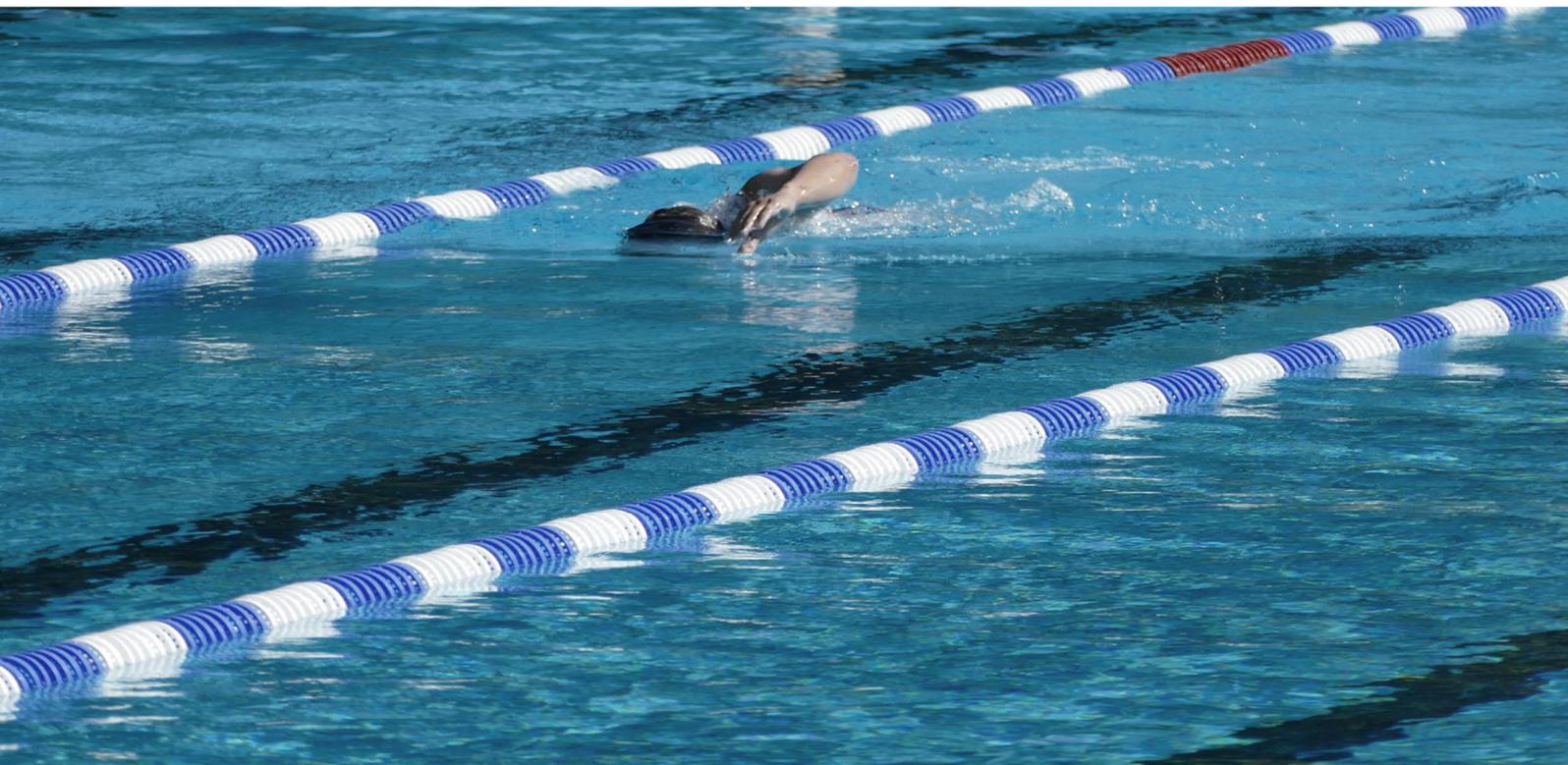


Passivhaus-Konzept für Hallenbäder:

# Leitfaden



Herausgeber



Auftraggeber



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Gebäudehülle.....</b>	<b>6</b>
	2.1 Opake Bauteile.....	8
	2.2 Transparente Bauteile.....	11
	2.3 Thermische Trennung.....	12
	2.4 Luftdichtheit.....	13
<b>3</b>	<b>Lüftung.....</b>	<b>14</b>
	3.1 Lüftung Schwimmhalle.....	14
	3.2 Lüftung Nebenzonen.....	23
<b>4</b>	<b>Schwimmbadtechnik.....</b>	<b>26</b>
	4.1 Strombedarf Beckenwasserumwälzung.....	26
	4.2 Heizwärmebedarf Beckenwassererwärmung.....	31
<b>5</b>	<b>Duscharmwasser.....</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Weitere Potentiale.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Wärmeerzeugung.....</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Inbetriebnahme und Betriebsführung.....</b>	<b>43</b>
	8.1 Messtechnik und GLT.....	43
	8.2 Inbetriebnahme.....	49
	8.3 Betriebsführung und Betriebsoptimierung.....	54
<b>9</b>	<b>Fazit und weitere Informationen.....</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>62</b>
<b>11</b>	<b>Impressum.....</b>	<b>63</b>

# 1 Einleitung

Immer mehr Menschen, politische Institutionen und Wirtschaftsunternehmen sind sich der grundlegenden Bedeutung von Energieeffizienz bewusst. Trotzdem wird heute noch häufig zunächst nur auf die Investitionskosten geschaut: Eine Kommune möchte ihren Bürgern ein Hallenbad bieten und legt mit einer Investitionssumme fest, welche Art und Größe von Bad sie sich leisten kann. Dass der größere Teil der Kosten erst nach dem Bau, nämlich durch den Betrieb des Bades entsteht wird dabei ausgeblendet; häufig betrifft das auch eine andere Abteilung in der Verwaltung. Durch die Berücksichtigung von Effizienzmaßnahmen bereits im Planungsprozess kann der Energiebedarf von Hallenbädern deutlich gesenkt werden. Dadurch wird nicht nur ein Beitrag zum Umweltschutz geleistet, sondern es werden auch die Finanztöpfe der Kommune geschont.

Das Passivhaus Konzept ist ein ganzheitlicher Ansatz, der den gesamten Energieverbrauch eines Gebäudes berücksichtigt. Durch Investition in eine intelligente Planung, hochwertige Bauteile und eine gut eingespielte Regelung können die Energiekosten für den Betrieb des Gebäudes deutlich gesenkt werden. Das bedeutet, die Investitionskosten fallen geringfügig höher aus, die Betriebskosten aber sinken ab.

Über die niedrigeren Betriebskosten hinaus ergeben sich weitere Vorteile:

- Planungssicherheit für den Haushalt durch geringere Abhängigkeit von Energiepreiserhöhungen
- Hohe Qualität und Langlebigkeit der Bausubstanz, denn Luftdichtheit und hohe Innenoberflächentemperaturen schützen vor Bauschäden
- Hohe Behaglichkeit
- Beitrag zur Energiewende und nachhaltigen Energieversorgungsstrukturen

Auf Grund des hohen Energieverbrauchs bei Hallenbädern wirkt sich eine Steigerung der Energieeffizienz besonders stark aus. Dieser Leitfaden bietet Hilfestellungen zur Umsetzung von hoher Energieeffizienz, sowohl bei der Planung als auch bei der Inbetriebnahme und Betriebsführung. Das Dokument ist im Rahmen des Forschungsprojekts "Passivhaus-Konzept für Hallenbäder: Datenauswertung und Empfehlungen" vom Passivhaus Institut erarbeitet worden. Die Empfehlungen basieren auf Forschungsarbeiten und Recherchen des Passivhaus Instituts, sowie der gesammelten Praxiserfahrung aus begleiteten Pilotprojekten.

Neben diesem ausführlichen Leitfaden steht auf [www.passiv.de](http://www.passiv.de) ein Kurzleitfaden für Bauherren, Betreiber und sonstigen Interessenten zur Verfügung. Dort sind weitere umfangreiche Berichte zu Passivhaus-Hallenbädern (Bambados und Lippe-Bad) zu finden (siehe auch Kapitel 9 Fazit und weitere Informationen).



Abb. 1: Becken im Lippe-Bad Lünen und Messwerte zum Langzeitverbrauch des Bades am Beispiel des Wärmeverbrauchs (Bezug: Gesamte beheizte Fläche des Bades).

Insbesondere die hohe Qualität der Gebäudehülle in Passivhaus-Qualität mit hohen Oberflächentemperaturen ermöglicht ein Umdenken gegenüber konventioneller Planung von Schwimmhallen und öffnet somit die Türen für energetische Optimierungen. Die grundlegenden Zusammenhänge sind in dem unten abgebildeten Schema dargestellt.

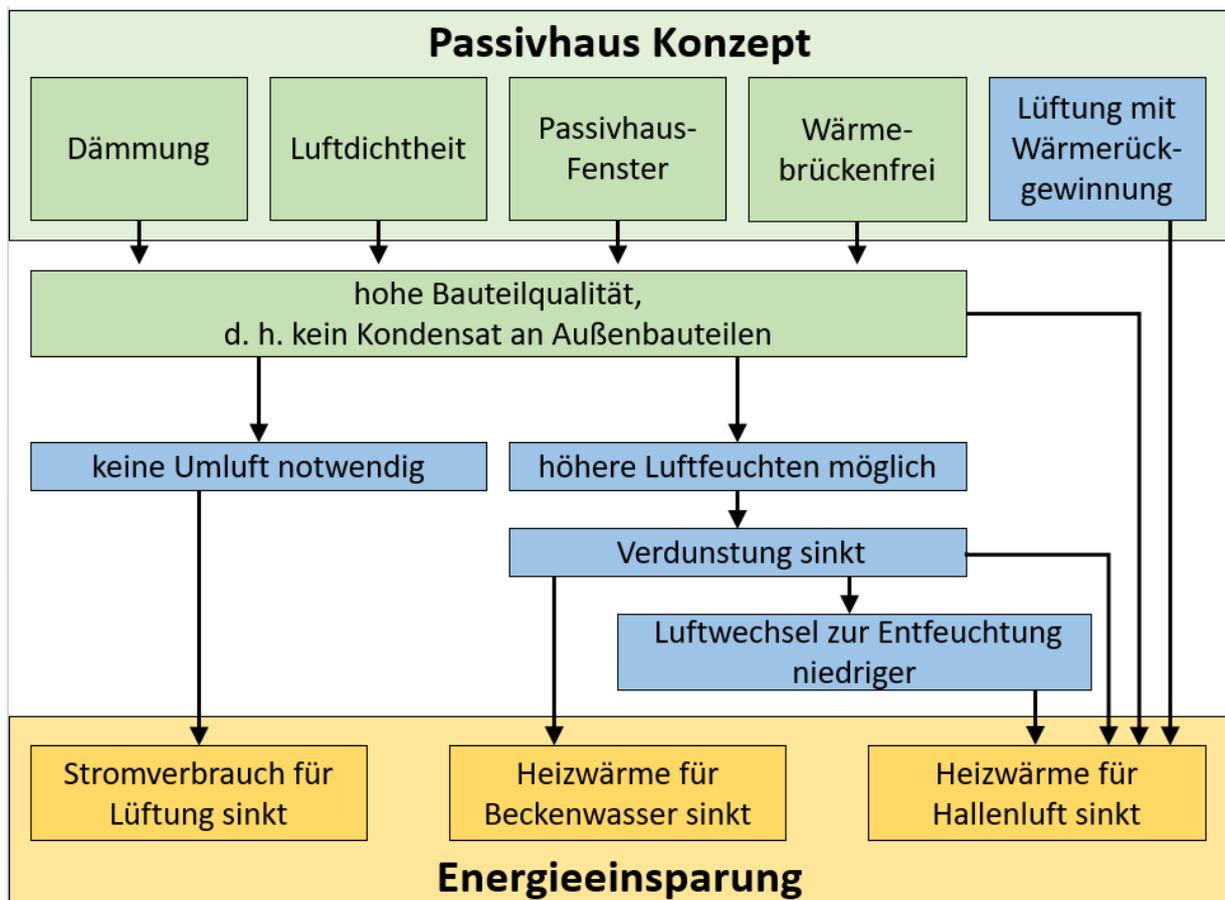
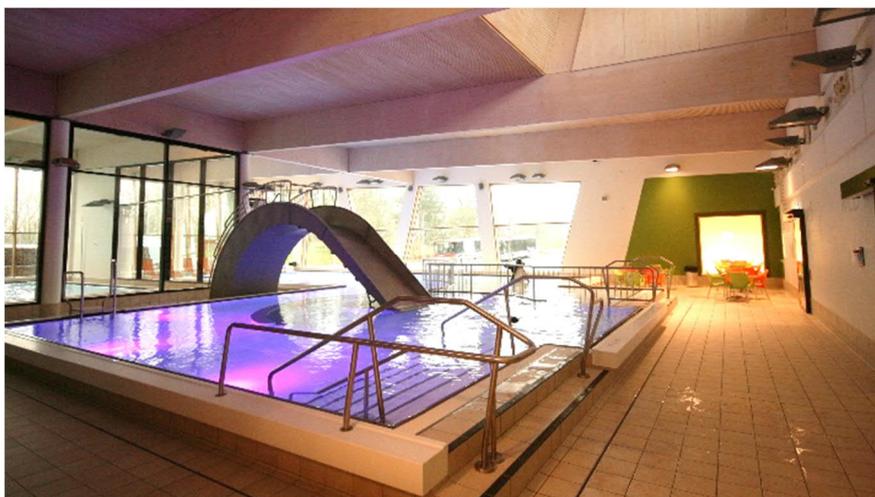


Abb. 2 Schema: Zusammenhänge zwischen Passivhaus Konzept und Energieeinsparung

Um eine insgesamt energieeffiziente Lösung zu erhalten, müssen neben der Beheizung der Schwimmhallen auch alle weiteren Energieverbraucher im Gebäude betrachtet werden. Dies betrifft insbesondere die folgenden Bereiche:

- Strombedarf der Schwimmbadtechnik
- Heizwärmebedarf des Duschwarmwassers
- Bedarfsgeregelte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Frischwasser- und Heizwärmebedarf des Beckenwassers
- Stromeffizienz weiterer Verbraucher z.B. Beleuchtung, Lüftung, Gebäudetechnik etc.
- Hohe Effizienz eventueller Freizeitbereiche oder Zusatzangebote z.B. Rutschenanlagen, Sauna, Spa, Fitness, Gastronomie.

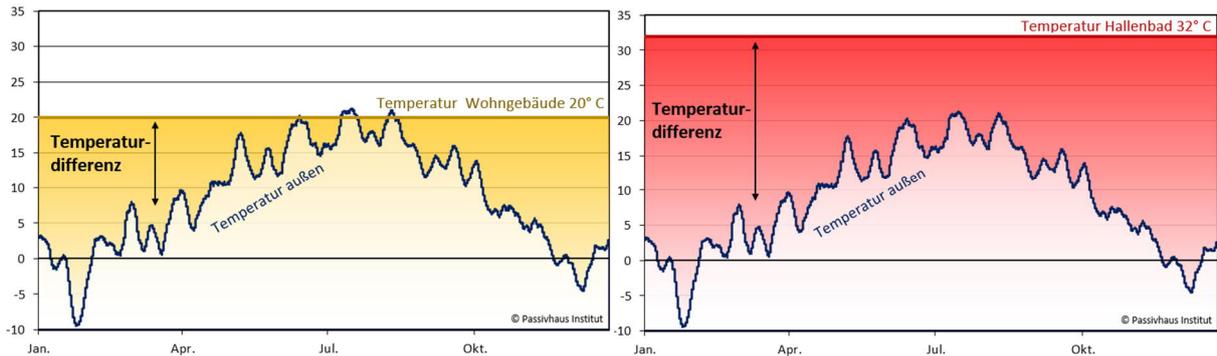
Die ganzheitliche und konsequente Anwendung der Passivhaus-Prinzipien in Hallenbädern bietet hohen Komfort und hohe Luftqualität bei möglichst niedrigem Energieeinsatz und damit geringen Betriebskosten.



