

Dipl.-Ing. Jörn Kaluza, Aachen:

Aktuelle Versuche: Luftführung abwärts!

Einführung

Der Sollwert für die Luft-Feuchte in Schwimmhallen ist derzeit in der Diskussion. Hier hat das Passivhausinstitut eine Reihe von Grundlagenarbeiten geliefert. Wo aber in der Schwimmhalle herrscht überhaupt der eingestellte Soll-Wert? In der Praxis differieren Temperatur und Feuchte je nach Standort deutlich.

Um genaue Aussagen über die sich tatsächlich einstellende Luftströmung in Schwimmhallen machen zu können, haben wir in einer Vielzahl von Projekten mit unterschiedlichen Luftführungssystemen mit Nebel die Luftströmungen sichtbar gemacht. Die Nebelversuche zeigen, dass die Praxis oft anders aussieht, als bisher angenommen.

Hier gibt es Parallelen zu bestehenden Schadstoff-Messungen des DGUV in einer großen Anzahl von Bädern (Forschungsbericht Trichloramin 2009, Vortrag von Herrn Zirbs, Jentsch-Seminar 2014): Die ungleiche Verteilung der Schadstoffkonzentration korreliert mit der von uns vorgefundenen Verteilung der Feuchte. Beides ist auf die Luftführung zurückzuführen.

Die Luftführung in der Schwimmhalle zu verändern, wird zur Zeit in Fachkreisen diskutiert. Wir haben in einer Vielzahl von Projekten die Absaugung nach ganz unten geführt und mit Theaternebel die Luftströmungen untersucht, die sich tatsächlich eingestellt haben.

Die Luftführung hat nicht nur entscheidenden Einfluss auf die Aufenthaltsqualität und die Schadstoffbelastung. Sie hat auch gravierenden Einfluss auf die Verdunstung und damit auf den größten Energieverbraucher im Schwimmbad. Dies ist eine der wenigen großen Stellschrauben des Energieverbrauchs in Bädern. Das Einsparpotential an Wärme im Bad beträgt bis zu 25 %. In diesem Bereich liegt derzeit ein großes Entwicklungspotential. Hier wollen wir mit unserem Erfahrungsbericht unseren Beitrag zur Energieeffizienz leisten.

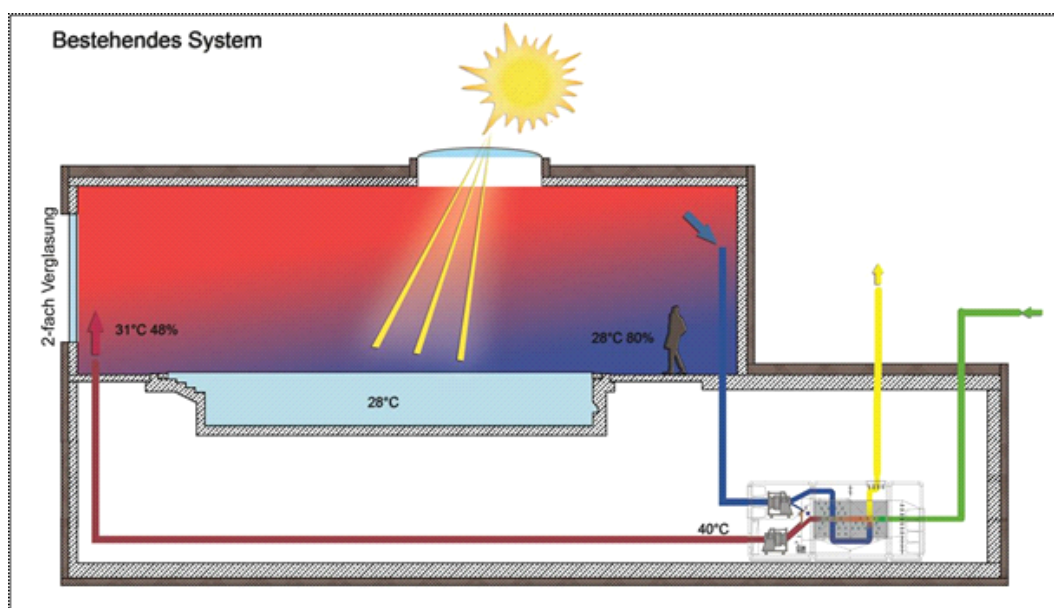


Abb. 1: Bisherige Luftführung



Abb. 2: Nebelversuch: Standard-Luftführung

Bisheriges System der Luftverteilung

Das bisherige System war dadurch geprägt, dass unten vor den Fenstern ausgeblasen und deckennah abgeführt wurde (**Abb. 1**).

Messungen in einer Vielzahl von Bädern haben ergeben, dass sich häufig eine trocken-warme Fensterseite ausbildet, und gegenüber eine feuchte "Kälteseite". Nebelversuche (**Abb. 2**) haben diese Schichtung bestätigt. - Hier der physikalische Hintergrund:

Temperaturausdehnung

Luft dehnt sich proportional zur absoluten Temperatur aus:
 1 °C wärmer --> rund 1 °C/300 °C oder 0,33 % leichter.

Wasserdampf-Dichte

Wasserdampf ist aufgrund seines geringeren Molekulargewichtes ($N_2 = 28$, $O_2 = 32$, $H_2O = 18$) ca. 1/3 leichter als Luft. Dieser Effekt wird jedoch deutlich reduziert, dass der Wasserdampf nur einen kleinen Teil der feuchten Luft ausmacht; sein Partialdruck beträgt nur 2 - 3 %. Dennoch kann sich in engen Grenzen ein "Gleichgewicht" einstellen:

+ 1 °C:		+ 20 % rF:
\curvearrowright 30 °C / 55 % rF \curvearrowright 31 °C / 52 % rF	gleich schwer wie	\curvearrowright 30 °C / 55 % rF \curvearrowright 30 °C / 75 % rF
+ 2 °C:		+ 35 % rF:
\curvearrowright 30 °C / 55 % rF \curvearrowright 32 °C / 49 % rF	etwas leichter als	\curvearrowright 30 °C / 55 % rF \curvearrowright 30 °C / 90 % rF

Über zwei Grad Übertemperatur (Lufttemperatur über Wassertemperatur) stellt sich in der Regel eine horizontale Temperaturschichtung ein (**Abb. 3**).

Ein Ablösen von Luft mit hoher Feuchte und ein Aufkonzentrieren von Feuchte an der Decke wurde von uns in keinem Fall beobachtet. Die klassische Absaugung an der Decke erscheint daher nicht notwendig. Insbesondere Verteilkanäle der Abluft an der Decke, um an vielen Stellen abzusaugen, sind meist überflüssig, da sie keinen Einfluss auf die Raumluftströmung haben.



Abb. 3: Nebelversuch: Horizontale Schichtung

Aktuelle Luftführung

Durch eine bauphysikalisch bessere Außenhülle (Dreifachverglasung) entfällt der Zwang, unten vor der Verglasung auszublasen. Einblasen und Absaugen in der oberen Raumhälfte ist hierbei eine favorisierte Variante. Dies verringert den Installationsaufwand erheblich und eliminiert den Schwachpunkt "Reinigungswasser an den Lüftungsöffnungen". - Leider werden derzeit bei der Umsetzung Fehler gemacht, da die Luftströmungen nicht ausreichend untersucht wurden.

Beim Absaugen der Luft in mittlerer Höhe (**Abb. 4**) bildet sich eine "feuchtkalte Schicht" unter der Absaugung aus, was unerwünscht hohe Luftfeuchten im Aufenthaltsbereich zur Folge hat. Der Versuch, die Schichtung durch erhöhte Einblas-Geschwindigkeit zu vermeiden, führt zu unbehaglichen Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich und zerstört die Schichtung über der Wasseroberfläche (Energieverbrauch).

