

© cci Dialog GmbH

Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder Bearbeitung, auch auszugsweise, ist nur mit gesonderter Genehmigung der cci Dialog GmbH gestattet.

Ausgedruckt für:

mlamping

Matthias Lamping



RAUMLUFTTECHNIK LÜFTUNGSANLAGE LUFTLEITUNG

PLANEN IM BESTAND: SCHICHTLÜFTUNG FÜR EIN BEREITS IM BAU BEFINDLICHES BAD

23. Januar 2025 / Dr.-Ing. Eckehard Fiedler* / 0 Kommentare

INHALTSVERZEICHNIS

- [Luftführung von oben nach oben](#)
- [Neukonzeption mit Luftführung von oben nach unten](#)
- [Energieeffiziente Regelung](#)
- [Herausforderungen bei der Regelung](#)
- [Monitoring auf Basis der Beckenwasserverdunstung](#)
- [Versuche und Betriebserfahrung](#)
- [Zusammenfassung und Fazit](#)

Als das I.F.I. Institut für Industrieraerodynamik GmbH, Aachen, im Februar 2023 Teil des Projektteams des Aloha-Aqualand in Osterode (Harz) wurde, war der Beton bereits gegossen. Die Fassade und das Dach waren geschlossen und die RLT-Zentralgeräte standen schon. Viele Entscheidungen waren also quasi bereits „in Beton gegossen“, als sich die Bauherrin – die Wirtschaftsbetriebe der Stadt Osterode (WIBO) – dazu entschied, die Luftführung nach den Vorschlägen des I.F.I. komplett umzuplanen. Eine typische „Planung im Bestand“ also.

Luftführung von oben nach oben

Es waren vor allem Kostengründe, die die WIBO dazu bewegten, die bestehende Planung des neuen Hallenbades nochmals auf den Prüfstand zu stellen. Ursprünglich geplant war eine Lüftung von oben nach oben. Dabei sollte die Zuluft über innenliegende Textilauslässe oberhalb der Fassade eingeblasen werden. Die Abluft hätte über 14 großvolumige Abluftrohre (DN 500) aus einer speziellen seewasserfesten Aluminium-Magnesium-Legierung (AlMg3) abgeführt werden sollen. Allein die Abluftrohre hätten bei dieser Lösung mit Kosten von rund 250.000 € zu Buche geschlagen (siehe Abbildung 1).

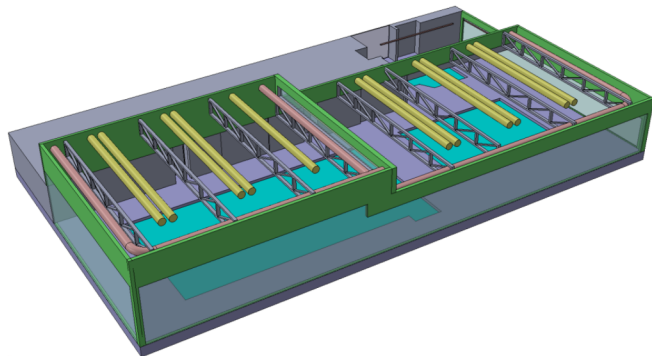


Abbildung 1: Ursprüngliches Luftführungskonzept mit innenliegenden Textilauslässen (in gelb) und Lüftung von oben nach oben (alle Abb. © I.F.I. Institut)

Dabei zu bedenken ist: Schwimmbäder befinden sich ganzjährig im Heizfall. Es muss also warme Luft eingeblasen werden, die die Tendenz



hat, aufzusteigen. Eine Luftführung von oben nach unten ist also nur möglich, wenn die Textilauslässe mit Düsen ausgestattet werden, die die Zuluft nach unten blasen. Ein solches System ist jedoch höchst schwierig abzustimmen, da man die Zuluft gegen die natürliche Tendenz nach unten bringen muss. Simulationsrechnungen des I.F.I. zeigten deutlich, wie problematisch dieser Ansatz ist. Der Düsenimpuls müsste stets exakt an die im Tagesverlauf wechselnden Lasten angepasst werden. Ist der Impuls zu gering, erreicht die Zuluft das Becken nicht, es entsteht ein strömungstechnischer Kurzschluss mit der Folge schlechter Luftqualität im Aufenthaltsbereich. Ist der Impuls dagegen zu hoch, kommt es zu Zugerscheinungen am Beckenumgang und zu einem starken Anstieg der Beckenwasserverdunstung. Das Ganze wäre also eine regelungstechnisch höchst anspruchsvolle Aufgabe.

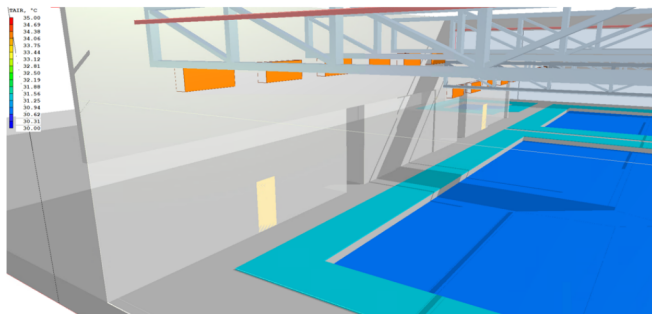


Abbildung 2: Neukonzeption der Luftführung mit Quellauslässen an den vorhandenen Durchbrüchen (im Bild orange). Abluft wird nur an zwei Positionen unten (im Bild gelb) abgeführt.

Entscheidend für den Energieverbrauch eines Bades ist die Beckenwasserverdunstung. Das Aloha hat drei Becken mit einer Gesamtfläche von 473 m². Bei Auslegung nach VDI 2089 Blatt 1 „Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Hallenbäder“ (2023) (siehe [cci254893](#)) verdunsten im Aloha bei geschlossenem Bad pro Tag circa 570 l Wasser, die über die Lüftung abgeführt werden müssen. Im Betrieb steigt die Beckenwasserverdunstung auf bis zu 200 l/h an. Die Verdunstungswärme von bis zu 120 kW muss dabei über die Beckenwasserheizung zugeführt werden. Pro Tag entspricht dies der Wärmeleistung von rund 200 l Heizöl allein für die Beckenheizung. Zusätzlich sind Antriebsenergie für die Lüftungsanlagen aufzubringen, was bei Volleistung mit 48 kW_{el} zu Buche schlägt, sowie die Heizleistung der Zuluft-Erwärmung, die bis zu 410 kW betragen kann. Gelingt es, die Verdunstungsrate zu senken, dann sinkt der Energiebedarf des gesamten Bades erheblich.

Neukonzeption mit Luftführung von oben nach unten

Der I.F.I.-Vorschlag zur Neukonzeption sieht ein Schichtlüftungssystem mit Luftführung von oben nach unten vor. Das zugrundeliegende Prinzip bezeichnet man auch als Verdrängungslüftung, da warme Zuluft im Deckenbereich impulsarm eingebracht wird und die Raumluft langsam nach unten verdrängt wird. Anders als konventionelle Luftführungssysteme mit Düsen, die die Luft mit hohem Impuls einbringen, nutzen Schichtlüftungssysteme die Schwerkraft. Ähnlich wie in einer Taucherglocke die leichte Luft das schwerere Wasser nach unten verdrängt, sammelt sich die wärmere Zuluft bei der Schichtlüftung im oberen Teil der Halle. Solange das Beckenwasser um circa 2 K kälter ist als die Raumluft bleibt die feuchtere Luft unten und kann dort abgesaugt werden. Hierzu genügt im Prinzip ein einzelner Fortluftdurchlass. Für die horizontale Verteilung sorgt die Schwerkraft.

Eine häufig gestellte Frage bezüglich Schichtlüftung ist, ob trotz der sehr geringen Luftgeschwindigkeiten in der Halle Schadstoffe sicher abgeführt werden, die an der Beckenoberfläche ausdampfen. Untersuchungen des Passivhaus-Institutes, Darmstadt und des Ingenieurbüro INCO, Aachen, aus dem Jahr 2018 belegen, dass durch die kontinuierliche Verdrängung die Luftqualität an der Beckenoberfläche auch bei minimalen Luftmengen noch sehr hoch ist. Dies deckt sich mit den Erfahrungen von Schichtlüftungssystemen in Industriehallen, bei denen durch die Nutzung der Schwerkraft die Stoffbelastung am Arbeitsplatz bei gleicher Luftmenge um bis zu 80 % gesenkt werden kann.

Bei der Umsetzung des Konzeptes waren im Aloha allerdings kreative Lösungen gefragt, da quasi „im Bestand“ umgeplant werden musste. So waren bereits die Durchbrüche im Beton gegossen und das Gebäude komplett geschlossen. Sogar die RLT-Anlagen der Hansa Klimasysteme GmbH, Saterland, die nach der ursprünglichen Planung deutlich überdimensioniert waren, waren bereits installiert. Nur das Luftleitungsnetz existierte noch nicht und konnte umgeplant werden.

Um das neu geplante System ohne erhebliche Mehrkosten umzusetzen, mussten also die Gegebenheiten optimal genutzt werden. Die Zuluftdurchlässe wurden der Krantz GmbH, Aachen, für das Projekt maßgefertigt, sodass die vorhandenen Wanddurchbrüche für die Abluftrohre vorgesehen waren, für die Zuluft einbringung genutzt werden konnten. Um eine maximale Luftgeschwindigkeit von 0,6 m/s am Luftauslass nicht zu überschreiten, war eine Zuluftfläche von circa 14 m² erforderlich. Entsprechend großformatig fallen die Zuluftkästen aus, in die Weitwurfdüsen für die Optimierung des Winterbetriebes integriert wurden. Trotz dieser Sonderanfertigung lagen die Kosten der Zuluftdurchlässe deutlich unter denen der geplanten Abluftrohre, was die die zusätzlichen Planungskosten mehr als kompensierte.





Abbildung 3: Geteilte Abluftöffnungen über Eck

Um die Abluft nach unten zu verlegen, wurden vorhandene Schächte genutzt, in denen großflächige Abluftgitter mit einer Höhe von fast 2 m vorgesehen wurden. Abbildung 3 zeigt die Abluftöffnungen der größeren Anlage, bei der zwei Gitter über Eck die notwendige Fläche bereitstellen (im Bild noch ohne Ansauggitter). Zur Regelung des Feuchte austrages sind die Gitter vertikal durch eine Jalousieklappe geteilt, die bei Bedarf geschlossen werden kann. So kann die Abluft wahlweise entweder über die gesamte Gitterhöhe (also auch direkt auf Beckenhöhe) abgesaugt werden oder aber nur in einer Höhe von etwa 1,5 m, was vor allem in den Nachtstunden die Verdunstung senkt.

Energieeffiziente Regelung

Einen wesentlichen, aber oft unterschätzten Beitrag zur Energieeffizienz von Bädern leistet die Regelung der Lüftungsanlage. Aber wie schafft man es, trotz deutlich überdimensionierter Anlagen zu einem effizienten Betrieb zu kommen? Im Aloha waren die RLT-Anlagen auf einen Volumenstrom von 45.000 m³/h ausgelegt, was den ursprünglichen Planungsvorgaben entsprach. Auch für die Schichtlüftung wurden die Volumenströme nach VDI 2089 ausgelegt. Nach Absenkung der Auslegungs-Wassertemperaturen konnte die maximale Luftmenge auf 30.000 m³ gesenkt werden. Voraussichtlich ist auch dieser Wert noch deutlich überdimensioniert, entspricht aber dem anerkannten Stand der Technik. Allerdings lassen sich bei der Schichtlüftung die Volumenströme im Betrieb auf bis zu 15% des Auslegungswertes absenken. Konventionell werden Anlagen in Hallenbädern ganzjährig zwischen 70 % und 100 % des Auslegungsvolumenstrom gefahren.

Erfahrungen mit anderen Bädern zeigen, dass bei Schichtlüftung die Verdunstung stark reduziert ist. Voraussichtlich werden im Aloha die Anlagen überwiegend mit Außenluftvolumenströmen zwischen 4.500 und 10.000 m³/h fahren. Nachts kann der Wert sogar auf 3.000 m³/h abgesenkt werden, ohne die Vorgaben der VDI 2098 für Raumluftfeuchte und Mindestluftmengen zu verletzen.

Auf den Stromverbrauch der Ventilatoren hat der Betrieb mit so geringen Volumenströmen einen fantastischen Effekt. Theoretisch könnte die Ventilatorleistung mit der dritten Potenz des Volumenstromes sinken, in realen Anlagen ist die Minderung meist nur proportional zum Volumenstrom. Im konkreten Fall bedeutet dies aber dennoch, dass statt der ursprünglich geplanten Ventilatorleistung von 48 kW an sehr vielen Jahresstunden die elektrische Leistung auf unter 5 kW sinkt.

