasseroberfläche, da sonst die Verdunstung und der Wärmeverbrauch stark steigen. Die Verdunstung an der Beckenoberfläche hat einen Anteil von ca. 40 % am Wärmebedarf des Bades.
- Verhinderung starker Verdunstung durch Übertemperatur der Luft zum Wasser von ca. 2 °C.

Unsere Erkenntnisse zur Raumluftströmung in Schwimmbädern basieren auf Untersuchungen sehr vieler Bäder mit Theaternebel. Sie wurden für einige Bäder auch durch Strömungssimulationen bestätigt.

1 | Nebelversuch: Typische horizontale Schichtung über der Beckenwasseroberfläche

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	1,140	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

2 | Dichte der Luft in kg/m³ bei unterschiedlichen Temperaturen u. Luftfeuchten, Quelle: Dr. E. Fiedler, Fa. Kranz

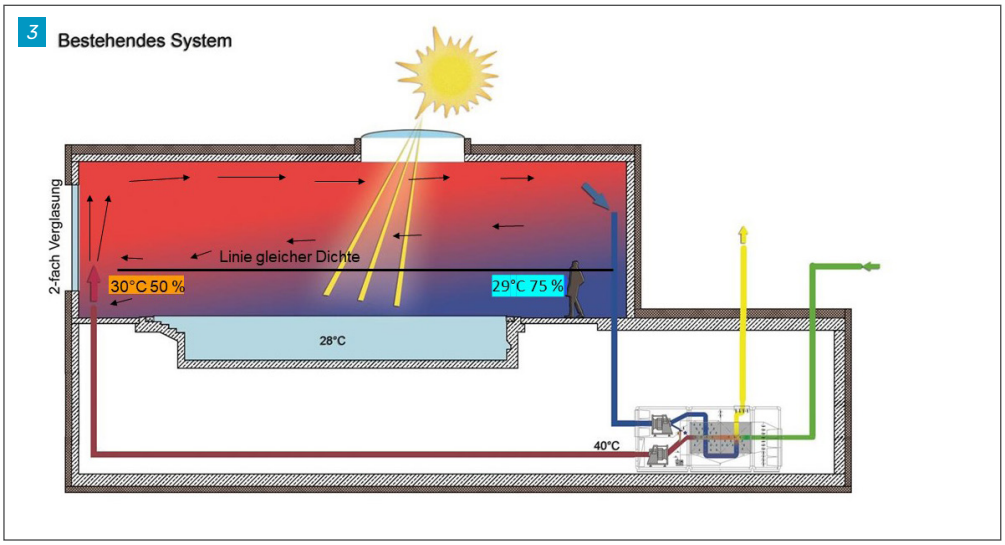
Hierdurch kann erklärt werden, dass sich in Schwimmhallen ein Gleichgewicht ausbilden kann zwischen etwas wärmerer Luft auf der einen Hallenseite und feuchterer Luft auf der anderen Seite, da beide Luftzustände zur gleichen Dichte führen. So ist z. B. Luft mit 30 °C bei 50 % relativer Feuchte „gleich schwer" wie Luft mit 29 °C bei 75 % relativer Feuchte (*siehe Abbildung 3*).

Viele feuchte Bereiche im Bad sind auf dieses unsichtbare Gleichgewicht zurückzuführen, können aber mit einem Nebelversuch leicht erkannt werden.

Bei mehr als 2°C Übertemperatur der Raumlufttemperatur über Wassertemperatur stellt sich in der Regel eine stabile horizontale Temperaturschichtung ein. Die Empfehlung in der VDI 2089 „Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern" lautet: 2–4°C. Übertemperatur ist insofern richtig dimensioniert. Diese Schichtung reduziert auch die Verdunstung, die einen wesentlichen Anteil des Wärmebedarfs des Bades verursacht.

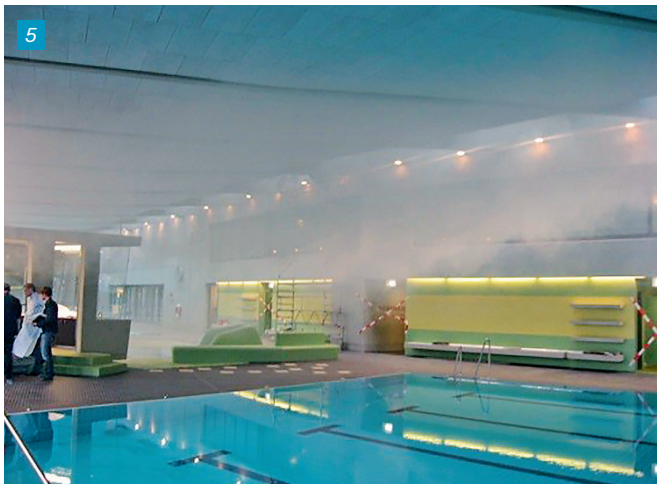
Zwischenexkurs „Induktionsströmung"

Der Zuluftauslass ist häufig ein Luftkasten mit Rollrost oder Stabgitter. Die Austrittsgeschwindigkeit und die Induktions-Wirkung sind auch bei vollem Volumenstrom moderat. Der Strahl läuft zur Decke und verliert durch die Umlenkung an Geschwindigkeit. Dann läuft er an der Decke entlang bis zur gegenüberliegenden Seite. Dort wird er nach unten abgelenkt, erreicht aber nicht immer den Boden, sondern läuft zurück und wird von der Zuluft-Induktion angesaugt. Der kleinere Teil der Luftströmung wird als Abluft oben entnommen. Eine Raumluftströmung mit Induktionsauslässen besteht zu einem



3 | Bei einigen bestehenden Schwimmhallen auftretendes „Temperatur-Feuchte-Gleichgewicht"

4 | Luftführung: Standard-Zuluft vor einem Fenster



5 | Die Luftströmung zirkuliert auf der Gangseite nicht bis zum Boden.

geringen Teil aus „Zuluft“ (z. B. 10 %) und zum größeren Teil aus, durch die Induktion eingemischte, Raumluft (z. B. 90 %). Die Übertemperatur der Zuluft reduziert sich durch Vermischung mit Raumluft letztendlich bis auf Raumtemperatur. Natürlich wir dabei auch die Feuchte eingemischt. Aus diesem Grund ist es sekundär, wo und mit wie vielen Gittern man oben die Abluft entnimmt.

Für den „Coronafall“ bedeutet dies, dass die Viren durch Induktion schnell im Raum verteilt werden. Somit werden kritische „Keimdichten“ vermieden. Ein Anstieg der Konzentrationen im ganzen Raum wird durch den normalen Luftwechsel der Lüftungsanlage vermieden.

Die Viren werden durch die Induktionslüftung im Raum „gleichmäßig“ verteilt. Wenn wenige Viren durch die Lüftungsanlage über den Weg Umluftanteil und Filterung zurückgebracht werden, bleibt die Virenkonzentration nahezu unverändert.

Bei der Induktionslüftung wird die Virenzahl verdünnt. Sie können jedoch nicht gezielt abgeführt werden. Es gibt keinen Bereich, der 100 % keimfrei ist. Allerdings gibt es auch keinen Bereich mit kritischen Keimzahlen, da alle Bereiche gut durchspült werden. Mit diesem Wissen kann man weitere Besonderheiten der Luftströmung in Schwimmhallen erklären.

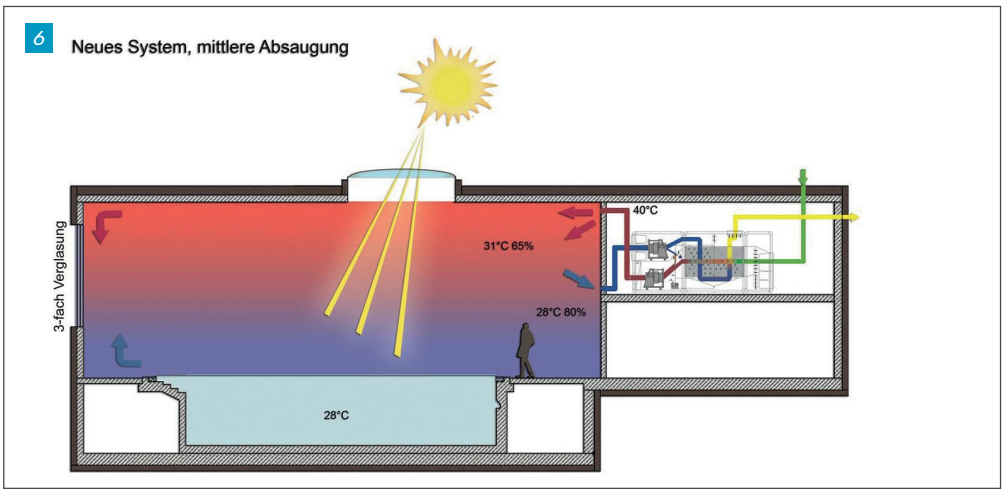
Auslassanordnung Zuluft oben, Abluft oben

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 dabei die Raumluftströmung nur mit starken Einschränkungen. Da die Luft entsprechend dem



6 | Aktuelle Variante der Luftführung

Heizbedarf mit stark schwankender Temperatur eingebracht wird, ist es schwierig, den Zuluftstrahl nach unten richtig zu dimensionieren und einzuregulieren.

Im Sommer ist die Zuluft kälter und der Stahl wird verstärkt. Es stellen sich Zugerscheinungen im Aufenthaltsbereich ein. Zudem erhöhen sich die Luftgeschwindigkeit über der Wasseroberfläche und die Verdunstung, wodurch der Wärmebedarf stark ansteigt. 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 Raumluftströmung erreicht die Aufenthaltszone nicht. Es bildet sich ein warmes Polster oben mit der Raumluftströmung Zuluft oben, Abluft oben. Die Dach-Konstruktion ist daher nicht gefährdet.

Die „kalt-feuchte Zone" über der Wasseroberfläche wächst nach oben und erfüllt den kompletten Aufenthaltsbereich. Die Feuchte steigt bis teilweise über 90 %. Der Bereich ist „schlecht durchlüftet" und dies kann das Infektionsrisiko erhöhen.

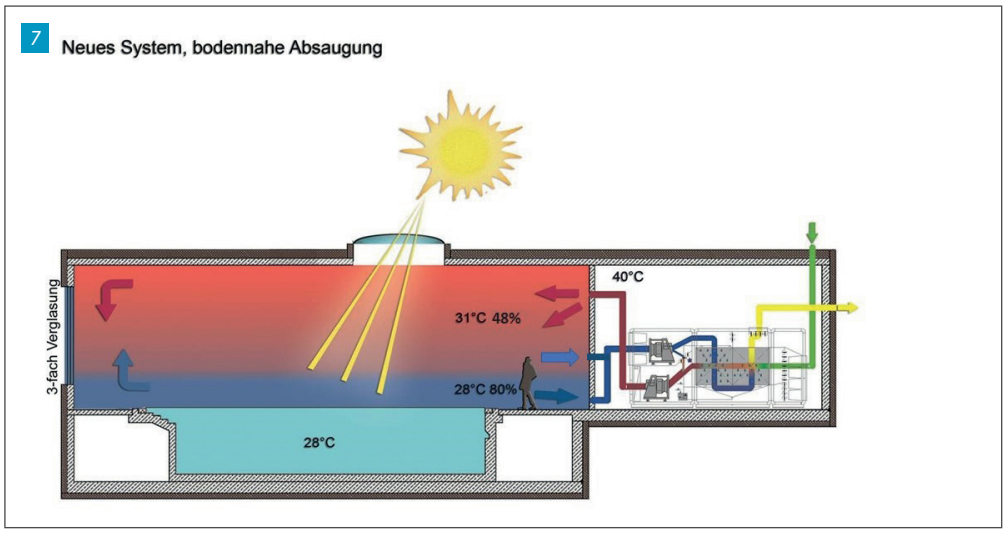
Versuche, dies durch Regelungstechnik in den Griff zu bekommen, können nur Teilerfolge verzeichnen. Es gibt aber auch modernere Varianten zu dieser Anordnung, die mit den gleichen Problemen zu kämpfen haben:

Lüftungsgeräte werden auf den Duschräumen installiert. Die Zuluft wird mit Weitwurfdüsen von der fensterabgewandten Seite eingebracht – dank Dreifachverglasung ohne Kondensat an den Scheiben. Die Abluft wird oben entnommen (*siehe Abbildung 7*).

Auch diese tendieren dazu, ein feuchtes Polster im Aufenthaltsbereich aufzubauen.

Hier gibt es folgende praktizierte Lösungen:

- Den Zuluft-Volumenstrom erhöhen, um eine Schichtung zu vermeiden. Dies führt jedoch zu Zugluft im Aufenthaltsbereich und einer Luftgeschwindigkeit deutlich über 0,2 m/s. Dies bedeutet auch eine erhöhte Verdunstung bzw. einen hohen Energieverbrauch, der zeitweise akzeptiert werden kann.
- 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 Beckenwasseroberfläche und der Wärmeverbrauch des Bades deutlicher an.



7 | *Luftführung abwärts" mit Schichtlüftung und Abluft auf Höhe der Wasser-Oberfläche*

Beide vorstehenden Maßnahmen sind aber geeignet, um im Rahmen der Corona-Maßnahmen lokale Durchströmungsmängel zu beseitigen. Aufgrund der Nachteile, insbesondere der Erhöhung des Wärmeverbrauchs, sollten in diesen Fällen weitere Maßnahmen ergriffen werden.

Im Trend: Schichtlüftung

Ein neuer und vielversprechender Ansatz sind Schichtlüftungssysteme für Schwimmhallen. Wie gezeigt genügen schon 2 bis 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 Luftschicht mit leichter Untertemperatur liegen.

Entscheidend ist dabei, einen Teil der Abluft unten abzusaugen. Bereits ca. 20 % der Abluft unten (nahezu Beckenniveau) sind ausreichend, um das Feuchtepolster sicher abzusaugen. Die Raumluftströmung erreicht wieder die Aufenthaltszone bis auf eine Höhe von ca. 50 cm über Beckenoberfläche. Darunter stellt sich eine Oberflächenschichtung ein. Mit der Absaugung in dieser Schichtung werden Feuchte und Schadstoffe aus dem Wasser gerichtet abgeführt.

Warum ist dieser Ansatz so erfolgreich?

- Nach unseren Erfahrungen bildet sich über dem Becken eine deutliche Schichtung aus. Während an der Wasseroberfläche Feuchtewerte über 70 % gemessen werden, liegt die Feuchte in einem Meter Höhe schon unter 50 %.
- Bei der Schichtlüftung fließt die Luft – ähnlich wie Wasser – quer durch die Halle. Im unteren Teil befindet sich etwas kühlere Luft (28–29°C), im oberen Hallenteil etwas wärmere Luft (30–32°C). Wird die Luft in richtiger Höhe abgesaugt, dann kann sie langsam und stetig „nachfließen". Anstelle „Impuls" wird hier die Schwerkraft genutzt.

Die Raumluftströmung des Aufenthaltsbereiches wird größtenteils von der Luftströmung an der Beckenoberfläche entkoppelt. Das Badpersonal ist deutlich weniger durch Feuchte und Schadstoffe belastet. Es ist zu erwarten, dass eine Ansteckung mit dem Coronavirus zwischen den Gästen und dem Badpersonal unwahrscheinlicher ist als bei reiner Mischlüftung.

Dieses Prinzip der „Luftführung abwärts in Schwimmhallen" – auch als Misch-Quelllüftung bezeichnet – haben wir vielfach erfolgreich angewendet. Generell sind die Schichtungen in Schwimmbädern empfindlich, weshalb die Auswahl der Systeme sorgfältig erfolgen muss. Was es hierbei zu beachten gibt, werden wir einem weiteren Artikel vorstellen.

Hier aber schon der Hinweis: Bei richtiger Anwendung lassen sich mit dem Prinzip der Schichtlüftung bis zu 80 % der Verdunstungsverluste vermeiden und damit die Energieverbräuche erheblich senken.

Testen der Effizienz der Raumluftströmung

So funktioniert es:
Mit einer Nebelmaschine wird in der Nähe der Zuluftauslässe Nebel angesaugt. Dabei lässt sich beobachten, ob der ganze Raum von der Strömung erfasst wird. Alternativ kann man den Nebel auch in die zentrale Zuluft einbringen, dann wird jedoch der Raum überall gleichzeitig schnell beaufschlagt und die Beobachtung von Teilbereichen wird schwierig. Der Gegentest: Eine kleine Nebelmenge wird in die gering durchströmten Bereiche eingebracht und dort wird die Feuchte gemessen. Achtung: Eine realistische Raumluftströmung stellt sich nur bei gefüllten Becken und bei den Betriebstemperaturen von Luft und Wasser ein. Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, kann sich die Raumluftströmung komplett anders einstellen.

Quellen

1) Fachverband Gebäude-Klima e. V. (FGK): „Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlagen während der Covid-19-Pandemie“, Version 3 vom 3. August 2020
2) Dr. Stefan Kannewischer: „COVID-19: Die IAKS zur Öffnung der Hallenbäder“. In: AB Archiv des Badewesens, Ausgabe 09/2020, Seite 618 ff.
3) Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Forschungsbericht „Trichloramin in Bädern“, Berlin April 2009 (trichloramin101778.pdf)