

Foto: INCO

Einsparpotenzial durch Absenkung der Beckentemperaturen

Als Fortsetzung ihrer Serie „Raumluftrömungen in Schwimmhallen“ haben sich die Autoren mit der Ermittlung der Beckenwasser-Verdunstung auseinandergesetzt und diese im h,x-Diagramm dargestellt.



Autoren:

Dipl.-Ing. Jörn Kaluza, Geschäftsführer der INCO Ingenieurbüro GmbH in Aachen, Mitglied der DGfD-B-Arbeitskreise HLSE sowie Energie und Ressourcen, und Dr.-Ing. Eckehard Fiedler von der I.F.I. Institut für Industriaerodynamik GmbH in Aachen

INFO

Raumluftrömung in Schwimmhallen Teile 1 bis 3

- AB 10/2020, Seite 704 ff.: Luftführung in Schwimmhallen in den Zeiten von Corona
- AB 03/2021, Seite 215 ff.: Luftführung abwärts
- AB 01/2022, Seite 34 ff.: Berechnung der Verdunstungsverluste und des Wärmeübergangs

Im Zuge der Verschärfung der Klimakrise und der Energieverknappung durch den Krieg in der Ukraine geraten die Energieeinsparmöglichkeiten der öffentlichen Schwimmbäder in den Fokus des Interesses. Mehrfach wurde eine einfache Frage uns herangetragen: „Wie viel Energie kann in einem kommunalen Bad durch Absenken der Beckenwassertemperatur eingespart werden?“. Die Frage ist nicht ganz so leicht zu beantworten. Zunächst muss man erläutern, welche Wärme-

verbrauchergruppen es im Bad gibt, und wie sich die Veränderung der Beckenwassertemperatur auf die Verbrauchergruppen auswirkt. Letztendlich ist die Beckenwasserverdunstung als größter Verbraucher im Spiel, im Zusammenwirken mit der Raumtemperatur und der Raumluftheuchte. Hier werden wir die im Artikel „Berechnung der Verdunstungsverluste und des Wärmeübergangs“ (siehe AB 01/2022, Seite 34 ff.) hergeleiteten vereinfachten Berechnungen praktisch anwenden. Ziel ist es, eine nennenswerte Einsparung des Wärmebedarfs zu erreichen.

Einsparmöglichkeiten: die wichtigsten Ergebnisse vorab

Bevor wir näher auf unsere Berechnungen eingehen, möchten wir eine Zusammenfassung der Ergebnisse geben:

- Eine Absenkung der Becken- und aller Raumtemperaturen um 2 °C führt zu einer Einsparung von ca. 10 % des Wärmebedarfs des Bades. Hierbei wurde angenommen, dass die Feuchteregelung nicht korrigiert und die relative Luftfeuchte konstant gehalten wurde. Die absolute Feuchte sinkt dabei, wodurch nicht das maximale Einsparpotenzial erreicht wird.
- Der Wärmebedarf reagiert sehr sensibel auf die Hallenfeuchte (Verdunstungsverluste). Durch eine Kombination der Temperaturabsenkung um 2 °C im

Zusammenwirken mit einer leichten Erhöhung der Schwimmhallen-Luftfeuchte (28 °C, 64 %; Beispiel-Berechnung folgt) lassen sich ca. 25 % des Wärmeverbrauches des Bades einsparen.

- Die gleiche Einsparung lässt sich auch ohne die Absenkung der Becken- und Raumluftheuchten erreichen, und zwar durch eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte um ca. 20 %.
- Im Falle eines „Notfallplans“ wäre Folgendes denkbar: Wählt man für die Beckentemperaturen die „Freibadwerte“ (Schwimmerbecken 24 °C, Nichtschwimmerbecken 26 °C) und für die Luftkondition 30 °C, 64 % (Maximal-Wert laut VDI 2089 zum Schutz der Baustoffsubstanz), dann liegt die Einsparung bei fast 50 %. Allerdings ist die Abschätzung hier ungenau und müsste unter realen Bedingungen getestet werden. Der Baustandard, interne Wärmequellen, Strom und Solareinstrahlung spielen hier u. a. eine Rolle.

Berechnung (Abschätzung) der Einsparung

Die Veränderung der Beckenwassertemperatur wirkt sich auf verschiedene Energieflüsse im Bad aus, die einzeln zu betrachten sind. Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Wärmeverbraucher eines Schwimmbades und deren Abhängigkeit von der Beckenwassertemperatur. Je nach Baustandard und Betrieb können von dieser Aufteilung deutliche Abweichungen auftreten (bis +- 10-%-Punkte je Gruppe).

	Wärmeverbraucher-Gruppen	Anteil	Einfluss sinkender Becken-Temperatur
1	Beckenwasserverdunstung	40 %	Verdunstung sinkt = deutliche Energieeinsparung
2	Lüftungsanlagen, WRG nicht 100 %	15 %	weniger Verdunstung = Weniger Außenluftverluste
3	Gebäudehülle Transmission und Leckage	20 %	geringere Raumtemperatur = geringere Verluste
4	Duschwasser	15 %	unverändert
5	Abwasser, Filter, Spülwasser	10 %	geringere Wassertemperatur = geringere Verluste des Abwassers (Kanalverlust)

←
Tabelle 1: Beispielhafte Aufteilung der Wärmeverluste eines Bades nach aktuellem bautechnischen Standard



Rutsch Sicherheit auf Stein, Fliesen ...
Tel. 041 01 - 31061 www.supergrip.de

SUPERGRIP
ANTI-RUTSCH-BEHANDLUNG





interbad

Internationale Fachmesse für Schwimmbad,
Sauna und Spa mit Kongress für das Badewesen

25. – 28. Oktober 2022 Messe Stuttgart

Mit der Beckenwassertemperatur sinkt die Beckenwasserverdunstung, die der größte Wärmeverbraucher im Schwimmbad ist. Eine geringere Beckenwasserverdunstung bedeutet weniger Lüftungsvolumenstrom für die Entfeuchtung der Schwimmhallen und geringere Verluste bei der Außenluftaufbereitung (WRG-Verluste, WRG = Wärmerückgewinnung). Die Raumtemperaturen können auch abgesenkt werden, wodurch sich die Wärmeverluste über die Gebäudehülle verringern.

Bei der Berechnung der Einsparungen gehen wir davon aus,

- dass es sich um ein kommunales Standard-Bad handelt,
- die Lüftung mit Wärmerückgewinnung und funktionierender Feuchteregelung der Lüftungsanlage (Außenluftanteil) ausgerüstet ist und
- alle Beckentemperaturen um 2 °C abgesenkt werden.

Beheizte Außenbecken sind nicht enthalten. Diese verursachen einen gravierenden Wärmebedarf und sollten als Erstes nicht mehr fossil beheizt werden (Einsparung bei 200 m² mit Abdeckung: 1 300 MWh/a – der Wert eines modernen Hallenbades nach VDI 2089, Teil 3). Die Sauna muss separat betrachtet werden.

Nachfolgend werden beispielhaft die Auswirkungen für ein Springerbecken berechnet. Die Temperaturen der Schwimmhalle sowie der Umkleide- und Duschbereiche werden abgesenkt.

Berechnung der veränderten Verdunstung

Im AB 01/2022 haben wir ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Beckenwasserverdunstung vorgestellt. Statt der Dampfdruckdifferenz zwischen der Beckenwasseroberfläche und der Luft wird mit der Differenz der absoluten Feuchte X in g/kg trockene Luft gerechnet, da die beiden Größen nahezu linear voneinander abhängen.

$$\dot{m}' = \beta \cdot K \cdot \Delta x \text{ (Luft-Wasseroberfläche) [kg/(h} \cdot \text{m}^2\text{)]}$$

$$T_w = 25^\circ\text{C} \rightarrow K = 1,13 \text{ kg/m}^3$$

$$T_w = 30^\circ\text{C} \rightarrow K = 1,10 \text{ kg/m}^3$$

Für β werden die üblichen Referenzwerte in m²/h nach VDI 6089, Teil 1 verwendet.



Wasser ist unser Element – Kompetenz unser Angebot.

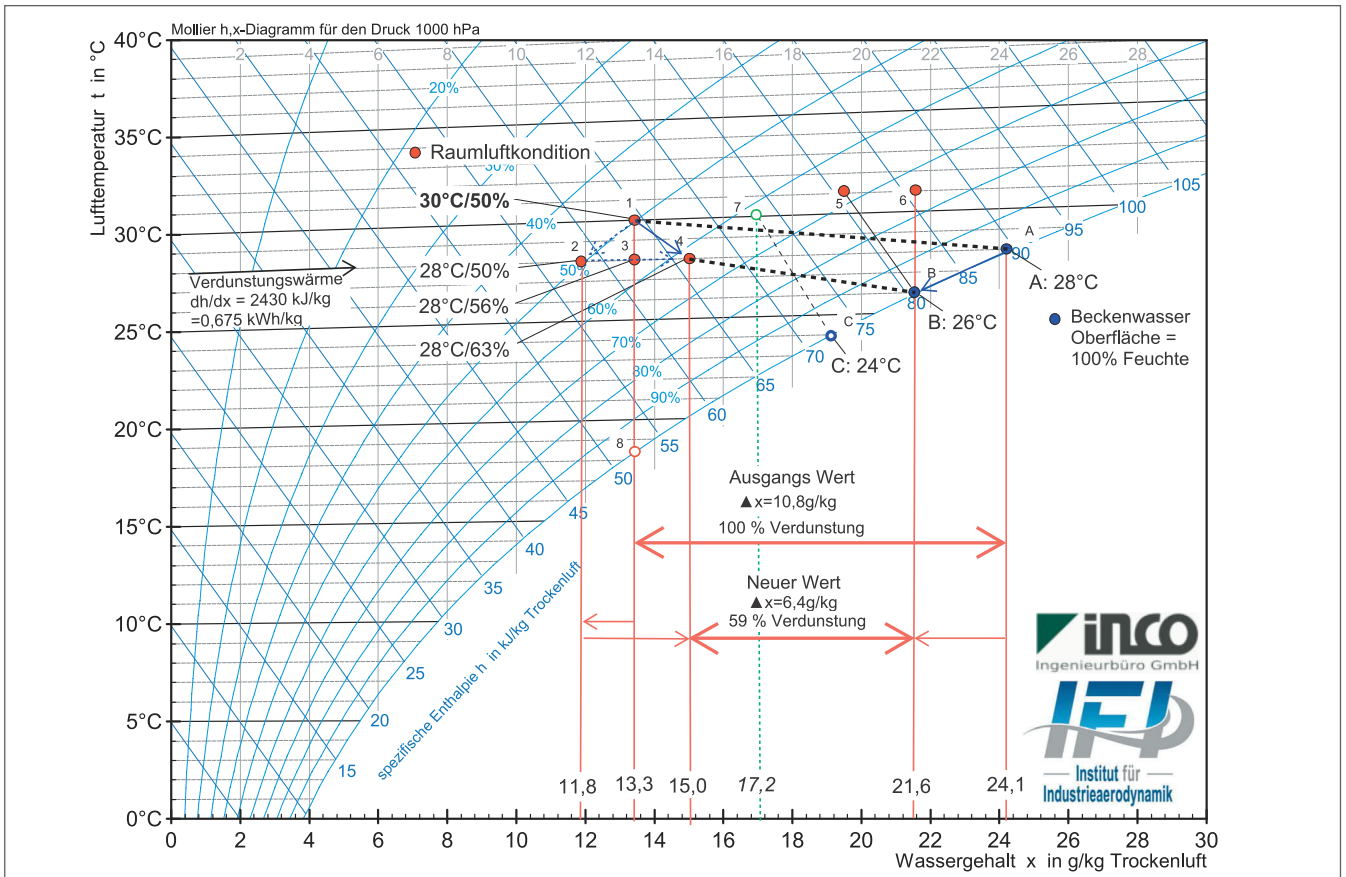
Erleben Sie innovative Techniktrends und kreative Designideen rund um die Themen Schwimmbad, Sauna und Spa! Tauschen Sie sich mit ExpertInnen aus, lassen Sie sich von neuen Produkt- und Themenwelten begeistern und freuen Sie sich auf inspirierende Begegnungen – beim ersten internationalen Branchentreffpunkt 2022 in Stuttgart!

Jetzt informieren: www.interbad.de



SCHWIMMBAD SAUNA SPA

Sicher für Menschen.
Gut für die Wirtschaft.



