

Verbesserung der Stromeffizienz von Schwimmbädern

Jörn Kaluza, Ingenieurbüro Inco GmbH, Alexanderstraße 69-71, D-52062 Aachen
j.kaluza@ib-inco.de.

1 Einleitung

Der Stromeinsatz ist bei Schwimmbädern im Passivhausstandard primärenergetisch dominierend. Laut einer Untersuchung der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen [Deutsche Gesellschaft für das Badewesen, 2010] reicht die Spannweite der spezifischen Stromverbrauchswerte von Schwimmbädern von ca. 500kWh/m² Wasserfläche bis zu ca. 2000kWh/m² Wasserfläche. Die Hauptstromverbraucher sind die Lüftungs- und die Badewassertechnik.

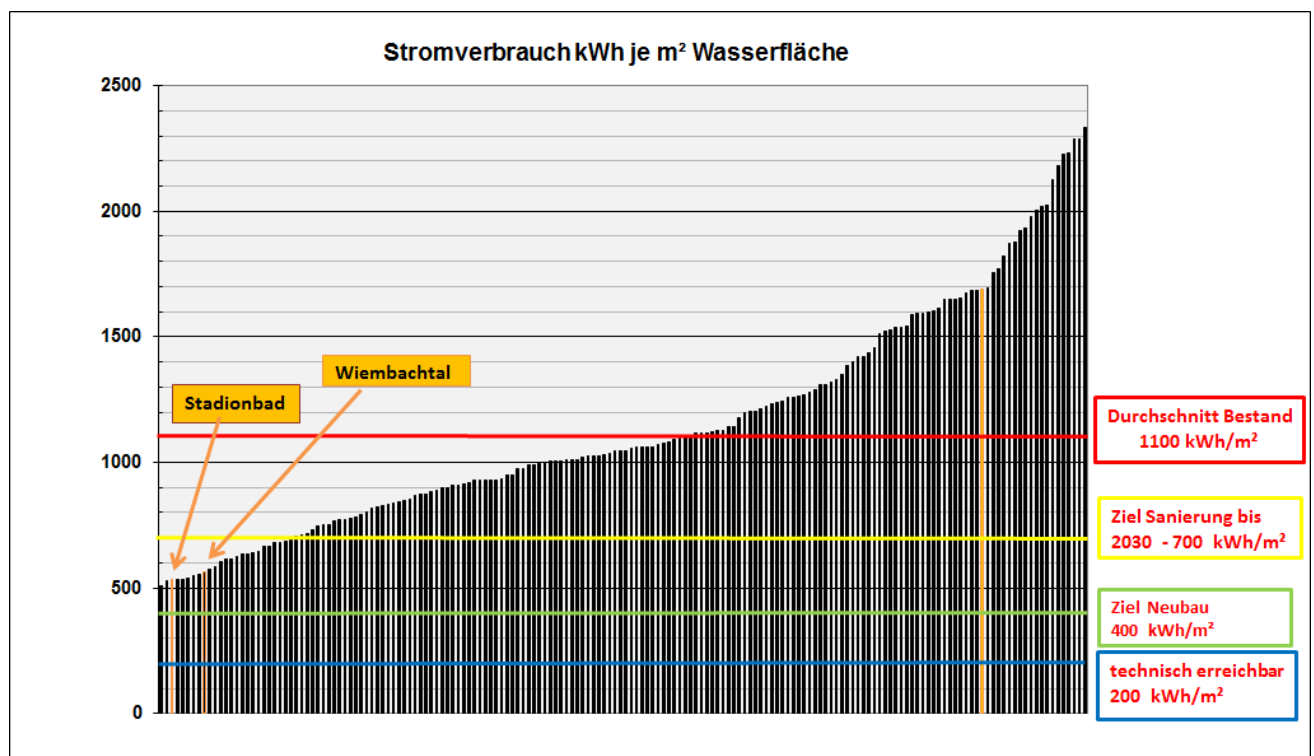


Abbildung 1 : spezifischer Stromverbrauch von Schwimmbädern im Bereich 400 bis 500 m² Wasserfläche auf Basis der Daten der Deutschen Gesellschaft für Badewesen.

Das Ingenieurbüro Inco GmbH beschäftigt sich seit Anfang der 90er Jahre mit der energetisch optimierten Sanierung und Neuplanung von Schwimmbädern. Anhand von Beispielprojekten, werden im Folgenden ausgewählte Optimierungsmaßnahmen, insbesondere im Bereich der Lüftungs- und Beckenwassertechnik, und deren Einsparpotentiale vorgestellt.

2 Planungsgrundlagen - Theorie

In der Lüftungs- und Badewassertechnik spielen Strömungsprozesse eine dominierende Rolle. Da es sich durchweg um turbulente Strömungen handelt, gilt für jedes Teilchen Wasser, das gegen eine Rohrwandung prallt oder jedes Teilchen Luft oder Wasser das in einer Engstelle beschleunigt wird, die einfache Formel für die kinetische Energie

$$E = 1/2 * m * v^2 \text{ (m= Masse, v= Geschwindigkeit).}$$

Dies bedeutet, dass die Verluste mit der Strömungsgeschwindigkeit stark ansteigen. Will man die Verluste minimieren, ist dies durch Senken der Strömungsgeschwindigkeit einfach möglich. Eine Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit z.B. um 30% führt zu einer Reduzierung der Verluste von 50%

3 Optimierungspotential in der Lüftungstechnik

Das Optimierungspotential im Bereich der Lüftungstechnik wird anhand von zwei kommunalen Schwimmbädern der KölnBäder GmbH deutlich gemacht. Im Stadionbad erfolgte eine energetische Optimierung der Haustechnik von der Planung bis zur Ausführung. Im Vergleichsbad erfolgte die Planung auf Basis von Standardauslegungswerten.

Die nach Standard ausgelegte Schwimmhallenanlage hat eine spez. elektr. Ventilatorleistung von ca. $1 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($3600 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$; Zuluft + Abluft). Die Lüftungsanlage im Stadionbad benötigt aufgrund einer konsequenten hydraulischen Optimierung lediglich eine spez. Leistung von $0,38 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($1370 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$). Das Passivhauskriterium schreibt für die Zertifizierung von Lüftungsgeräten einen Kennwert von $0,45 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($1640 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$) vor [Passivhaus Institut, 2012]. Betrieben werden die Anlagen mit durchschnittlich ca. 2/3 des maximalen Volumenstroms, bei ca. 1/3 der elektrischen Leistung. Hieraus ergeben sich für den Normalbetrieb ca. $0,19 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($680 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$) für das Stadionbad und ca. $0,5 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($1800 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$) für das Standardbad.

Die Einflüsse und Optimierungsmöglichkeiten zur Reduzierung der spezifischen Ventilatorleistung sind vielfältig. Im Folgenden werden die in unseren Augen wichtigsten Ansatzpunkte und Handlungsfelder beschrieben.

Minimierte Kanaldruckverluste

Der Standardwert „externe Druckverluste für die Kanalnetze (AUL + ZUL bzw. ABL+FOL incl. Schalldämpfer)“ werden von den Geräteherstellern mit 400 bis 600Pa angesetzt und in dieser Größenordnung in der Praxis auch häufig geplant. In unserem Vergleichsbad erfolgte eine Auslegung mit einem externen Druckverlust von 500Pa. Im Stadionbad liegt der externe Druckverlust mit 220Pa deutlich niedriger. Nach unserer Einschätzung ist grundsätzlich eine Auslegung im Bereich von 100- 250Pa anzustreben.

Minimierte Druckverluste des Lüftungsgerätes, insbesondere des Tauschers

Die internen Druckverluste sind prinzipiell durch Wahl eines größeren Gerätes einfach zu reduzieren ($E=1/2mv^2$). Eine besondere Bedeutung kommt der Auswahl des Wärmerückgewinnungsaggregats zu. Der Wärmerückgewinnungsgrad sollte aufgrund der hohen Temperaturen im Bad und der hohen Außenluftvolumenströme möglichst groß sein. Im Sommer bei einer Außentemperatur von z.B. 20°C und 30°C Innentemperatur ist eine Wärmerückgewinnung ebenfalls sinnvoll. Die Wärmerückgewinnung ist daher auch bei vollem Volumenstrom zu betreiben und auszulegen. Der Wirkungsgradunterschied mit latenter Wärme (Winterfall) und ohne latente Wärme (Sommerfall) ist im Hallenbad besonders hoch.

Im Stadionbad wurde ein doppelter Plattenwärmetauscher mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 89% (feucht; 73% trocken, bei 100% Volumenstrom) und einem Druckverlust von 160Pa eingesetzt. Bei Teillast ist der Wirkungsgrad deutlich über 90% (feucht) und 75% (trocken) und erfüllt damit das Passivhauskriterium. Im Vergleichsbad liegt der Wärmerückgewinnungsgrad bei 78% (feucht bei 100% Volumenstrom). Angaben zum Druckverlust liegen hier nicht vor. Es ist davon auszugehen, dass dieser im Bereich von 300Pa liegt.

Ventilator bei der Auslegung im tatsächlichen Betriebspunkt optimieren

Ein großes Einsparpotential kann dadurch erschlossen werden, dass der Ventilator so gewählt wird, dass der optimale Wirkungsgradbereich im tatsächlichen Betriebspunkt liegt und nicht im maximalen Auslegungsfall. In der Praxis findet man häufig folgende Situation: Die Auslegung der Anlage enthält viele Sicherheiten bezüglich der notwendigen Ventilatorpressung. Hinzu kommen die variierenden Druckverluste von Filtern und Bypässen usw. Durch die Drehzahlregelung der Ventilatoren über Frequenzumformer kann der tatsächlich benötigte Förderdruck in einem weiten Bereich angepasst werden. Der Druckverlust wird so bei der Auswahl des Ventilators tendenziell zu hoch (maximaler Auslegungsfall) angesetzt. Der tatsächliche Betriebspunkt (bei deutlich geringerem Druckverlust) liegt dann häufig in einem deutlich schlechteren Wirkungsgradbereich. Das kann in der Praxis durchaus 25% mehr Stromverbrauch bedeuten. Anschaulich wird dieser Zusammenhang in Abbildung 2 dargestellt.

Als Faustformel für die „Strömungsmaschine“ Ventilator gilt:

Geringe Drücke erfordern einen großen Ventilator mit kleinem Motor
Große Drücke erfordern einen kleinen Ventilator mit großem Motor.

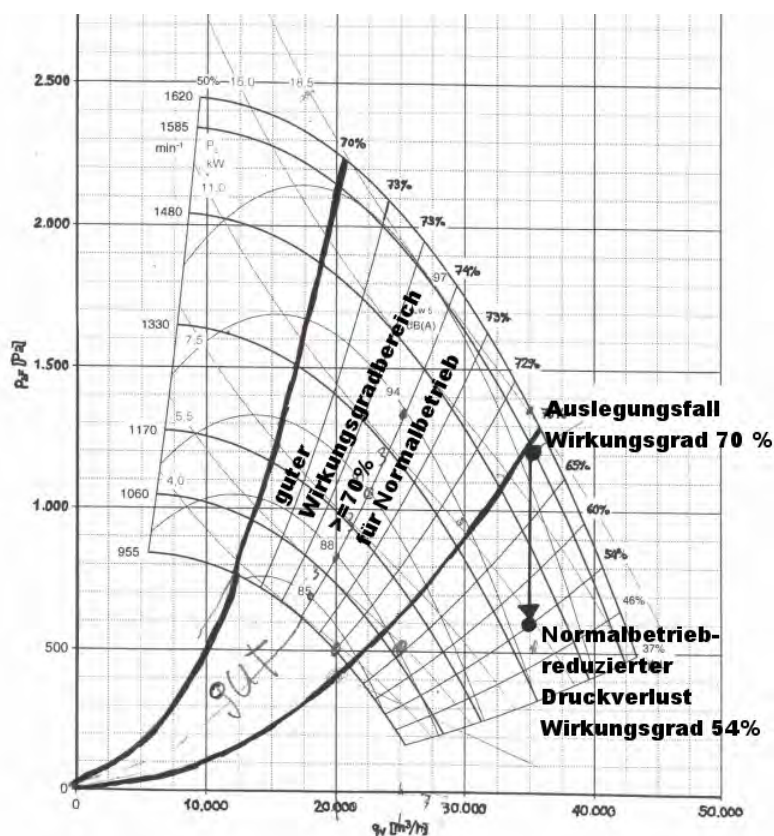


Abbildung 2: Ventilatorcharakteristik
Veränderung des Wirkungsgrads für
unterschiedliche Betriebspunkte
(maximaler Auslegungsfall-
Normalbetrieb)

4 Optimierungspotential in der Beckenwassertechnik

In der Beckenwassertechnik kann durch die hydraulische Optimierung der Beckenkreisläufe eine deutliche Reduzierung der Förderhöhe der Pumpen und damit des Strombedarfs erzielt werden. Der Handlungsspielraum für die spezifische Umwälzleistung (im Nennbetrieb mit Nebenaggregaten) bezogen auf die Wassermenge liegt unserer Erfahrung nach zwischen 2,5 und 8 kW/(100m³/h). Die möglichen Maßnahmen reichen von der optimierten Auslegung und Auswahl der Beckenwasserpumpe, dem Einbau von Diffusoren über die Lage des Schwallwasserbehälters, die Optimierung der Rohrleitung bis zur Einbindung des Wärmetauschers. Beispielhaft werden einige Handlungsfelder im Weiteren näher beschrieben.

Auslegung der Beckenwasserpumpe

Der Wirkungsgrad der Beckenwasserpumpe liegt in der Praxis häufig nicht im optimalen Bereich. Häufigster Grund ist die Fehltauslegung aufgrund zu hoher Reserven in der Förderhöhe, die in der Realität gar nicht gebraucht werden. Die Förderhöhe kann mit Frequenzumformern angepasst werden. Analog zur Ventilatorauslegung ist entscheidend, dass der beste Wirkungsgrad im tatsächlichen Betriebspunkt liegt und nicht bei der maximalen Leistung. Auch der Vergleich mehrerer Pumpentypen und -fabrikate für den konkreten Anwendungsfall zahlt sich aus. Der Handlungsspielraum bei der Pumpenauslegung liegt unserer Erfahrung nach bei 20 % Wirkungsgrad.

Anbindung der Pumpe



Am Austritt der „Strömungsmaschine Pumpe“ herrschen hohe Strömungsgeschwindigkeiten. Die enthaltene kinetische Energie ($1/2 \cdot m \cdot v^2$) kann durch eine stetige Erweiterung, einen sogenannten Diffusor, zurückgewonnen werden.

Eine Beruhigungsstrecke zwischen Pumpe und Diffusor verringert Strömungsablösungen. Die hierdurch zusätzlich gewonnene Förderhöhe beträgt in der Regel 0,4 bis 2mWS entsprechend 5% bis 50 % der Gesamtförderhöhe

Abbildung 3: eingebauter Diffusor und Beruhigungsstrecke, Stadionbad Köln.

Wirkungsgradeinbußen der Pumpe im Betrieb

Im Rahmen unserer Bestandsanalysen konnten wir deutliche Wirkungsgradverluste durch Alterung der Umwälzpumpen aufgrund der speziellen Nutzungsbedingungen in Schwimmbädern beobachten. Zum Beispiel stellten wir im Hallenbad Stolberg, Glashütter Weiher einen Wirkungsgradeinbruch von 30% (von optimalen 80% auf 50%) über eine Betriebszeit von 18 Jahren fest. Die Wirkungsgradverluste werden zum einen durch Inkrustationen verursacht, die durch das aggressive „chlorhaltige“ Wasser entstehen. Als zweite Verlustquelle ist die Erhöhung der Spaltverluste zwischen Laufrad und Gehäuse zu nennen. Dies gilt es in der Zukunft durch die Auswahl geeigneten Materialien zu verhindern.



Abbildung 4: Inkrustationen an der Beckenwasserpumpe im Hallenbad Stolberg, Glashütter Weiher

5 Energetische Optimierung im Bestand

Die aufgeführten Optimierungsmaßnahmen in der Lüftungs- und Beckenwassertechnik gelten weitestgehend für Neubau und Bestand. In den Carolusthermen in Aachen haben wir umfangreiche Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Die erzielten Einsparungen sind im folgenden Diagramm zusammengestellt.

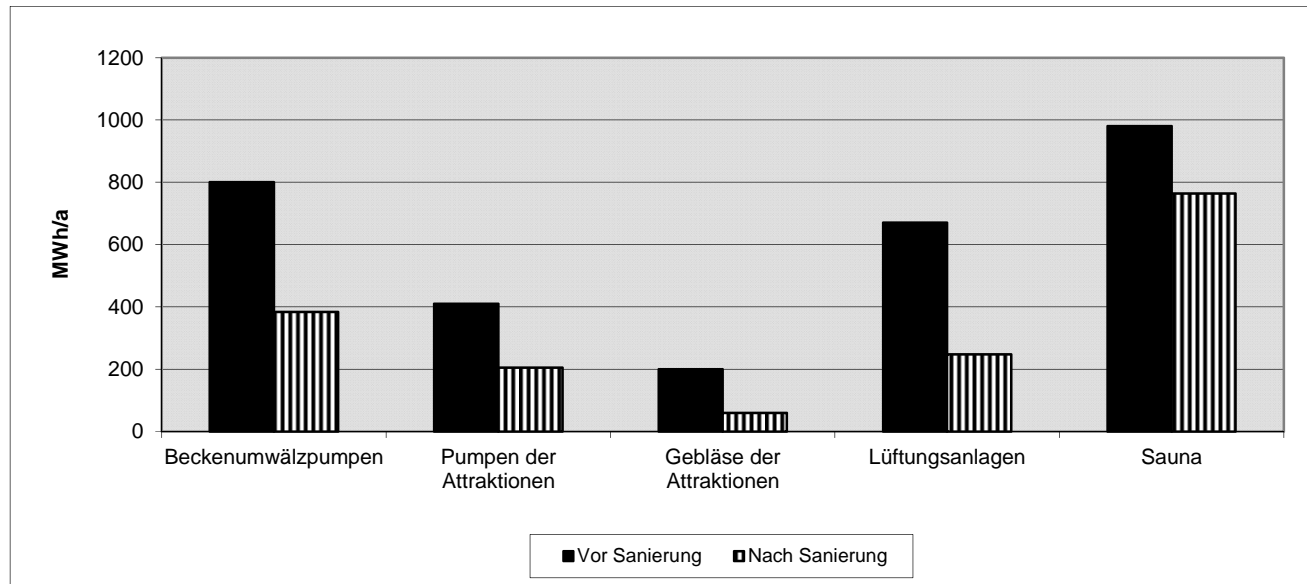


Abbildung 5: Stromeinsparungen bei der Sanierung der Carolus Therme Aachen

6 Ausblick – das 5kW-Bad

Nach unseren Erfahrungen kann bei konsequenter Umsetzung aller Optimierungspotentiale ein Strombedarf in der Größenordnung von 200 kWh/m² (Beckenfl.) technisch erreicht werden. Ein „minimales“ Schwimmbad für die kommunale Grundversorgung (nur Kombibecken 25x8m) könnte dann mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von ca. 5kW betrieben werden. Die Entwicklungen in den letzten Jahren zeigen hier den Weg. (siehe Abbildung1).

Quellen

[Deutsche Gesellschaft für das Badewesen, 2010]

Deutsche Gesellschaft für das Badewesen,
Überörtlicher Betriebsvergleich Bäderbetriebe
(ÜÖBV) Teil II, Report 2010

[Passivhaus Institut, 2012]

Passivhaus Institut, Darmstadt; Energetische
Bewertung von Lüftungsgeräten mit
Luftleistungen größer 600m³/h-Vorstellung des
Zertifizierungsverf. Stand 6/2012