

Effizienz & Thermodynamik

Die Kontrolle der Luftfeuchte in privaten Schwimmhallen



Bildquelle: Adobe Firefly

Notwendigkeit der kontrollierten Entfeuchtung in Indoor-Pools

Der Betrieb eines Indoor-Schwimmbeckens stellt aufgrund der permanenten Verdunstung des Beckenwassers eine der anspruchsvollsten Herausforderungen für die Bauphysik und die moderne Haustechnik dar. Da sich die Raumluft kontinuierlich mit Feuchtigkeit anreichert, ist eine präzise Steuerung des Raumklimas unerlässlich, um das bauphysikalische Gleichgewicht aufrechterhalten zu können. Eine unzureichende oder fehlerhaft dimensioniertes Entfeuchtungssystem führt unweigerlich zu massiven Problemen: Die Bildung von Kondensat an Bauteiloberflächen begünstigt nicht nur das Wachstum von Schimmelpilzen, sondern initiiert oft auch tiefgreifende Korrosionsprozesse an der Tragstruktur und den technischen Installationen.

Neben diesen substanziellen Risiken für die Gebäudestruktur leidet bei einer mangelhaften Luftkonditionierung auch die Aufenthaltsqualität erheblich, da hygienische Mängel und ein als unangenehm empfundenenes Schwüle-Gefühl den Nutzungskomfort einschränken. Für den nachhaltigen und wertbeständigen Betrieb einer Schwimmhalle ist daher die Integration einer leistungsstarken Entfeuchtungslösung zwingend erforderlich, um sowohl die Bausubstanz langfristig zu sichern als auch ein gesundes, behagliches Raumklima zu garantieren.

Effizienz & Thermodynamik

Die Kontrolle der Luftfeuchte in privaten Schwimmhallen

Die Verdunstung

Häufig geht man davon aus, dass Wasser nur bei nahezu 100 °C verdampft (umgangssprachlich: verdunstet), wie man dies täglich in der Küche beobachten kann. Dem ist aber nicht so.

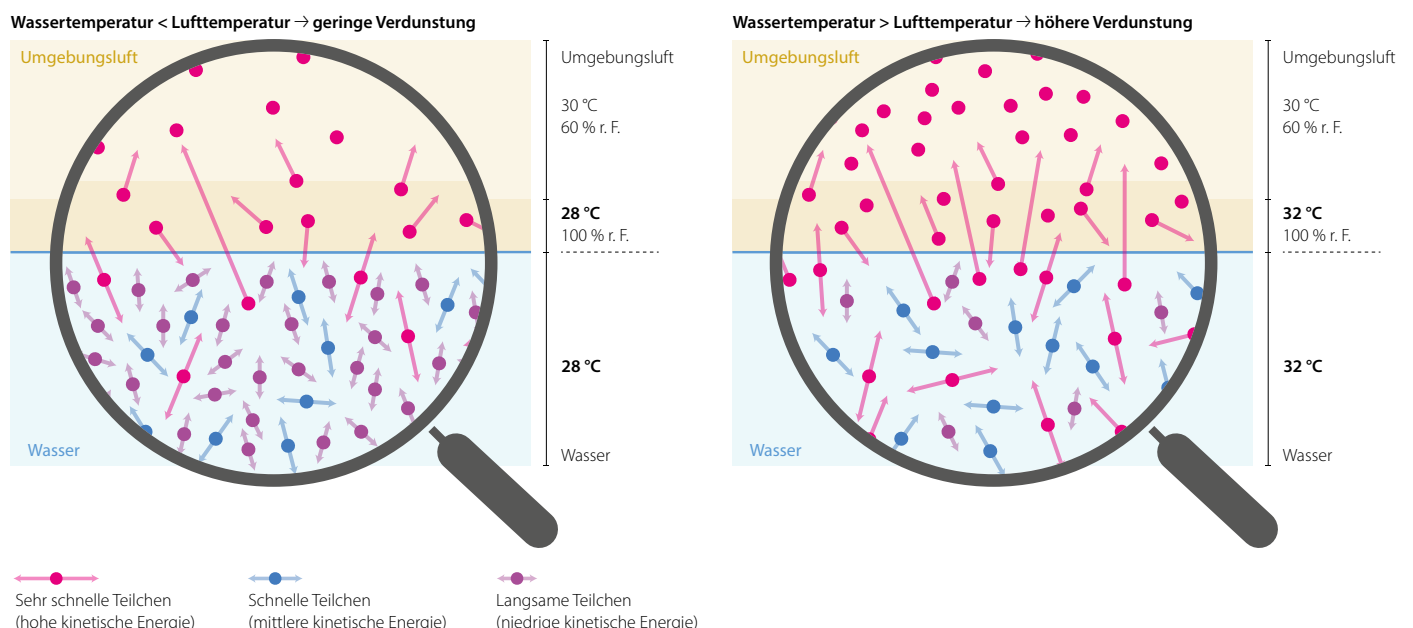
Die Verdunstung ist ein natürlicher Vorgang, der in der Natur elementar ist, aber in Schwimmhallen jedoch auch erhöhte Anforderungen an die Planung und Umsetzung stellt.