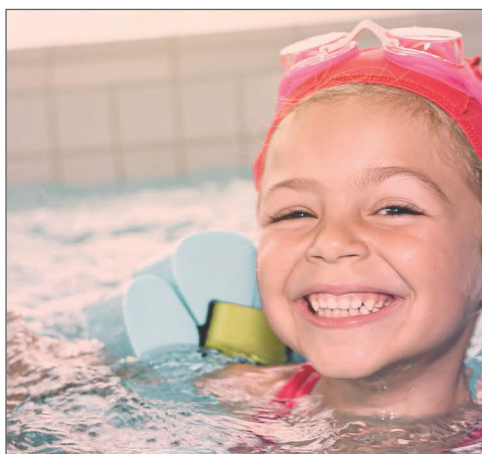
1 | Bestimmung der Verdunstungswerte im h,x-Diagramm

Die Luftgeschwindigkeiten, die Luftführung und die Übertemperatur (Luft 2 °C über Beckenwasser) werden nicht verändert: $\beta = \text{konstant}$.

Für die Beckenwasseroberfläche ist der Zustand 100 % Luftfeuchte bei der Wassertemperatur A (blauer Punkt) 28 °C und B (blauer Punkt) 26 °C gegeben.

Die Beckenwasserverdunstung kann man jetzt im h,x -Diagramm (siehe Abbildung 1) darstellen und ermitteln. Mit ausreichender Genauigkeit ist die Einsparung der Beckenwasserverdunstung proportional zur erreichten Reduzierung der Differenz der absoluten Feuchte.

Die roten Punkte 1 bis 8 sind Raumlufzustände. Die Temperatur und die relative Feuchte werden im h,x-Diagramm einer absoluten Feuchte in g/kg Trockenluft zugeordnet (X-Achse).



Erleben Sie den Unterschied.

Seit über 45 Jahren sorgen wir für Klarheit.

Wir sorgen mit unseren Wasseraufbereitungsmitteln für korrekt eingestellte Werte im Schwimm- und Badebeckenwasser. Expertise, ein breites Spektrum an Produkten und mehr erhalten Sie unter: info@flamingo-group.de



Zustand 1

Dies ein angenommener Referenzwert, mit einer Lufttemperatur von 30 °C, einer relativen Luftfeuchte von 50 % und einem absoluten Wassergehalt $x = 13,3 \text{ g/kg}$. Von diesem Referenzwert wird bei allen weiteren Berechnungen ausgegangen. Die Differenz dX des X-Wertes zur Feuchte der Beckenwasseroberfläche (bei 28 °C z. B. 24,1 g/kg) ist der Faktor für die Berechnung der Verdunstung gemäß der zuvor genannten Formeln. Die Verdunstung ist umso geringer, je kleiner der neue Wert von dX ist.

Zustand 2 (28 °C, 50 %)

Die Absenkung der Wassertemperatur mit konstanter relativer Raumfeuchte 50 % bei 28 °C hat eine geringe absolute Feuchte X zur Folge. Die Reduzierung der Verdunstung ist dadurch geringer.

Zustand 3 (28 °C, 56 %)

In diesem Zustand ist bei gleicher Temperatur (28 °C) zum Zustand 2 und dem gleichen Wassergehalt der Luft $x = 13,3 \text{ g/kg}$ zum Zustand 1 die absolute Feuchte mit 56 % leicht erhöht. Die Differenz dX sinkt gegenüber Zustand 2. Damit ergibt sich eine erste Verbesserung.

Zustand 4 (28 °C, 63 %)

Die Feuchte ist noch einmal moderat erhöht worden, auf 63 % bei 28 °C. Dies ist der neue Raum-Referenzwert für die weitere Berechnung. Die Temperaturabsenkung und die Feuchtekompensation ergeben zusammen eine Reduzierung der Verdunstung um 41 %.

Zustand 5 (31 °C, 68 %)

Dieser Zustand ist ein Enthalpie-konstanter Zustand zur Beckenwassertemperatur 26 °C. Die Verdunstung ist gering. Die Wärme, die für die Verdunstung notwendig ist, wird durch die Luft ans Wasser abgegeben. Das Becken muss für die Verdunstung nicht zusätzlich geheizt werden. Die Nachheizung ist aus und dennoch kann die Beckentemperatur steigen, wenn die durch Wärmestrahlung der Raumflächen, Umwälzpumpen und Schwimmer:innen eingebrachte Wärme größer ist als die für die Nachspeisung aufgewandte Wärme.

Zustand 6 (31 °C, 75 %)

Der Zustand 6 ist ein Zustand gleicher absoluter Feuchte zur Beckenoberfläche 26 °C. Durch die hohe Raumluftfeuchte findet keine Verdunstung mehr statt.

