



Marco Bühler

Diplomand	Marco Bühler
Examinator	Prof. Dr. Benno Bucher
Experte	Felix J. Hardegger, ENGIE Services AG, Zürich, ZH
Themengebiet	Energie- und Umwelttechnik
Projektpartner	ENGIE Services AG, Zürich, ZH

## Verdunstungsrate von Wasseroberflächen in Hallenbädern

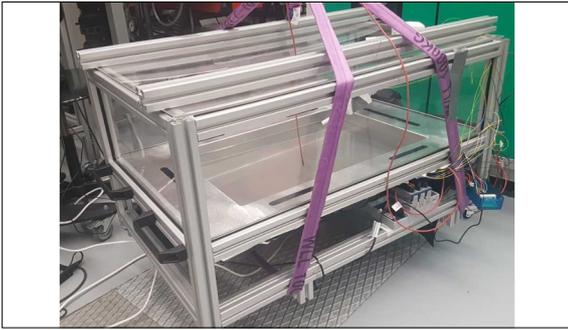


Abbildung 1: Aufbau während der Differenzmassenmessung

**Problemstellung:** Ein Hallenbad braucht für den Betrieb viel Energie. Deshalb stehen Hallenbäder auch im Fokus des Bundesamtes für Energie. Die Verdunstung des Beckenwassers wird aber in den Analysen des Bundes nicht beachtet. Physikalisch gesehen ist die Verdunstung ein komplexer Vorgang, welcher mit verschiedenen theoretischen Modellen versucht wird zu beschreiben. Messungen in einem Hallenbad haben aber zu keinem plausiblen Zusammenhang zwischen den theoretischen Modellen und der Realität geführt. Die gemessene Verdunstung und die berechnete Verdunstung mittels theoretischen Modellen, unterscheiden sich um den Faktor 10. Da genaue Messungen in einem Hallenbad anspruchsvoll sind, sollen die theoretischen Modelle mittels Messungen an einem Labormodell überprüft werden.

**Vorgehen:** Für die Messungen wird die Wassertemperatur konstant bei 29 °C gehalten. Das ist die übliche Wassertemperatur eines Sportbades. Die anderen Parameter, wie Lufttemperatur und relative Luftfeuchte, sind für die verschiedenen Messpunkte jeweils verändert worden. Auf dem Diagramm 1 sind die wichtigsten theoretischen Modelle zur Verdunstung aufgetragen. Die Grösse des Labormodells wird mittels Fehlerfortpflanzungsrechnung festgelegt. Der theoretische Fehler jeder Messung muss unter 3 % liegen. Da auf den festgelegten 0,25 m<sup>2</sup> nur gerade 10 Gramm Wasser pro Stunde verdunsten, muss die Massenmessung über die Differenz gemessen werden. Die Massendifferenz nach einer gewissen Zeit entspricht dann der Verdunstungsrate.

**Ergebnis:** Auf dem Diagramm 2 sind alle Messpunkte aufgetragen. Zwischen den Messpunkten der einzelnen Messreihen besteht ein linearer Zusammenhang. Die Messungen haben folgendes gezeigt:

- Bei kleiner relativer Feuchtigkeit wird die Verdunstungsrate maximal.
- Die Verdunstungsrate wird mit steigender Lufttemperatur kleiner.
- Die Trendline ist mit steigender relativer Luftfeuchtigkeit steiler.
- Qualitativ stimmt die Theorie mit den Messwerten überein.

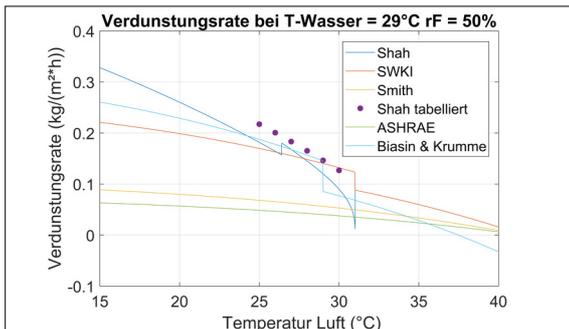


Diagramm 1: Theoretische Modelle zur Verdunstungsrate bei 29 °C Wassertemperatur und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit

Die Messwerte weichen um 30 % und mehr von den theoretischen Modellen ab. Dies lässt sich auf falsche Strömungsverhältnisse im Modellhallenbad zurückführen. In einem hallenbadähnlichen Zustand haben die Messungen eine Verdunstungsrate von ca. 115 g/m<sup>2</sup>h ergeben.

Wird diese Verdunstungsrate auf die Grösse eines üblichen Hallenbades von 25 m Länge und 16 m Breite gerechnet, ergibt sich eine Verdunstung von 46 kg/h. Wird die Verdunstung während der nicht benutzten Zeit unterbunden, liegt das Energiesparpotential in einem Jahr bei 215.63 MWh, was 16'979 CHF entspricht. Hallenbadbetreiber können mit einer Abdeckung des Schwimmbeckens viel Geld und Energie sparen. Die relative Luftfeuchtigkeit zwischen Wasseroberfläche und Abdeckung beträgt stets 100 %. Damit wird die Verdunstung des Wassers komplett unterbunden.

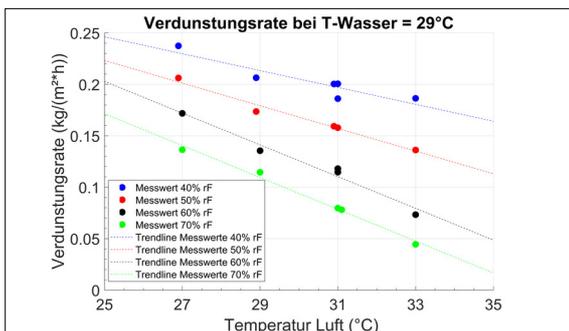


Diagramm 2: Messung der Verdunstungsrate bei 29 °C Wassertemperatur bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit