

**Schlüsselwörter:** Hallenbad · benutztes Becken · Wasserverdunstung · Wasserübergangskoeffizient

Teil 1 der Ausarbeitung zeigte für benutzte Becken einen Weg zur Berechnung des Wasserübergangskoeffizienten, einer Größe, die für die Ermittlung des verdunstenden Wasserstroms als Schlüsselgröße gelten kann. Eine wesentliche Bestimmungsgröße dieses Koeffizienten ist eine kennzeichnende Wellenamplitude, deren Quadrat ein Maß für die Energie des Wellenfeldes darstellt.

Der vorliegende Teil 2 der Ausarbeitung führt zur Berechnung dieser Amplitude eine Kennzahlgleichung ein, in der die Anzahl gleichzeitiger Beckenbenutzer, deren wellenerzeugende Leistung und ein Dissipationskoeffizient für Wellenenergie die tragenden Bestimmungsgrößen sind.

## Water evaporation in used indoor swimming pools A graphical representation Part 2/3

**Keywords:** Indoor swimming pool · used pools · water evaporation · water change-over coefficient

Part I of the paper describes a method for calculating the water changeover coefficient of used pools, i.e. a value to be held valid as the key-value for the ascertainment of the evaporated water flow. An essential parameter of said coefficient is a significant wave amplitude, the square of which will represent a dimension for the energy of the undulation field. Part 2 of this paper introduces a coefficient equation for the calculation of said amplitude in which the number of the simultaneous pool users, their wave production capacity and a dissipation coefficient for wave energy, constitute support-parameters.

### Autor



Karl Biasin, Essen

Horst Doerk in freundschaftlicher Verbundenheit gewidmet

# Wasserverdunstung benutzter Becken im Hallenbad

## Eine Modellvorstellung

Teil 2/3



### Kennzahlgleichung der Wellenamplitude

#### Vorbemerkung

Im öffentlichen Hallenbad ist für tätigkeitsbezogene Gruppen von Badegästen, z.B. den Benutzern von Schwimmerbecken, auch bei unterschiedlicher Anzahl von Beckenbenutzern eine hinreichende Übereinstimmung der Größenwerte für die kennzeichnende Wellenlänge  $\lambda_W$  und die kennzeichnende Wellengeschwindigkeit  $v_W$  zu erwarten. Für diese Größen setzen die folgenden Betrachtungen aus Messergebnissen abgeleitete Mittelwerte voraus.

Ein Blick auf die Gleichungen (7) und (8) von Teil 1 lässt erkennen, dass dann für die Berechnung des Wasserübergangskoeffizienten  $\beta_{b/u}$  lediglich eine weitere Gleichung für die kennzeichnende Wellenamplitude  $a_W$  erforderlich ist. Die weiteren Abschnitte befassen sich mit der Formulierung einer entsprechenden Gleichung, die wieder eine Kennzahlgleichung sein wird.

### Konzeptionelles Modell der Wellenamplitude

Die visuelle Beobachtung eines Beckens zeigt, dass die Welligkeit der Wasseroberfläche und damit die Energie des Wellenfeldes durch die Anzahl gleichzeitiger Beckenbenutzer bzw. deren wellenerzeugende Leistung bestimmt wird. Offensichtlich besteht eine Beziehung zwischen der Energie des Wellenfeldes und der wellenerzeugenden Leistung der momentanen Beckenbenutzer. Diese Beziehung ist deshalb bemerkenswert, weil sie mit der Energie des Wellenfeldes auch die als Zielgröße gesuchte kennzeichnende Wellenamplitude  $a_W$  als Argument enthalten muss. Eine entsprechende deterministische Gleichung ist dann in eine Kennzahlgleichung zu überführen, die eine Verifizierung anhand der kennzeichnenden Daten des Wellenfeldes und der Beckenbelegung ermöglicht.



**KI** Kälte · Luft ·  
**Klimatechnik**  
INGENIEURWISSEN IN FORSCHUNG UND PRAXIS



Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
[ki-portal.de](http://ki-portal.de)!