**Abb. 3:** Die beiden ersten - 2011 fertig gestellten - Passivhaus-Hallenbäder Bambados in Bamberg (oben) und Lippe-Bad in Lünen (unten).

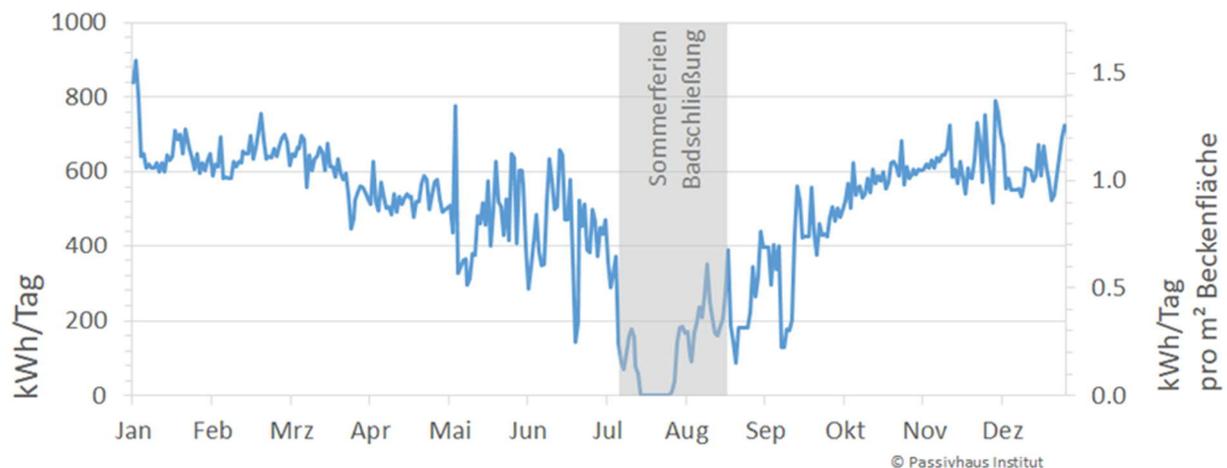
## 2 Gebäudehülle

Eine hochwärmegedämmte Gebäudehülle spart nennenswert Heizenergie, erhöht den Bautenschutz und ist damit sowohl ökonomisch als auch im Hinblick auf den Klimaschutz geboten. Im Vergleich zu typischen Gebäuden mit Beheizung auf 20°C, sind die Transmissionswärmeverluste der Außenbauteile bei Hallenbädern mit einer wärmeren Raumtemperatur von ca. 30-32°C deutlich höher, und damit auch die Einsparung mit jedem zusätzlichen Zentimeter Wärmedämmung.



**Abb. 4:** Im Vergleich zu einem Wohngebäude mit 20°C ist bei Hallenbädern die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen wesentlich größer und die Heizperiode damit wesentlich länger.

Durch die hohe Innentemperatur und durch die Beckenwasserverdunstung besteht ein ganzjähriger Heizbedarf, wie die nachfolgende beispielhafte Messdatenauswertung des Heizwärmeverbrauchs einer Halle des Lippe-Bades zeigt:



**Abb. 5:** Heizwärmeverbrauch der Sportbecken-Schwimmhalle im Lippe-Bad im Jahr 2016 (Beckenfläche 575 m², mittlere Hallentemperatur 28°C & Raumfeuchte 52%)

Der Gesamtenergiebedarf kann durch eine Erhöhung der Hallenfeuchte gesenkt werden (siehe Schema auf Seite 4). Begrenzender Faktor ist unter anderem die minimale Oberflächentemperatur der Gebäudehülle, also die Stelle an der zuerst Kondensat in kritischen Mengen auftritt. Dies ist in der Regel an Fenstern und Wärmebrücken der Fall, so dass neben den geringen U-Werten auch auf eine wärmebrückenfreie Planung und Ausführung ein besonderes Augenmerk zu legen ist. In Tab. 1 sind die Taupunkttemperaturen für unterschiedliche Raumluftkonditionen zusammengestellt.

**Tab. 1: Taupunkttemperaturen bei unterschiedlichen Raumluftkonditionen**

Raumluftkonditionen			Anforderung an Gebäudehülle		
Innen-temperatur °C	relative Feuchte %	absolute Feuchte g/kg	Taupunkt-temperatur °C	f Rsi bei -5°C	f Rsi bei -10°C
20	50%	7,3	9,4	0,58	0,65
30	55%	14,7	20,0	0,71	0,75
30	60%	16,0	21,4	0,75	0,79
32	55%	16,5	21,7	0,72	0,75
32	60%	18,0	23,3	0,76	0,79

Fenster und Pfosten-Riegel-Fassaden weisen höhere Verluste als die wärmegeämmte Wand und damit geringere Oberflächentemperaturen auf. Bei herkömmlichen Konstruktionen besteht hier eine erhöhte Gefahr von Kondensatbildung. Dagegen macht die hohe thermische Qualität der passivhausgeeigneten Dreischeibenverglasung sowie der thermisch getrennten Rahmenprofile ein Anblasen der Fassade zur Kondensatvermeidung unnötig. Dadurch können alternative Ansätze für die Zuluft einbringung in die Schwimmhalle in Betracht gezogen werden, sowie der Umluftanteil der Hallenlüftung deutlich reduziert werden bzw. ganz entfallen.

Vorteile der hochwärmegeämmten Gebäudehülle beim Hallenbad:

- Hohe Raumtemperaturen -> ganzjähriger Heizwärmebedarf → hohes Einsparpotential
- Stark reduzierte Transmissionswärmeverluste → Zusätzliche Dämmung sehr wirtschaftlich
- Geringerer bzw. kein Umluftanteil zum „Trocknen“ der Fassade nötig → nennenswerte Strom einsparung
- Wärmebrückenfreie Umsetzung → keine Unterschreitung der Taupunkttemperatur -> Bauteilschutz

## 2.1 Opake Bauteile

Während bei üblichen Raumtemperaturen von 20°C zu empfehlende U-Werte (Wämedurchgangskoeffizient) für Außenwände bei höchstens 0,15 W/(m²K) liegen (siehe [PB 42]), sind bei höheren Innentemperaturen aus ökonomischer Sicht nochmals bessere U-Werte dringend zu empfehlen. Durch die höhere Innentemperatur (32°C) weist das Schwimmbad im Vergleich zu einem normalbeheizten Gebäude (20°C) deutlich höhere Heizgradstunden auf. Am Beispiel eines Schwimmbades mit WDVS führt die Verbesserung des U-Wertes von 0,15 W/(m²K) auf 0,10 W/(m²K) nahezu zu einer Halbierung des Heizwärmebedarfs.

Bei der Wahl der Produkte sollte auf die besonderen Innenraumbedingungen in Schwimmhallen (hohe Feuchte und Chlorbelastung) Rücksicht genommen werden. Außerdem ist bei Schwimmhallen eine regelmäßige Kontrolle des Bauwerks auf Bauschadensfreiheit generell wichtig.

### **Beispiel Bauteilqualitäten (Lippe-Bad / Bambados)**

Exemplarisch werden in nachfolgender Tabelle die Bauteilqualitäten vom Lippe-Bad in Lünen und vom Bambados in Bamberg aufgeführt. Mittlerweile sind mehr Dämmstoffe mit geringeren Wärmeleitfähigkeiten auf dem Markt verfügbar. Deswegen sollten aus wirtschaftlicher Sicht bei zukünftigen Projekten auf jeden Fall noch bessere U-Werte realisiert werden.

**Tab. 2: Übersicht der Bauteilqualitäten des Lippe-Bades und des Bambados:**

	Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Dämmstärke [mm]	U-Wert des Bauteils [W/(m²K)]
<b>Lippe-Bad</b>				
Dach	EPS	0,035	300	0,11
Außenwand	EPS	0,035	300	0,11
Außenwand gg. Erdreich	XPS	0,041	300	0,13
Bodenplatte	XPS	0,041	320	0,12
<b>Bambados</b>				
Dach (Holz)	EPS / XPS + Mineralwolle	0,035 / 0,040	280 + 80	0,097
Dach (Beton)	EPS / XPS	0,035	360	0,095
Außenwand	Mineralwolle	0,035	300	0,135
Außenwand gg. Erdreich	XPS	0,042	300	0,137
Bodenplatte	XPS	0,045	300	0,142

## **Außenwand**

Wärmedämmverbundsysteme sind bei Verwendung geeigneter Dübel wärmebrückenfrei und vergleichsweise kostengünstig. Häufig kommen aber auch hinterlüftete Vorhangfassaden zur Ausführung. Diese sind dauerhaft und erlauben eine große Bandbreite unterschiedlicher Oberflächen. Sie erfordern eine tragende Unterkonstruktion, die je nach System enorme Wärmebrücken hervorrufen können. Allerdings gibt es auch wärmebrückenfreie Unterkonstruktionen, die u.a. im [AkkP 35] vorgestellt werden oder in der Komponentendatenbank des Passivhaus Instituts ([www.passiv.de/komponentendatenbank](http://www.passiv.de/komponentendatenbank)) zu finden sind.

- Lückenlose Dämmung der Bauteile
- wärmebrückenfreie Dämmstoffdübel und Fassadenhalter einsetzen

## **Dach**

Zur Vermeidung von Wärmebrücken ist die Entwässerung des Dachs nach außen zu führen, so dass die Regenrohre außerhalb der thermischen Hülle liegen.

Wird bei großen Dachflächen Gefälledämmung eingesetzt, ergeben sich große Höhenunterschiede in der Dämmung. Am effektivsten kann Dämmung eingesetzt werden, wenn sie möglichst gleich dick ist. Deswegen ist es hilfreich, kurze Gefällestrecken zu planen oder die Dachkonstruktion im Gefälle zu realisieren, so dass eine einheitliche Dämmstärke verwendet werden kann.

## **Keller und erdberührte Bereiche**

Alle direkt und indirekt beheizten Zonen des Gebäudes sind mit in die wärmegeämmte Hülle zu integrieren. Dies gilt auch für den Kellerbereich von Schwimmbädern. Die Dämmung ist lückenlos und unter Vermeidung von Wärmebrücken um den Keller zu führen. Es ist nicht sinnvoll die Becken zu dämmen und den Keller aus der thermischen Hülle heraus zunehmen, da die zu dämmende Fläche (Becken, sämtliche Leitungen im Keller) dann sehr groß wäre.

Bei großen Gebäuden kann unter bestimmten Voraussetzungen auf eine Dämmung der Kellerwände und der Bodenplatte verzichtet werden. Das ist dann der Fall, wenn die Wärmeverluste durch das Erdreich durch die Ausbildung einer Wärmeglocke unter der Bodenplatte ausreichend reduziert werden können. Dies kann z.B. durch Dämmschürzen im Bereich der Kelleraußenwand erreicht werden (siehe [AkkP 48]).

## Typische Wärmebrücken

Große Nichtwohngebäude weisen typische Details auf, die wärmebrückenfrei ausgeführt werden können, wenn sie bereits in einem frühen Planungsstadium berücksichtigt werden. Am besten ist eine gemeinsame Planung mit der Statik. Nachträgliche Anpassungen der Detaillösungen sind in der Regel aufwändig. Hierzu zählen u.a.

- Wärmebrückenfreie Attikalösungen
- Thermische Trennungen im Bereich von Stahlbeton-Lichtschächten
- Thermische Trennung von Vordächern und Balkonen
- Vermeidung von Bodenplattenüberständen
- Keine Durchdringungen der Gebäudehülle durch Ausschwimmkanal oder Rutsche
- Vermeidung von innenliegenden Dachentwässerungen
- Minimierung der Strangentlüftungen über Dach; die kompletten Steigleitungen der Abwasserrohre müssen gedämmt werden
- Druckausgleich der Schwallwasserbehälter innerhalb des Gebäudes realisieren



**Abb. 6 Beispiel reduzierter Wärmebrücken:**  
 links: Wärmebrückenfreie Fassadenhalter der Vorhangfassade  
 rechts: Attika als Holzkonstruktion

## 2.2 Transparente Bauteile

Die energetische Qualität von Fenstern und Pfosten-Riegel-Fassaden ergibt sich aus der Kombination der Rahmen- und Verglasungs-U-Werten und den Glasrandwärmeverbindungen. Bei der Wahl des Rahmens ist neben den wärmedämmenden Eigenschaften auch die Kondensatfreiheit von Bedeutung. Aus diesen Gründen ist zu empfehlen, sehr gute zertifizierte Rahmen zu verwenden. Aluminiumrahmen bieten den Vorteil von hohen  $f_{Rsi}$  - Werten, was die Kondensatfreiheit sicherstellt. Holzrahmen können dagegen noch geringere Transmissionsverluste haben. Optimal ist es, diese Aspekte zu vereinen, also Rahmen einer möglichst guten Effizienzklasse bei gleichzeitig hohem  $f_{Rsi}$  - Wert zu wählen. Die Werte stehen für zertifizierte Rahmen auf [www.passiv.de/komponentendatenbank](http://www.passiv.de/komponentendatenbank) zur Verfügung.

Es lohnt sich, in Hallenbädern besonders niedrige U-Werte der Verglasung zu wählen (unter  $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ), da damit die Transmissionsverluste niedrig gehalten werden und die hohe Oberflächentemperatur der Verglasung für angenehme Behaglichkeit für die Badegäste sorgt. Damit die thermischen Eigenschaften der hochwertigen Fenster- und Pfosten-Riegel Elemente optimal zum Tragen kommen ist ein wärmebrückenfreier Einbau von großer Wichtigkeit.

Folgende Empfehlungen zu Fenstern und entsprechend auch zu Pfosten-Riegel-Fassaden und Türen sollten beachtet werden:

- Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung
- Thermisch hochwertige Rahmen
- Wärmegeprägter Randverbund ("Warme Kante"); meist befindet sich am Glasrand die niedrigste Oberflächentemperatur (beeinflusst von Abstandhalter und Fensterrahmen). Hier bildet sich zuerst Kondensat (siehe Tab. 1).
- Wärmebrückenarmer Einbau: Fensterrahmen in der Dämmebene, Befestigung mit möglichst kurzen Winkeln und Überdämmung des Rahmenprofils
- Luftdichter Anschluss des Rahmens an die luftdichte Ebene
- Fensteraufteilung: Blendung der Schwimmer bereits durch den Entwurf vermeiden.

### **Beispiel Lippe-Bad**

Durch das Anheben des Beckenkopfes konnte die Fassade auf eine Brüstung gestellt werden, ohne dass dadurch der Sichtbezug der Schwimmer nach Außen beeinträchtigt wird. Dadurch wird der untere Bereich der PR-Fassade weniger durch Spritzwasser belastet. Weitere Vorteile dieser Lösung sind die Durchführung der Badreinigung während des Betriebes, da kein Umschalten der Ablaufrinnen erforderlich ist, und eine evtl. geringere Kellerhöhe.



**Abb. 7:** Lippe-Bad, erhöhter Beckenkopf ermöglicht die Ausführung einer Brüstung für die PR-Fassade, ohne dass der Sichtbezug der Schwimmer nach außen beeinträchtigt wird.

## 2.3 Thermische Trennung

Oft gibt es in Schwimmbädern auch deutlich kühlere bzw. normalbeheizte Bereiche (z.B. Aufenthaltsräume, Büro- oder Verwaltungsräume). Eine „Verschachtelung“ von Bereichen deutlich unterschiedlicher Temperaturen ist zu vermeiden. Eine durchdachte Zonierung im Entwurf ist sehr hilfreich für die weitere Umsetzung des Passivhaus-Konzeptes und letztendlich des Betriebes.