Die Luftfeuchte in Schwimmhallen wird nahezu vollständig durch die Verdunstung des Beckenwassers bestimmt. Sie stellt den Übergang von Wasser aus der flüssigen in die gasförmige Phase dar. Dies geschieht kontinuierlich an jeder offenen Wasseroberfläche, da dort Wassermoleküle genügend (kinetische) Bewegungsenergie besitzen, um teilweise in die Raumluft überzugehen.

Dieser Prozess entzieht dem Wasser jedoch langfristig auch Wärmeenergie von ca. 0,7 kWh je kg verdunstetem Wasser und führt zu erhöhten Wärmeverbräuchen, da die Wärmemenge wieder über die Beckenwassererwärmung zugeführt werden muss. Die Verdunstungsmenge steigt mit zunehmender Wassertemperatur an, da die Bewegungsenergie der Wassermoleküle und somit die Verdunstungsmenge zunimmt.

In der Praxis findet somit häufig eine Abwägung zwischen Komfort und Energieverbräuchen statt. Die Verdunstung kann aber durch gezielte Maßnahmen stark reduziert werden und ermöglicht somit eine energetisch erheblich vorteilhaftere Betriebsweise.

Das Prinzip der Verdunstung



Die Berechnung

Bei der Berechnung von Verdunstungsmengen wird zugrunde gelegt, dass die Lufttemperatur direkt an der Wasserfläche der Wassertemperatur mit einer Luftfeuchte von 100 % r.F. entspricht. Dies findet aufgrund der Luftschicht-Betrachtung auf Molekül-Ebene statt. Bei der gewählten Raumlufttemperatur wird beispielsweise eine übliche Luftfeuchte von 55 bis 60 % r.F. gewählt.

Die Lufttemperatur sollte mindestens 2 bis 3 °C über der Wassertemperatur liegen, um die Verdunstung möglichst gering

zu halten. So ergibt sich in der Praxis häufig eine Paarung der Wasser-/Lufttemperatur von 28/30 °C.

Jeder Luftzustand aus Temperatur und relativer Feuchte kann mit einem Partialdruck beschrieben werden, der den Wassergehalt der Luft widerspiegelt. Er dient als Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Verdunstungsmenge nach VDI 2089 Blatt 1. Eine resultierende Partialdruck-Differenz ist somit das treibende Potenzial der Verdunstung und wird zur Berechnung verwendet, da Gase stets bestrebt sind, ein Gleichgewicht zwischen Bereichen mit hohem und niedrigem Partialdruck herzustellen.

Eine identische Wasser-/Lufttemperatur kann somit eine ca. 37 % höhere Verdunstungsmenge ergeben, wie Tabelle 1 zeigt.

Wasser-temperatur °C	Luft-temperatur °C bei 60 % r.F.	Partialdruck-differenz hPa (mbar)	Verdunstungs-rate g/h pro m ² ruhend	Faktor
30	30	16,96	85	1,37
28	30	12,42	62	1,00
26	30	8,15	41	0,66
24	30	4,37	22	0,35
30	28	19,69	98	1,58
30	26	22,25	111	1,79
30	24	24,52	123	1,98