**Hier klicken & informieren!**



### Ermitteln der Kennzahlgleichung

#### Wellenerzeugende Leistung

Der Hydrodynamik folgend sei die mittlere wellenerzeugende Leistung eines Badegastes durch einen Ausdruck beschrieben, wie er in ähnlicher Form bei Schiffen zur Berechnung des Wellenwiderstandes verwendet wird. In diesen Ausdruck ist jedem Beckenbenutzer die Geschwindigkeit  $v_p$  als wellenerzeugende Geschwindigkeit zugeordnet. Bezeichnet  $n_p$  die Anzahl gleichzeitiger Beckenbenutzer, so ist deren wellenerzeugende Leistung durch die folgende Beziehung gegeben:

$$\dot{E}_{W,p} = n_p \cdot \chi_0 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_p^3 \cdot a_p \quad (9)$$

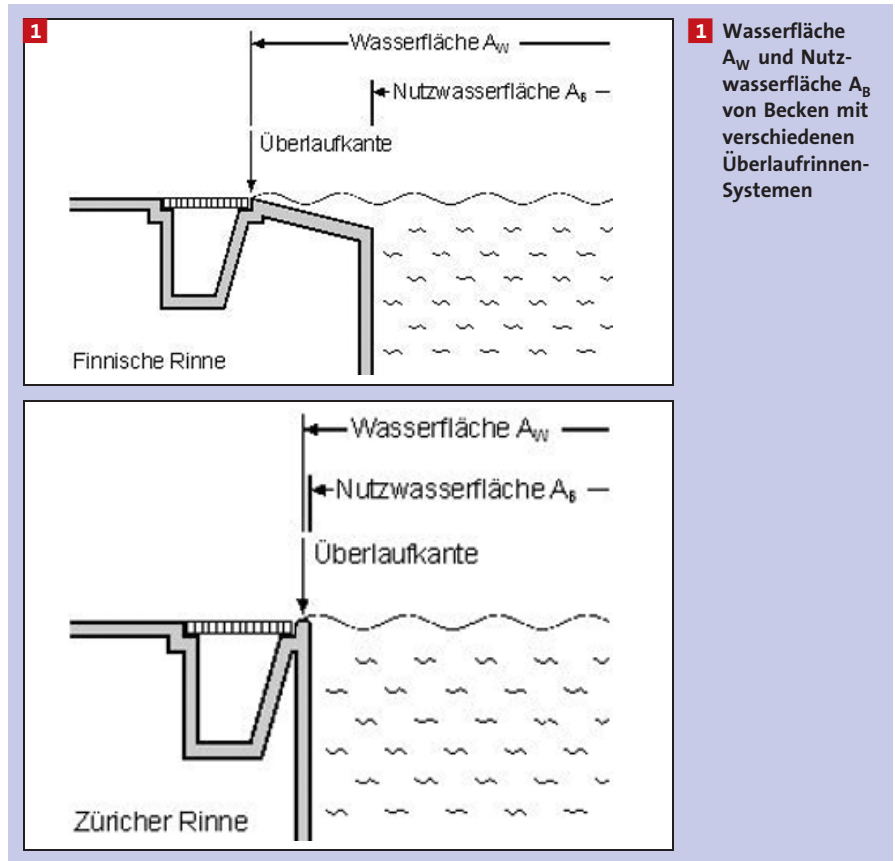
$\dot{E}_{W,p}$	wellenerzeugende Leistung der Beckenbenutzer	W
$n_p$	Anzahl gleichzeitiger Beckenbenutzer	P
$\chi_0$	Faktor	-
$\rho$	Dichte des Beckenwassers	1000 kg/m <sup>3</sup>
$v_p$	wellenerzeugende Geschwindigkeit eines Badegastes	m/s
$a_p$	benetzte Körperfläche eines Badegastes	m <sup>2</sup> /P

In der vorstehenden Gleichung stellt der Ausdruck  $\chi_0 \cdot (\rho/2) \cdot v_p^3 \cdot a_p$  die mittlere wellenerzeugende Leistung je Beckenbenutzer dar. Zur Ermittlung dieser Leistung ist dem folgenden Abschnitt ein Hinweis zu entnehmen.

#### Wellenerzeugende Leistung und Energie des Wellenfeldes

Das konzeptionelle Modell setzt eine Beziehung zwischen der wellenerzeugenden Leistung der Beckenbenutzer  $\dot{E}_{W,p}$  und der Energie des Wellenfeldes  $E_W$  voraus. Die Struktur dieser Beziehung ist nach Teil der Ausarbeitung eine Proportionalität, wobei der Proportionalitätsfaktor  $\gamma_B$ , der so genannte Abklingkoeffizient, der Energie des Wellenfeldes zuzuordnen ist. Mit dem Ausdruck für die flächenbezogene Energie des Wellenfeldes  $e_W$  nach Tabelle 1 lautet die gesuchte Beziehung

$$\dot{E}_{W,p} = \gamma_B \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot g \cdot a_W^2 \cdot A_W \quad (10)$$



