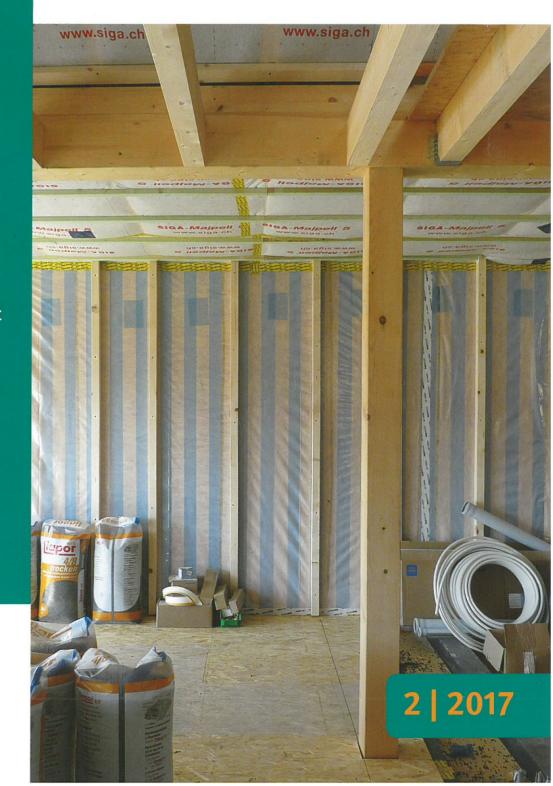
# Energie, Brandschutz, Bauakustik und Gebäudetechnik

- + Feuchteschutz in Schwimmbädern
- + Dichte Gebäudehülle
- + Raumakustik in Großraumbüros
- + Wohnungsbaugesellschaft erneuert Nahwärmenetz





Fraunhofer IRB Verlag

## Dr. Thomas Duzia/Rainer Mucha

# Klimabedingter Feuchteschutz

# Die DIN 4108-3 und die Folgen für den Schwimmbadbau

Als im November 2014 der novellierte dritte Teil der DIN 4108 zum Wärmeschutz und zur Energie-Einsparung in Gebäuden veröffentlicht wurde, enthielt dieser Normenteil modifizierte Rechenansätze für das Glaser-Verfahren zum klimabedingten Feuchteschutz. Neben den Veränderungen der Randbedingungen der rechnerischen Ansätze wurden jedoch auch die Vorgaben der Anwendbarkeit dieser Norm deutlich verändert. Für den Planer von Schwimmbädern resultieren aus den Änderungen unerwartete und schwer nachvollziehbare Konsequenzen.

## Das Schutzziel Feuchteschutz

Im Rahmen der Gebäudeplanung nehmen die bauphysikalischen Betrachtungen als Grundlage zum energiesparenden Bauen eine immer bedeutendere Rolle ein. Die Ziele dazu werden u.a. in der Energieeinsparverordnung und der Normenreihe 4108 zum Wärmeschutz und zur Energie-Einsparung in Gebäuden definiert. Aufgrund der physikalischen Abhängigkeiten kann der Wärmeschutz jedoch nicht losgelöst vom Feuchteschutz betrachtet werden. Wärmeund Feuchteschutz bilden eine Symbiose und haben Schutzziele, die sich ergänzen. So bildet ein funktionierender Feuchteschutz die Grundlage für eine dauerhafte Wärmedämmung, da nur eine trockene Wärmedämmung eine funktionierende Wärmedämmung ist.

Gerade bei der Planung und beim Bau von Hallenbädern ist, bedingt durch deren klimatischen Besonderheiten, das Wissen um die bauphysikalischen Zusammenhänge von besonderer Bedeutung. Aufgrund der hohen Innenraumtemperaturen, die nahezu ganzjährig über den Außenlufttemperaturen liegen, erfährt die Konstruktion besondere Einwirkungen. Diese resultieren im Wesentlichen aus dem Dampfdruckgefälle von innen nach außen, welches aus der Differenz der Lufttemperaturen resultiert. Durch

diese klimatischen Besonderheiten im Inneren eines Schwimmbades sind bauphysikalische Kenntnisse zu den Schichtaufbauten und den Anforderungen an die Luft- und Diffusionsdichtheit von besonderer Bedeutung.