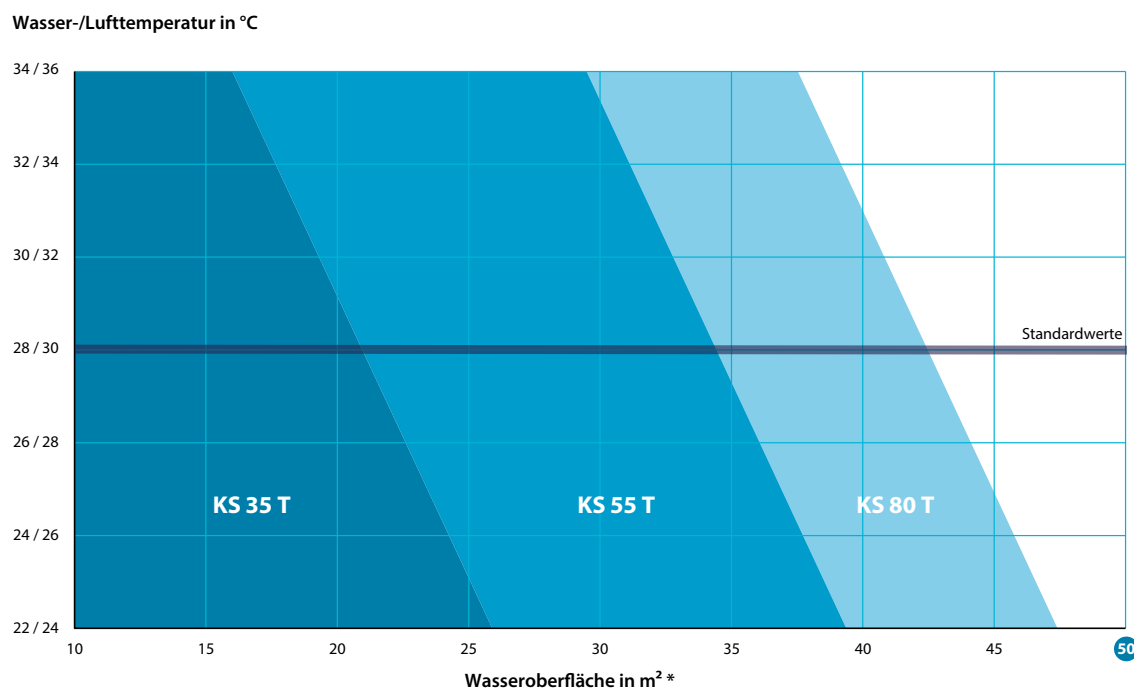
Tabelle 1: Verdunstungsrate in Abhängigkeit des Partialdruckes pro m² Wasserfläche für offene, ruhende Becken. Verdunstungsbeiwert: 5 g/(hPa*m²)

Formel (vereinfacht):

Verdunstungsrate in g/h = Partialdruckdifferenz x Verdunstungsbeiwert x Wasserfläche

In der Praxis ist es notwendig, der gewählten Wasser- und Lufttemperatur eine hohe Bedeutung zukommen zu lassen, da dies erheblichen Einfluss auf die Verdunstungsrate und somit auf die Dimensionierung und Auswahl der Systemtechnik hat. Dies ist auch im Auslegungsdiagramm eines üblichen Luftentfeuchters in Truhenbauform gut erkennbar: Mit zunehmender Wasser-Lufttemperatur werden immer größer dimensionierte Entfeuchter benötigt.

Auslegungsdiagramm für Kaut KS T-Serie (ohne Poolabdeckung)



* Das Diagramm ist gültig für private Standardschwimmhallen und basiert auf einer täglichen Beckennutzungsdauer von ca. 2 Stunden. Außerhalb der Nutzung ist das Becken nicht abgedeckt. Luftfeuchte bei gewählter Wasser-/Lufttemperatur: 60 % r. F. Technische Irrtümer und Änderungen vorbehalten.

Einflussgrößen der Verdunstungsmenge im Detail

Die Höhe der Verdunstung wird im Wesentlichen durch die folgenden Parameter bestimmt und ist für eine Dimensionierung, die nicht mittels Diagramms erfolgen kann, elementar.

Wassertemperatur

Mit steigender Wassertemperatur erhöht sich der Sättigungsdampfdruck (Partialdruck) der Luft an der Grenzschicht zum Wasser. Private Schwimmhallen mit Wassertemperaturen von 26 - 30 °C weisen daher höhere Verdunstungsraten auf.

Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte. Eine niedrige relative Luftfeuchte begünstigt die Verdunstung, während hohe Luftfeuchten die Verdunstungsrate reduzieren.

