

BESCHREIBUNG TRNSYS-TYPE 344:

Bilanzierung eines Hallen- bzw. Freischwimmbeckens

Thomas Auer
TRANSSOLAR
Nobelstraße 15
70569 Stuttgart
21. November 1996

Inhaltsverzeichnis

1.1	Beschreibung der physikalischen Grundlagen	4
1.2	Berechnung des Wärmestroms durch Verdunstung 5	
1.3	Berechnung des konvektiven Wärmeaustauschs 6	
1.4	Berechnung des langwelligigen Strahlungsaustausch 6	
1.5	Berechnung des Wärmeverlusts durch Frischwassernachspeisung 7	
1.6	Berechnung der kurzwelligen Wärmegewinne	7
1.7	Berechnung des Wärmestroms der Nachheizung 7	
1.8	Berechnung der gespeicherten Energie	7
1.9	Wärmeverluste bei abgedecktem Becken 8	
2.	Beschreibung des Type 344	9
2.1	Beschreibung des Inputs	10
2.2	Beschreibung der Parameter 13	
2.3	Beschreibung der Outputs	15

Formelzeichen

Lateinische Zeichen

A	Fläche
a	Temperaturleitfähigkeit
c_p	Spezifische Wärmekapazität
D	Diffusionskoeffizient
DE	Energiedifferenz
$E_{Gob,H}$	Globalstrahlung auf die Horizontale
H	Enthalpie
Δh_v	Verdampfungsenthalpie
m	Masse
m	Massenstrom
p	Druck
Q	Wärmestrom
T	absolute Temperatur
t	Zeit
c_p	Spezifische Wärmekapazität
V	Volumen

Griechische Zeichen

α	Wärmeübergangskoeffizient
α_{Verd}	Verdunstungsbeiwert
β	Stoffübergangskoeffizient
δ	Dicke
ε	Gesamtverdunstungsbeiwert
ε^*	Emissionsgrad
φ	Relative Luftfeuchte
λ	Wärmeleitfähigkeit
ρ	Dichte
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante
ϑ	Temperatur

Tiefgestellte Zeichen

<i>Amb</i>	Umgebung
<i>B</i>	Becken
<i>Cov</i>	Abdeckung
<i>D</i>	Dampf
<i>Fr</i>	Frischwasser
<i>ges</i>	Gesamt
<i>In</i>	Zugeführt
<i>Kon</i>	Konvektion
<i>Leit</i>	Leitung
<i>l</i>	Luft
<i>Out</i>	Abgeführt
<i>Rad</i>	Langwellige Strahlung
<i>Sat</i>	Sättigung
<i>Sol</i>	Solar
<i>Verd</i>	Verdunstung
<i>W</i>	Wasser
<i>Zu</i>	Zugeführt
0	Startwert

1. Beschreibung der physikalischen Grundlagen

Das Schwimmbecken wurde als ideal durchmischt angenommen, so daß der 1. Hauptsatz der Thermodynamik folgende Gestalt erhält:

$$\frac{dH}{dt} = \sum (\dot{Q}_{In} - \dot{Q}_{Out})$$

Mit der Annahme einer inkompressiblen Flüssigkeit, sowie konstanter Dichte und Wärmeleitfähigkeit, ergibt sich Gleichung (1) zu:

$$\rho_W \cdot c_{p,W} \cdot V_B \cdot \frac{dT}{dt} = \sum (\dot{Q}_{In} - \dot{Q}_{Out})$$

Weiter wurde im Modell von einer konstanten Menge an Beckenwasser ausgegangen.

Schematisch lassen sich die Wärmeströme wie folgt darstellen:

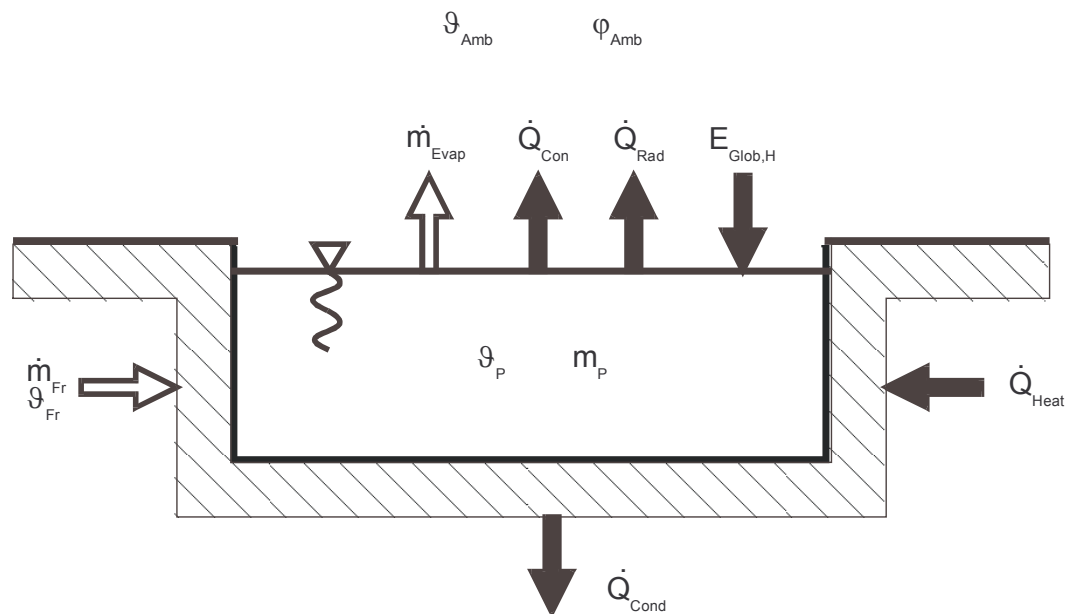


Abbildung 1: Wärme- und Stoffaustausch eines Schwimmbeckens mit der Umgebung

Die mit der Umgebung ausgetauschten Wärmeströme bestehen aus:

- Verdunstungswäre
- Konvektionswärme
- Kurzweiliger Strahlungsaustausch
- Langweiliger Strahlungsaustausch
- Wärmeverluste durch Frischwassernachspeisung
- Wärmestrom der Nachheizung
- Wärmeleitung ans Erdreich

Der Wärmestrom ans Erdreich wurde in der Bilanz vernachlässigt. In einem Hallenschwimmbad liegen die Schwimmbecken in der Regel in einem Technikkeller, in dem erfahrungsgemäß Temperaturen über 30 °C vorliegen, so daß der Wärmestrom gegen Null geht. Für ein Freischwimmbaden läßt sich eine Vernachlässigung einerseits mit dem geringen Einfluß auf die Gesamtenergiebilanz (< 1 %) und andererseits mit der großen Unsicherheit bei der Berechnung begründen

Im folgenden wird die Berechnung der einzelnen Wärmeströme dargestellt.

1.1 Berechnung des Wärmestroms durch Verdunstung

Der Verlustwärmestrom durch Verdunstung errechnet sich aus dem verdunstenden Massenstrom durch:

$$\dot{Q}_{Verd} = \dot{m}_{Verd} \cdot \Delta h_v$$

Der verdunstende Massenstrom wird nach einem Triebkraftansatz bestimmt. Die treibende Größe bildet die Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Wasseroberfläche und Umgebung, wobei man davon ausgeht, daß in einer Grenzschicht direkt über der Wasseroberfläche eine relative Feuchte von 100 %, bei der Beckenwassertemperatur vorliegt. Für ein innenliegendes Schwimmbecken berechnet sich der verdunstende Massenstrom wie folgt:

$$\dot{m}_{Verd} = \varepsilon \cdot A_{ges} \cdot (p_{Sat}(\vartheta_B) - p_D(\vartheta_{Amb}))$$

Der Dampfdruck bei Umgebungsbedingungen errechnet sich mit Hilfe der relativen Feuchte zu:

$$p_D = \varphi_{Amb} \cdot p_{Sat}(\vartheta_{Amb})$$

Der Gesamtverdunstungsbeiwert ε ist für bewegte Wasseroberflächen der VDI Richtlinie 2089 entnommen. Für das ungenützte Schwimmbecken basiert die Berechnung auf der Grundlage der Messungen von Biasin, im Hallenbad von

Schwalmtal. Aus diesen Messungen wurde von Biasin theoretische Grundlagen für die Berechnung des Gesamtverdunstungsbeiwert hergeleitet und dokumentiert [1].