# Randbedingungen nach DIN 4108-3 und im Schwimmbad

Um die konstruktiven Maßnahmen zum Feuchteschutz zu berechnen, geht die DIN 4108-3 bei Gebäuden mit normaler Wohn- oder Büronutzung von winterlichen Bedingungen aus, die über 90 Tage mit konstanten 20 °C und 50 % relativer Luftfeuchte im Innenraum festgelegt sind. Diese inneren Randbedingungen werden ergänzt mit

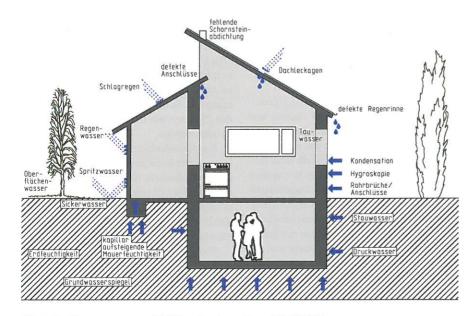


Abb. 1: Einwirkungen aus unterschiedlichen Feuchtequellen auf die Hüllfläche eines Gebäudes



Abb. 2: Mangelhaft eingebaute Dampfsperre einer energetischen Sanierung in einem bestehenden Hallenbad, die zur Holzzerstörung führte. (Foto: duzia bauphysik+architektur)

Tab. 1: Vergleich der Klimarandbedingungen von Wohn- und Büronutzungen zu Schwimmhallen nach VDI 2089

Wärmeschutz- und	l Energieeinsp	arung in Gebäu	den				
Ve	reinfachte Kli	marandbedingu	nger	nach DIN 4108-3:2	014-11		
	Normal Wohn-, Büronutzung						
Tauperiode / Winter	Temperatur in °C	rel. Luftfeuchte Ø		Wasserdampfgehalt relativ g/m³	Wasserdampfgehalt max. g/m <sup>3</sup>		
innen außen	20 °C −5 °C	50 % 80,0 %	<b>* *</b>	8,65 2,592	17,3 3,24		
	Klimal	oedingungen nac	:h V	DI 2089:2010-01			
	Schwimmhalle						
Tauperiode / Winter	Temperatur in °C	rel. Luftfeuchte Ø	1	Nasserdampfgehalt relativ g/m³	Wasserdampfgehalt max. g/m³		
innen außen	30 − 34 °C −5 °C	40 – 64 % 80,0 %	≈ ≈	12,14 - 24,1 2,592	30,35 - 37,65 3,24		

einer durchgängigen Außentemperatur von -5 °C und einer relativen Luftfeuchte von 80 %. Mit diesen Vorgaben zur Berechnung weicht das normative Rechenverfahren von den innenklimatischen Bedingungen in Schwimmbad komplett ab, da die Temperaturen ganzjährig im Innenraum konstant zwischen 22 °C und bis zu 34 °C liegen und die relative Luftfeuchte nach VDI 2089 TECHNISCHE GEBÄU-DEAUSRÜSTUNG VON SCHWIMMBÄDERN 40 % bis 64 % betragen kann. Damit können die wärmegedämmten Konstruktionen der Hüllfläche von Schwimmhallen nicht einfach mit den normierten Standardbedingungen des Glaser-Verfahrens, nach DIN 4108-3 bewertet werden.

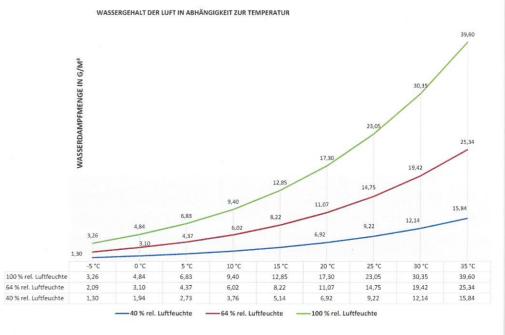
# Der Feuchteschutz nach aktueller DIN 4108-3