1 Wasserfläche  $A_W$  und Nutzwasserfläche  $A_B$  von Becken mit verschiedenen Überlaufnrenn-Systemen

$\dot{E}_{W,p}$	wellenerzeugende Leistung der Beckenbenutzer	W
$\gamma_B$	Abklingkoeffizient des Beckens (Teil 3)	s <sup>-1</sup>
$\rho$	Dichte des Beckenwassers	1000 kg/m <sup>3</sup>
$g$	Gravitationsbeschleunigung	9,81 m/s <sup>2</sup>
$a_W$	kennzeichnende Wellenamplitude nach Teil 1, Gleichung (3)	m
$A_W$	Wasserfläche zwischen den Überlaufkanten des Überlaufnrenn-Systems (Abb. 1)	m <sup>2</sup>

Wenn der Wert des rechtsseitigen Ausdrucks der vorstehenden Gleichung durch die Anzahl gleichzeitiger Beckenbenutzer  $n_p$  dividiert wird, ergibt sich ein Mittelwert für die wellenerzeugende Leistung je Beckenbenutzer.

#### Deterministische Gleichung der kennzeichnenden Wellenamplitude

Die Gegenüberstellungen der Gleichungen (9) und (10) führt zu einer deterministischen Gleichung, in der die als Zielgröße gesuchte Wellenamplitude  $a_W$  als abhängige Größe zu betrachten ist. Mit den Formelzeichen dieser Gleichungen lautet die neue Beziehung

$$a_W = \chi_0^{0,5} \cdot \left[ \frac{n_p \cdot a_p}{A_W} \right]^{0,5} \cdot \left[ \frac{v_p}{\gamma_B \cdot g} \right]^{0,5} \quad (11)$$

In dieser Gleichung stellen die benetzte Körperfläche je Beckenbenutzer  $a_p$  und die wellenerzeugende Geschwindigkeit je Benutzer  $v_p$  Größen dar, deren Werte messtechnisch nur mit einem großen Aufwand ermittelt werden könnten. Sie sollen deshalb im Rahmen einer Umwandlung von Gleichung (11) in eine Kennzahlgleichung durch Größen ähnlicher Bedeutung ersetzt werden.

#### Übergang zur Kennzahlgleichung

Die folgenden Schritte sollen die deterministische Gleichung (11) in eine Kennzahlgleichung überführen. Dazu wird wieder auf die Ähnlichkeitslehre des Stoffübergangs und der Hydrodynamik zurückgegriffen, wie sie z.B. in [2], Teil 1, beschrieben ist. Der benetzten Körperfläche der Beckenbenutzer  $a_p$  wird für eine tätigkeitsbezogene Gruppe von Badegästen, zum Beispiel den

Tabelle 1: Eigenschaften gerader Wasserwellen (Wassertiefe  $\geq \lambda$ )

Amplitude	a	m	Geschwindigkeit der Einzelwelle <sup>1)</sup>	$v = \lambda/\delta = g/\omega$	m/s
Wellenlänge	$\lambda = 2 \cdot \pi \cdot g/\omega^2$	m	Flächenbezogene Wellenenergie	$e = 0,5 \cdot \rho \cdot g \cdot a^2$	J/m <sup>2</sup>
Schwingungsdauer	$\delta = 2 \cdot \pi/\omega$	s	g.....Gravitationsbeschleunigung		9,81 m/s <sup>2</sup>
Kreisfrequenz	$\omega = 2 \cdot \pi/\delta$	s <sup>-1</sup>	$\rho$ .....Dichte des Beckenwassers		1000 kg/m <sup>3</sup>

<sup>1)</sup>Phasengeschwindigkeit

Benutzern des Schwimmerbeckens, ein fester Wert zugeschrieben. Nach den Regeln der Ähnlichkeitslehre kann dieser Größenwert durch eine dimensionsgleiche Größe mit konstantem Größenwert ersetzt werden. Als Austauschgröße sei die Mindestwasserfläche je Badegast  $a_{p,min}$  gewählt, wie sie nach DIN 19643-1 für Schwimmerbecken einerseits und Nichtschwimmerbecken andererseits vorgegeben ist (Tabelle 4). Für die wellenerzeugende Geschwindigkeit der Beckenbenutzer  $v_p$  bietet sich die kennzeichnende Geschwindigkeit der Wellen  $v_w$  als einzuwechselnde Größe an. Für diese Geschwindigkeit ist in Teil 1 ein Messprinzip angegeben und mit Gleichung (6) die erforderliche Definitionsgleichung genannt. Der Vorteil der Geschwindigkeit  $v_w$  ist darin zu sehen, dass sie eine direkte Bestimmungsgröße des Wasserübergangskoeffizienten  $\beta_{b/u}$  ist und ihr Größenwert für beliebige Gruppen von Badegästen nach einem einheitlichen Verfahren ermittelt werden kann.