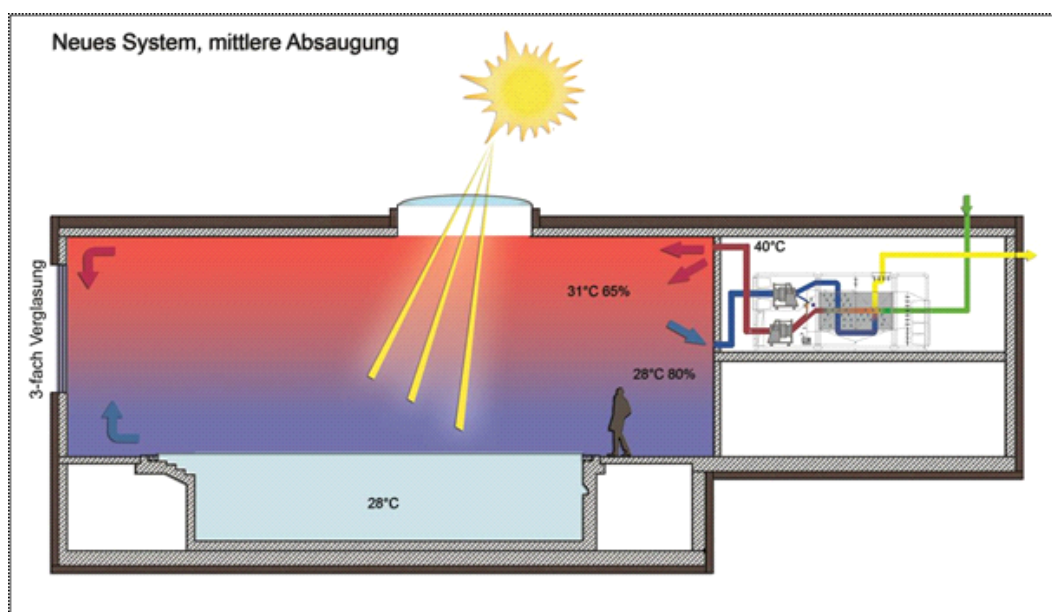


Abb. 4: Aktuelle Variante der Luftführung

Verbesserung: Bodennahe Absaugung

Eine Lösung der oben beschriebenen Problematik liegt unserer Erfahrung nach in der bodennahen Anordnung der Abluftöffnungen. Wird die Luft bodennah abgezogen, bildet sich eine Schichtung direkt über der Wasseroberfläche aus. Der Aufenthaltsbereich hat damit eine deutlich geringere Feuchte. Feuchte und eventuelle Schadstoffe können gezielt abgeführt werden. Die Verdunstungsverluste und damit der Energieverbrauch können erheblich reduziert werden. - Die Schichtung ist erstaunlich stabil, auch im Badebetrieb. Beispiel: Feuchte am Boden 67 %, 50 cm höher auf der Sitzbank 52 %.

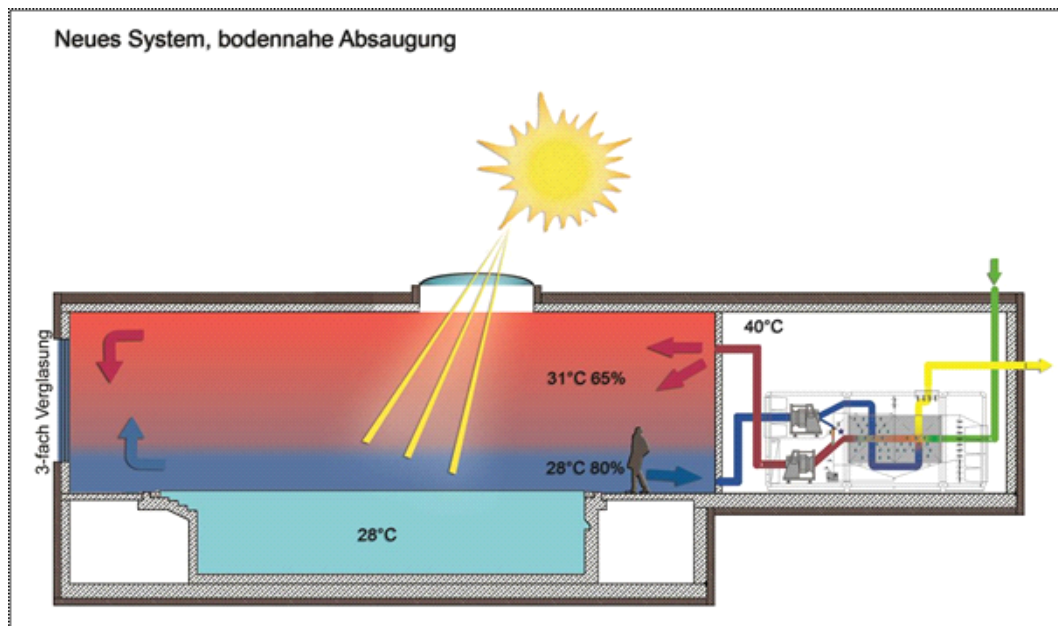


Abb. 5: Verbesserte Variante der Luftführung



Abb. 6: Beispiel: Bodennahe Absaugung



Abb. 7: Beispiel: Bodennahe Absaugung

Fazit

Erste Ergebnisse umgesetzter Beispiele sind überraschend positiv. Bei Umrüstungen konnte die Luftqualität im Aufenthaltsbereich deutlich verbessert werden. Gleichzeitig wurden die notwendigen Volumenströme deutlich geringer.