Mit der Einführung der überarbeiteten DIN 4108-3 im Jahr 2014 änderte sich einiges in der anzuwendenden Nachweisführung zum Glaser-Verfahren. Im Falle von nicht-klimatisierten Gebäuden standen dem Planer nun viele Beispiele zu Schichtaufbauten von Konstruktionen zur Verfügung, für die kein rechnerischer Nachweis mehr geführt werden muss. Für die Planung eines Hallenbades entfiel jedoch mit der Einführung der novellierten Norm die Grundlage zur Berechnung des klimabedingten Feuchteschutzes. Bereits im Anlauftext zur Norm wurde festgelegt, dass diese Norm nicht für Schwimmbäder zu nutzen ist, jedoch nach Anhang D ein genaueres Berechnungsverfahren, unter Zuhilfenahme von Simulationsprogrammen, durchgeführt werden kann. Normative Randbedingungen, wie sonst in Vorgaben der Normen üblich, wurden nicht vorgegeben. Hiermit beginnt für den Planer die eigentliche Tragödie.

Da die DIN 4108-3 eine der wenigen bauaufsichtlich eingeführten Normen ist, müssen die Vorgaben im Zuge der Planung angewendet werden. Die Nachweise dazu müssen bereits im Bauantragsverfahren erbracht werden. Diese Vorgabe stammt aus der Musterbauordnung (MBO) § 3 Abs. 3 ALLGE-MEINE ANFORDERUNGEN. Diese allgemeinen Anforderungen besagen, dass die von der obersten Baubehörde durch öffentliche Bekanntmachung als technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln zu beachten sind. Zusätzlich bestimmen die Vorbemerkungen zur Muster-Liste der technischen Baubestimmungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (Fassung Juni 2015/Kontrolle Internetveröffentlichung 1.2.2016), dass technische Baubestimmungen allgemein verbindlich sind und § 3 Abs. 3 der MBO beachtet werden muss. Allerdings werden nur die technischen Regeln eingeführt, die zur Erfüllung der Grundsatzanforderungen des Bauordnungsrechts unerlässlich sind. Darüber hinaus dürfen Planer und untere Bauaufsichtsbehörde zur Erfüllung ihrer Aufgaben jedoch auch auf nicht eingeführte allgemein anerkannte Regeln der Technik zugreifen.



Abb. 3: Innenansicht der Abdeck- und Tragkonstruktion zu Abb. 2. Hier führte der Ausfall von Kondensat zu einer Zerstörung der angrenzenden Hölzer und veränderte das Tragverhalten der Leimholzbinderkonstruktion. (Foto: duzia bauphysik+architektur)



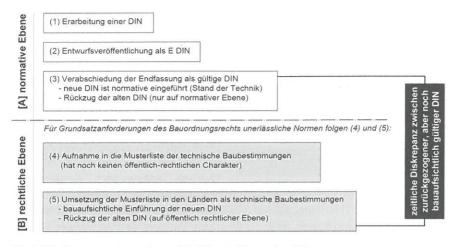


Abb. 4: Ablauf von normativer und bauaufsichtlicher Einführung einer DIN (Quelle: Vortrag Duzia/Mucha, 2016 in Paderborn/Gladbeck)

### Nachweis nach DIN 4108-3

Für die Anwendung der DIN 4108-3 in der Praxis resultiert hieraus die Pflicht zum Nachweis.

Grundsätzlich werden mit der aktuellen Fassung der Norm klimatisierte Gebäudetypen, wie zum Beispiel Schwimmbäder, vom einfachen rechnerischen Nachweisverfahren ausgeschlossen. Die Norm verweist ausdrücklich auf den Anhang D, der anzu-

wenden ist und auf die Nutzung von Simulationsprogrammen abzielt. Damit kommen die Simulationsprogramme WUFI des Fraunhofer Instituts für Bauphysik oder Delphin des Instituts für Bauklimatik der Technischen Universität Dresden ins Spiel. Diese Simulationsprogramme können instationäre Berechnungen durchführen, bei denen gekoppelte Wärme- und Feuchteberechnungen möglich sind. Da der Anhang D zur Norm jedoch kei-

Tauperiode 2400 Gipsputz (z.B. Maschinengipsutz MP 75 von Knauf) 2200 Kalksandstein (Rohdichte 2000 kg/m³) (z.B Silka) 2000 EPS 035 1800 1600 1400 Klinkerfassade (z.B. Röhen) 1200 1000 800 600 400 200 0

äquivalente Luftschichtdicke (m)

#### Verdunstungsperiode

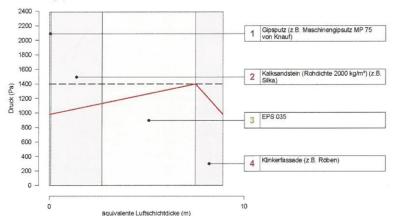


Abb. 5: Beispiel einer grafischen Bewertung zum Glaser-Verfahren nach dem alten Rechengang aus der DIN 4108-3 von 2001

ne Vorgaben zu den einzuhaltenden Randbedingungen vorgibt, wie es ansonsten in der DIN 4108-3 üblich ist, obliegt es dem Planer selbst, die einzuhaltenden Randbedingungen festzulegen. Für eine Norm ein merkwürdiges Vorgehen. Zusätzlich bleiben die Formulierungen im Anhang D völlig offen. Es hat dabei den Anschein, dass der Normengeber selbst nicht an die Ergebnisse der Simulationen glaubt. So beginnt der Anhang D wie folgt, »es sind eine Reihe von Computermodellen zur Durchführung genauerer Berechnungen entwickelt worden. Von derartigen Modellen ist zu erwarten, dass sie eine größere Genauigkeit als dasjenige (Glaser-Verfahren - Anmerkung Autor) besitzen, das in dieser Norm beschrieben wird. Ein Problem besteht jedoch darin, dass Eingabedaten wie Stoffeigenschaften und Klimabedingungen häufig nicht ausreichend bekannt sind.«1

Hier ist auffällig, dass die Norm für den geregelten Bereich sehr detaillierte Vorgaben zu den Randbedingungen, der Berechnung und der Auslegung enthält. In dem ungeregelten Bereich nach Anhang D wird nur auf Programme verwiesen, die den Feuchteund Wärmetransport instationär berechnen können und die auf den gekoppelten Wärme- und Feuchteberechnungsmodellen nach DIN EN 15026 basieren. Weitere Vorgaben zur Kontrolle der Programme bzw. Berechnungen werden nicht gegeben. Der Planer ist damit eigenverantwortlich in der Interpretation der Ergebnisse aus den Simulationen, für die er haftet. Eine durchaus merkwürdige Vorgabe und Herangehensweise für eine Norm.

In diesem Zusammenhang sind auch die Ausführungen von Künzel und Sedlbauer von Interesse.<sup>2</sup> In ihrem Artikel zur Neufassung der DIN 4108-3 kommen die Autoren zu dem Schluss, dass hygro-thermische Simulationen komplizierter als eine Glaser-Berechnung und zudem mehr Eingabedaten erforderlich sind, die nicht immer vorliegen. Der Anwender dieser Simulationen, die auf der Grundlage der DIN EN 15026:2007-07 WÄRME- UND FEUCHTE-

<sup>1</sup> DIN 4108-3:2014-11 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz-Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung; Anhang D, S. 76

<sup>2</sup> Künzel, H.M.; Sedlbauer, K.P.; Neufassung der DIN 4108-3 zur rechnerischen Feuchteschutzbeurteilung; Bauphysik 37 (2015) Heft 2, S. 132-136

TECHNISCHES VERHALTEN VON BAUTEILEN UND BAUELEMENTEN – BEWERTUNG DER FEUCHTEÜBERTRAGUNG DURCH NUMERISCHE SIMULATION beruhen, muss außerdem eine »gewisse Erfahrung« mitbringen, um diese Programme anzuwenden und die Ergebnisse zu bewerten.