Luftbewegung über der Wasseroberfläche

Luftströmungen führen den wasserdampfgesättigten „Luftfilm“ über der Wasseroberfläche ab und ersetzen ihn durch aufnahmefähige Luft. Bereits geringe Luftgeschwindigkeiten erhöhen die Verdunstung erheblich. Eine direkte Überströmung der Wasserfläche sollte deshalb nicht nur aus Komfortgründen (Zuglufterscheinung) vermieden werden.

Welche Möglichkeiten gibt es?

In Schwimmhallen werden überwiegend Kondensationsentfeuchter mit integriertem Kältekreislauf eingesetzt. Die feuchte Hallenluft wird über einen Verdampfer (Kältemittel) abgekühlt, der enthaltene Wasserdampf teilweise auskondensiert und abgeführt. Die im Kältekreislauf freiwerdende Kondensationswärme und Verdichterarbeit, die vorher als elektrische Energie aufgenommen wurde, wird zur Wiedererwärmung der Luft genutzt, wodurch ein sehr hoher energetischer Wirkungsgrad erreicht wird. Dieses Verfahren wird auch als „integrierte Wärmerückgewinnung“ bezeichnet. In der Praxis kann so eine Rückwärmeleistung von ca. 2,5 kW oder mehr erbracht werden.

Möglichkeit 1: Eine weit verbreitete Art des Luftentfeuchters sind Truhengeräte, die für eine Montage in der Schwimmhalle oder im benachbarten Technikraum montiert werden. Sie bieten eine effektive, günstige Standardlösung und sind zudem leicht nachzurüsten

Möglichkeit 2: Höheren Komfort bezüglich Optik, Lautstärke und gezielter Luftumwälzung bieten Kanalgeräte. Durch das meist nicht sichtbar verbaute Kanalnetz werden Schallemissionen durch den Ventilator und Kompressor weitestgehend vermieden und eine Luftverteilung kann gezielt erfolgen. Fensterflächen können so zusätzlich angeströmt werden und Kondensation wird vermieden.

Möglichkeit 3: Für höchste Komfortansprüche stehen Lüftungsgeräte mit regelbarem Außenluftanteil zur Verfügung, die auch in öffentlichen Bereichen eingesetzt werden dürfen. Diese

Nutzungsintensität

Der Badebetrieb führt durch Bewegung der Wasseroberfläche, Spritzwasser und Wasserattraktionen wie Gegenstromanlagen zu einer erheblich erhöhten Verdunstung gegenüber dem Ruhebetrieb. Dies spiegelt sich in der Auslegung in einem veränderbaren Verdunstungsbeiwert wider, der abhängig von der Beckennutzung ist.

Für private Becken wird häufig der vereinfachte Verdunstungsbeiwert von 5 bis 8 g/(hPa * m² * h) gewählt. Dies bedeutet, dass 5 bis 8 Gramm Wasser pro m² Wasserfläche und Stunde bei einer rechnerischen Partialdruckdifferenz von einem hPa verdunstet werden. Wellenbäder erreichen Werte von 35.

Beckenabdeckung

Eine geschlossene Beckenabdeckung reduziert den direkten Stoffaustausch zwischen Wasser und Raumluft. Die Verdunstung kann dadurch um etwa 80 - 90 % verringert werden und stellt ein praxisbewährtes, sehr wirksames Mittel zur Energieeinsparung dar. Zudem kann sie, je nach Modell, auch einen zusätzlichen Beckenschutz für Kinder oder zur Wärmeisolierung darstellen.

ermöglichen zusätzlich die Abfuhr von Chloraminen und Gerüchen, die ansonsten als „typischer Schwimmbadgeruch“ wahrgenommen werden. Sie stellen die bestmögliche Komfortlösung dar und bieten höchste Kontrolle der Raumluftparameter in Verbindung mit bester Optik und geringsten Geräuschemissionen und Chlorgerüchen. Angrenzende Räume können zudem durch einen leichten Unterdruck in der Schwimmhalle vor Feuchte oder Geruchsausbreitung geschützt werden. Wärmerückgewinnungssysteme reduzieren zudem mittels Kreuzstrom-Wärmeübertragers und eines Wärmepumpensystems den Heizenergiebedarf deutlich.

Alle Systeme können zusätzlich mit einem Heizregister versehen werden, um eine zusätzliche Heizlast des Raumes decken zu können. Es stehen elektrische und heizungsunterstützte Systeme zur Verfügung. Sie sind leicht nachzurüsten falls z. B. die Wärmeleistung des bestehenden Systems nach einer Modernisierung mit geringeren Vorlauftemperaturen nicht mehr ausreichend sein sollte. Für den Einsatz in den Schwimmhallen werden zudem korrosionsgeschützte Gehäuse, beschichtete Wärmeübertrager sowie chlorbeständige Ventilatoren verwendet, die die Lebensdauer und Betriebssicherheit der Systeme signifikant erhöhen. Die Feuchte- und Temperaturregelung sowie Radialventilatoren werden über busfähige Regler und funkgestützte Touch-Fernbedienungen realisiert. So kann geringer Energieverbrauch mit hohem Nutzerkomfort kombiniert werden.

Systemtechnik im Vergleich

Truhengeräte



Luftentfeuchter KS T

Diese Geräte kühlen die feuchte Hallenluft am Verdampfer unter den Taupunkt ab. Das auskondensierte Wasser wird abgeführt, während die freiwerdende Kondensationswärme und die Verdichterarbeit zur Wiedererwärmung der Luft genutzt wird (integrierte Wärmerückgewinnung). Eine wirtschaftliche Lösung, die auch zur Nachrüstung ideal ist.

Vorteile

- Effektive günstige Lösung
- Ideal zur Nachrüstung
- Kein Technikraum notwendig

Kanaleinbaugeräte



Luftentfeuchter KS 1000 - 3000

Ergänzend zur Technologie der Truhengeräte bieten die Kanaleinbaugeräte durch ein separates Kanalnetz die Möglichkeit einer gezielten Luftführung. So können kritische Zonen, wie großflächige Verglasungen, gezielt mit trockener Warmluft angeströmt werden, um einer Taupunktunterschreitung sicher entgegen zu wirken. Zudem minimiert die externe Aufstellung die Schallemissionen im Baderaum.

Vorteile

- Nahezu unsichtbare Montage
- Höherer Komfort bezüglich Lautstärke
- Gezielte Luftverteilung

Lüftungszentralgeräte mit Außenluftanteil



Lüftungsgeräte DanX XD/HP

Dieses System kombiniert eine hohe Energieeffizienz mit der Optimierung des Raumklimas. Die technische Ausführung ermöglicht eine präzise Steuerung bei gleichzeitig hohem Nutzerkomfort. Durch den Einsatz von Kreuzstrom-Wärmeübertragern, drehzahlgeregelten Ventilatoren und einem integrierten Kältekreislauf (HP-Version) wird ein hoher energetischer Wirkungsgrad erzielt. Das System nutzt die Fortluft als zusätzliche Wärmequelle und ermöglicht eine effektive Entfeuchtung im Umluft- und Nachtbetrieb. Zudem werden Geruchsstoffe (Chloramine) gezielt abgeführt und eine Feuchteausbreitung in benachbarte Räume wird vermieden.