An den dann noch verbleibenden Bauteilen zwischen unterschiedlichen Temperaturzonen sollte eine thermische Trennung ausgeführt werden. Andernfalls fließt nennenswert Wärme aus den warmen Bereichen in die kühleren Zonen ab, die dann ggf. aktiv gekühlt werden müssen. Die thermische Trennung kann umso einfacher umgesetzt werden, je früher sie im Planungsprozess berücksichtigt wird. In der Regel ist es ausreichend die Innenwände mit leicht wärmedämmenden Materialien auszuführen (z.B. Porenbeton). Alternativ können z.B. Stahlbetondecken oder Wände durch eine moderate Dämmschicht auf der kalten Seite der Wand oder Decke verbessert werden.

- Zonierung bereits im Entwurf berücksichtigen
- U-Werte der thermischen Trennung im Bereich von  $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ab einer Temperaturdifferenz von ca. 4 K. Dabei sollten sowohl Solltemperaturen für den Winter als auch Maximaltemperaturen für den Sommer berücksichtigt werden.
- Eine thermische Trennung zwischen Becken und Keller ist nicht erforderlich

## 2.4 Luftdichtheit

Eine luftdichte Ausführung der Gebäudehülle bietet Schutz vor Feuchteschäden. Je dichter die Hülle, desto weniger feuchte Luft kann durch Leckagen in die Baukonstruktion eindringen. Empfehlenswert für Hallenbäder ist eine Luftdichtheit von  $q_{50} \leq 0,4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ . Wie die Luftdichtheitsmessung im Bambados zeigt kann der Wert sogar noch weit unterschritten werden (Testergebnis:  $q_{50} = 0,2 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ ,  $n_{50} = 0,07 \text{ h}^{-1}$ ). Dies spart zusätzlich Lüftungswärmeverluste.

Um die Qualität der Luftdichtheit sicherzustellen ist ein Luftdichtheitstest unerlässlich und für Passivhäuser vorgeschrieben. Dieser ist im Bauablauf so einzuplanen, dass wesentliche Elemente der luftdichten Hülle sowie deren Durchdringungen noch einfach zugänglich sind. Dazu zählen vor allem die Anschlüsse der Fenster, Türen und Pfosten-Riegel-Konstruktionen an die Außenwände. Bei leichten Dachkonstruktionen zählt hierzu auch der Anschluss der luftdichten Ebene des Dachs an die der Außenwände. Sind hier die raumseitigen Verkleidungen und Abhangdecken erstmal installiert, sind eine Leckagesuche und deren Behebung aufwändig bzw. gar nicht mehr möglich.

- Das Luftdichtheitskonzept ist eine Planungsaufgabe
- Alle Anschlüsse der Bauteile der Gebäudehülle sind luftdicht auszuführen
- Alle Durchdringungen (z.B. Lüftungskanäle, Wasserrohre) sind an die Luftdichtheitsebene dicht anzuschließen
- Durchdringungen (z.B. Rohre) an möglichst wenigen, zentralen Punkten. Spezialprodukte zur Abdichtung bieten hier Hilfestellung für dauerhafte Lösungen.
- Zur Qualitätssicherung ist ein Luftdichtheitstest durchzuführen



**Abb. 8** Luftdichtheitsmessung des Bambados: Auf Grund der sehr guten Luftdichtheit konnte das gesamte Gebäude mit nur einem Ventilator gemessen werden.

## 3 Lüftung

Eine angepasste und optimierte Lüftung in Hallenbädern spielt aus gesundheitlichen, bau-physikalischen und energetischen Gründen eine große Rolle.

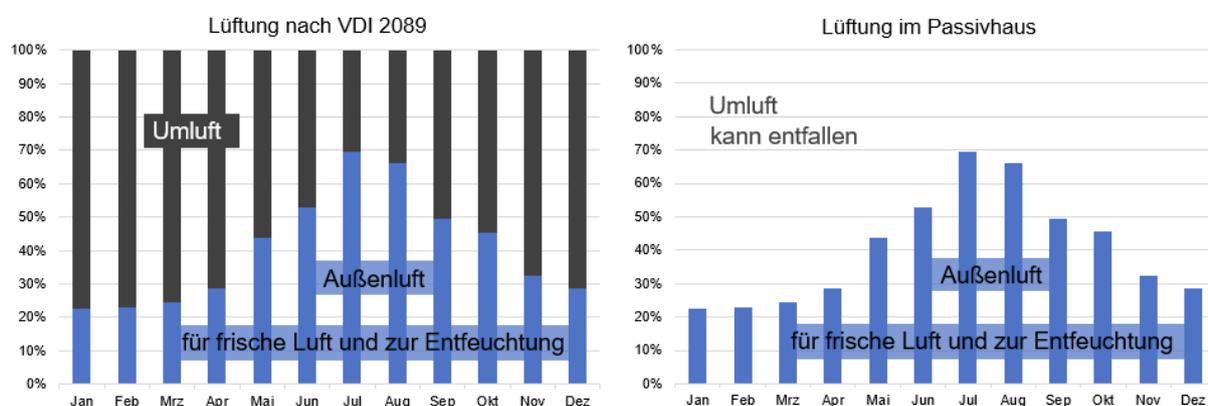
### 3.1 Lüftung Schwimmhalle

#### Aufgabe

Die Lüftung von Schwimmhallen hat zwei Hauptaufgaben: Die Sicherstellung guter Luftqualität (Hygienische Lüftung zur Abfuhr insbesondere von Desinfektionsnebenprodukten), sowie die Entfeuchtung der Hallenluft. Um die Hallenluft auf einer konstanten Luftfeuchtigkeit zu halten, muss das kontinuierlich verdunstende Wasser ständig abgeführt werden. Um dabei die Energieverluste durch das Lüften gering zu halten, eignen sich Lüftungsgeräte mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Der Zuluftvolumenstrom kann genutzt werden, um die benötigte Heizenergie in die Halle einzubringen.

In konventionellen Bädern wird oft die Verglasung mit trockener Luft angeblasen, um die Fassade kondensatfrei zu halten. Diese zusätzliche Aufgabe der Lüftung entfällt in der Regel im Passivhaus-Hallenbad auf Grund der hohen thermischen Qualität von Fensterrahmen, Verglasung und Abstandhalter.

Dies ermöglicht es in einem Klima wie in Deutschland, die Lüftungsgeräte nur mit Außenluft zu betreiben und die Geräte ggf. kleiner zu dimensionieren. Der übliche Umluftanteil nach VDI 2089 kann entfallen oder zumindest deutlich reduziert werden, wodurch signifikante Stromeinsparungen erreicht werden. Der Außenluftvolumenstrom wird nach dem Entfeuchtungsbedarf geregelt, sollte aber einen Mindestvolumenstrom zur hygienischen Lüftung (abhängig von der Wasserqualität 15 % bzw. 30 % des Nennvolumenstroms nach [VDI 2089]) nicht unterschreiten. Die Verdunstung des Beckenwassers kann durch verschiedene Maßnahmen (z.B. höhere Luftfeuchte) verringert werden, wodurch zusätzlich die benötigte Entfeuchtungsleistung der Lüftung sinkt (siehe Kapitel 4.2).



**Abb. 9** Vergleich des Volumenstroms zwischen Lüftung nach VDI 2089 und nach Passivhaus-Konzept. (Dargestellt sind Monatsmittelwerte)

## Hallenkonditionen

Da die Anforderungen an die Hallenkondition zum Teil gegensätzlich sind (Anforderung für verschiedene Nutzer, Bautenschutz und Energiebedarf), sollte die Festlegung der Solltemperaturen und -feuchten projektspezifisch erfolgen. Ein nasser Badegast bevorzugt möglichst hohe relative Luftfeuchten, während das Personal sich bei niedrigeren Feuchten wohler fühlt. Deswegen sollte schon beim Entwurf ein speziell temperierter Schwimmesterraum eingeplant werden. Aus Bautenschutzgründen sollte die relative Feuchte 64 % nicht länger überschreiten [Schulz et al. 2009].

Auf Grund der verschiedenen Anforderungen ist eine sogenannte Schichtlüftung zu empfehlen, die unten im Abschnitt "Hallendurchströmung" beschrieben wird. Als Richtwert für die Planung wird eine Feuchte von ca. 55% im Beckenumgang (1,5 m Höhe) vorgeschlagen. Die tatsächliche Höhe der Feuchte sollte dann im Betrieb getestet und festgelegt werden. Je feuchter die Luftschicht unmittelbar über der Wasseroberfläche realisiert werden kann, desto geringer ist die Beckenwasserverdunstung und umso geringer fallen die Energiekosten aus. Abb. 10 zeigt, wie sich die Verdunstung bei unterschiedlichen Hallenkonditionen verändert.

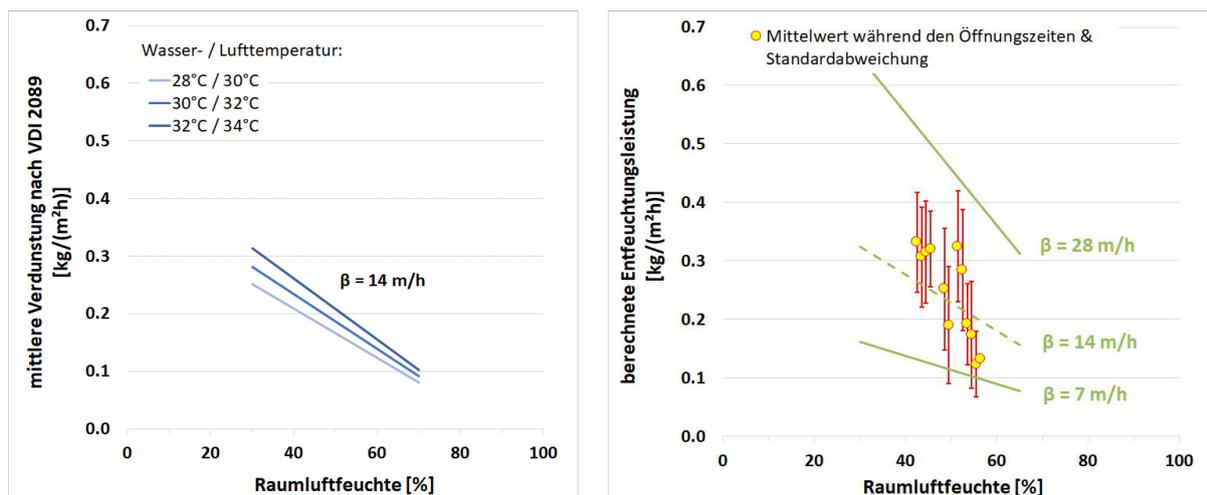


Abb. 10: Einfluss der Luftfeuchte auf die mittlere Verdunstung pro m<sup>2</sup> Beckenfläche.

Links: Berechnet nach VDI 2089 ( $\beta = 14 \text{ m/h}$ ) bei unterschiedlichen Kombinationen der Wasser- und Lufttemperaturen.

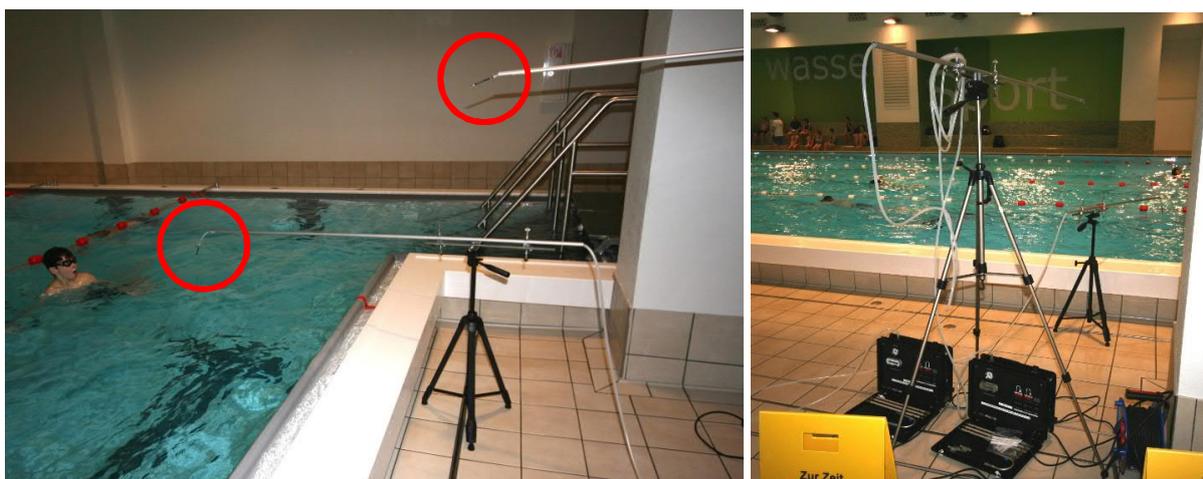
Rechts: gemessene Entfeuchtungsleistung über die Hallenlüftung im Jahr 2016 (Halle des Elternkindbeckens im Lippe-Bad: ca. 32 °C Wasser- und Lufttemperatur) [Gollwitzer et al. 2018].

Bei der Messung der Luftfeuchte muss beachtet werden, dass selbst bei hochwertigen Sensoren die Messungengenauigkeit relativ groß ist und dass die Sensoren zusätzlich mit der Zeit driften. Da kann es leicht zu Abweichungen von insgesamt über 10 %-Punkten kommen. Aus diesem Grund ist beim Vergleich von Feuchten oder dem Festlegen von Sollwerten generell Vorsicht geboten.

Eine Passivhaus-Gebäudehülle hat den Vorteil, dass sie über höhere Innenoberflächen-temperaturen an allen Bauteilen verfügt, was u.a. zu einer geringeren Temperaturschichtung im Raum führt. Das heißt, die Lufttemperatur im Passivhaus ist homogener als bei geringeren Energiestandards. Dennoch werden sich in einer Halle z.B. auf Grund der jeweiligen Luftführung gleichzeitig unterschiedliche Feuchten im Raum einstellen. Aufgrund der Messungenauigkeiten und der Feuchtedifferenzen im Raum sollte man sich für den Bautenschutz nicht alleine auf Regelungen verlassen, sondern regelmäßige Bautenschutzkontrollen statisch relevanter Bauteile durchführen lassen.

### Luftschadstoffe (THM)

Ein zentraler Punkt zur Realisierung eines Hallenbades nach dem Passivhauskonzept ist die energetisch motivierte Reduzierung des Umluftanteils. Dabei sind die entscheidenden Parameter der Luftqualität zwingend zu berücksichtigen. Bei Bädern entstehen durch Chlorung zur Sicherstellung der Beckenwasserhygiene sogenannte Desinfektionsnebenprodukte (DNP). Im Fokus der Gesundheitsbewertung sind insbesondere die entstehende Gruppe der Trihalogenmethane (THM). Bei unzureichender Hallenlüftung kann sich THM in der Hallenluft anreichern. Im Beckenwasser dient das THM als Indikatorsubstanz für die Beurteilung der Badewasser-Qualität. Der Zusammenhang zwischen der Schadstoffkonzentration und dem Außenluftanteil sowie dem Wegfall bzw. der Reduktion der Umluft wurde in drei Hallenbädern mittels durchgeführter Messkampagnen, systematischen untersucht (siehe [Gollwitzer et al. 2018]). Es zeigt sich, dass im Vergleich zu den in der Literatur angegeben Durchschnittswerten die THM-Messwerte in den drei Bädern als gut zu bewerten sind. Insgesamt kann damit belegt werden, dass bei einer angepassten Luftführung ein Hallenbad sehr gut mit reduziertem bzw. komplett ohne Umluftanteil betrieben werden kann, ohne dass dies die Luftqualität beeinträchtigt. Damit sind dauerhaft deutliche Stromeinsparungen realisierbar.