Der gesamte Vorgang um den Anhang D wird jedoch noch um einiges fragwürdiger, wenn man wiederum die Muster-Liste der technischen Baubestimmungen des Deutschen Instituts für Bautechnik vom Juni 2015 zur Hand nimmt. In der Anlage 4.1/2 zur Muster-Liste steht, dass der Anhang D nicht anzuwenden ist, um die Grundsatzanforderungen des Bauordnungsrechts umzusetzen. Damit wird ein Teil der Norm vom öffentlich-rechtlichen Nachweis ausgeschlossen. Für viele klimatisierte Gebäudetypen entsteht damit ein ungeregelter Bereich für den öffentlich-rechtlichen Nachweis.

Daneben besteht derzeit ein weiteres Defizit im Umgang mit der aktuellen DIN 4108-3. Zwar wurde in dem Verzeichnis der eingeführten technischen Baubestimmungen des Deutschen Instituts für Bautechnik vom Juni 2015 die alte Ausgabe der Norm von 2001 als zurückgezogen gekennzeichnet, die aktuelle Ausgabe jedoch noch gar nicht aufgeführt. Damit kann nach Länderrecht im öffentlich-rechtlichen Nachweis gegenüber den Bauaufsichtsbehörden noch die alte Fassung genutzt werden.

# Quo vadis Feuchteschutz im Schwimmbadbau?

Da die neue DIN 4108-3 für den Planer eines Hallenbades zu keiner Verbesserung oder Vereinfachung im öffentlich-rechtlichen Nachweis zum Feuchteschutz führt, muss noch einmal der Blick auf die alte Fassung der DIN 4108-3 geworfen werden.

Der Anhang A zur alten DIN 4108-3 besagt zur Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen, dass »unter anderen Bedingungen, z.B. in Schwimmbädern, in klimatisierten bzw. deutlich anders beaufschlagten Räumen (...), das tatsächliche Raumklima und das Klima am Standort des Gebäudes mit deren zeitlichen Verlauf zu berücksichtigen sind.«<sup>3</sup>

Bei genauerer Betrachtung der unterschiedlichen Normen und Auslegungen ist es tatsächlich fraglich, wieso ausgerechnet Schwimmbäder vom Nachweisverfahren der DIN 4108-3 ausgenommen sind. Vergleicht man die Anwendungsbereiche, so gibt es natürlich eine starke Abweichung von nicht klimatisierten Wohngebäuden zu Schwimmhallen. Nun muss man iedoch auch sehen, dass der zu führende Glaser-Nachweis immer schon mit starken Vereinfachungen rechnete und standardisierte Randbedingungen zur Berechnung einführte, die nicht zwingend den wahren Gegebenheiten entsprachen. Und trotzdem funktionierte dieser Nachweis, da von vornherein ausreichende Sicherheiten in die Randbedingungen eingebaut wurden. Dies ist insofern interessant, da gerade im nicht klimatisierten Wohnungsbau im Jahresgang auch immer mit stark nutzerbedingten Abweichungen bei den klimatischen Bedingungen zu rechnen ist, die aus dem Heiz-, Lüftungs- oder allgemeinen Wohnverhalten resultieren können. Die Norm vernachlässigte diesen Aspekt, Schwimmbäder sind dagegen, im Vergleich zum Wohnungsbau, geradezu leicht ausrechenbar im Jahresgang. In diesen Gebäuden herrscht im Jahresgang ein gleiches Innenraumklima, welches höchstens von einer Nachtabsenkung beeinflusst wird. Schwimmbäder sind dadurch im Grunde nach einfacher, da eine funktionierende Lüftungsanlage für konstante Bedingungen bei den Innenraumtemperaturen und der relativen Luftfeuchte sorgt. Die einzige mögliche Abweichung, die zu erwarten ist, ist das gewählte Niveau von Raumlufttemperatur und der relativen Luftfeuchte. Hier gelten die Vorgaben der VDI 2089 Blatt 1 (vgl. Tab. 1).

Da nun die klimatischen Innenverhältnisse vorhersehbar stabil sind und damit deutlich näher an stationäre Verhaltensweisen herankommen als im Standardnachweis für den Wohnungsbau, liegen die einzigen wechselnden Größen in den klimatischen Randbedingungen des Außenbereichs. Dies entspricht jedoch auch der Situation von Wohngebäuden. Der normative Rechenweg führt dazu Klimabedingungen ein, die unter winterlichen Verhältnissen über 90 Tage –5 °C bei 80 % relativer Luftfeuchte betragen.