Vorteile

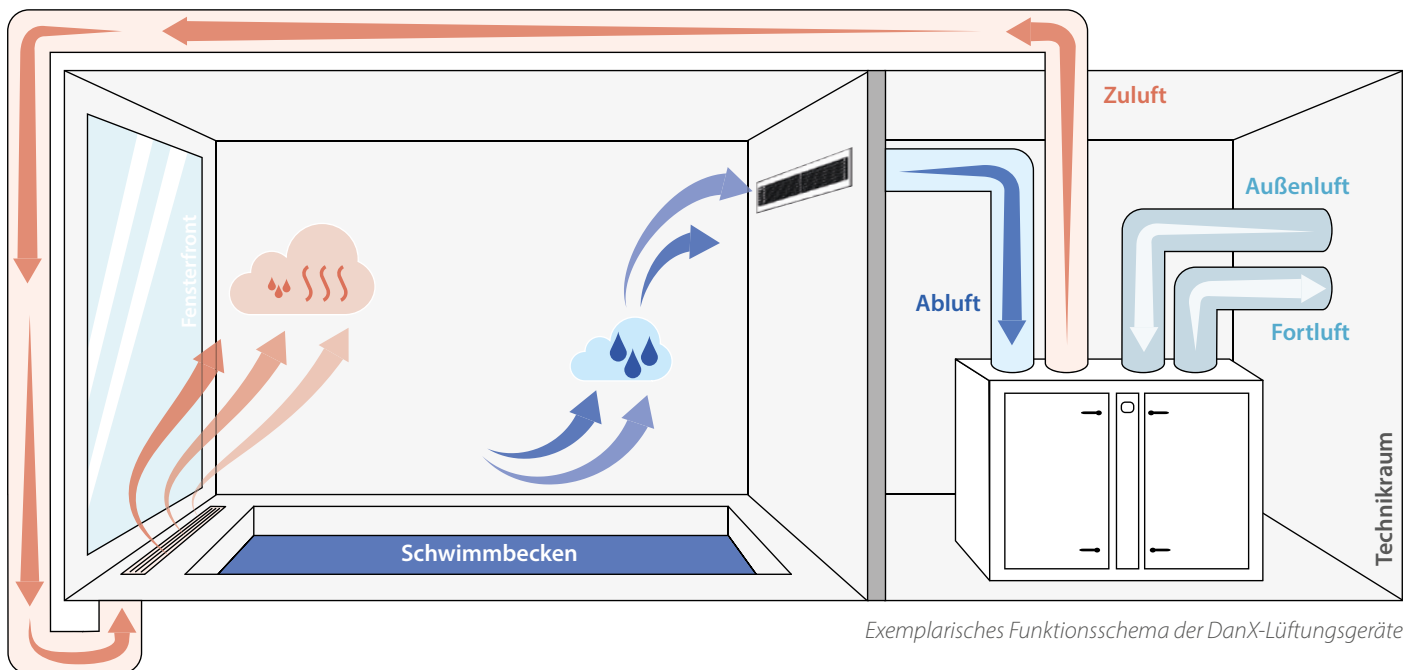
- Optimum an Komfort, Optik und Lautstärke
 - Beste Kontrolle der Raumparameter
 - Minimalste Chlorbelastung der Raumluft
-

Anwendungsbeispiel: Lüftungszentralgeräte der DanX-Serie

Das Belüftungskonzept hält die unvermeidbare Wasserverdunstung durch eine gezielte Regelung der relativen Luftfeuchtigkeit auf einem behaglichen Niveau. Neben der Entfeuchtung stellt das System die Wärmeversorgung sicher und gewährleistet einen kontinuierlichen Luftaustausch zur Abfuhr von Chlorabbauprodukten. Dank der präzisen Luftführung wird Kondensation an kritischen Bauteilen – wie großzügig dimensionierten Fensterfronten – effektiv vermieden und die Gebäudesubstanz nachhaltig geschützt.

Technisch basiert die Lösung auf einem kontrollierten Luftaustausch, bei dem feuchte Abluft aus dem Raum abgeführt und durch aufbereitete Zuluft ersetzt wird, wobei Außen- und Fortluftströme über das Lüftungszentralgerät direkt geregelt werden.

Zur Steigerung der Energieeffizienz verfügen die Geräte über ein ein- oder zweistufiges Wärmerückgewinnungssystem, bestehend aus einem Kreuzstrom-Wärmeübertrager und einem optionalen Wärmepumpenkreislauf. Letzterer ermöglicht es, der Fort- und Umluft (bis zu 100 %) restliche Wärme zur direkten Raumbeheizung zu entziehen. Darüber hinaus gewährleistet das Gerät eine hocheffiziente Entfeuchtung im reinen Umluftbetrieb. Durch eine gezielte Ventilatoreinstellung kann ergänzend ein leichter Unterdruck in der Schwimmhalle erzeugt werden, der Feuchtigkeit und Gerüche sicher im Raum einschließt und deren Ausbreitung in angrenzende Gebäudeteile verhindert.



Exemplarisches Funktionsschema der DanX-Lüftungsgeräte

Fazit

In Schwimmhallen lässt sich die Verdunstung von Wasser nie vollständig vermeiden. Dabei wird dem Beckenwasser und dem Raum kontinuierlich Wärme entzogen, was ohne geeignete Maßnahmen zu Kondensation, Korrosion und Bauschäden führen kann. Ein professionelles Entfeuchtungssystem ist daher unerlässlich, um ein angenehmes Raumklima bezüglich Temperatur, Feuchte und Komfort zu gewährleisten und den langfristigen

Werterhalt der Bausubstanz sicherzustellen. Abhängig von den baulichen Gegebenheiten und dem gewünschten Komfort stehen drei verschiedene Lösungen zur Verfügung. Ergänzend dazu stellt eine hochwertige Beckenabdeckung die effektivste Maßnahme dar, um Verdunstungsverluste zu minimieren und den Energiebedarf nachhaltig zu senken..