Die Verdunstungsbeziehung eines Freischwimmbeckens beruht auf einen empirischen Ansatz, wobei der Gesamtverdunstungsbeiwert und die Verdampfungsenthalpie zusammengefaßt wurden. Dadurch errechnet sich der Verlustwärmestrom durch Verdunstung durch:

$$\dot{Q}_{Verd} = A_{ges} \cdot \alpha_{Verd} \cdot (p_{Sat}(\vartheta_B) - p_D(\vartheta_{Amb}))$$

Der modifizierte Verdunstungsbeiwert α_{Verd} berechnet sich nach D. Richter [4] zu:

$$\alpha_{Verd} = 50.58 + 66.9 \cdot w_{Amb}^{0.5}$$

Mit dieser Beziehung konnte der Temperaturverlauf im Freibad Leonberg gut nachgebildet werden (nach Berechnungen vom Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart) [5].

1.2 Berechnung des konvektiven Wärmeaustauschs

Der konvektive Wärmeaustausch berechnet sich nach dem Ansatz von Newton:

$$\dot{Q}_{Kon} = \alpha \cdot A_{ges} \cdot (\vartheta_P - \vartheta_{Amb})$$

Nach den Messungen von Biasin gilt für das Hallenschwimmbecken die Lewissche Beziehung zwischen Stoff- und Wärmeübergang. Damit errechnet sich das Verhältnis aus Wärme- und Stoffübergangskoeffizient zu:

$$\frac{\alpha}{\beta} = c_{pl} \cdot Pr_l \cdot \left(\frac{a}{D} \right)$$

Für das Freischwimmbecken berechnet sich der Wärmeübergangskoeffizient nach J. T. Czarnecki [6] zu:

$$\alpha = 3.1 + 4.1 \cdot w_{Amb}$$

1.3 Berechnung des langwelligen Strahlungsaustauschs

Der langwellige Strahlungsaustausch mit den Wänden (Hallenschwimmbecken) bzw. dem Himmel (Freischwimmbecken) berechnet sich nach dem Gesetz von Stefan-Boltzmann. Im Fall des Hallenschwimmbeckens ist das Schwimmbecken komplett umschlossen, im Fall des Freischwimmbeckens ist die Fläche des "Himmels" groß gegenüber dem Schwimmbecken, so daß in beiden Fällen die Beziehung für den langwelligen Strahlungsaustausch sich auf den Strahlungsaustausch mit einem schwarzen Strahler reduziert. Somit ergibt sich folgende Beziehung:

$$\dot{Q}_{Rad} = A_{ges} \cdot \epsilon_w^* \cdot \sigma \cdot (T_B^4 - T_X^4)$$

Wobei X sowohl *Wand*, als auch *Sky* bedeuten kann.

Die Konstanten besitzen folgende Werte:

$$\varepsilon_W^* = 0.9$$
$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

1.4 Berechnung des Wärmeverlusts durch Frischwassernachspeisung

Die Wärmeverluste durch Frischwassernachspeisung errechnen sich mit Hilfe des 1. Hauptsatzes unter Annahme einer inkompressiblen Flüssigkeit zu:

$$\dot{Q}_{Fr} = m_{Fr} \cdot c_{p,W} \cdot (\vartheta_B - \vartheta_{Fr})$$

1.5 Berechnung der kurzweiligen Wärmegewinne

Für das Freischwimmbecken berechnen sich die kurzweiligen Wärmegewinne aus der Globalstrahlung auf die Horizontale zu:

$$\dot{Q}_{Sol} = \varepsilon_w^* \cdot A_{ges} \cdot E_{Glob,H}$$

Die kurzweiligen Wärmegewinne eines Hallenschwimmbeckens müssen anderweitig bestimmt werden. Bei einer Ankopplung an den TYPE 56 können die solaren Gewinne, die auf die Beckenoberfläche entfallen, ausgegeben werden.