Hier ist nicht einzusehen, warum diese normative Vereinfachung nicht genauso gut bei Hallenbädern angenommen werden kann.

Durch die aktuelle Fassung der DIN 4108-3 befindet sich der Schwimmbadbau derzeit in einem normativ ungeregelten Bereich. Somit könnte es sinnvoll sein, vorerst weiter auf der Grundlage der alten Normenversion den Feuchteschutz zu berechnen. Dies könnte neben dem Rechenweg nach DIN 4108-3 aus 2001 auch auf der Grundlage des Fachartikels »Außenwandkonstruktionen für Schwimmhallen« von Dinter und Willems erfolgen. Darin untersuchten die Autoren detailliert die Bedingungen, die in einem privaten Schwimmbad in einem Wohnhaus auf die Außenwände einwirken und welche vorbeugenden schützenden Maßnahmen gegen Tauwasserausfall zu treffen sind.4

Zurückgreifend auf die alte und noch bauaufsichtlich eingeführte DIN 4108-3, sowie der Veröffentlichung von Dinter und Willems sollte weiterhin mit den auf die neue DIN 4108-3 modifizierten Randbedingungen gerechnet werden, um eine Beurteilung des Bauteils zu ermöglichen. Dieser Rechenweg hat von jeher durch die gewählten Randbedingungen hohe Sicherheiten und ist zudem einfach überprüfbar. Die thermisch-hygrischen Simulationen stoßen dagegen an ihre Grenzen, da normative Randbedingungen nicht vorgegeben sind und es somit nicht klar ist, was einzuhalten ist. Zum anderen enthalten die Programme nicht unbedingt alle Baustoffe, die typisch für den Schwimmbadbau sind und deren thermisch-hygrische Eigenschaften, die jedoch die Grundlage für eine solche Simulation bilden muss.

Die einfache Änderung der Innentemperatur im Nachweisverfahren nach Glaser würde der Tau- und Verdunstungsperiode nicht gerecht werden. Um eine gute Näherung an die bewährten Nachweise im Wohnungsund Bürogebäudebau zu erreichen, muss eine umfangreiche Anpassung von Wasserdampfsättigungsdruck, Temperatur sowie Luftfeuchte stattfinden. Der Vorteil bei Schwimmbadbauten ist die fast gleichbleibende

<sup>3</sup> DIN 4108-3:2001-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz-Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung; Anhang A, S. 14

<sup>4</sup> Willems, W.; Dinter, S.; Außenwandkonstruktionen für Schwimmhallen; Bauphysik 31 (2009), Heft 5, S. 279- 290, Verlag Ernst & Sohn

### FEUCHTESCHUTZ IN SCHWIMMBÄDERN

Tab. 2: Gegenüberstellung der normativen Sättigungsdampfdrücke im Tauwasserbereich nach DIN 4108-3:2014-11, Tabelle C.1 und eines Vorschlags für den Ansatz in Schwimmbädern

	Dach	Wand		
Büro-/Wohngebäude	2000 Pa	1700 Pa		
(nach DIN 4108-3)	(100 % bei 17,5 °C)	(100 % bei 15,0 °C)		
Schwimmbad	3669 Pa	3166 Pa		
(VORSCHLAG)	(100 % bei 27,5 °C)	(100 % bei 25,0 °C)		

Tab. 3: Schichtaufbau (von warm nach kalt) eines Daches in Massivbauweise

Nr.	Bezeichnung	Dicke cm	λ W/m⋅K	R m²K/W	μ <sub>1</sub> –	μ <sub>2</sub> –	ρ kg/m³	c <sub>p</sub> kJ/kg∙k
1	Putzmörtel aus Kalk, Kalkze- ment und hydraulischem Kalk	2,00	1,000	0,02	15	35	1800	1,00
2	Beton mittlere Rohdichte	20,00	1,650	0,12	70	120	2200	1,00
3	Bauder Dampfbremse 220	0,25	0,400	0,01	88000	88000	960	1,50
4	Polystyrol PS-Partikelschaum (WLG 035)	16,00	0,035	4,57	40	100	30	1,50
5	Bauder Thermofol U 18	0,18	0,260	0,01	16666	16666	960	1,50

Temperatur und Luftfeuchtigkeit durch kontinuierliche Klimatisierung und Belüftung. Eine Umfangreiche Anpassung der Kriterien für Oberflächentemperatur und Wasserdampfsättigung fand durch die Autoren in [5] statt.