Herausforderungen bei der Regelung

Vor allem bei der Regelung ergaben sich für das Aloha einige Herausforderungen, die insbesondere die Regelungstechniker von Hansa Klimasysteme zu bestehen hatten. Das liegt unter anderem daran, dass sich Lüftungsanlagen nicht beliebig weit abregeln lassen. Der Betrieb mit sehr kleinen Volumenströmen unter 10 % des Auslegungs-Volumenstromes kann einige Überraschungen bergen. So kann es bis zu 10 min dauern, bis eine Änderung der Zuluft-Konditionen in der Abluft bemerkbar wird. Dies macht die Regelung träge oder kann zu Schwingungen der Anlagen führen. Im Aloha konnte insbesondere das Problem der kleinen Außenluftanteile letztlich durch Installation von thermischen Anemometern im Außenluftkanal gelöst werden, die Geschwindigkeiten zwischen 0 und 20 m/s präzise messen können. Damit ist auch eine Regelung im unteren Volumenstrombereich zuverlässig möglich.

Monitoring auf Basis der Beckenwasserverdunstung

Dass bei einem doch relativ komplexen System nicht alles auf Anhieb richtig funktioniert, weiß jeder, der schon einmal eine Anlage in Betrieb

genommen hat. Trotz aller Sorgfalt schleichen sich Fehler ein, gelegentlich ergeben sich auch unerwartete Effekte. Für das Aloha-Bad wurde daher eine zweijährige Monitoring-Phase vorgesehen, in der der Betrieb überwacht wird.

Dafür findet sich in den Lüftungszentralen und sonstigen Aggregaten eine erstaunlich große Zahl an Datenpunkten, die zahlreiche Feuchte- und Temperaturwerte in den Anlagen und in der Halle betreffen, sowie Volumenströme, Klappenstände etc., von denen 124 für das Monitoring ausgewählt wurden. Aber wie soll man alle diese Werte im Blick halten? Parallel zur Programmierung der Regelung wurde daher auch ein Monitoringkonzept entwickelt, das Übersicht über den Anlagenbetrieb schaffen soll und zu möglichst einfachen und deutlichen Aussagen zusammenführt. Dieses basiert vor allem auf einer Berechnung und Aufzeichnung der Beckenwasserverdunstung. Stets wird in der Anlagensteuerung der momentane Feuchteaustrag berechnet und angezeigt – leicht verständlich in kg Wasser pro Stunde. Tageweise wird dazu die Summe gebildet, die jeweils für die letzten Tage angezeigt werden soll. Damit wird schnell klar, wenn die Anlage nicht optimal arbeitet. Zudem können die gemessenen Werte direkt auch mit den Simulationsergebnisse verglichen werden.

Versuche und Betriebserfahrung

Noch ist das Aloha nicht geöffnet, die Eröffnung ist aber für Januar 2025 angekündigt. Daten liegen also nur für das geschlossene Bad vor. Diese sind allerdings schon aufschlussreich, denn bei der Wasserverdunstung liegen die Werte um circa 30 bis 60 % unter denen, die die VDI 2089 für ein geschlossenes Bad berechnet.

Für die Abnahme des Bades wurden Nebelversuche durchgeführt, die die Funktion der Lüftung belegen. Abbildung 4 zeigt einen solchen Versuch mit zwei Bildern, die im Abstand von etwa einer Minute aufgenommen wurden. Darauf zu sehen ist: Über dem Becken herrscht keine Turbulenz, also auch keine Vermischung zwischen den Schichten. Der Nebel benötigt fast 5 min, um von einer Seite der Halle auf die andere zu gelangen. Dort wird er von der Abluft erfasst und abgesaugt. Unterhalb der Nebelbank herrscht deutlich erkennbar freie Sicht. Das ist ein Zeichen dafür, dass die Luft sich hier nicht zwischen den Schichten vermischt und die Beckenfeuchte damit auch nicht in der Halle verteilt wird. Die Temperatur der Hallenluft lag bei diesem Versuch um circa 2 bis 3 K über der Beckenwassertemperatur.