1.6 Berechnung des Wärmestroms der Nachheizung

Der Wärmestrom der Nachheizung errechnet sich analog den Wärmeverlusten der Frischwassernachspeisung zu:

$$\dot{Q}_{Zu} = m_{Zu} \cdot c_{p,W} \cdot (\vartheta_B - \vartheta_{Zu})$$

1.7 Berechnung der gespeicherten Energie

Für eine vollständige Energiebilanz muß der Temperaturunterschied zwischen Start- und Endbedingungen berücksichtigt werden. Die gespeicherte Energiemenge berechnet sich mit:

$$DE = m_B \cdot c_{p,W} \cdot (\vartheta_{B,0} - \vartheta_B)$$

1.8 Wärmeverluste bei abgedecktem Becken

$$0 = \dot{Q}_{Kon} + \dot{Q}_{Rad} + \dot{Q}_{Leit} - \dot{Q}_{Sol}$$

Bei abgedeckter Wasseroberfläche zeigt ein Schwimmbecken eine Reduzierung der Wärmeverluste. Dies resultiert im wesentlichen darauf, daß aufgrund der Abdeckung eine Verdunstung verhindert wird. Schematisch stellt sich der Wärmeaustausch wie folgt dar:

Der Wärmeaustausch der abgedeckten Wasseroberfläche reduziert sich auf einen konvektiven Anteil, sowie einem kurzwelligen und einem langwelligen Strahlungsaustausch. Dabei stellt sich eine obere Abdeckungstemperatur ein. Aufgrund der geringen Masse der Abdeckung wird davon ausgegangen, daß sich zu jedem Zeitpunkt ein stationäres Temperaturprofil einstellt, so daß die Wärmebilanz der Abdeckung sich auf folgende Form reduzieren läßt:

Bezogen auf die obere Abdeckungstemperatur lassen sich die einzelnen Wärmeströme wie folgt beschreiben:

$$\dot{Q}_{Kon} = \alpha \cdot A_{Cov} \cdot (\vartheta_{C,0} - \vartheta_{Amb})$$

$$\dot{Q}_{Rad} = A_{cov} \cdot \varepsilon_{Cov}^* \cdot \sigma \cdot (T_{C,0}^A - T_X^A)$$

$$\dot{Q}_{Leit} = \frac{\lambda_{Cov}}{\delta_{Cov}} \cdot A_{Cov} \cdot (\vartheta_{C,0} - \vartheta_P)$$

$$\dot{Q}_{Sol} = A_{Cov} \cdot \varepsilon_{Cov}^* \cdot E_{glob,H}$$

Der Wärmeübergangskoeffizient für die Berechnung des konvektiven Wärmestroms berechnet sich nach Gleichung (10). Für den kurz- und langwelligen Wärmeaustausch wurde angenommen, daß das Kirchhoff'sche Gesetz, nachdem Absorption gleich Emission ist, Gültigkeit besitzt.

2. Beschreibung des TYPE 344, für die Berechnung eines Innen- bzw. Außenschwimmbeckens

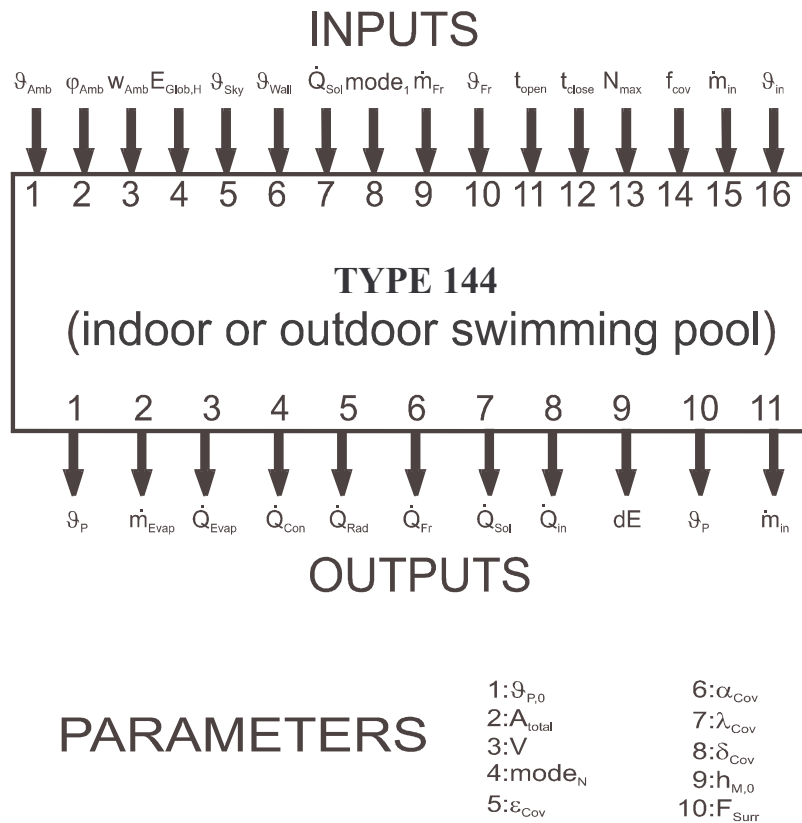


Figure 3: Parameter, Input and Output Data of Type 344

Beschreibung der Inputs

Für die Berechnung eines Innen- bzw. Außenschwimmbeckens können folgende Inputs besetzt werden:

Input-Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
1	ϑ_{Amb}	Temperatur der Umgebungsluft	$[^{\circ}C]$
2	φ_{Amb}	Relative Feuchte der Umgebungsluft	$[\%]$
3	w_{Amb}	Windgeschwindigkeit der Umgebung	$[\frac{m}{s}]$
4	$E_{Glob,H}$	Globalstrahlung auf die Horizontale	$[\frac{kJ}{h \cdot m^2}]$
5	ϑ_{Sky}	Temperatur des "Himmels"	$[^{\circ}C]$
6	ϑ_{Wand}	Temperatur der umschließenden Oberflächen	$[^{\circ}C]$
7	Q_{Sol}	Kurzweilige Strahlungsgewinne	$[\frac{kJ}{h}]$

8	$Mode_1$	Beschreibt die Oberflächenaktivität	$[-]$
9	m_{Fr}	Zulaufmassenstrom des Frischwassers	$\left[\frac{Kg}{h}\right]$
10	ϑ_{Fr}	Temperatur des Frischwassers	$[^{\circ}C]$
11	t_{open}	Tagesuhrzeit der Schwimmbadöffnung	$[-]$
12	t_{close}	Tagesuhrzeit der Schwimmbadschließung	$[-]$
13	N_{Max}	Tagesmaximum an Badegästen	$[-]$
14	f_{Cov}	Relative Abdeckung der Wasseroberfläche	$[-]$
15	m_{Zu}	Zulaufmassenstrom vom Heizer	$\left[\frac{Kg}{h}\right]$
16	ϑ_{Zu}	Temperatur des Zulaufs	$[^{\circ}C]$

Tabelle 1: Liste der Inputs

Beschreibung der Inputs

1. Temperatur der Umgebungsluft (ϑ_{Amb})
Bei der Berechnung eines Freischwimmbeckens entspricht dies der Außenlufttemperatur, während für ein Hallenschwimmbecken die Raumlufttemperatur einzusetzen ist.
2. Relative Feuchte der Umgebungsluft (φ_{Amb})
Entsprechend der Umgebungslufttemperatur entspricht auch die relative Feuchte der Außenluft (Freischwimmbecken) bzw. der Raumluft (Hallenschwimmbecken).
3. Windgeschwindigkeit der Umgebungsluft (w_{Amb})
Der Parameter ist ausschließlich für die Berechnung des Freischwimmbeckens relevant. Da die Windgeschwindigkeit eine Funktion der Höhe über Erdboden ist und desweiteren eine starke Abhängigkeit zum Mikroklima besteht, wurden für eine genauere Quantifizierung zwei weitere Parameter eingeführt (siehe Parameterliste).
4. Globalstrahlung auf die Horizontale ($E_{Glob,H}$)
Für die Berechnung der kurzwelligen Strahlungsgewinne eines Freischwimmbeckens wird die Globalstrahlung auf die Horizontale benötigt.
5. Temperatur des "Himmels" (ϑ_{Sky})
Für die Berechnung des langwelligen Strahlungsaustauschs wird die fiktive Himmelstemperatur benötigt. Diese kann beispielsweise mit dem TYPE 69 (Funktionsweise siehe Beschreibung) berechnet werden.
6. Temperatur der umschließenden Oberflächen (ϑ_{Wand})
Für die Berechnung des langwelligen Strahlungsaustauschs eines Hallenschwimmbeckens wird die mittlere Oberflächentemperatur der

umschließenden Flächen benötigt. Bei einer Kopplung mit dem TYPE 56 werden die inneren Oberflächentemperaturen ausgegeben und über der Fläche gemittelt.

7. Kurzweilige Strahlungsgewinne (Q_{Sol})

Der Input 7 bezieht sich ausschließlich auf die Bilanzierung eines Hallenschwimmbeckens. Die kurzweiligen Strahlungsgewinne beziehen sich auf die solare Gewinne, die über die Fensterflächen auf die Wasseroberfläche entfallen (bei einer Kopplung mit dem TYPE 56 entsprechen die flächenbezogenen kurzweiligen Strahlungsgewinne dem Output 21 des TYPE 56).

8. Beschreibt die Oberflächenaktivität ($Mode_1$)

Da die Bewegung der Wasseroberfläche einen starken Einfluß auf die Verdunstung und Konvektion hat, wird diese in Form eines Faktors berücksichtigt, der sich an die VDI-Werte anlehnt. Dabei bedeutet

$mode_1 = 0 \Rightarrow$ nicht bewegte Wasseroberfläche

$mode_1 = 1 \Rightarrow$ gering bewegte Wasseroberfläche (Privatbad)

$mode_1 = 2 \Rightarrow$ gering bewegte Wasseroberfläche (Hallenbad, Normalbetrieb)

$mode_1 = 3 \Rightarrow$ mäßig bewegte Wasseroberfläche (Freizeitbad)

$mode_1 = 4 \Rightarrow$ heftig bewegte Wasseroberfläche (Wellenbad)

$mode_1 = -1 \Rightarrow$ Belegungsfunktion

Die Belegungsfunktion ($mode_1 = -1$) legt zwischen Öffnung und Schließung eine Parabelfunktion mit Maximum in der Mitte. Hierfür müssen die Inputs 11, 12 und 13 belgt werden. Abbildung (4) zeigt den Verlauf der Belegungsfunktion, mit unterschiedlicher Maximalbelegung.

9. Zulaufmassenstrom des Frischwassers (m_{Fr})

Input 9 beschreibt ausschließlich den hygienischen Wasseraustausch (bzw. den Wasseraustausch beim Filterrückspülen). Der Wasserverlust aufgrund der Verdunstung wird intern automatisch ausgeglichen.

10. Temperatur des Frischwassers (ϑ_{Fr})

Temperatur des Zulaufmassenstroms von Input 9. Der Wasserausgleich aufgrund der Verdunstungsverluste geht mit der gleichen Temperatur in die Berechnung ein.

11. Tagesuhrzeit der Schwimmbadöffnung (t_{open})

Die Öffnungszeit des Bades wird für die Belegungsfunktion (siehe Input 8) benötigt.

12. Tagesuhrzeit der Schwimmbadschließung (t_{close})

(siehe Input 11 und 8)

4	$mode_N$	Unterscheidung Hallen - Freischwimmbecken	-
5	ε_{Cov}	Emissionsgrad der Abdeckung	-
6	α_{Cov}	Absorptionsgrad der Abdeckung	-
7	λ_{Cov}	Wärmeleitfähigkeit der Abdeckung	$\text{kJ}/(\text{h}\cdot\text{m}\cdot\text{K})$
9	δ_{Cov}	Dicke der Abdeckung	m
9	$h_{M,0}$	Meßhöhe der Windgeschwindigkeitsdaten	m
10	F_{Surr}	Geländefaktor	-

Tabelle 2: Liste der Parameter

Beschreibung der Parameter

1. Starttemperatur des Beckentemperatur ($\mathcal{G}_{P,0}$)
Temperatur des Beckenwassers zu Beginn der Simulation.
2. Gesamtoberfläche des Beckens (A_{total})
Oberfläche des Schwimmbeckens einschließlich des Überlaufsystems.
3. Beckenwasser Volumen (V)
wasserinhalt des Schwimmbeckens.
4. Unterscheidung Hallen - Freischwimmbecken ($mode_N$)
Mit dem Parameter $mode_N$ wird zwischen der Berechnung eines Hallen- und eines Freischwimmbeckens unterschieden:

$$mode_N = 0 \Rightarrow \text{Hallenschwimmbecken}$$

$$mode_N > 1 \Rightarrow \text{Freischwimmbecken}$$

5. Emissionsgrad der Abdeckung (ε_{Cov})
6. Absorptionsgrad der Abdeckung (α_{Cov})
7. Wärmeleitfähigkeit der Abdeckung (λ_{Cov})
8. Dicke der Abdeckung (δ_{Cov})
9. Meßhöhe der Windgeschwindigkeitsdaten ($h_{M,0}$)
(siehe Parameter 9)
10. Geländefaktor (F_{Surr})

