

Klimatisierung von Hallenbädern



Luftmassenstrombemessung von Hallenbädern nach VDI 2089

1. Bemessungsgrundlage

- Art des Hallenbades
 - Thermal-/ Mineralbad
 - Sport-/ Freizeitbad
 - Privatbäder
- Geodätische Höhe [m]
- Beckenwassertemperatur nach Beckenart
- Raumlufttemperatur, -feuchte
- Bauphysikalische Anforderungen
 - U-Wert Gesamtscheibenkonstruktion
- Öffnungszeitspanne

2. Wasserverdunstung

Im Badebetrieb

- Bezugsfläche Becken
- Zusätzliche Einrichtungen, Attraktionen unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit

Im Ruhebetrieb

- Bezugsfläche Becken

⇒ Festlegung der Kennlinie der Wasserverdunstung während der Öffnungszeitspanne

3. Luftmassenstrom

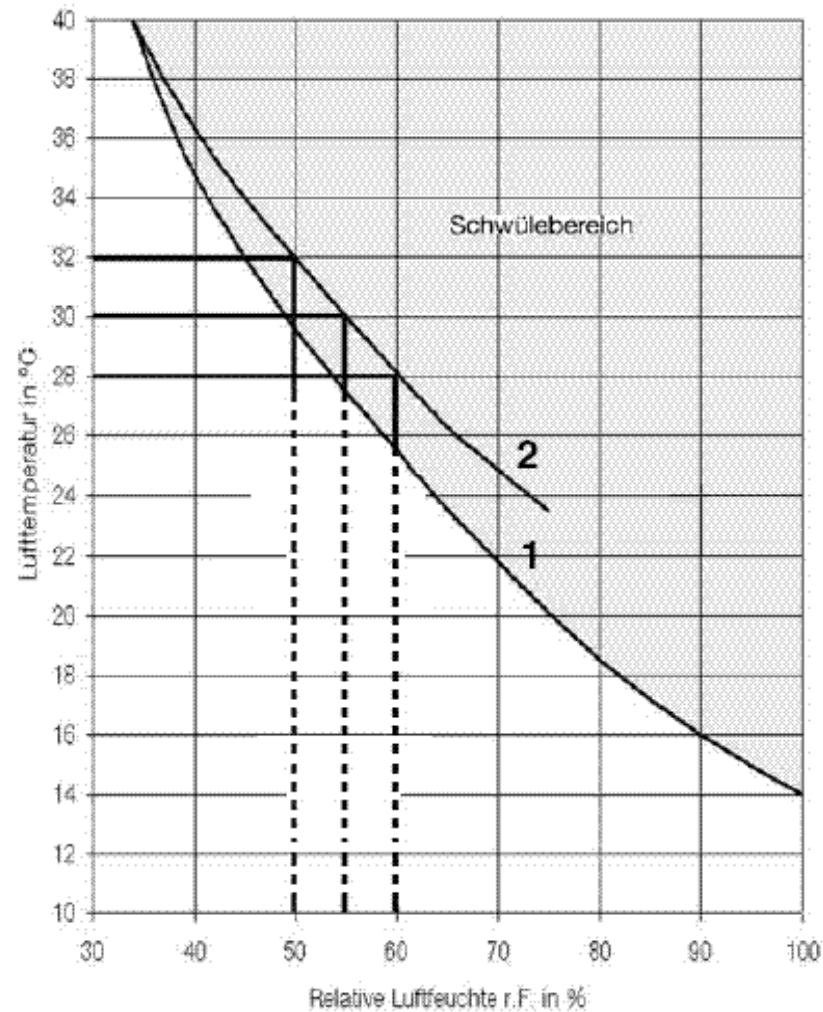
Im Badebetrieb

- ZUL-Massenstrom
- AUL-Massenstrom, schadstoffbezogen
- min. AUL-Anteil im UML-Betrieb
- max. AUL-Anteil im UML-Betrieb

Im Ruhebetrieb

- ZUL-Massenstrom

1. Grundlagen: Behaglichkeit



Darstellung des Schwülebereichs

Lufttemperatur in Abhängigkeit
der relativen Luftfeuchte für:

- 1 Schwülekurve nach Lancaster-Castens-Ruge
- 2 Schwülekurve für unbedeckte Personen im Hallenbad