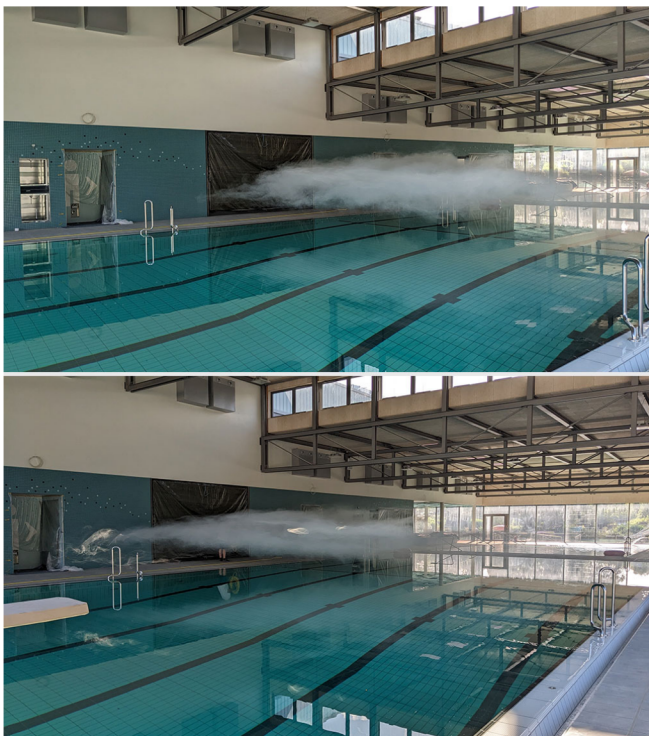


Abbildung 4 und 5: Nebelversuch über dem Schwimmerbecken. Bilder etwa im Abstand von 50 Sekunden. Etwa 5 min dauert es, bis der Nebel das Becken komplett überquert. Unterhalb der „Nebelbank“ herrscht freie Sicht.





Abbildung 6: Verteilung der Zuluft unter der Decke

Da die Beckenwasserverdunstung bereits in der zentralen Anlagensteuerung berechnet wird, steht dieser Wert ständig zur Verfügung, um Abweichungen im Betrieb, die zu erhöhten Energieverbräuchen führen, sofort zu erkennen.

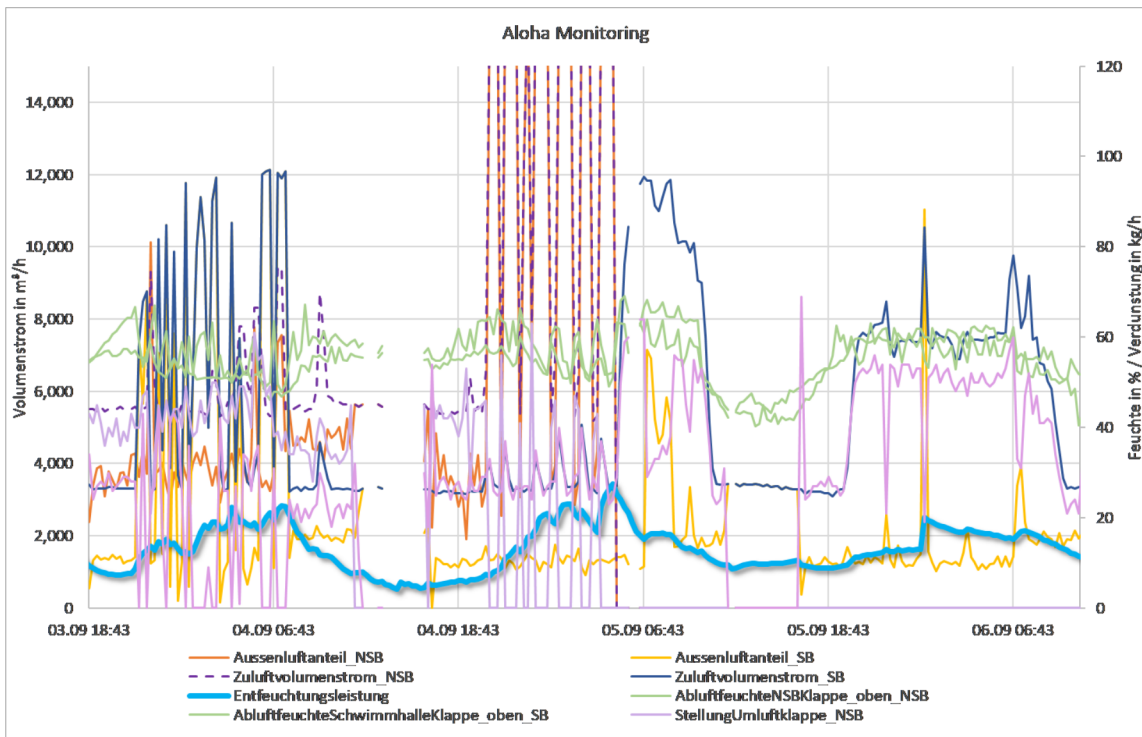


Abbildung 7: Monitoring der Betriebsdaten und der Entfeuchtungsleistung (blaue Kurve)