**Abb. 11 THM-Messung: Luftprobennahme mit Ansaugpumpen in 20 cm über der Wasseroberfläche und 1,5 m Höhe über dem Umgang.**

## Hallendurchströmung

Um die Schadstoffe effizient abzuführen ist eine gute Luftführung und Durchströmung der Halle essentiell. Es hat sich herausgestellt, dass eine Schichtlüftung viele Vorteile mit sich bringt. Dabei bildet sich eine feuchte Schicht direkt über dem Wasser, was eine geringere Verdunstung zur Folge hat. Die Luft in 50 cm über dem Wasserspiegel ist bereits wesentlich trockener (ca. 10 %-Punkte), was wiederum ein angenehmes Klima für die trockenen Personen im Umgang (Personal) bietet. Zusätzlich ist dadurch die Gebäudehülle geringeren Feuchten ausgesetzt.

Die Schichtlüftung wird erreicht, indem die Abluft im unteren Bereich der Halle abgeführt wird. Das hat nicht nur energetische Vorteile sondern führt auch effektiv die am Wasser entstehenden Schadstoffe ab. Die Zuluft kann dabei wahlweise an der Fassade, oberhalb des Aufenthaltsbereiches oder an der Decke eingebracht werden. Wichtig ist, dass die feuchte Schicht über dem Becken nicht durch impulsartige Lufteinbringung zerstört wird. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass keine kalte Luft aus Nebenräumen in die Halle strömen, da diese die feuchte, warme Schicht über dem Becken anheben würden. In Abb. 12 ist eine grafische Darstellung der Schichtlüftung dargestellt.

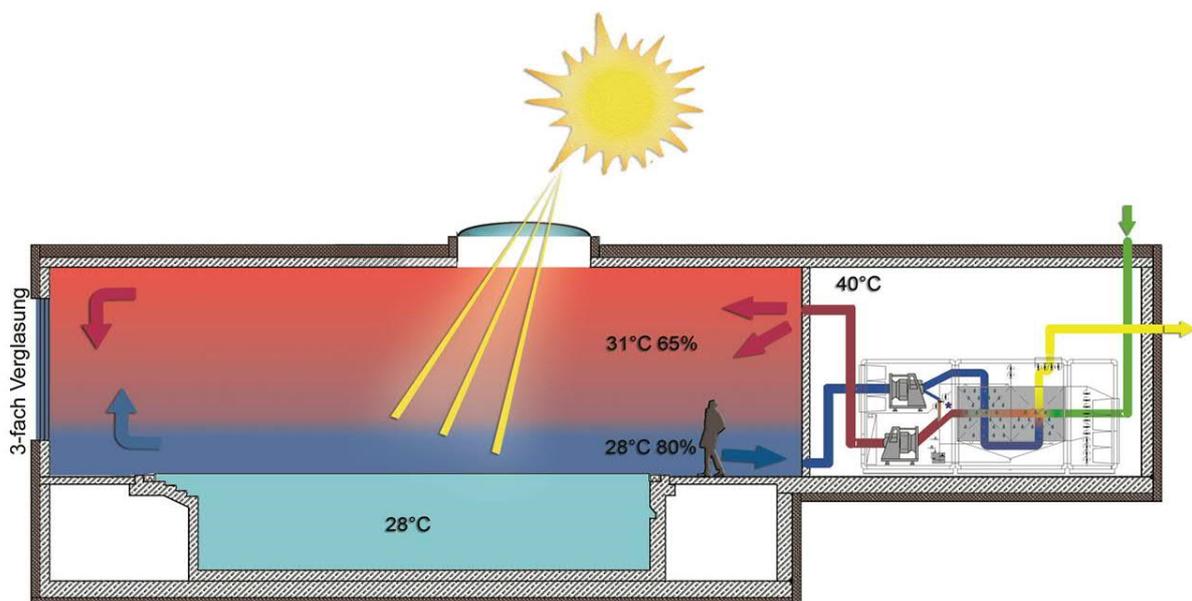


Abb. 12: Luftführung mit bodennahe Absaugung, die zu einer vorteilhaften Temperatur- und Feuchteschichtung führt. Quelle: [Kaluza 2016].

## **Kanalnetz Lüftung**

Die Investitionskosten, der Platzbedarf und die Stromkosten sind geringer, je kompakter das Kanalnetz realisiert wird. Das Kanalnetz sollte so ausgelegt werden, dass die Druckverluste möglichst gering sind. Luftgeschwindigkeiten von unter 3 m/s sind empfehlenswert. Noch entscheidender ist es, bei der Wahl der Komponenten auf druckverlustarme Einbauteile zu achten (z.B. den Kanalquerschnitt für das Außenluftgitter zu vergrößern).

Das Lüftungsgerät sollte möglichst nah an der thermischen Hülle aufgestellt werden, um eine kurze Kanalführung von Außen- und Fortluftkanal (zwischen Lüftungsgerät und thermischer Hülle) realisieren zu können. Diese Kanäle müssen in jedem Fall vollständig, dampfdiffusionsdicht und gut gedämmt werden (min. 10 cm), da hohe Wärmeverluste zwischen Innenraum und kalten Außen- und Fortluftkanälen den effektiven Wärmebereitstellungsgrad von Lüftungsgeräten deutlich senken. Falls sich eine längere Zu- und Ablufführung durch kältere Nebenzonen nicht vermeiden lässt, sollte diese ebenfalls gedämmt werden.

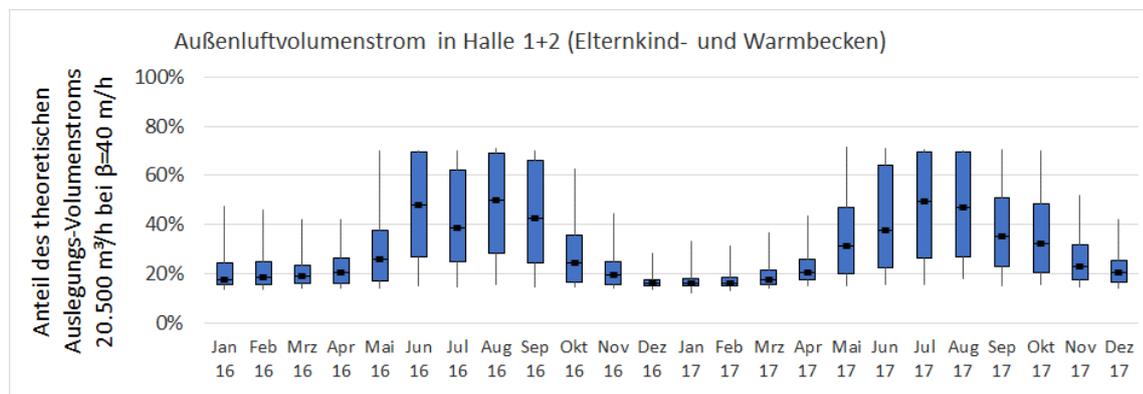
Die Abluft kann zentral über nur ein Abluftgitter abgesogen werden. Beispiel Familienbad Niederheid (siehe [Gollwitzer et al. 2018]): Bei 30.000 m<sup>3</sup>/h Maximalvolumenstrom ist ein Abluftgitter von 2 m x 2 m ausreichend. In einer Entfernung von einem Meter vor dem Gitter wird keine Luftbewegung mehr wahrgenommen. Aus diesem Grund sollte das Abluftgitter nicht in unmittelbarer Nähe zu Sitzbänken o.ä. positioniert werden, es sei denn die Querschnittsflächen werden entsprechend vergrößert. Alternativ zu einer zentralen Abluft, kann die Abluft entlang einer Wand abgesogen werden. Entscheidend für die Schichtlüftung ist in beiden Fällen, dass die Abluftöffnungen unten in der Halle installiert werden.

Für die Zuluft einbringung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Wichtig ist darauf zu achten, dass die Durchströmung des Raumes auch bei niedrigem Zuluftvolumenstrom gegeben ist und dass die Feuchteschicht über der Wasseroberfläche nicht gestört wird.

Soll ein intermittierender Lüftungsbetrieb (Abschaltung der Lüftungsgeräte während der Nacht) realisiert werden, empfehlen sich motorisch betriebene Klappen im Außen- und Fortluftkanal, am besten in der Ebene der thermischen Gebäudehülle. Damit wird verhindert, dass außerhalb der Nutzungszeiten kalte Außenluft in die Kanäle strömt. Es ist hilfreich, bei der Planung bereits das Vorgehen bei der Einregulierung zu berücksichtigen und festzulegen, an welchen Stellen in den Kanälen die Volumenströme gemessen werden sollen. Passend dazu sollte für die Einregulierung eine Aufstellung mit den Ventilen bzw. den Messstellen im Strang mit den jeweiligen Standardvolumenströmen (oder mittleren Volumenströmen) erstellt werden.

## Lüftungsgeräte

Der maximale Volumenstrom eines Hallenlüftungsgerätes wird ausgelegt, um die Hallenluft auch im Sommer unter feuchten Außenluftbedingungen über die Außenluft entfeuchten zu können. Hierfür wird die Verdunstung nach VDI 2089 berechnet. Diese basiert auf einer Annahme für die Verdunstungsmenge je nach Beckentyp (der sogenannte Wasserübergangskoeffizient  $\beta$ ). Es wird empfohlen, eine Auslegung mit geringerem Auslegungsvolumenstrom gegenüber der Norm in Betracht zu ziehen (siehe nächster Abschnitt), denn durch eine kleinere Auslegung ergeben sich Einsparpotentiale für die Investitionskosten. Zudem erleichtert eine reduzierte Bandbreite der abzudeckenden Volumenströme die Komponentenauswahl (z.B. Ventilatoren) für eine insgesamt effiziente Betriebsweise der Lüftungsgeräte.



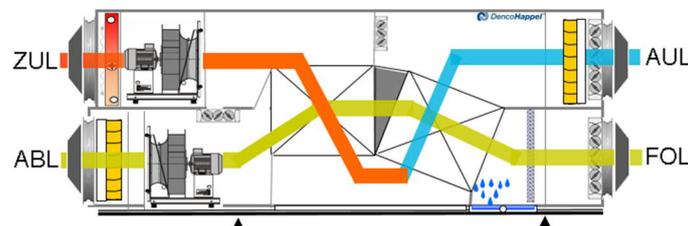
**Abb. 13: Lippe-Bad: Gemessene Außenluftvolumenströme als prozentuale Angabe gegenüber des Maximalvolumenstroms nach VDI. Die Boxplots zeigen monatlichen Mittelwerte, oberstes und unterstes Quartil und Extremwerte (2,5 und 97,5% Quantil). D.h. jeweils 50% der Messdaten liegen innerhalb des Rechtecks. Das Bad war jeweils in den Sommerferien geschlossen.**

Als Richtwert für eine typische Nutzung (ohne Attraktionen) eignet sich die Annahme eines Wasserübergangskoeffizienten von  $\beta = 20$  m/h (Formel nach VDI 2089), unabhängig von der Beckentiefe (Herleitung siehe [Gollwitzer et al. 2018]). Dies führt i.d.R. zu geringeren Gerätegrößen gegenüber der konventioneller Auslegung nach VDI: ca. 70% bei einer Wassertiefe  $> 1,35$  m ( $\beta = 28$  m/h nach VDI) und ca. 50% für flachere Becken ( $\beta = 40$  m/h nach VDI). Selbstverständlich müssen hierbei die Randbedingungen des konkreten Projektes berücksichtigt werden, insbesondere die zu erwartende Nutzung. Ist ein durchgängiger Betrieb im Hallenbad auch während der Sommerzeit mit hohen Außenluftfeuchten zu erwarten, muss ein erhöhter Luftwechsel zur Entfeuchtung entweder über zusätzliche Fensteröffnungen oder über eine entsprechend große Auslegung des Lüftungsgerätes sichergestellt werden. Alternativ kann eine aktive Entfeuchtung in Betracht gezogen werden. Je höher die zu erwartenden Besucherzahlen bzw. maximale Beckenbelegungsichte (z.B. großer Einzugskreis, viele Schulen/Vereine mit großen Schwimmteams), desto mehr Puffer sollte bei der Auslegung der Lüftungsgeräte eingeplant werden. Die zu erwartende Verdunstung durch Attraktionen muss im Einzelfall berechnet und bei der Auslegung der Lüftungsgeräte berücksichtigt werden. Hierbei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Volumenströme genügend abgesenkt werden können wenn die Attraktionen nicht in Betrieb sind.

Im Lippe-Bad wurde die Verdunstung für das Eltern-Kind-Becken bereits in der Planung niedriger angesetzt ( $\beta = 28 \text{ m/h}$  anstatt  $\beta = 40 \text{ m/h}$ ). In der Praxis hat sich bestätigt, dass diese Auslegung besser zur tatsächlichen Verdunstung passt.

Da die Hallenluft aufgrund der hohen Temperatur und Luftfeuchtigkeit viel Energie enthält, macht sich ein hoher Wärmerückgewinnungsgrad der Anlage doppelt bezahlt. Sowohl die sensible als auch die latente Energie können zum Teil zurückgewonnen und dadurch der Heizwärmebedarf reduziert werden. Dazu eignen sich Gegenstromwärmetauscher. Das Material des Wärmetauschers muss für die Schwimmhallenluft (hohe Feuchtigkeit, Chlor) geeignet sein. Für die Schwimmhallen wird ein Wärmebereitstellungsgrad (trocken) von  $\geq 85 \%$  empfohlen, und zwar bei mittleren zu erwartenden Außenluftvolumenströmen der Wintermonate. Die Effizienz sollte in der Planungsphase in Absprache mit dem Hersteller sowohl für den Voll- als auch für den Minimalbetrieb überprüft werden.

Da die Volumenströme sowohl im Tages- als auch im Jahresverlauf stark schwankend sind und das Gerät größtenteils im Teillastbetrieb betrieben wird, sollte bei der Auswahl der Ventilatoren unbedingt auf hohe Effizienz auch im Teillastbetrieb geachtet werden. Um die hohe Spanne an Volumenströmen effizient abdecken zu können, kann es ggf. sinnvoll sein zwei Ventilatoren parallel einzusetzen, anstatt einem. Als Richtwert für den Strombedarf der Lüftungsanlage gilt in Passivhäusern generell der Maximalwert von  $0,45 \text{ Wh/m}^3$ .



**Abb. 14: Schwimmhallenlüftung in reinem Außenluftbetrieb, d.h. ohne Umluft (Grafik © FlaktGroup Deutschland GmbH). Die Klappe zwischen der Ab- und der Zuluft bleibt geschlossen.**

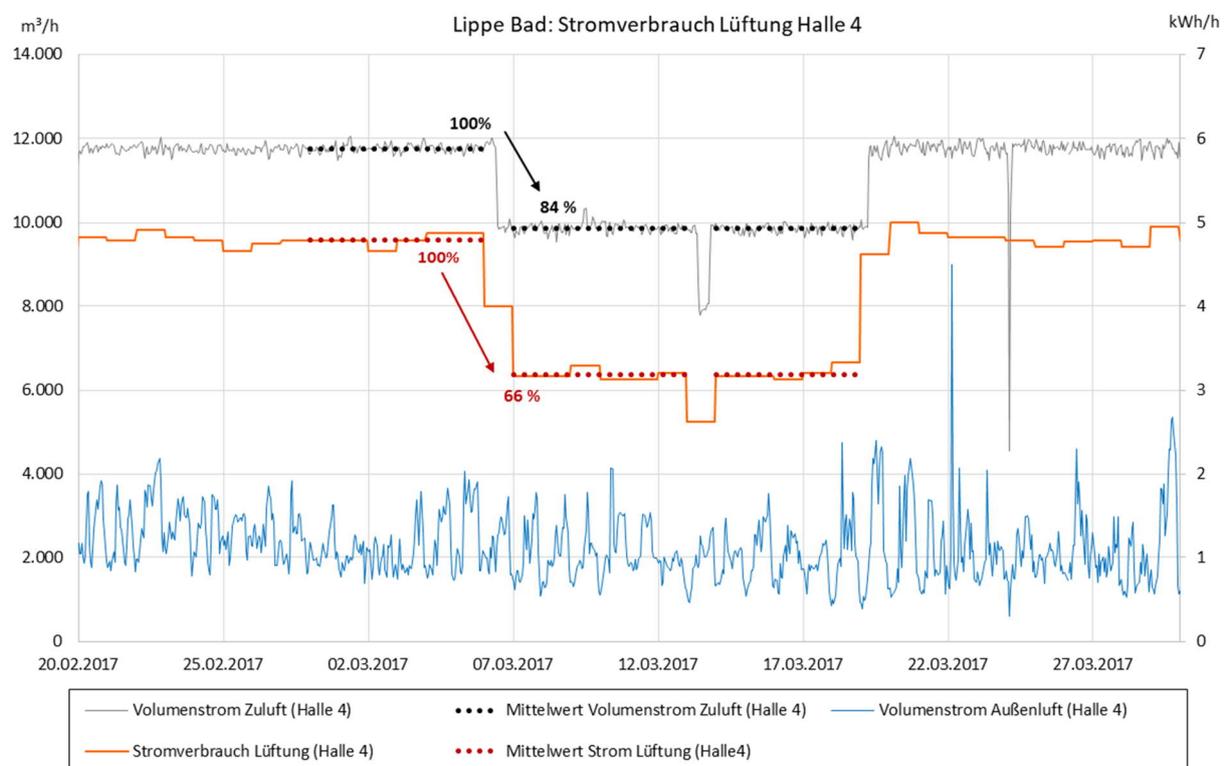
Eine weitere Anforderung an ein Hallenlüftungsgerät ist ein automatischer, interner Balanceabgleich für die Außen- und Fortluft, damit zum Schutz der Gebäudehülle ein Überdruck im Gebäude vermieden wird. Ein geringer Unterdruck im Hallenbad ist sinnvoll. Zur Reduzierung der Druckverluste sollte eine einstufige Filterung statt einer zweistufigen Filterung geprüft werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass druckverlustarme Taschenfilter eventuell mehr Platz erfordern. Deshalb ist es wichtig dies frühzeitig in der Planung zu prüfen und festzulegen.

Ob es vorteilhaft ist eine Fortluftwärmepumpe einzusetzen, muss projektspezifisch geprüft werden, da Wärmepumpen oft mit einem Blockheizkraftwerk oder Nahwärmenetz energetisch „konkurrieren“ müssen. Kommt eine Wärmepumpe zum Einsatz, sollte sie so ausgelegt werden, dass ein Betrieb möglich ist, auch wenn das Lüftungsgerät nur mit Mindestvolumenstrom betrieben wird (Teillast). Die zusätzlichen Druckverluste der Register müssen auf jeden Fall mit bilanziert werden.

## Regelung

Die Regelung der Lüftung von Schwimmhallen muss einen Mindestvolumenstrom für die Schadstoffabfuhr sicherstellen und darüber hinaus den Außenluftvolumenstrom in Abhängigkeit des Entfeuchtungsbedarfs erhöhen. Ein Umluftvolumenstrom kann und sollte vermieden werden. Ein Beispiel für die energetischen Auswirkungen ist in Abb. 15 dargestellt.

Die Messungen im Passivhaushallenbad Bambados haben gezeigt, dass in der Praxis keine zusätzliche Umluft zur Beheizung der Hallen notwendig war. Falls dennoch die Zuluft einmal nicht ausreichend ist, um genügend Heizlast einzubringen, kann zeitweise Umluft (am Rekuperator vorbei) gefahren werden. Während des Ruhebetriebes ist eine Abschaltung der Geräte mit Überwachung der Hallenfeuchte empfehlenswert.



**Abb. 15: Test im Lippe-Bad: Bei gleichbleibendem Außenluftvolumenstrom wurde der Zuluftvolumenstrom reduziert. Dadurch sinkt der Stromverbrauch des Lüftungsgerätes signifikant.**

Die Regelung der Gebäudetechnik erfolgt üblicherweise mittels einer Gebäudeleittechnik (GLT). Für die spätere Kontrolle des Betriebes ist es sinnvoll, wenn die verschiedenen Messgrößen und Einstellungen für den Betreiber sichtbar sind (siehe Kapitel 8 Inbetriebnahme und Betriebsführung).

Um das oben beschriebene Lüftungskonzept ohne Umluft umzusetzen, hat das Passivhaus Institut als Hilfestellung für weitere Projekte eine exemplarische Lüftungsregelung ausgearbeitet (siehe [Gollwitzer et al. 2018]).

## **Inbetriebnahme**

Folgende Punkte sollten bei der Inbetriebnahme der Lüftung überprüft werden:

- Gerät in Balance (Außen- und Fortluft) oder leichter Unterdruck im Gebäude
- Bei Betrieb ohne Umluft: Ab-, Zu-, Fort- und Außenluftklappen ganz offen und Umluftklappen ganz geschlossen?
- Auch bei maximalem Volumenstrom keine Zuglufterscheinungen und Geräusche?
- Evtl. Nebelversuch zur Kontrolle der Luftdurchmischung
- Die verschiedenen Regelungen können natürlich am besten überprüft werden, wenn die entsprechende Situation hervorgerufen wird (z.B. starke Verdunstung: Dann sollte das Lüftungsgerät den Volumenstrom zur Entfeuchtung erhöhen).

Üblicherweise werden die Lüftungsgeräte zwar an einem Tag in Betrieb genommen, die Regelung der Geräte sollte allerdings über einen längeren Zeitraum durch eine Auswertung der Betriebsdaten kontrolliert werden. Auf diese Weise können unterschiedliche Betriebszustände überprüft werden. Ein Hallenbad ist ein technisch komplexes Gebäude. Eine gründliche "Inbetriebnahme" (Einspielen der verschiedenen Gewerke und Regelungen zueinander) im ersten Jahr sorgt dafür, dass keine Investitionen unnötig getätigt wurden, sondern die gewünschte Performance des Gebäudes erreicht wird. Die ausführenden Firmen (Lüftungsfirma, Lüftungshersteller) sollten dazu frühzeitig beauftragt werden.

## **Betrieboptimierung und Betriebsführung**

Grundlegend ist eine transparente und überprüfbare Betriebsführung, sowie geschulte Betriebsleiter. Werden die Regler der Lüftungsprogrammierung (Entfeuchten, Heizen, evtl. Kühlen) einfach angezeigt, bekommt man einen Überblick über Zeit und Dauer von z.B. Heizanforderung und Entfeuchtungsbedarf. Nur durch einen regelmäßigen Überblick werden Abweichungen im Betrieb leicht erkannt. Ebenso wichtig ist die Kontrolle des Außen-, Zu- und Abluftvolumenstroms als Zeitdiagramm. Werden dazu Wochengänge miteinander verglichen, fallen Änderungen sofort auf. Wird die Hallenlüftung ohne Umluft betrieben, sollten die drei Volumenströme in der Regel gleich hoch sein. Sinnvoll ist es von Zeit zu Zeit die Klappenstellungen zu überprüfen: Ab-, Zu-, Fort- und Außenluftklappen sollten während des Betriebs der Lüftungsgeräte ganz geöffnet sein, um die Druckverluste gering zu halten.

## 3.2 Lüftung Nebenzonen

In Hallenbädern gibt es außer der Schwimmhalle meist verschiedene Nebenzonen mit anderen Temperatur- und Feuchteverhältnissen: Duschen, Umkleiden und Technikräume. Zusätzlich gibt es häufig Verwaltung, Foyer, Sauna, Gastronomie, Spa, Fitness, Schulungs-, Server- oder Elektroräume. Es ist hilfreich schon im Entwurf, die Anforderungen der Räume abzuklären und entsprechend zu Zonen zusammenzufassen. Zwischen Zonen, die große Differenz in der Lufttemperatur aufweisen, sollte eine thermische Trennung realisiert werden. Für die Wahl der Lüftungszonen sollten folgende Faktoren berücksichtigt werden: Solltemperatur, maximale Temperaturen, Entfeuchtungsbedarf, Nutzungszeiten und Nutzungsschwankungen. Es muss festgelegt werden, welche Räume zusammen von einem Lüftungsgerät versorgt werden und wie viele Lüftungsgeräte insgesamt geplant werden. Am einfachsten ist es, wenn sich die Temperatur- und Lüftungszonen decken. Werden mehrere kleine Lüftungsgeräte geplant, kann am besten nach dem tatsächlichen Bedarf geregelt werden. Allerdings sollte ein praktikabler Mittelweg gewählt werden und Bereiche zusammengefasst werden. Aus Energie- und Komfortgründen sollte nach Bedarf gelüftet werden, aber gleichzeitig sollen die Investitionskosten gering und die Regelung einfach gehalten werden. Bei einzelnen Räumen bzw. kleinen Zonen, die sich in der Nutzung sehr vom Rest unterscheiden, lohnt es sich zu überprüfen, ob ein kleines dezentrales Gerät einsetzbar ist. Grundlegende Aufgabe der Lüftung ist es, für einen hygienischen Luftwechsel zu sorgen. Gleichzeitig kann die Lüftung zur Beheizung der Nebenräume dienen und somit die Installation von Heizkörpern entfallen.

Bei der Umsetzung sollten folgende zentrale Ziele verfolgt werden: Druckverlustarmes Kanalnetz, effiziente Ventilatoren, hoher Wärmebereitstellungsgrad sowie bedarfsgerechte Regelung des Volumenstroms.

### **Bedarfsgerechte Volumenströme**

Für die Höhe der Volumenströme in den Nebenzonen gibt es verschiedene Anforderungen in Normen und Regelwerken. Dabei wird immer der Volumenstrom für den ungünstigsten Fall angegeben. Grundlegendes und sehr wichtiges Instrument des Passivhaus-Konzeptes ist es, einen Volumenstrom zu realisieren, der dem Bedarf angepasst ist. Damit konnten im Passivhaus-Bad Bambados die Stromkosten für die Lüftung um 50 % gesenkt werden. Zusätzlich zur Stromeinsparung sinken die Lüftungswärmeverluste und damit der Heizwärmeverbrauch.

Schritt eins einer bedarfsgerechten Regelung ist, das Gerät nur zu Nutzungszeiten zu betreiben. Dabei sollte eventuell eine Nachspülzeit und auf jeden Fall eine Vorspülzeit vor Betriebsbeginn eingeplant werden. Während der Vorspülzeit wird die Luft ausgetauscht, so dass gleich zu Beginn der Raumnutzung gute Luftqualität gewährleistet werden kann. Geeignet erscheint ein einfacher Luftwechsel als Vorspülung. Schritt zwei einer bedarfsgerechten Regelung ist die Anpassung des Volumenstroms an die jeweils momentane, tatsächliche Nutzung der Zone. Je nach Art der Nutzung eignen sich z.B. Feuchtesensoren, CO<sub>2</sub> - Sensoren oder Präsenzmelder.

## **Duschen und Umkleiden**

Empfehlenswert ist eine gerichtete Überströmung von den Umkleiden zu den Duschen. Dadurch kann die Luft "doppelt" genutzt werden, womit insgesamt geringere Gesamtvolumenströme und kleinere Lüftungsgeräte benötigt werden.

Duschen und Umkleiden können dann von nur einem Lüftungsgerät versorgt werden: Die Zuluft wird in die Umkleiden geführt und strömt von dort in die Duschen über. Zusätzlich zu einem Grundluftwechsel wird während der Nutzungszeit der Volumenstrom in Abhängigkeit der Feuchte geregelt: Bei größerem Entfeuchtungsbedarf in den Duschen, wird der Gesamtvolumenstrom des Gerätes erhöht. Nachts wird das Gerät ausgeschaltet und es gibt eine Sicherheitsschaltung, um zu hohe Feuchten in den Duschen zu verhindern.

## **Technikkeller**

Auch der Technikkeller muss mit Frischluft versorgt werden, da sich dort täglich Personal aufhält. Außerdem dient die Lüftung zur Entfeuchtung. Da auch bei effizienter Lüftungs- und Schwimmbadtechnik Wärme an den umgebenden Raum abgegeben wird, ist - wie im Rest des Hallenbades - eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung selbstverständlich. Dabei ist abzuwägen, ob der Technikraum durch ein eigenes Lüftungsgerät oder z.B. durch das Lüftungsgerät für die Umkleiden belüftet wird. Um die Lüftungswärmeverluste gering zu halten, sollte der Luftwechsel nicht unnötig hoch ausgelegt werden.

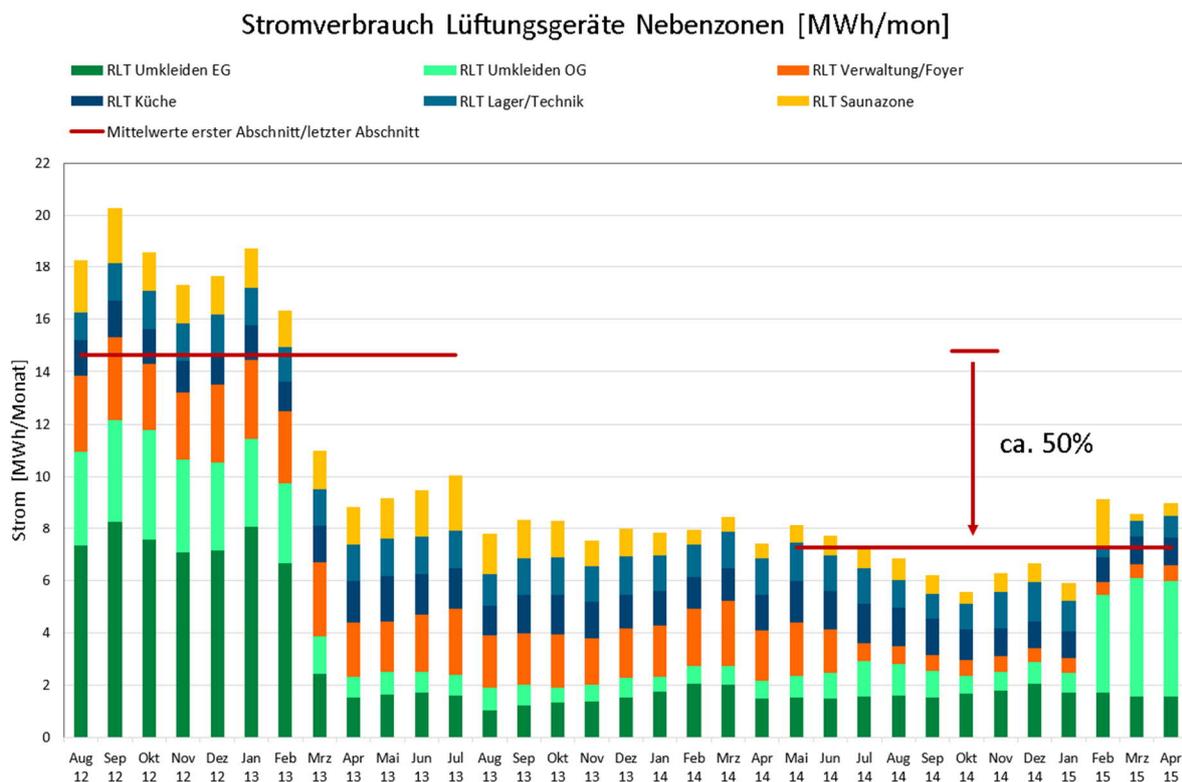
## **Kanalnetz und Lüftungsgeräte**

Für das Kanalnetz und die Lüftungsgeräte der Nebenzonen gelten ebenfalls die Grundprinzipien, die im Kapitel 3.1 Lüftung Schwimmhalle aufgeführt sind. Während der Planungsphase sollte bereits festgelegt werden, welche Stränge für die Einregulierung an welchen Positionen gemessen werden können. Werden Volumenstromregler eingeplant, um einzelne Bereiche individuell regeln zu können, sollte die Einsparung durch die Regelung gegen den Mehrverbrauch durch zusätzliche Druckverluste abgewogen werden.

## Regelung

Wichtiger Grundsatz: Regelung möglichst einfach halten! Auch wenn Technik und Hersteller viele Möglichkeiten anbieten, darf nicht vergessen werden, dass Regelungskonzepte erstellt, sowie Programmierungen durchgeführt und kontrolliert werden müssen. Am effektivsten ist die Planung, wenn der spätere Betreiber/Betriebsleiter miteinbezogen werden kann. Kennt er die geplanten Regelungen, kann er diese im Betrieb besser überprüfen, handhaben und optimieren.

In manchen kühleren Gebäudebereichen (z.B. Verwaltung) kann eine passive Nachtlüftung zur Auskühlung hilfreich und notwendig sein. Dabei ist es wichtig, dass diese gezielt eingesetzt wird, da im Großteil des Gebäudes während des ganzen Jahres Heizwärmebedarf besteht. Die Nachtlüftung kann passiv durch Lüftung über Fenster oder aktiv über das Lüftungsgerät mit Sommerbypass erfolgen. Die passive Lüftungsstrategie hat den Vorteil, dass keine zusätzlichen Wärmelasten eingebracht werden, im Gegensatz zur Lüftung mit Ventilatoren. Ein außenliegender Sonnenschutz ist in diesen Bereichen empfehlenswert, da er die solaren Gewinne deutlich vermindert.



**Abb. 16 Bambados:** Durch die Einregulierung der Lüftungsgeräte für die Nebenzonen konnten die Volumenströme dem tatsächlichen Bedarf angepasst werden und damit 50% der Stromverbrauchs eingespart werden.



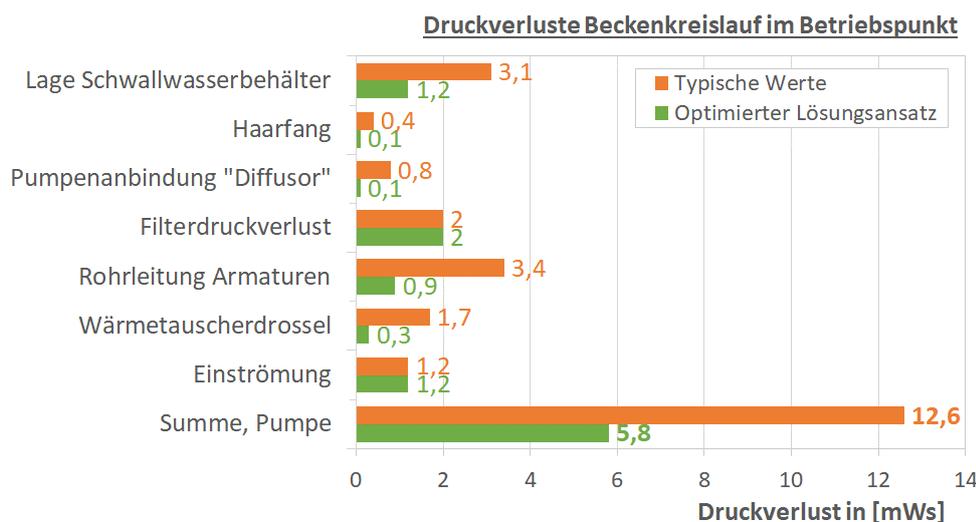
## Druckverluste des Rohrleitungsnetzes

Die Zusammenstellung des gesamten Rohrleitungsnetzes bestimmt die von der Pumpe zu bewältigende Förderhöhe. Generell gilt: Je niedriger die Druckverluste, desto weniger Energie wird im Betrieb benötigt. Es ist daher eine grundlegende Planungsaufgabe die Druckverluste möglichst gering zu halten, um eine effiziente Betriebsweise zu erreichen. Als Richtlinie sollten 5-10 mWS (bei mittlerer Filterverschmutzung) für eine effiziente Lösung angestrebt werden - je niedriger desto besser.

Folgende Maßnahmen tragen dazu bei, die Druckverluste zu reduzieren:

- Kompaktes Rohrnetz mit möglichst kurzen und direkten Leitungen
- Großzügige Dimensionierung der Rohrleitungsdurchmesser. Als Richtwert für die Auslegung wird 1-1,3 m/s als Geschwindigkeit für das Fördermedium empfohlen
- Druckverlustarme Formstücke (z.B. zwei 45° anstelle eines 90° Rohrstücks, FW-Klappen (federkraftschließend) anstelle von konventionellen Rückschlagklappen etc.)
- Lage des Schwallwasserbehälters (möglichst niedrige Höhendifferenz zu Beckenwasseroberfläche)
- Wahl der Beckenwassereinströmung
- Der Einsatz von Diffusoren nach den Pumpen

In der Praxis liegen die Druckverluste oft deutlich über dem technischen Potential und die Einsparpotentiale werden durch gängige Planungsansätze nicht ausgeschöpft. Als Hilfestellung für Orientierungswerte sind in Abb. 17 Druckverluste (im typischen Betriebspunkt) einzelner Komponenten im Beckenkreislauf aufgeführt. Die Gesamt-Druckverluste liegen in diesen Beispielen im optimierten Fall bei 5,8 mWS. Jedes individuelle Bad ist etwas anders aufgebaut und es gilt im Einzelfall das Gesamtsystem zu optimieren.



**Abb. 17: Druckverluste einzelner Komponenten eines Beckenkreislaufs für übliche Lösungen (orange) und einen optimierten Ansatz (grün). Die Daten wurden durch das Ingenieurbüro Inco aufbereitet und bilden durchschnittliche Werte aus Messungen und Analysen zahlreicher Bäder ab. In Summe werden hier die Druckverluste um mehr als 50% von 12,6 mWS auf 5,8 mWS gesenkt.**

## Pumpenauswahl

Ausschlaggebend für die Effizienz der Pumpe ist letztendlich der Wirkungsgrad des Gesamtsystems im tatsächlichen Betriebspunkt, d.h. die kombinierte Effizienz des Elektromotors, plus der Pumpenhydraulik, sowie der elektronischen Regelung. Für eine effiziente Lösung sollten Gesamtwirkungsgrade (Pumpe, Motor und Frequenzumformer) von über 70% angestrebt werden.

Handlungsempfehlungen und Tipps für die Pumpenauswahl:

- Prioritär ist auf eine hohe Effizienz des Elektromotors zu achten. Dies sind meist Permanentmagnetmotoren bzw. Synchronmotoren gegenüber konventionellen Asynchronmotoren.
- Nur durch eine passende Pumpenauswahl kann ein hoher Wirkungsgrad in der Praxis erzielt werden. Wichtig ist eine korrekte Abstimmung des Systems auf die tatsächlichen Betriebspunkte. Voraussetzung hierfür ist eine genaue Berechnung und gutes Verständnis der Druckverluste im Betrieb. Hier gilt z.B. dass die Auswahl der Pumpe auf die durchschnittlichen Druckverluste über die Filter optimiert wird, anstatt auf die Druckverluste bei maximaler Auslegung.
- Der Einsatz von Frequenzumformern (FU) ist inzwischen Stand der Technik für einen effizienten Betrieb. Durch die Drehzahlregelung der Pumpe mittels FU kann eine hohe Effizienz auch bei unterschiedlichen Betriebspunkten erreicht werden (z.B. Nachtabenkung oder bei verschiedenen Verschmutzungsgraden der Filter). Zudem gewährleistet der Einsatz eines FU einen Puffer für einen effizienten Pumpenbetrieb, falls die Druckverluste der Anlage in der Praxis von den Planungswerten abweichen sollten.
- Die Materialwahl der Pumpe hat einen Einfluss auf deren Wirkungsgrad und insbesondere auf den Verschleiß. Durch den Einsatz von beschichteten Pumpen kann das Risiko von Korrosion vermindert werden.



**Abb. 18: Umwälzpumpen im Beckenwasser-Kreislauf ohne (links) und mit (rechts) nachgeschaltetem Diffusor (Fotos: links PHI; rechts INCO)**

## Betriebsweise der Umwälzpumpen

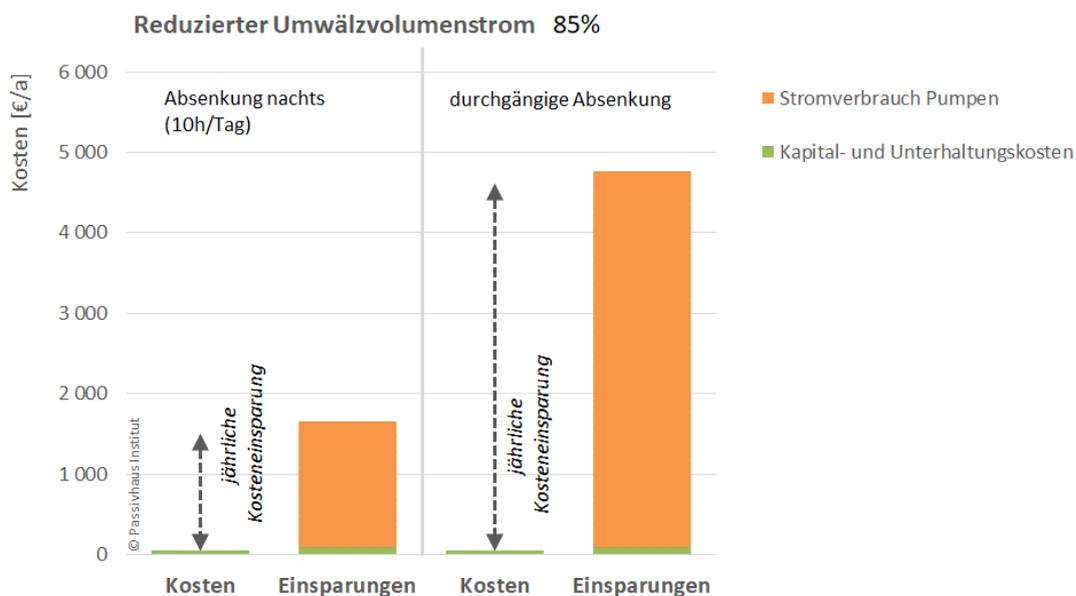
Es ist nicht zwingend nötig, das Beckenwasser durchgängig mit vollem Auslegungsvolumenstrom umzuwälzen. Außerhalb der Betriebszeiten oder bei wenigen Badegästen kann der Stromverbrauch durch Teillastbetrieb gesenkt werden. Zwingende Voraussetzung hierfür ist eine Gewährleistung der Wasserqualität. Die Regelung kann z.B. ganz einfach über eine Zeitschaltung für verschiedene Reduktions-Stufen erfolgen (z.B. niedrigste Teillast außerhalb der Betriebszeiten, mittlere Teillast in Zeiten mit wenig Betrieb). Das Einsparpotential ist insbesondere für Nichtschwimmerbecken hoch, bei denen der Nenn-Umwälzvolumenstrom nach DIN mit einer höheren Beckenbelegungsdichte ausgelegt wird. Hier kann auch mit reduziertem Volumenstrom noch eine hohe Wechselrate des Beckenwassers (Umwälzung 1/h) erreicht werden.

- Internumwälzung:

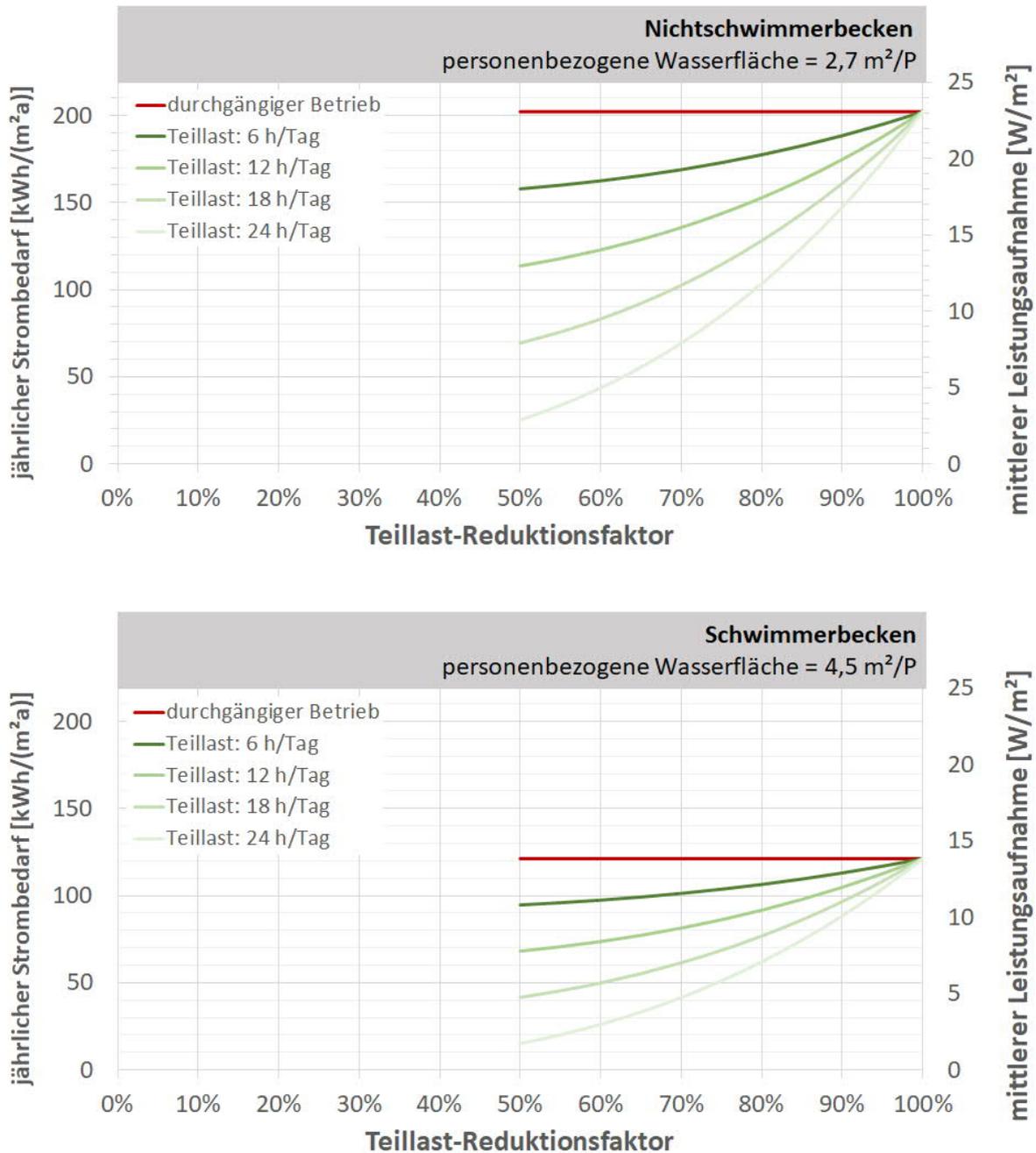
Hierbei wird der Volumenstrom unterhalb der Wasseroberfläche des Beckens entnommen, zirkuliert also ohne Überlaufrinne und den Schwallwasserbehälter. Durch entsprechend niedrigere Druckverluste sinkt auch der Strombedarf. Dabei ist auf eine ausreichende Beckendurchströmung zu achten. Die Internumwälzung kann für den gesamten Volumenstrom oder nur für einen Teilvolumen realisiert werden.

- Temporäre Volumenstromabsenkung:

Der Stromverbrauch sinkt proportional zur dritten Potenz des Reduktionsfaktors, d.h. bereits geringe Absenkungen sind sehr effektiv. Es ist in jedem Fall darauf zu achten, dass die Beckendurchströmung gewährleistet wird. Bei geringeren Absenkungen des Volumenstroms werden die Durchströmung und die Wasserwechselrate weniger beeinträchtigt, d.h. geringe Absenkungen über längere Zeiträume sind hinsichtlich der Gewährleistung der Wasserqualität vorteilhafter gegenüber temporären, starken Absenkungen.



**Abb. 19: Beispielhafte Kosten-Nutzen-Analyse für reduzierte Beckenumwälzung auf 85 % außerhalb der Nutzungszeiten (links) bzw. durchgehend (rechts). Quelle: [Gollwitzer et al. 2018]**



**Abb. 20: Beispiele des Strombedarfs der Umwälzpumpen bei unterschiedlichen Teillastbetrieben für ein Nichtschwimmerbecken (oben) und ein Schwimmerbecken (unten). Randbedingungen: 8 mWS Druckverlust und 70% Gesamtwirkungsgrad der Pumpe. Quelle: [Gollwitzer et al. 2018]**

Beispiel aus Abb. 20 oben (Nichtschwimmerbecken): Wird der Umwälzvolumenstrom während 12 Stunden auf 60 % abgesenkt, liegt der Strombedarf bei ca. 120 kWh pro m<sup>2</sup> Beckenfläche pro Jahr. Kann dagegen die Reduzierung statt auf 12 Stunden gleichmäßig auf 24 Stunden verteilt werden, dann liegt der Umwälzvolumenstrom durchgehend bei 80 % und der Strombedarf ist noch niedriger, nämlich bei ca. 100 kWh/(m<sup>2</sup>a). In beiden Fällen ist die Gesamt-Wasserwechselrate über 24 Stunden identisch.

## 4.2 Heizwärmebedarf Beckenwassererwärmung

Es ist zu erwarten, dass der Heizwärmebedarf für Beckenwasser bei effizienten Lösungsansätzen im Bereich von ca. 400-700 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WFA</sub>) liegen. Allerdings gibt es hier viele Einflussfaktoren, die starke Abweichungen verursachen können und einen Vergleich ohne weitere Informationen erschweren, z.B. Wechselwirkungen mit der Effizienz der Schwimmbadtechnik: Ineffiziente Pumpen mit einem hohen Stromverbrauch geben mehr Abwärme an das Beckenwasser ab, wodurch der Heizbedarf niedriger ausfällt.

Die Einflussfaktoren und der zu erwartende Heizwärmebedarf können über eine Energiebilanz berechnet werden. Hierfür wurde am Passivhaus Institut eine Berechnung entwickelt, welche als hilfreiche Unterstützung bei der Planung dienen kann, um die energetische Auswirkung der Randbedingungen (z.B. Temperatur und Feuchte), sowie der ausgewählten Komponenten (z.B. Filtertechnik und entsprechender Spülwasserbedarf) besser einschätzen zu können.

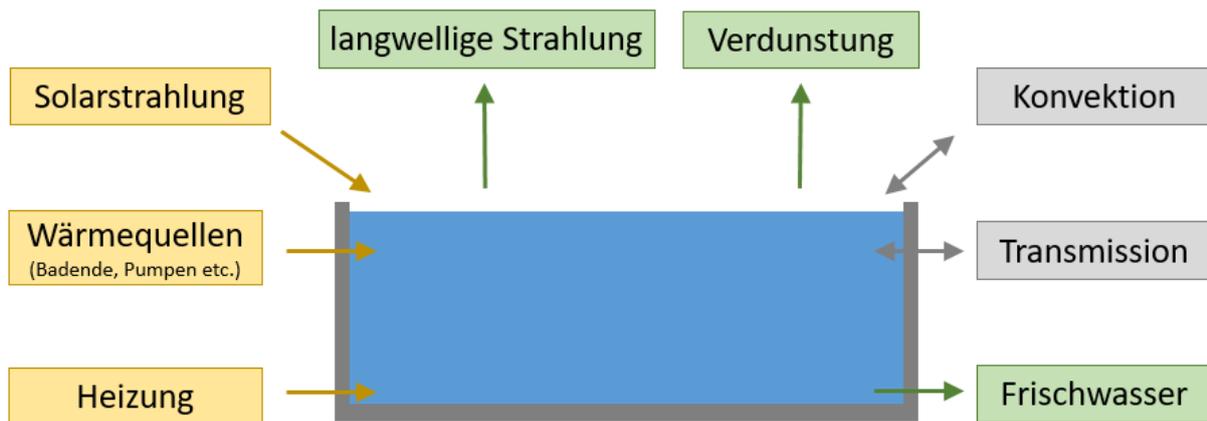
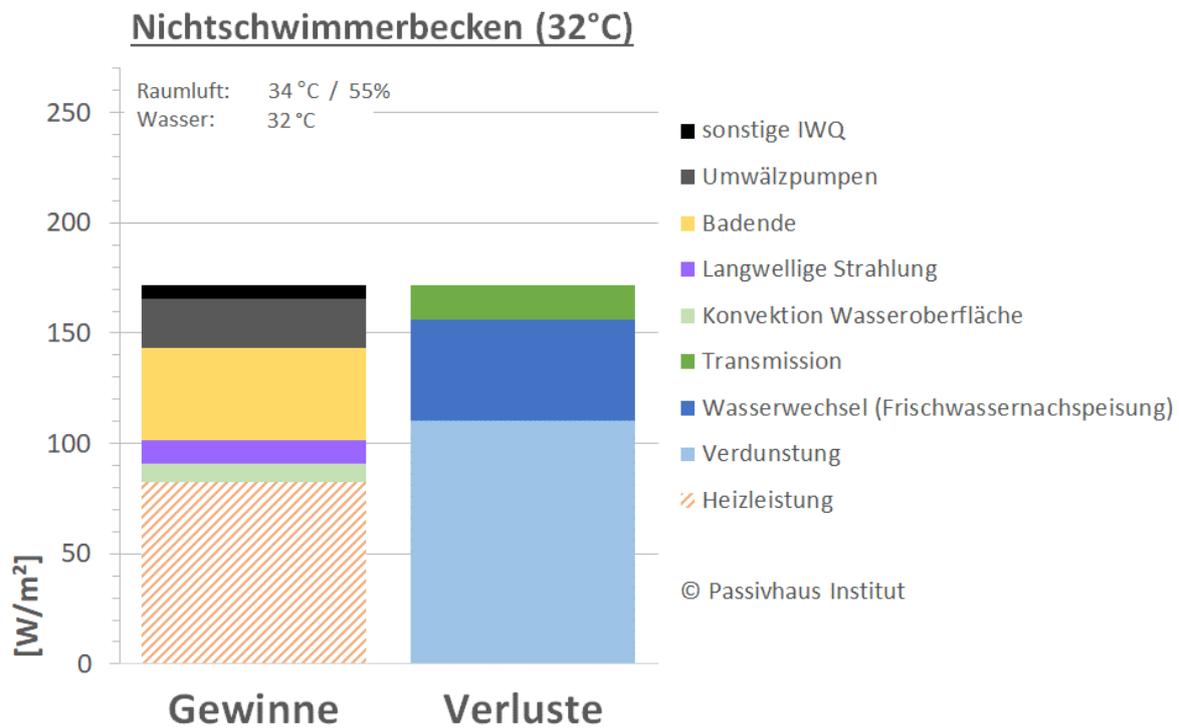
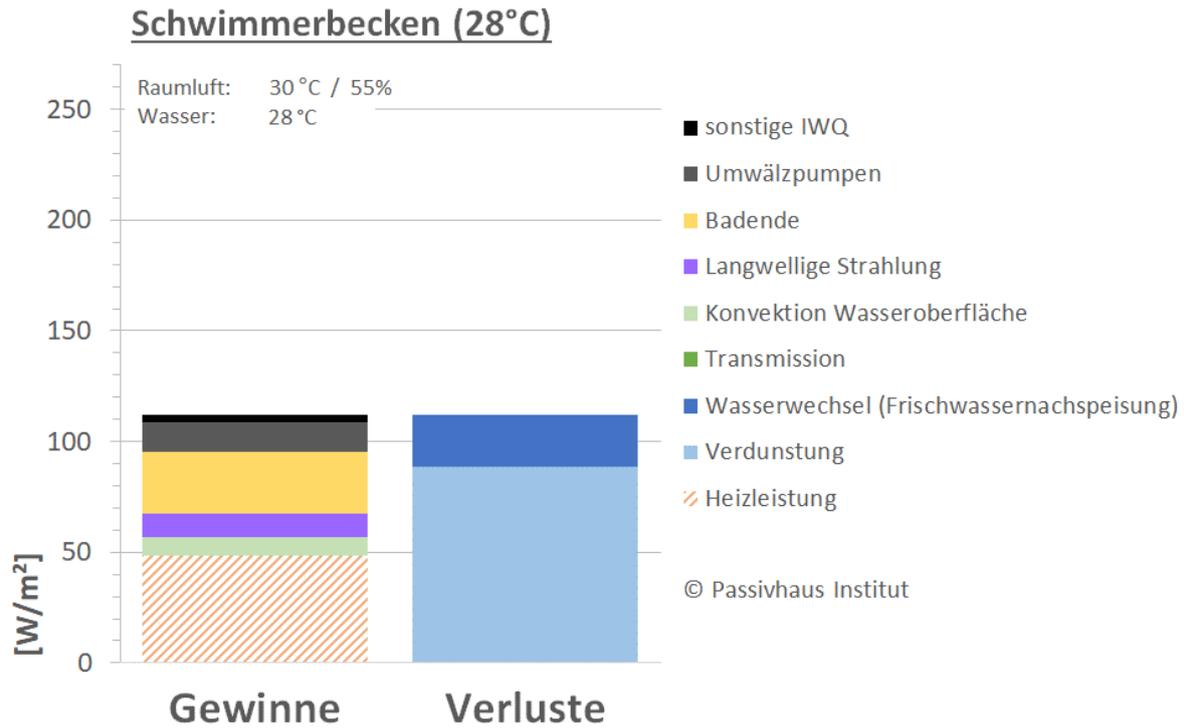


Abb. 21: Die wesentlichen Parameter für die Energiebilanz eines Schwimmbeckens (Hallenbad).

Generell gilt: Je niedriger die Wassertemperatur, desto niedriger der Heizwärmebedarf. Die Temperatur sollte also entsprechend der vorgesehenen Nutzung und des Besucherkomforts möglichst niedrig gehalten werden. Zudem ist die benötigte Menge an täglichem Beckenfrischwasser ausschlaggebend für den Heizwärmebedarf. Als Richtlinie für das hygienische Mindestvolumen gelten 30 Liter pro Gast. Ausschlaggebend für den Wasserverbrauch ist in der Praxis oft auch die benötigte Wassermenge zur Filterspülung. Diese Menge hängt von der gewählten Filtertechnologie und den Randbedingungen im Einzelfall ab. Als Orientierungswert, im Falle von konventionellen Mehrschichtfilter, kann ein Filterspülwasserbedarf von monatlich ca. 0,6 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>Monat) für Schwimmerbecken bzw. 1 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>Monat) für Nichtschwimmerbecken heran gezogen werden. Bei der Planung sollte bei der Wahl der Schwimmbadtechnik darauf geachtet werden, dass die benötigten Frischwassermengen nicht unnötig hoch ausfallen, denn ein hoher Wasserverbrauch geht mit höherem Energiebedarf und auch mit höheren Betriebskosten einher.



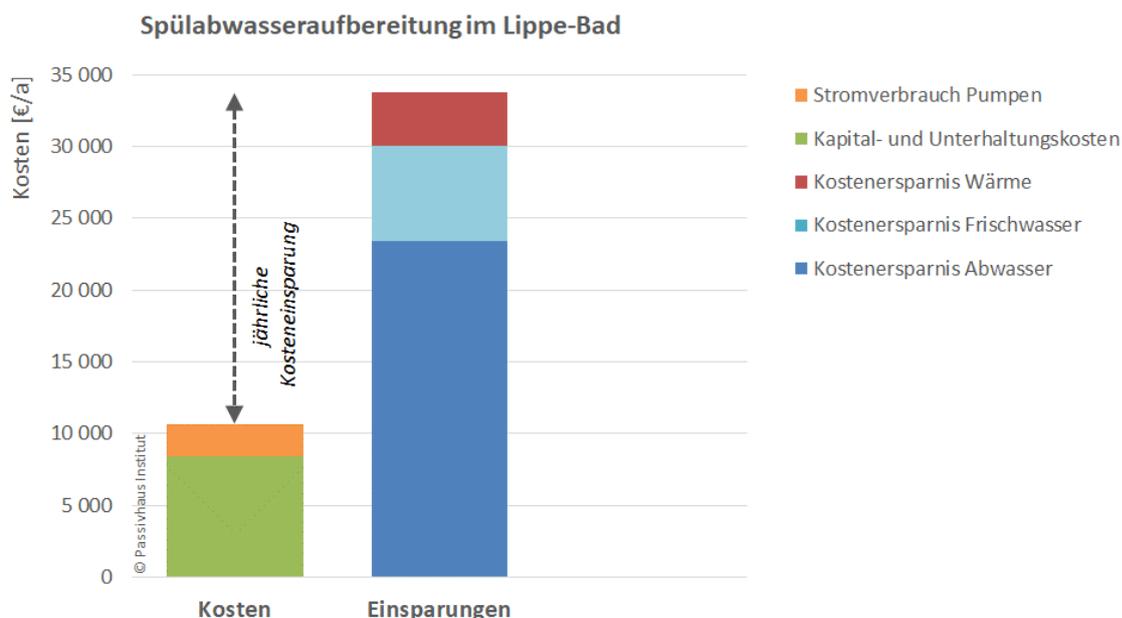
**Abb. 22:** Beispiele von Energiebilanzen für ein Schwimmerbecken und Nichtschwimmerbecken. Der spezifische Heizwärmebedarf pro  $m^2$  Wasserfläche ist für Nichtschwimmerbecken auf Grund der höheren Wassertemperatur und höheren Personenbelegung (mehr Frischwasserbedarf) in der Regel höher. Quelle: [Gollwitzer et al. 2018]

Es gibt grundsätzlich zwei unterschiedliche Ansätze, mit deren Hilfe die Wärmeverluste der Frischwassernachspeisung effektiv reduziert werden können. Je größer die nötige Frischwassermenge, desto mehr fallen diese Maßnahmen ins Gewicht:

- Aufbereitung des Filterspülabwassers zur Wiederverwendung im Bad z.B. als Brauchwasser (Toiletten) und/oder als Füllwasser für die Becken.
- Wärmerückgewinnung aus dem warmen Filterspülabwasser, entweder mit einem passiven Ansatz mittels Wärmetauscher oder als aktives System mit Wärmepumpe.

### Spülabwasseraufbereitung

Im Pilotprojekt Lippe-Bad stellt sich die realisierte Lösung der Spülabwasseraufbereitung mit Dreifachnutzung (Vorfluteinspeisung, Beckenfüllwasser und Brauchwassernutzung), kombiniert mit passiver Wärmerückgewinnung als sehr wirtschaftlich dar (siehe Abb. 23). Solche Potentiale ergeben sich insbesondere z.B. bei Ultrafiltration mit einem vergleichbar hohen Spülwasserbedarf. Eine geeignete Systemlösung sollte im Einzelfall hinsichtlich Einsparpotential (Energie und Wasser), sowie Wirtschaftlichkeit betrachtet werden. Ein wesentlicher Einflussfaktor für die Wirtschaftlichkeit einer Spülabwasseraufbereitungsanlage ist zum Beispiel die gewählte Filter- und Desinfektionstechnologie. Bedingt durch die Einsparung der vergleichbar hohen Abwasserkosten, lässt sich eine Wasseraufbereitungsanlage zur Direkteinspeisung in ein Gewässer in der Regel wirtschaftlich gut darstellen. Eine Aufbereitung zur Nutzung als Füllwasser für die Beckenkreisläufe hingegen ist technisch aufwändiger und teurer (höhere Ansprüche an die Wasserqualität, ggf. ist eine zweite Virenbarriere erforderlich) - kann aber im Einzelfall auch wirtschaftlich darstellbar sein. In [Gollwitzer et al. 2018] wurden beispielhafte Kosten-Nutzen-Analysen hierzu durchgeführt.