1. Grundlagen: Beckenwassertemperatur

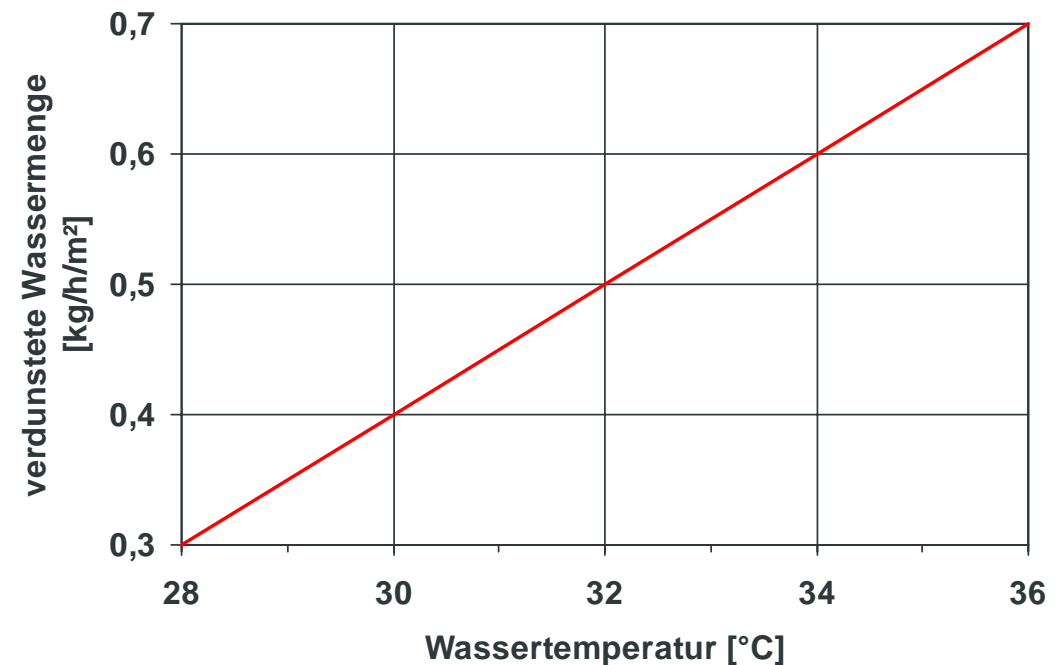
Bemessungswerte für Beckenwassertemperatur

Beckenart	Wassertemperatur t_w [°C]
Nichtschwimmerbecken	28
Schwimmerbecken	
Springerbecken	
Wellenbecken	
Planschbecken	32
Freizeitbecken	
Bewegungsbecken	
Therapiebecken	36
Warmsprudelbecken	36
Becken in Schwitzbädern	35
Warmbecken	
Kaltbecken	
	15

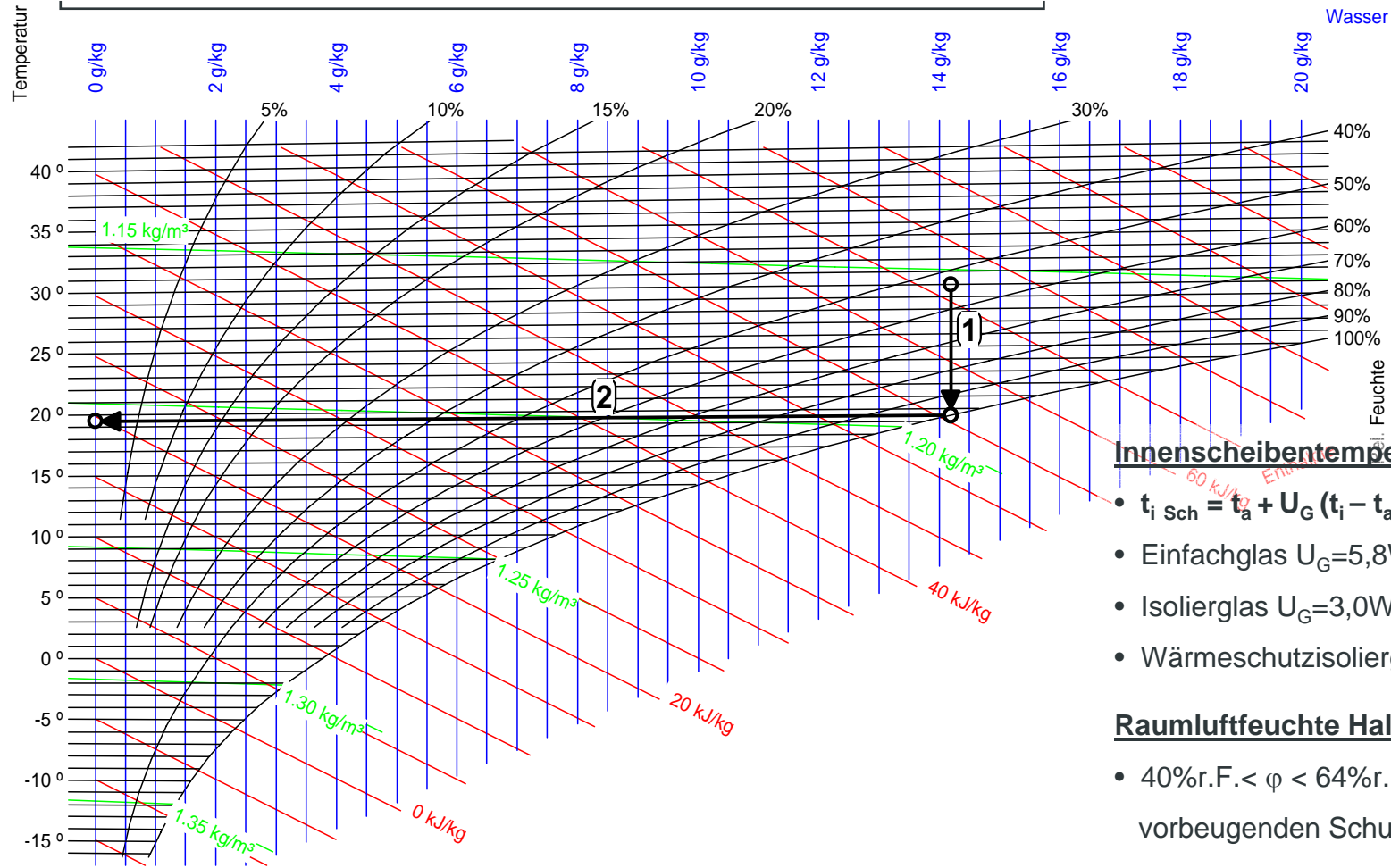
Quelle: VDI 2089 Blatt 1 Entwurf 03/05, Seite 6, Tabelle 2

Verdunstete Wassermenge in Abhängigkeit der Wassertemperatur bei konstantem Luftzustand

(Raumkondition 30°C - 14,3g/kg / $\beta_b=28\text{m/h}$)



1. Grundlagen: Bauphysikalische Randbedingungen



Innenscheibentemperatur:

- $t_{i\ Sch} = t_a + U_G (t_i - t_a) \cdot 0,13m^2K/W$
- Einfachglas $U_G=5,8W/m^2K$
- Isolierglas $U_G=3,0W/m^2K$
- Wärmeschutzisolierglas $U_G=1,3W/m^2K$

Raumluftfeuchte Hallenbad:

- 40%r.F. < φ < 64%r.F. zum vorbeugenden Schutz für Metall- und Holzkonstruktion

2. Wasserverdunstung

Hallenbad:

$$\dot{M}_{D,B,u/b} = \frac{\beta_{u/b}}{R_D \cdot \bar{T}} \cdot (p_{D,W} - p_{D,L}) \cdot A_B$$

$\dot{M}_{D,B,u/b}$	= verdunstete Wassermassenstrom [kg/h]
β_u, β_b	= Wasserübergangskoeffizient [m/h]
$R_D=461,52\text{J}/(\text{kgK})$	= spezifische Gaskonstante für Wasserdampf
T	= arithmetisches Mittel von Wasser- u. Lufttemperatur [K]
$p_{D,W}$	= Sättigungsdruck von Wasserdampf bei Wassertemperatur [Pa]
$p_{D,L}$	= Wasserdampfdruck der Schwimmhallenluft [Pa]
A_B	= Bezugsfläche bzw. nutzbare Wasserfläche des Beckens [m ²]

Wasserverdunstung:

- Hallenbad im Ruhebetrieb
- Hallenbad im Badebetrieb
- Attraktionen unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit

⇒ Festlegung der Kennlinie der Wasserverdunstung während der Öffnungszeitspanne

Luftsprudeleinrichtungen:

$$\dot{M}_{D,A} = \dot{M}_L \cdot (x_{D,W} - x_{D,L})$$

$\dot{M}_{D,A}$	= verdunstete Wassermassenstrom Luftsprudeleinrichtung [kg/h]
\dot{M}_L	= Luftmassenstrom der Luftsprudeleinrichtung [kg/h]
$x_{D,W}$	= Wasserdampfgehalt des austretenden Luftstroms [kg/kg]
$x_{D,L}$	= Wasserdampfgehalt der Schwimmhallenluft [kg/kg]

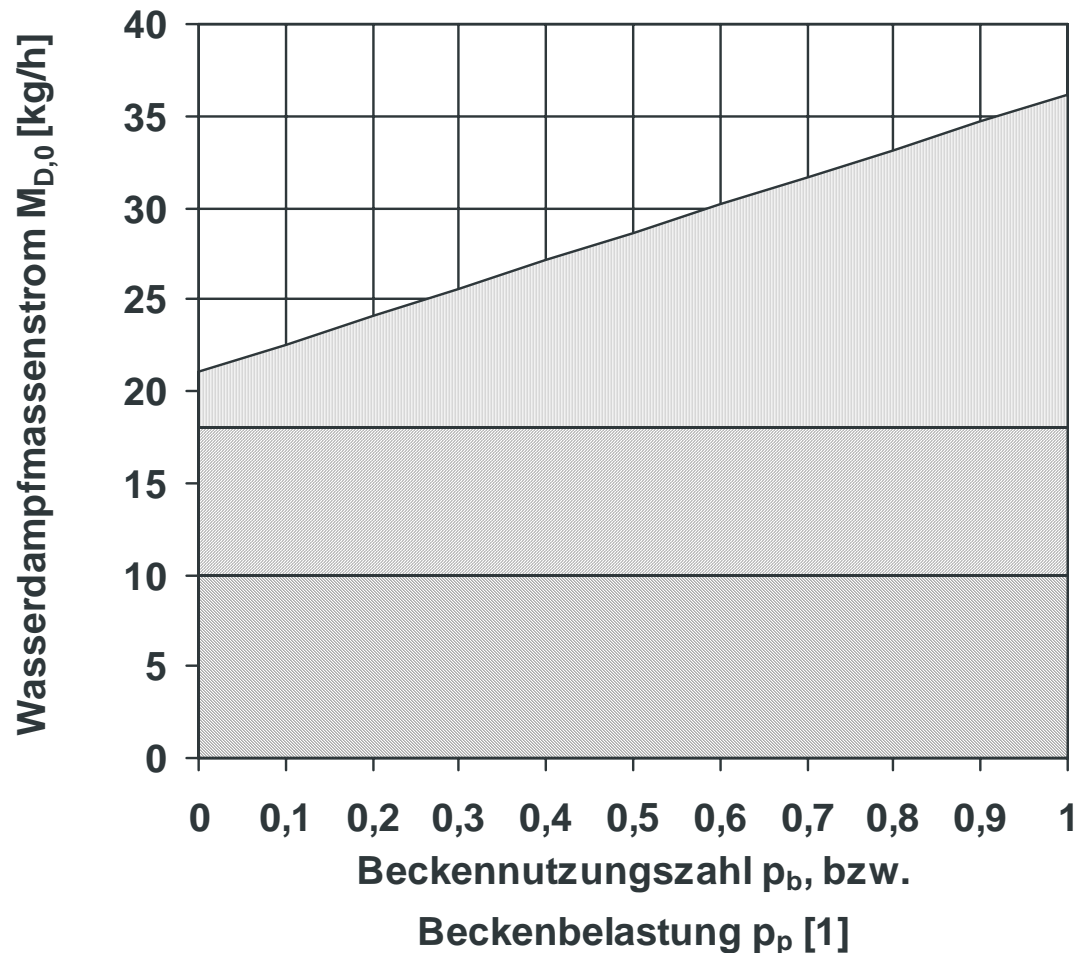
Rutschen:

$$\dot{M}_{D,A} = \frac{\beta_b}{R_D \cdot \bar{T}} \cdot (p_{D,W} - p_{D,L}) \cdot L_R \cdot B_R$$

$\dot{M}_{D,A}$	= verdunstete Wassermassenstrom [kg/h]
β_b	= Wasserübergangskoeffizient [m/h]
$R_D=461,52\text{J}/(\text{kgK})$	= spezifische Gaskonstante für Wasserdampf
T	= arithmetisches Mittel von Wasser- u. Lufttemperatur [K]
$p_{D,W}$	= Sättigungsdruck von Wasserdampf bei Wassertemperatur [Pa]
$p_{D,L}$	= Wasserdampfdruck der Schwimmhallenluft [Pa]
L_R	= Rutschenlänge [m]
B_R	= mittlere Breite des Fließwasserstromes [m]

Quelle: VDI 2089 Blatt 1 Entwurf 03/05

2. Wasserverdunstung: Kennlinie Wasserverdunstung während der Öffnungszeitspanne



- Becken bei Benutzung
- Becken bei Nichtbenutzung
- Attraktionen

Beckennutzungszahl $p_{B,aus}$:

- Jährliche Öffnungsdauer [h/a]
- Durchschnittliche Aufenthaltsdauer eines Badegastes [h/d]

Beckenbelastung p_p aus:

- Anzahl gleichzeitiger Benutzer der Schwimmbecken [Personen]

Quelle: VDI-Bericht 1869, 2005

2. Wasserverdunstung

Verdunstete Wassermenge während der Nichtöffnungszeitspanne:

$$\dot{M}_{D,N,ges} = \sum_{i=1}^n \dot{M}_{D,B,u,i}$$

$M_{D,B,u}$ = verdunsteter Wassermassenstrom des unbenutzten Beckens [kg/h]



Ist gleich der Summe der verdunstenden Wassermassenströme der einzelnen Becken in der Nichtöffnungszeitspanne

Geringster verdunsteter Wassermassenstrom während dem Öffnungszeitspanne:

$$\dot{M}_{D,0,min} = \sum_{j=1}^{\kappa} \dot{M}_{D,B,u,j} \pm \sum_{r=1}^m \dot{M}_{D,A,r}$$

$M_{D,A}$ = verdunsteter Wassermassenstrom der Attraktionen [kg/h]



Ist gleich der Summe der verdunstenden Wassermassenströme aller Becken während der Öffnungszeitspanne bei Nichtbenutzung

Höchster verdunstender Wassermassenstrom während der Öffnungszeitspanne:

$$\dot{M}_{D,0,max} = \sum_{j=1}^{\kappa} \dot{M}_{D,B,b,j} + \dot{M}_{D,A,ges}$$

$M_{D,B,b}$ = verdunsteter Wassermassenstrom des benutzten Beckens [kg/h]

$M_{D,A,ges}$ = verdunsteter Wassermassenstrom der Attraktionen [kg/h]



Ist gleich der Summe der verdunstenden Wassermassenströme aller Becken während der Öffnungszeitspanne bei Benutzung

Quelle: VDI 2089 Blatt 1 Entwurf 03/05

3. Luftmassenstrombemessung

Bemessung des Außenluftmassenstroms

$$\dot{M}_{A,S} = \frac{\dot{M}_{D,max}}{x_{D,L} - x_{D,A}}$$

$\dot{M}_{A,S}$	= Außenluft-Auslegungsmassenstrom [kg/h]
$x_{D,L}$	= Wasserdampfgehalt der Schwimmhallenluft [kg/kg]
$x_{D,A}=0,009\text{kg/kg}$	= Wasserdampfgehalt der Außenluft im Mittel aller Klimazonen Deutschlands

- Gegenkontrolle mit erforderlicher Luftmenge über die Fensterfläche zur Verhinderung von Kondensatbildung:
 - 100 bis 400m³/h/m_{Fensterbreite} bei Fensterhöhe 2m bis 10m

Regelung des Außenluftanteils im anteiligen UML-Betrieb

Bei minimaler Hallenauslastung:

$$\dot{M}_{A,U} \geq 0,10 \cdot \dot{M}_{A,S}$$

$\dot{M}_{A,U}$ = Außenluftmassenstrom [kg/h]

Bei maximaler Hallenauslastung:

$$\dot{M}_{A,U} \leq 0,30 \cdot \dot{M}_{A,S}$$

$\dot{M}_{A,U}$ = Außenluftmassenstrom [kg/h]

- Die RLT-Anlage wird so ausgelegt, dass während der Öffnungszeit der zu fördernde AUL-Massenstrom $\dot{M}_{A,U}$ der Hallenauslastung anpasst wird.
- Bei hoher AUL-Feuchte oder hoher Sonneneinstrahlung kann der $\dot{M}_{A,U}$ bis auf 1,0 x $\dot{M}_{A,S}$ erhöht werden.