Die Wärmeverluste eines Freischwimbeckens (Verdunstung und Konvektion) ist stark windabhängig (siehe physikalische Grundlagen). Da für die Berechnung verwendeten Beziehungen liegt eine Windgeschwindigkeit in 3 m Höhe zugrunde. Da dies in der Regel nicht der Neßhöhe der in den Wetterdaten vorliegenden Daten entspricht, wurden eine Höhenkorrektur eingefügt. Diese Höhenkorrektur ist wiederum abhängig von der Geländeform. Abbildung (5) zeigt den Verlauf der über der Höhe korrigierten Windgeschwindigkeit, in Abhängigkeit des Geländefaktors (F_{Surr}).

Abbildung 5: Darstellung der Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit über dem Geländefaktor (F_{Surr}). Zugrundegelegt wurde eine Windgeschwindigkeit von 5 m/s, gemessen in 10 m Höhe.

Der Berechnung liegt folgenden Beziehung zugrunde:

$$\frac{w}{w_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{1}{F_{Surr}}} \quad (21)$$

Für den Geländefaktor gelten folgenden Richtwerte:

Starke Bebauung	2
Stadt, bebautes Gelände	2..4
Bewaldetes oder hügeliges Gelände	3..6
Freie Ebenen	6..8
Freie Wasserflächen	8..10

Tabelle 3: Richtwerte für den Geländefaktor

Beschreibung der Outputs

Für die Berechnung eines Innen- bzw. Außenschwimbeckens können folgenden outputs belegt werden:

Output-Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
1	\mathcal{G}_p	Beckenwassertemperatur	[°C]
2	\dot{m}_{Evap}	Verdunstungsmassenstrom	$\left[\frac{Kg}{h} \right]$
3	\dot{Q}_{Evap}	Wärmestrom durch Verdunstung	$\left[\frac{kJ}{h} \right]$
4	\dot{Q}_{Con}	Wärmestrom durch Konvektion	$\left[\frac{kJ}{h} \right]$
5	\dot{Q}_{Rad}	Wärmestrom durch langwelligen Strahlungsaustausch	$\left[\frac{kJ}{h} \right]$

6	\dot{Q}_{Fr}	Wärmeverluste durch Frischwassernachspeisung	$\left[\frac{kJ}{h}\right]$
7	\dot{Q}_{Sol}	Kurzweilige Strahlungsgewinne	$\left[\frac{kJ}{h}\right]$
8	\dot{Q}_{In}	Zugeführter Heizwärmestrom	$\left[\frac{kJ}{h}\right]$
9	dE	Energiespeicherung	kJ
10	\mathcal{G}_p	Beckenwassertemperatur	$[^{\circ}C]$
11	\dot{m}_{In}	Massenstrom des Heizkreislaufs	$\left[\frac{Kg}{h}\right]$

Table 4: Liste der Outputs

Literatur

- [1] K. Biasin,
Die Wasserverdunstung nichtbenutzter Becken im Hallenbad
Fortschritt-Bericht, VDI-Reihe 19, Nr. 17
Düsseldorf: VDI-Verlag
1987
- [2] VDI 2089
Wärme-, Raumluftechnik, Wasserver- und -entsorgung in Hallen- und Freibäder
Hallenbäder
Juli 1994
- [3] D. Richter
Temperatur- und Wärmehaushalt des thermisch belasteten Stechlin- und Nehmitzsees
Akademie-Verlag, Berlin
- [4] D. Richter
Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von freien Wasserflächen dargestellt am Beispiel des Stechlinsees
Abhandlung des Meteorologischen Dienstes der DDR
Nr. 88, Band XI
- [5] F. Guidati,
Überprüfung von Wärme- und Stoffübergangsbeziehungen an der Oberfläche von Freischwimmbecken mittels Meßdaten
Studienarbeit Nr. 9133
Universität Stuttgart
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
1992
- [6] J. T. Czarnecki,
Swimming Pool Heating by Solar Energy
CSIRO Division of Mechanical Engineering
Technical Report TR 19, 1978