Es gab allerdings auch schon verschiedene Fallstricke:

Unterlaufen der Schichtung

Strömt aus anderen Bereichen "kühlere" Luft ($< 30\text{ °C}$) in die Schwimmhalle, wird die Schichtung unterlaufen und der Bereich feuchter Luft in die Aufenthaltszone angehoben. Mit der Feuchte erhöht sich auch die Schadstoff-Konzentration in der Aufenthaltszone, wieder auf den Wert ohne untere Absaugung.

In einem Bad wurde das "Unterlaufen" durch eine offene Tür zum Umkleidebereich ausgelöst. Nach Schließen der Tür ist die Feuchte im Aufenthaltsbereich schnell wieder gefallen.

Problematischer sind in diesem Zusammenhang Ausschwimmkanäle ohne baulichen Windfang. Hier wurde das "Unterlaufen" der Hallenluftströmung auch bei konventioneller Luftführung beobachtet.

Strahlungs-Asymmetrie

Ausblasen direkt unter der Decke führt im Heizfall zu einer hohen Temperaturschichtung im Deckenbereich. Die Decke nimmt diese Temperatur an und gibt zu viel Wärmestrahlung an Aufenthaltsbereich und Becken ab.

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

Regelungsprobleme

Bei einigen Fällen war die Regelung der Anlage mit den Standard-Einstellungen nicht stabil. Durch die Schichtung reagiert die Feuchte sehr viel schneller und die Temperatur etwas zeitversetzt. Anpassungen in der Regelstrategie waren notwendig.

Befindlichkeitsprobleme beim Personal

Das Spannungsfeld unterschiedlicher Behaglichkeits-Anforderungen an das Raumklima wurde vom PHI wissenschaftlich gut aufbereitet, ist aber in der Praxis nicht gelöst:

Aufsichtspersonal	=	kühl und trocken
Badegäste und Energie	=	feucht und warm

Die untere Absaugung eröffnet hier neue Möglichkeiten. Im Aufenthaltsbereich kann eine niedrigere Feuchte als an der Beckenoberfläche eingestellt werden. Die Schichtung funktioniert aber nur, wenn die Raumluft $\geq 2\text{ °C}$ über Beckenwasser betrieben wird. Dies ist in den KOK-Richtlinien und in VDI 2089 schon seit langem so vorgesehen. Ebenso ist vorgesehen, dass bei mehreren Becken mit unterschiedlicher Temperatur die höhere Temperatur für die Wahl der Raumtemperatur zugrunde gelegt werden soll. In der Praxis führt dieser Fall jedoch häufig zu Befindlichkeitsproblemen beim Personal.



Abb. 8: Beispiel: Bestand

Vergangenheit: fehlende bauliche Voraussetzungen

In der Vergangenheit hat es bereits Versuche gegeben, die untere Absaugung und die Zuluft-Führung von oben umzusetzen. Hierbei wurde sogar Abluft aus der umlaufenden Rinne eingesetzt, die eine sehr gute Abfuhr der Feuchte erwarten lässt. Da jedoch die notwendige thermische Qualität der Gebäudehülle fehlte, war die Luftführung von oben nicht beherrschbar:

Zum Freihalten der Scheiben von Kondensat musste warme Zuluft "nach unten geworfen" werden. Die Luftstrahlen müssen so stark eingestellt sein, dass sie auch gegen die Thermik von unten ankommen. Bei niedrigerem Heizbedarf und damit niedrigeren Zuluft-Temperaturen führt dieser Volumenstrom unweigerlich zu hohen Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich und zur Zerstörung der Schichtung an der Wasseroberfläche.

Weiterer Untersuchungsbedarf

Unsere Erfahrungen zeigen, dass es sich lohnt, die Luftführung in der Schwimmhalle mit unterer Absaugung weiter zu untersuchen, insbesondere die folgenden Fragestellungen:

- Auswirkungen auf die Auslegung der Lüftungsanlage
- Verhalten bei Sonneneinstrahlung und ohne Heizbedarf
- Untersuchungen zu gezielter Schadstoffabfuhr an der Wasseroberfläche
- Schadstoffkonzentration im Aufenthaltsbereich
- Quantifizierung Energieeinsparung
- Behaglichkeit Aufsichtspersonal