Aus der Betrachtung des Rechengangs nach DIN 4108-3:2014-11 ergibt sich für die Feuchtschutzbemessung eines Außenbauteils über das Glaser-Verfahren in Schwimmbädern folgender Anpassungsbedarf:

- a) Sättigungsdampfdruck im Tauwasserbereich,
- b) Wasserdampfteildruck innen.

Anzumerken ist, dass die Dauer der Tau- und Verdunstungsperiode auf Klimareferenzdaten beruhen und für die feuchteschutztechnischen Nachweise der Bauteile nicht verändert werden sollten. In weiteren Untersuchungen müssten diese jedoch unter Berücksichtigung des dauerhaft nach außen gerichteten Wärmestroms ebenfalls überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Die Anpassung der Sättigungsdampfdrücke der Bauteile Wand und Dach wird in Anlehnung an die Vorgaben für eine Büro- und Wohngebäudenutzung nach DIN 4108-3:2014-11 durchgeführt.

Dabei werden unter der Annahme einer gesättigten Luftfeuchtigkeit (100 % Luftfeuchtigkeit) und einer Temperaturdifferenz von 5 K bei Wänden und 2,5 K

bei Dächern die Dampfdrücke mit der nachstehenden Formel bestimmt.

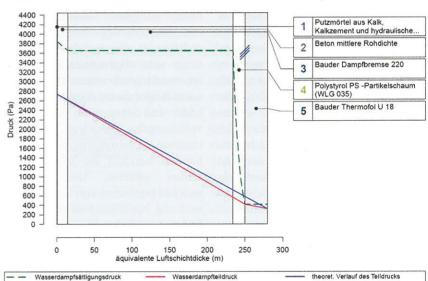
$$p_{sat} = 610, 5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}$$

mit:  $\Theta$  = Lufttemperatur im Innenraum [in °C]

In Tab. 2 sind die ermittelten Werte als Vorschlag für eine Bemessung im Schwimmhallenbereich mit einer durchschnittlichen Innenraumtemperatur von 30 °C der normativen Werten gegenübergestellt.

Zur Anpassung des Wasserdampfteildrucks innen sollte ebenfalls in Anlehnung an die vorhandenen Bemessungsansätze nach DIN unter Berücksichtigung der (weitestgehend) stationären Randbedingungen in einer Schwimmhalle gearbeitet werden.

### Tauperiode



# Tauwasserausfall Verdunstungsperiode

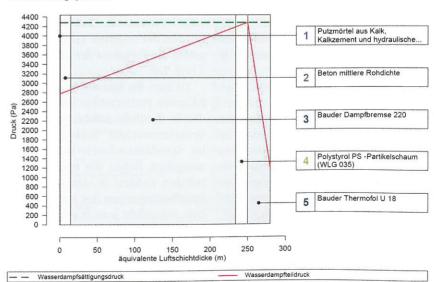


Abb. 6: Tau- und Verdunstungsperiode nach modifizierter Berechnung

<sup>5</sup> Duzia, T.; Mucha, R.: Bauphysikalische Bewertung der Oberflächentemperaturen von Schwimmbadaußenhüllen, Archiv des Badewesens 04/2014

Normativ wird der Wasserdampfteildruck innen mit 1200 Pa angesetzt. Dies entspricht etwa bei 15 °C Lufttemperatur einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 %.

Für Schwimmbäder wird daher empfohlen, die gleiche Temperaturdifferenz festzulegen und mit einer Lufttemperatur von 25 °C sowie einer konstanten Luftfeuchtigkeit von 65 % den Nachweis durchzuführen. Daraus ergibt sich ein anzusetzender Wasserdampfteildruck innen in der Verdunstungsperiode zu 2058 Pa. Auf der Außenseite bleibt der Wasserdampfteildruck unverändert und wird mit 1200 Pa angesetzt. Hierdurch wird auch der reale Wärmestrom von innen nach außen widergespiegelt.

Die Berechnung in Tab. 3 zeigt eine modifizierte Berechnung eines modellhaften Dachaufbaus, die sich an den Vorgaben der VDI 2089 Blatt 1 und der aktuellen DIN 4108-3 aus 2014 orientiert.

Über die Berechnung mit den oben genannten Parametern ergibt sich die Darstellung in der Tau- und Verdunstungsperiode in Abb. 6.

Zu Beurteilung der Feuchteschutztechnischen Qualität des Schichtaufbaus ergibt sich im Nachweis, dass das Bauteil in Ordnung ist. Im Bauteil fällt eine unschädliche Menge Tauwasser aus, da das anfallende Tauwasser während der Verdunstungsperiode vollständig an die Umgebung abgegeben wird:

Tauwassermasse: Verdunstungsmasse:  $M_c = 0.010 \text{ kg/m}^2$  $M_{ev} = 0.167 \text{ kg/m}^2$ 

Die Tauwasserebene liegt, wie auch in einer Vergleichsrechnung unter normativen Randbedingungen, zwischen der Dämmung aus Polystyrol PS-Partikelschaum und der Foliendachabdichtung.

Jedoch zeigt die Vergleichsrechnung auf, dass die Anpassungen der Werte an die Randbedingungen erforderlich sind. Wenn der gleiche Schichtaufbau für eine Büro-/Wohnnutzung unter normativen Randbedingungen nachgewiesen wird, fällt kein Tauwasser aus.

### Die Autoren



Dr.-Ing Dipl.-Ing. Architekt Thomas Duzia

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bergischen Universität Wuppertal, Bauingenieurwesen, Lehrgebiet Baukonstruktion und Holzbau

Planungsbüro Duzia bauphysik+Architektur Kronenstraße 16 42285 Wuppertal



**MSc Rainer Mucha** 

Bauingenieurwesen Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bergischen Universität Wuppertal, Bauingenieurwesen, Lehrgebiet Massiybau



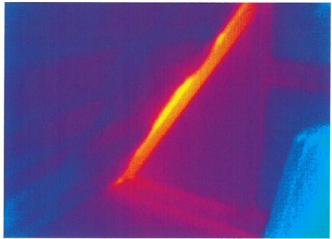


Abb. 7: Außenansicht und Thermografie einer Außenwandverkleidung eines Schwimmbades. Die Thermografie zeigt die thermische Schwachstelle, die hier nicht aus einer Wärmebrücke resultiert, sondern Folge von mangelhaften Anschlüssen der Luftdichtheitsebene ist.

### Feuchteschäden und luftdichte Konstruktionen

Betrachtet man zusätzlich den üblichen Schadensfall in einem Hallenbad, der zu Feuchteschäden führt, dann sind dies im seltensten Fall Schäden aus Diffusion durch ein Bauteil, so wie sie nach der DIN 4108-3 zu berechnen wäre. Vielmehr zeigt die Praxis, dass die bädererfahrenen Planer die Schichtaufbauten richtig wählen und die Feuchteschäden aus mangelhaften und handwerklich falsch ausgeführten Anschlüssen resultieren. Aufgrund des großen und ganzjährigen Dampfdruckunterschieds zwischen dem Innen- und Außenraum ist der luftdichte Anschluss, wie er nach DIN 4108-7 und Energieeinsparverordnung notwendig ist, dass entscheidende Bauteile um den Tauwasserausfall in der Konstruktion auszuschließen, der dann jedoch nicht aus Diffusion, sondern aus Konvektion resultiert.

Tatsächlich bleibt es fraglich, ob eine umfangreichere Berechnung zwingend zu einem besseren bzw. nachvollziehbareren Ergebnis führt.