Zustand 7 (30 °C, 64 %)

Hier liegt der im „Notfallplan“ angesetzte Raumluftzustand vor, der dem Maximal-Wert der Feuchte nach VDI 2089 zum Schutz der Bausubstanz entspricht. Zu der dazugehörigen Beckenwassertemperatur von 24 °C ist die Zustandsänderung nahezu Enthalpie-konstant mit den entsprechenden energetischen Vorteilen.

Zustand 8

Der Taupunkt zu einem Raumluftzustand 1 ist senkrecht nach unten zu finden, $x = \text{konstant}$, mit dem Schnittpunkt der 100%-Linie ($T_p = 18,4 \text{ °C}$). Wird diese Temperatur an Bauteilen unterschritten, fällt Wasser aus.



Nachträgliche Rutschsicherheit

Vom Beckenrand über den Wellnessbereich zur Umkleide und jedem rutschigen Boden -

Mit AntiSlide wird jede Oberfläche garantiert rutschsicher und die Optik bleibt erhalten.

Kontaktieren Sie uns für Muster und Angebote:

Tel: 0721 – 915 814 92

info@antislid.de – www.antislid.de

Unser Dienstleistungsteam ist europaweit für Sie da!

Verdunstungswärme

Mit dem h,x-Diagramm kann auch die für die Verdunstung notwendige Verdunstungswärme bestimmt werden. Diese entspricht der isothermen Zustandsänderung bei 28 °C $dh / dx = 2430 \text{ kJ/kg} = 0,675 \text{ kWh/kg}$. Um einen Liter Wasser zu verdunsten, muss eine Wärmemenge von 0,675 kWh zugeführt werden.

Beispiel-Berechnung der Verdunstung mit der absoluten Feuchte

Im h,x-Diagramm haben wir bereits die prozentuale Verringerung der Verdunstung bestimmt. Der Vollständigkeit halber folgt noch die Berechnung der Verdunstungswassermenge aus der absoluten Feuchte nach Formel 1, zu sehen in Tabelle 2.

β führt zur maximalen Verdunstungsmenge bei der größten Personenbelegung entsprechend DIN 19643. Im Beispiel läge die Beckenbelegung bei 69 Schwimmer:innen (312 m²/4,5 Personen/m²). Für die durchschnittliche Verdunstungsmenge kann der Korrekturwert für die Personenbelegung nach VDI 2089 Teil 2 Kapitel 5.2.9 angewendet werden. Bei durchschnittlichen Besucherzahlen liegt diese Reduktion bei ca. 0,5.

Berechnung der Wärmemengen

In Tabelle 1 wurden bereits die Abhängigkeiten der einzelnen Verbrauchergruppen von den Temperaturen und der Verdunstung erläutert. Wie aber wirkt sich dies auf die Jahres-Energiebilanz aus?

Die hohen Raumtemperaturen von ca. 30 °C (Umkleide 27 °C) führen dazu, dass das Bad einen ganzjährigen Wärmebedarf hat. Stunden mit Überschuss durch solare Erträge und internen Wärmequellen sind nicht häufig und können für den Anwendungsfall vernachlässigt werden.

Um die Einsparung zu quantifizieren, benutzen wir für die gestellte Aufgabe vereinfachte Jahresdurchschnittswerte, wie sie auch von der VDI 2089 Teil 2 zur Berechnung der Außenluftaufbereitungsverluste (Wärmerückgewinnungsverluste) vorgegeben werden. Aufgrund des Klimawandels wird nicht mit einer Mitteltemperatur von 8,6 °C nach VDI C 2009, sondern mit 10,0 °C gerechnet. Die Beckenwasserverdunstung (Betrieb und Nacht) sowie der Duschwasserbedarf pro Tag sind in ausreichender Näherung über das Jahr konstant. Die Lüftungswärmeverluste sind dabei stark von der Außenfeuchte und von der Außentemperatur abhängig.