Des Weiteren ist die Anzahl gleichzeitiger Beckenbenutzer  $n_p$  anstelle der Wasserfläche  $A_w$  auf die Nutzwasserfläche  $A_B$  eines Beckens zu beziehen; der sich ergebende Wert ist dann von der Art des Überlaufnennensystems unabhängig (Abb. 1). Abschließend sind die Glieder der Gleichung mit der kennzeichnenden Wellenlänge  $\lambda_w$  so zu erweitern, dass ihre Dimension den Wert eins annimmt. Die sich ergebende Kennzahlgleichung lautet

$$\frac{a_w}{\lambda_w} = \chi_1 \cdot \left( \frac{n_p \cdot a_{p,min}}{A_B} \right)^{0,5} \cdot \left( \frac{v_w^3}{\gamma_B \cdot g \cdot \lambda_w^2} \right)^{0,5} \cdot \left( \frac{A_B}{A_w} \right)^{0,5} \quad (12)$$

Die gegenüber den Gleichungen (9) und (10) zusätzlich aufgeführten Formelzeichen bedeuten:

- $\lambda_w$  kennzeichnende Wellenlänge (Gleichung (4), Teil 1) m
- $a_{p,min}$  Mindestwasserfläche je Beckenbenutzer nach DIN 19643-1 (Tabelle 4)  $m^2/P$
- $A_B$  Nutzwasserfläche des Beckens (Abb. 1)  $m^2$
- $v_w$  kennzeichnende Wellengeschwindigkeit (Gleichung (6), Teil 1) m/s
- $\chi_1$  Faktor –

In der Gleichung stellt die erste Kennzahl die Kennzahl der kennzeichnenden Wellenamplitude, die zweite die Kennzahl der Beckenbelegung und die dritte die Kennzahl des Wellenfeldes dar. Die vierte Kennzahl hat für Becken, bei denen die Wasserfläche  $A_w$  und die Nutzwasserfläche  $A_B$  übereinstimmen, den Wert eins (Abb. 1). Nähe-

**Tabelle 4: Kennzahl der Beckenbelegung**

	Maximale Anzahl gleichzeitiger Beckenbenutzer $n_{p,max}$	Kennzahl der Beckenbelegung $K_B$
Schwimmerbecken	$n_{p,max,S} = A_{B,S}^1 / 4,5 \frac{m^2}{P}$	$K_{B,S} = n_p / n_{p,max,S}$
Nichtschwimmerbecken	$n_{p,max,NS} = A_{B,NS}^1 / 2,7 \frac{m^2}{P}$	$K_{B,NS} = n_p / n_{p,max,NS}$
Kombiniertes Becken	$n_{p,max,K} = n_{p,max,S} + n_{p,max,NS}$	$K_{B,K} = n_p / n_{p,max,K}$

<sup>1)</sup> Nutzwasserfläche in  $m^2$

<sup>2)</sup> Mindestwasserfläche je Beckenbenutzer  $a_{p,min}$  nach DIN 19643-1

rungsweise ist dies z.B. bei der Wiesbadener Rinne mit unmittelbar anschließender Ablaufrinne der Fall. Als markantes Gegenbeispiel seien Becken mit Finnischer Rinne genannt, bei der die Kennzahl  $(A_B/A_w)^{0,5}$  deutlich kleinere Werte als eins aufweist.

### Abschließende Betrachtung

Die Gleichung (12) kann in logarithmischer Form als Ansatz für eine Regressionsgleichung verwendet werden, um den Faktor  $\chi_1$  zu bestimmen und die Exponenten zu überprüfen. Erforderlich ist eine hinreichende Anzahl von Wertetupeln der Größen  $\{a_w, \lambda_w, n_p, A_w, A_B, v_w, \gamma_B\}$  als Ergebnis

messtechnischer Untersuchungen. Die Ermittlung des Abklingkoeffizienten  $\gamma_B$  ist Teil 3 der Ausarbeitung zu entnehmen. Im Hinblick auf die verschiedenen Werte der Mindestwasserfläche  $a_{p,min}$  für Schwimmer- und Nichtschwimmerbecken nach DIN 19643-1 wären die messtechnischen Untersuchungen für jede der beiden Beckenarten durchzuführen. Dadurch ließe sich auch erkennen, ob für Schwimmer einerseits und Nichtschwimmer andererseits verschiedene Werte der kennzeichnenden Wellenlänge  $\lambda_w$  und der kennzeichnenden Wellengeschwindigkeit  $v_w$  anzusetzen sind.