Quelle: VDI 2089 Blatt 1 Entwurf 03/05

3. Luftmassenstrombemessung: Thermal- und Mineralbäder

Bemessung des Schadstoffbezogenen Außenluftmassenstrom:

$$\dot{M}_{A,G} = \frac{\dot{M}_G}{x_{G,L} - x_{G,A}}$$

$\dot{M}_{A,G}$ = Außenluftmassenstrom zur erforderlichen Gas- und Schadstoffabfuhr [kg/h]

$x_{G,L}$ = zugelassener Gasgehalt im Raum über der Wasseroberfläche [kg/kg]

$x_{G,A}$ = Gasgehalt der Außenluft [kg/kg]

- Abführung der Schadstoffe nach den Angaben des Bundesumweltamtes, z.B. Chloroform (CHCl_3) < 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft
- Der spezifische Gasgehalt ist besonders zu beachten:
 - Z.B. Bei H_2S kann die hohe Geruchsintensität eine Begrenzung der Konzentration auf einen Wert unter den zugehörigen MAK-Wert erforderlich machen.

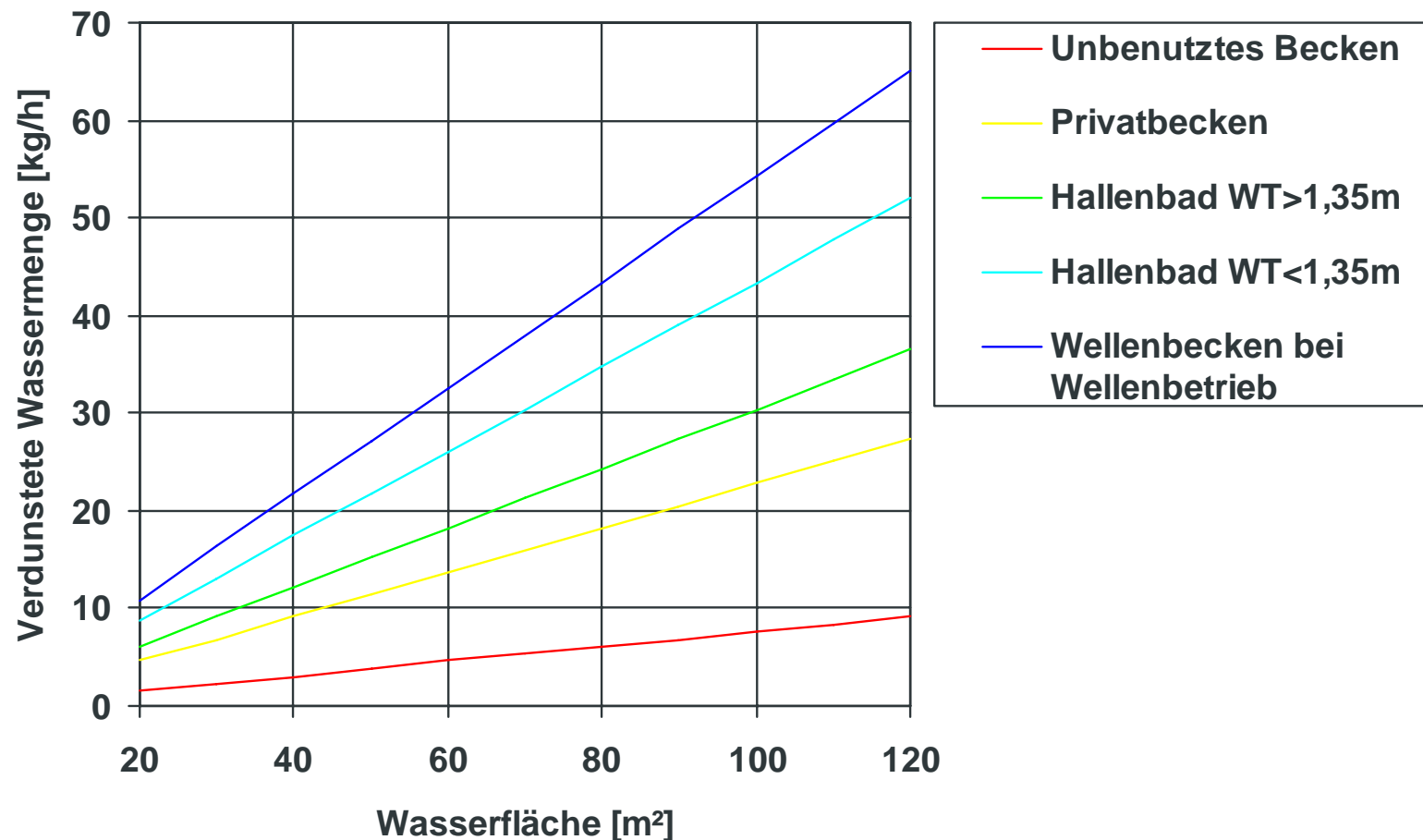
Quelle: VDI 2089 Blatt 1 Entwurf 03/05



4. Darstellung funktioneller Zusammenhänge

Verdunstende Wassermenge in Abhängigkeit der Beckenfläche für verschiedene Nutzungsarten

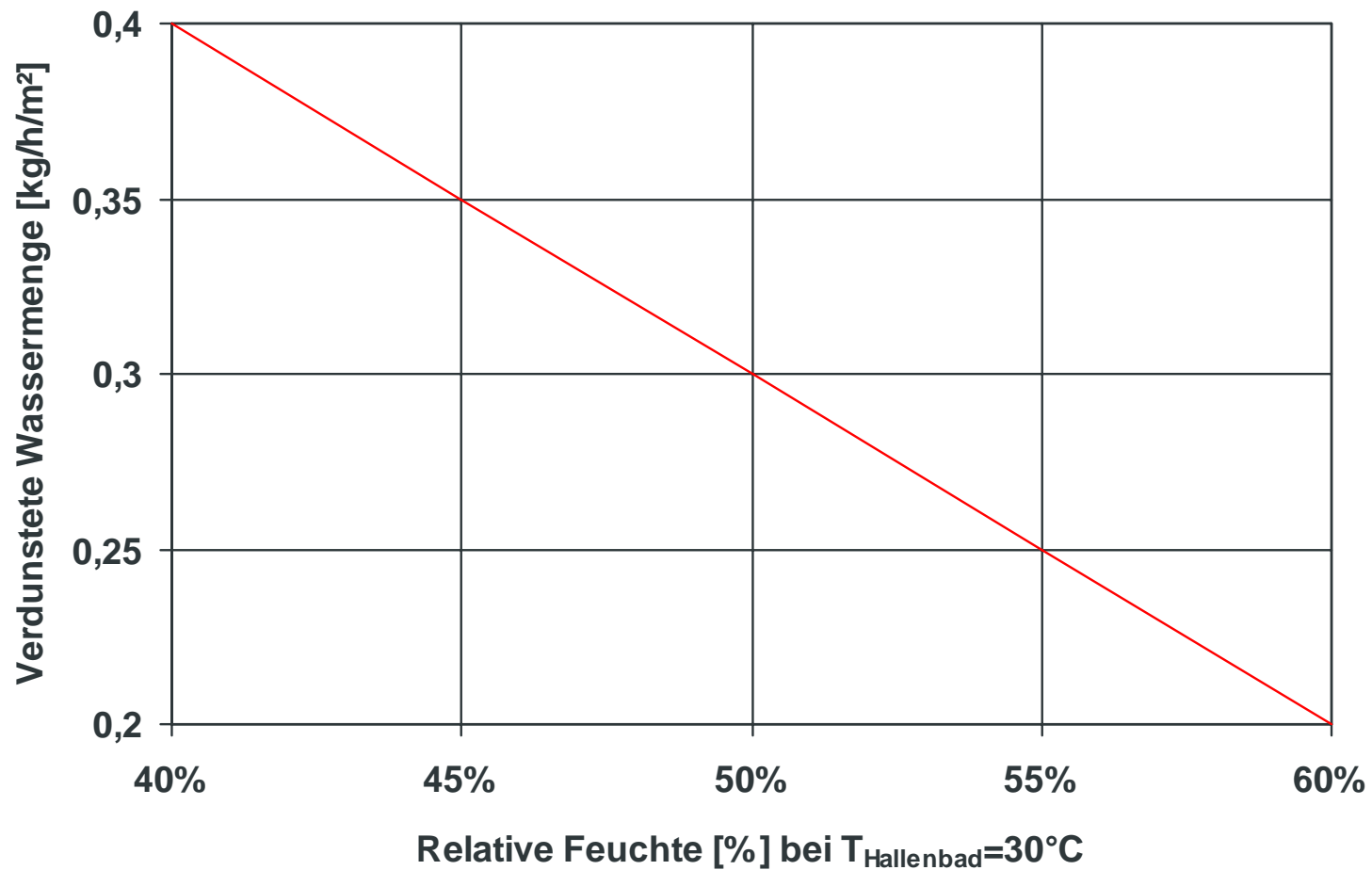
(Raumkondition 30 °C - 14,3g/kg / Wassertemperatur 28 °C)



4. Darstellung funktioneller Zusammenhänge

Verdunstende Wassermenge in Abhängigkeit der relativen Feuchte bei $T_{\text{Hallenbad}}=30^{\circ}\text{C}$

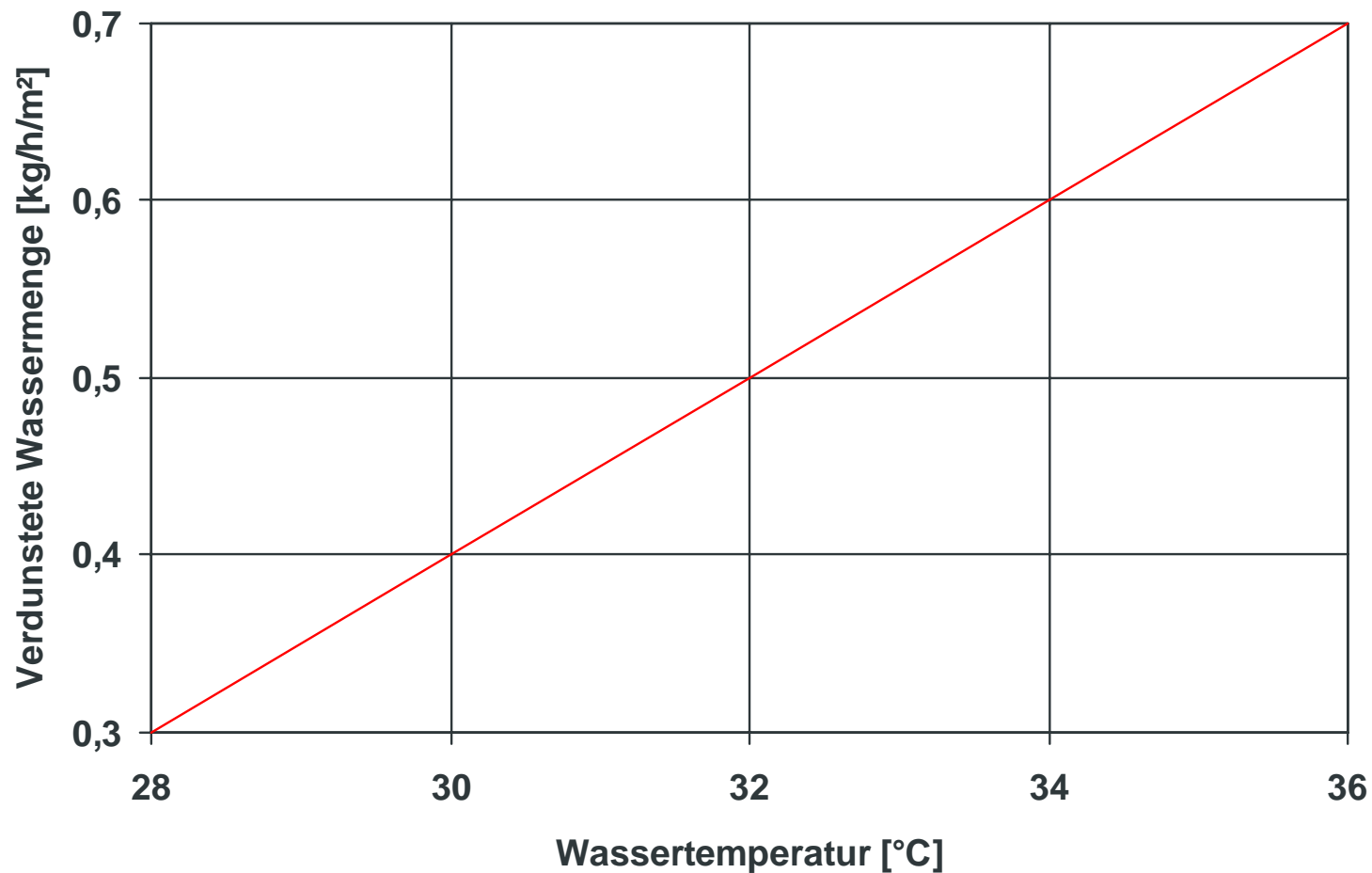
(Raumkondition 30°C / Wassertemperatur 28°C / $\beta_p=28\text{m/h}$)



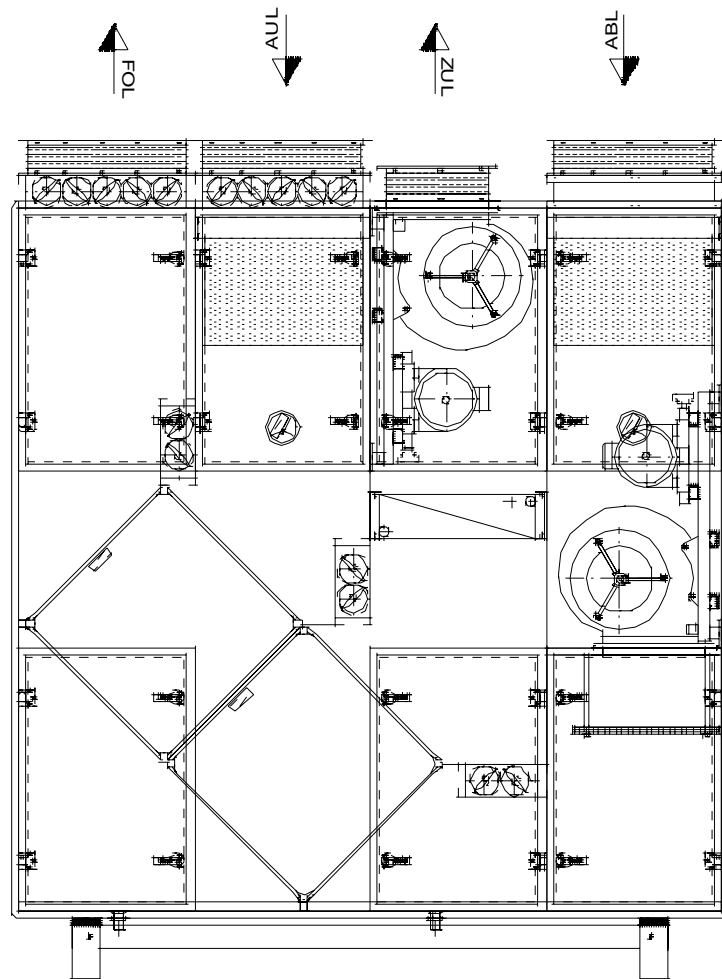
4. Darstellung funktioneller Zusammenhänge