Der Probetrieb hat einige überraschende Ergebnisse geliefert, die einem – mehr oder weniger – glücklichen Zufall zu verdanken sind. Abbildung 7 zeigt Betriebsdaten für einen Zeitraum Anfang September 2024, die noch deutliche Regelschwingungen und damit Optimierungspotential erkennen lassen. Hier kam es am 5. September zu einer Anlagenstörung, durch die eine der beiden Anlagen für einige Tage komplett außer Betrieb ging. Anstelle der eigentlich vorgesehenen Mindestaussenluftmenge sank dadurch der Volumenstrom auf 2.100 m³/h im Tagbetrieb und bis auf 1.250 m³/h im Nachtbetrieb. Beachtet man die grünen Kurven, die die Abluftfeuchte über dem Becken anzeigen, so bleiben diese davon vollkommen unbeeinflusst. In den Nachtstunden wird die Raumluftfeuchte von 60 % gehalten, in den Tagstunden sinkt die Feuchte auf 45 %. Offensichtlich funktioniert die Schichtlüftung auch dann noch, wenn die Luft nur in einem der beiden Hallenteile und mit reduziertem Volumenstrom eingebracht wird. Die horizontale Verteilung ist so gut, dass der zweite Hallenteil entfeuchtet wird, auch wenn hier gar keine Lüftung aktiv ist. Dies deckt sich mit Erfahrungen aus einem Bad in Düsseldorf-Benrath (Planer: INCO Ingenieurbüro GmbH, Aachen), in dem die Abluft über zwei Becken hinweg abgesaugt wird. Dies funktioniert auch während des normalen Badebetriebes sehr gut.

Die Verdunstung im Aloha betrug während der Messungen im Tagbetrieb circa 16 kg/h, in den Nachtstunden wurden teils nur 10 kg/h gemessen. Nach VDI 2089 war für das geschlossene Bad eine Verdunstung von 24 kg/h berechnet worden.

Zusammenfassung und Fazit

Im Aloha Aqualand wurde erst nach Baufertigstellung die Planung des Luftführungssystems geändert. Das vorgesehene Schichtlüftungssystem konnte mit wenigen Anpassungen im vorhandenen Baukörper realisiert werden und nutzt die bereits installierten RLZentralen. Anpassungen gab es am Luftleitungssystem, an den Zuluft-Durchlässen, den Abluftöffnungen und der Regelung. Zur Absicherung

der Betriebseffizienz wurde zusammen mit der Regelungsstrategie auch ein Monitoring-Konzept festgelegt.

Im Testbetrieb vor der Eröffnung des Bades übertrifft das Schichtlüftungssystem die Erwartungen. Das Projekt zeigt vor allem, wie groß die Potenziale sind, die sich allein durch Anpassung von Luftführung und Regelung ergeben. Bei Einhaltung der Vorgaben der VDI 2089 liegt die Verdunstung des Beckenwassers am Tag etwa um ein Drittel unter dem Wert, den die VDI 2089 für ein ungenutztes Becken angibt. In der Nacht kann die Verdunstung bei verringerter Außenluftströmung auf die Hälfte absinken. Durch den Ausfall einer der beiden RLT-Anlagen wurde zudem offensichtlich, dass die Belüftung auch bei noch kleineren Volumenströmen noch stabil funktioniert.

Fazit: Energieeffizienz in Hallenbädern ist kein Zustand, sondern eine Daueraufgabe. Auch wenn die Regelung sorgfältig geplant und umgesetzt wurde, kommt es doch an einigen Stellen zu Abweichungen, die die Effizienz des Betriebes mindern. Ein zielgenaues Monitoring im Verlauf der ersten zwei Jahre stellt sicher, dass solche – oft mit geringem Aufwand lösbaren – Probleme schnell bearbeitet werden und nicht über Jahre erhalten bleiben.

Dieser Beitrag basiert auf einer Veröffentlichung im „Archiv des Badewesens“, [Ausgabe 11/2024](#) der Mitgliederzeitschrift Deutschen Gesellschaft für das Badewesen (DGfDB), und wurde für cci Wissensportal redaktionell überarbeitet und ergänzt.



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

cci288948

© cci Dialog GmbH

Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder Bearbeitung, auch auszugsweise, ist nur mit gesonderter Genehmigung der cci Dialog GmbH gestattet.

Ausgedruckt für:

mlamping

Matthias Lamping

Tags: [cci Wissensportal](#)