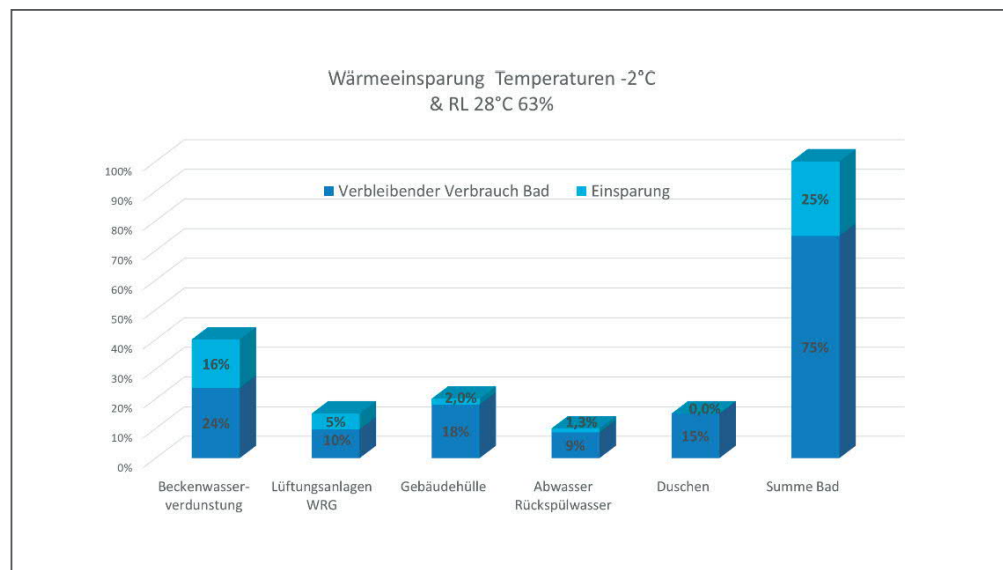
		Ist-Zustand	nach Absenkung	Einsparung
Beckenwassertemperatur	°C	28,0	26,0	
Lufttemperatur	°C	30,0	28,0	
relative Feuchte		50 %	63 %	
x Wasseroberfläche	g/kg	24,1	21,4	
x Raumluft	g/kg	13,3	15,0	
dx	g/kg	10,8	6,4	41 %
Beta	m/h	28,0	28,0	
k-Faktor		1,1	1,1	
Verdunstung	g/m ² h	333,0	196,0	41 %
Beckenfläche 25 x 12,5	m ²	312,5	312,5	
Verdunstung	l/h	104,0	61,0	41 %
Verdunstungsleistung	kW	69,0	41,0	41 %



Tabelle 2: Berechnung der prozentualen Verdunstungseinsparung

Wärmeverbraucher-Gruppen	Anteil	Einsparung Gruppe	Einsparung Bad	Verbleibend Bad
Beckenwasserverdunstung	40 %	41,0 %	16 %	24 %
Lüftungsanlagen WRG	15 %	35,8 %	5 %	10 %
Gebäudehülle	20 %	10,0 %	2 %	18 %
Abwasser, Filter Spülwasser	10 %	13,3 %	1 %	9 %
Duschen	15 %	0,0 %	0,0 %	15 %
Summe Bad	100 %		25 %	75 %

←
Tabelle 3: Berechnung der prozentualen Einsparung



→
2 | Prozentuale Einsparung für die Beispielrechnung

Fazit

Es ist also zu sehen, dass die Beckenwasserverdunstung den größten Einfluss auf den Wärmeverbrauch des Bades hat – direkt über die Verdunstungswärme und indirekt durch die höheren Lüftungswärmeverluste. Welche Kombination aus Erhöhung der Raumlufftfeuchte und Absenkung der Beckenwassertemperatur besonders wirkungsvoll ist, muss sich in der Praxis zeigen.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde die Luftführung als unverändert angesetzt. Die Luft-Geschwindigkeit an der Beckenoberfläche hat jedoch entscheidenden Einfluss auf die Verdunstung. Die Schichtlüftung (Luftführung abwärts) könnte hier eine entscheidende Hilfe sein in dem Spagat zwischen Energieverbrauch, Beckentemperatur und Hallenfeuchte. Sie entkoppelt die hohen Feuchtwerte an der Beckenoberfläche von der niedrigen Raumlufftfeuchte in der Aufenthaltszone. Eine 25%-Einsparung ist dann auch ohne Beckentemperaturabsenkung möglich.







LEGIO
COM

LEGIO ist Ihr Spezialist für reines Wasser, ohne Legionellen und andere Bakterien. Egal ob unter der Dusche oder am Wasserhahn. Durch unsere innovativen Produkte bieten wir für Ihre Gäste und Kunden ein sorgenfreies Duschvergnügen. Und im Falle einer positiven Wasserbeprobung ist mit unseren Filtern der Duschbetrieb sofort wieder möglich.

Mehr unter www.legio.com/produkte

LEGIO.tools GmbH Tel: +49 (0) 7127 1806-0 E-Mail: info@legio.com