Verdunstende Wassermenge in Abhängigkeit der Wassertemperatur

(Raumkondition 30 °C – 55%r.F. / $\beta_b=28\text{m/h}$)



5. Walter Bösch KG-Gerätekonzepte: Einstufige Wärmerückgewinnung



Unser Ziel

- Gesundes Raumklima
- Erhaltung des Bauwerkes

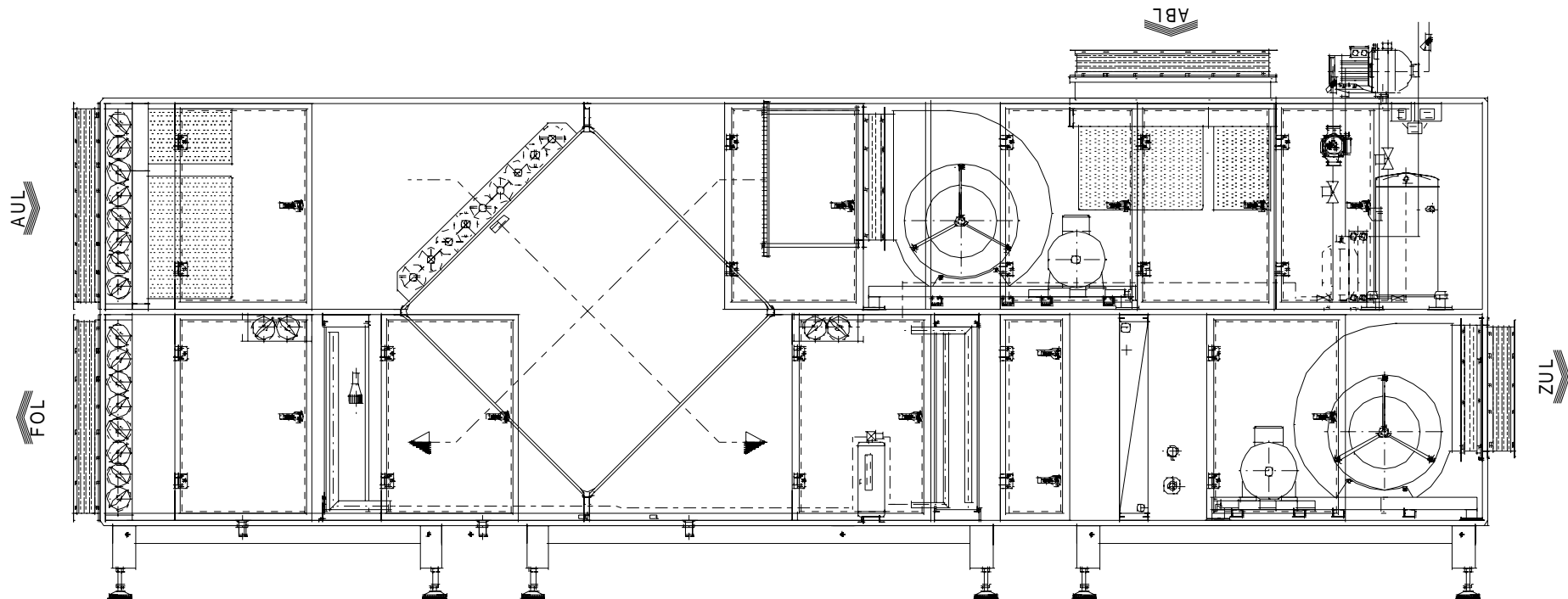
Verfahren

- Entfeuchtung über die Aussenluft

Bösch-Schwimmbadgeräte zeichnen sich aus durch:

- Wirtschaftlichkeit
- Hohen Korrosionsschutz
- Lebensdauer
- Leisen Betrieb
- Modulbauweise (hohe Flexibilität im Sanierungsbereich)
- Lieferung in Kuben oder Ortsmontage möglich
- Hygiene
- Offenes Regelungskonzept, z.B. Siemens, bzw. Kieback&Peter

5. Walter Bösch KG-Gerätekonzepte: zweistufige, bzw. dreistufige Wärmerückgewinnung



Unser Ziel

- Gesundes Raumklima
- Erhaltung des Bauwerkes

Verfahren

- Entfeuchtung im UML-Betrieb mit AUL-Anteil

Bösch-Schwimmbadgeräte zeichnen sich aus durch:

- Wärmepumpe mit Kältemittel R407C
- Scroll-Kompressor, optimierter Kältekreislauf
- Mit zwei, bzw. drei Kondensatoren (Wärmeabgabe an Luft und Beckenwasser)

6. Ausblick



Ausblick

- Berechnung der Wirtschaftlichkeit auf Basis der TRY
- Darstellung des jährlichen Einsparpotentials an Schadstoffen wie SO_2 , NO_x , Staub, CO_2
- Weiterentwicklung der Gerätekonzepte:
 - Abfuhr von internen Wärmelasten mittels ZUL-Kühlung