**Abb. 23: Kosten-Nutzen-Analyse der Spülwasseraufbereitungsanlage im Lippe-Bad.**  
Quelle: [Gollwitzer et al. 2018]

## Wärmerückgewinnung aus Filterspülabwasser

Es gibt unterschiedliche Systeme, mit deren Hilfe Wärme aus dem warmen Filterspülabwasser zurück gewonnen werden kann. Im Wesentlichen wird hierbei unterschieden ob es sich um ein passives System mit Wärmetauscher handelt, oder um ein aktives System mit Wärmepumpe. Bei einem aktiven System sind die energetischen Einsparpotentiale höher, aber auch die Investitionskosten. Die Untersuchungen in [Gollwitzer et al. 2018] weisen darauf hin, dass passive Systeme für ein einzelnes Schwimmerbecken wirtschaftlicher sind als ein kostenintensiveres aktives System (siehe Abb. 24).

Für beide Ansätze sind zusätzliche Zwischenspeicher erforderlich, damit das Abwasser aufbewahrt und nur zu den Zeiten zur Wärmerückgewinnung geleitet wird, in denen kaltes Frischwasser nachgespeist wird.

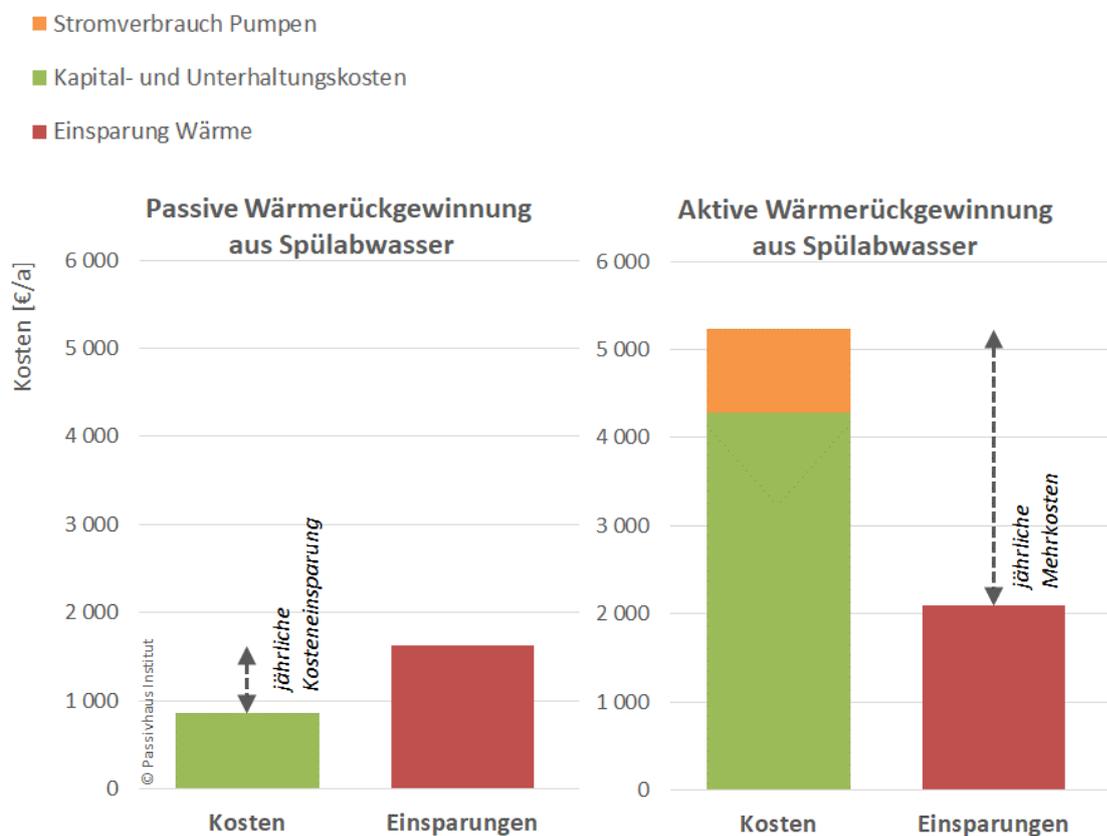


Abb. 24: Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse für Wärmerückgewinnung aus Spülabwasser mittels Wärmepumpe. 25m Schwimmerbecken. Quelle: [Gollwitzer et al. 2018]

## Verdunstung

Bei der Verdunstung des Wassers an der Oberfläche wird dem Becken viel Wärme entzogen. Es gibt verschiedene Ansätze die Verdunstung zu reduzieren. Diese Ansätze haben neben einer Einsparung des Heizenergiebedarfs für das Beckenwasser auch Vorteile für die Hallenbelüftung, da die Luft weniger entfeuchtet werden muss (siehe Kapitel 3).

Effektive Maßnahmen zur Reduktion der Verdunstung sind:

- Erhöhung der Hallenluftfeuchte, durchgängig oder zumindest außerhalb der Öffnungszeiten. Als Richtwert für die Planung wird eine Feuchte von um die 55-60% während der Betriebszeiten vorgeschlagen. Voraussetzung hierfür ist eine gut gedämmte Gebäudehülle und dadurch die Vermeidung von Kondensatbildung. Aus Bautenschutzgründen sollte die relative Feuchte 64 % nicht überschreiten.
- Nachtabenkung des Wasserspiegels mittels Internumwälzung (keine Verdunstung über das Rinnensystem, sowie eine insgesamt reduzierte Verdunstungsfläche).
- Gestaltung des Wasserüberlaufs (Rinnensystem)
- Wenige Wasserattraktionen bzw. reduzierte Laufzeiten (nur bei tatsächlicher Nutzung).

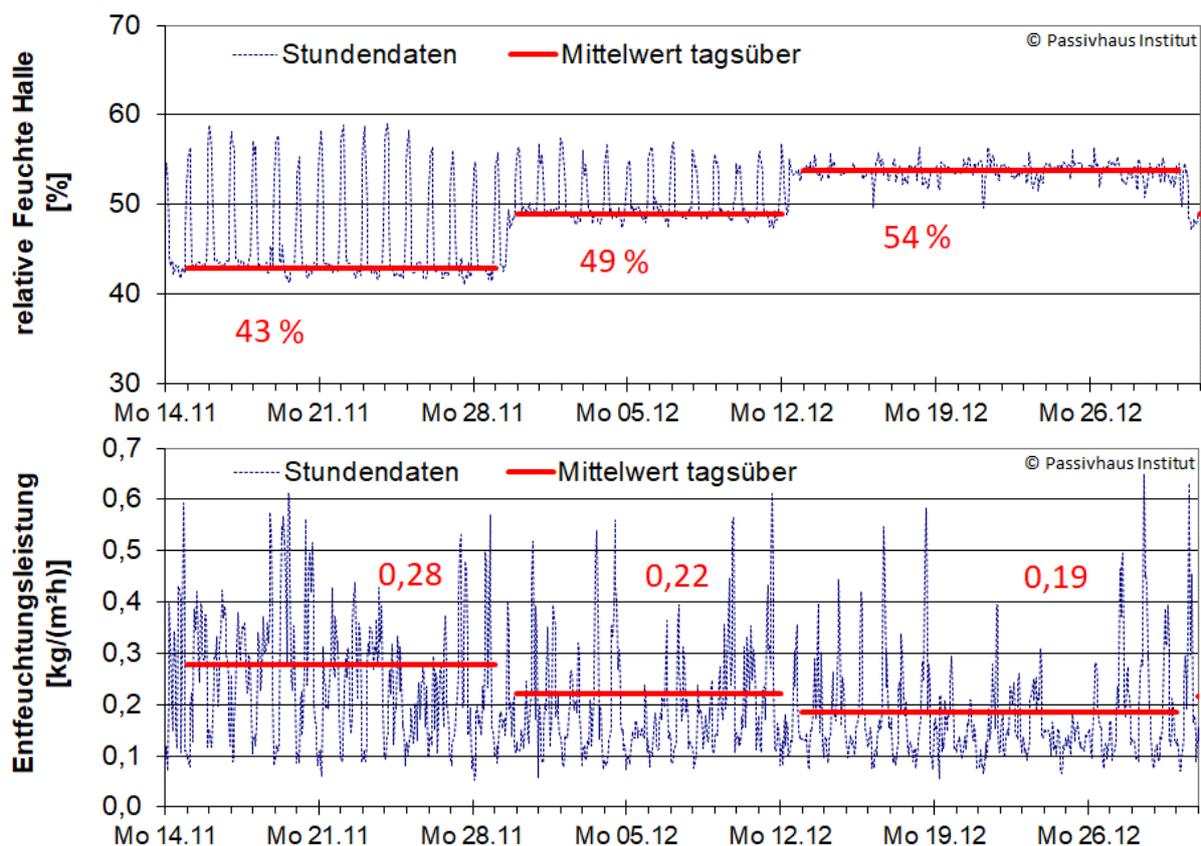


Abb. 25: Versuchsreihe im Lippe-Bad: Bei Anhebung der Feuchte (oben) sinkt die über die Lüftungsanlage erbrachte Entfeuchtungsleistung (unten). In Rot sind jeweils die Mittelwerte während den Öffnungszeiten angeben. Dies lässt auch auf eine reduzierte Verdunstung rückschließen. [Gollwitzer et al. 2018]

## Attraktionen und weitere Einsparpotentiale bei der Schwimmbadtechnik

Im Bereich der Schwimmbadtechnik gibt es weitere Ansatzpunkte zur Einsparung von Energie. Wichtig ist, dass das Gesamtsystem - Komponenten und Regelung - auf die Nutzung und die gewählte Filtertechnik abgestimmt ist. Es gilt, die Anzahl der Stromverbraucher zu reduzieren, möglichst effiziente Technik einzusetzen und durch die Betriebsweise den Heiz- und Strombedarf gering zu halten.

Konkrete Beispiele für weitere Einsparmaßnahmen sind:

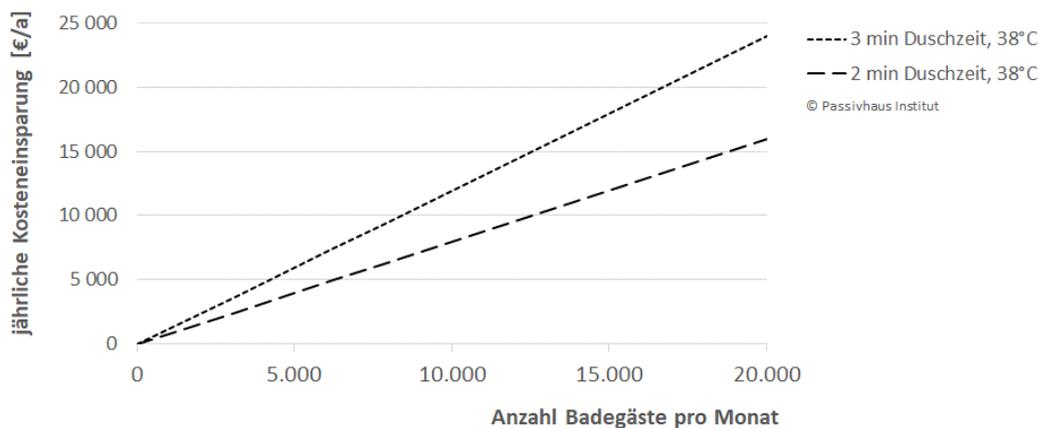
- Attraktionen:  
Wasserattraktionen wie z.B. Rutschen, Massagedüsen, Wasserpilze o.ä. benötigen zusätzlichen Strom zum Betrieb der Pumpen. Zusätzlich entsteht durch den Betrieb eine erhöhte Verdunstung, mit einhergehenden Verdunstungswärmeverlusten und erhöhtem Lüftungsbedarf. Als wesentliche Energieeinsparmaßnahme für Attraktionen gilt es, auf eine gute Regelung zu achten, d.h. ein Betrieb möglichst nur bei Bedarf zu aktivieren. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten z.B. über manuelle Taster mit Zeitschaltuhr (automatische Ausschaltung nach einer voreingestellten Betriebszeit), über automatische Auslöser (z.B. Lichtschranke bei Rutschen) oder über Zeitschaltuhren (feste Zeiten oder intelligente Steuerung unter Berücksichtigung der Besucherzahlen).
- Führung des Messwassers zur Überprüfung der Wasserqualität in den Umwälzkreislauf integrieren, d.h. Realisierung ohne zusätzliche Pumpen. Außerdem eine Rückführung des Messwassers in den Beckenkreislauf anstatt dies als Abwasser abzuleiten. Dies reduziert sowohl den Strom- als auch den Wasserverbrauch.
- Reduzierte Wärmeverluste indem Überdachentlüftungen vermieden werden (z.B. des Schwallwasserbehälters)
- Regelmäßige Reinigung der Pumpenfilter für einen effizienten Betrieb der Pumpen



**Abb. 26: Kleinkinderbecken mit Attraktionen (Bambados)**

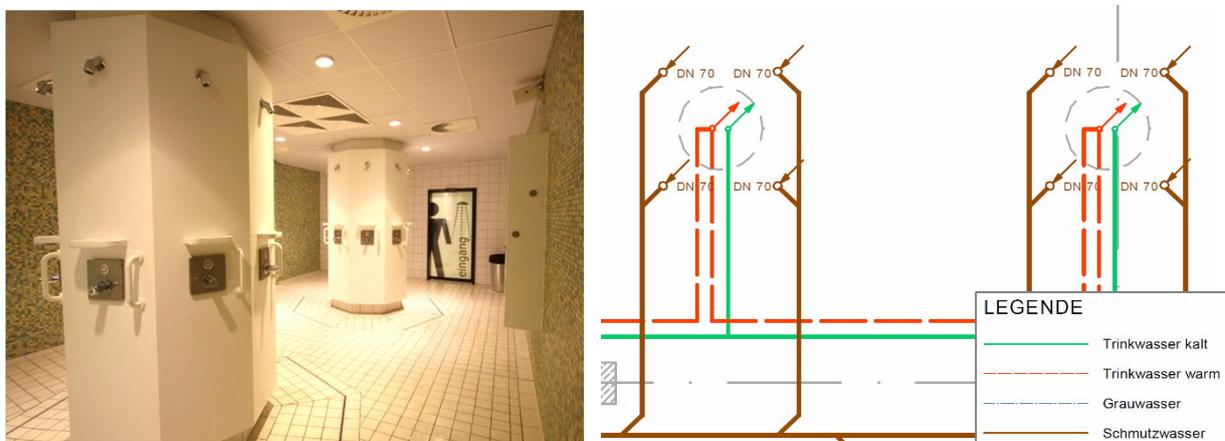
## 5 Duschwarmwasser

Abgesehen von der Beckenwassererwärmung entsteht ein hoher Heizbedarf für Trinkwarmwasser in Hallenbädern hauptsächlich durch die Duschnutzung. Empfehlenswert hinsichtlich Energie-, Wasser-, und Kosteneinsparungen, ist der Einsatz von wassersparenden und selbstschließenden Armaturen. Der Durchfluss von Duscharmaturen sollte bei 6 l/min liegen und gleichzeitig einen fülligen Strahl liefern. Auch für sogenannte Regenduschen, die z.B. in Spabereichen zum Einsatz kommen, gibt es wassersparende Systeme mit integrierter Wärmerückgewinnung und/oder Wasseraufbereitung.



**Abb. 27:** Beispielhafte jährliche Kosteneinsparung beim Einsatz von wassersparenden Armaturen (6 l/min, gegenüber üblichen 12 l/min) für unterschiedliche Besucherzahlen und mittleren Duschzeiten je Badegast. Quelle: [Gollwitzer et al. 2018]

Wenn durch geschickte Planung die Warmwassererzeugung und Warmwasserabnahme nah zusammengelegt werden können, ermöglicht dies ein kompaktes Rohrnetz mit kurzen Leitungslängen. Dadurch wird nicht nur Strom für die Wasserzirkulationspumpen eingespart, sondern auch die Verteilverluste verringert und damit der Heizwärmebedarf für Warmwasser. Hierzu trägt auch ein lückenlos gedämmter Warmwasserspeicher bei.



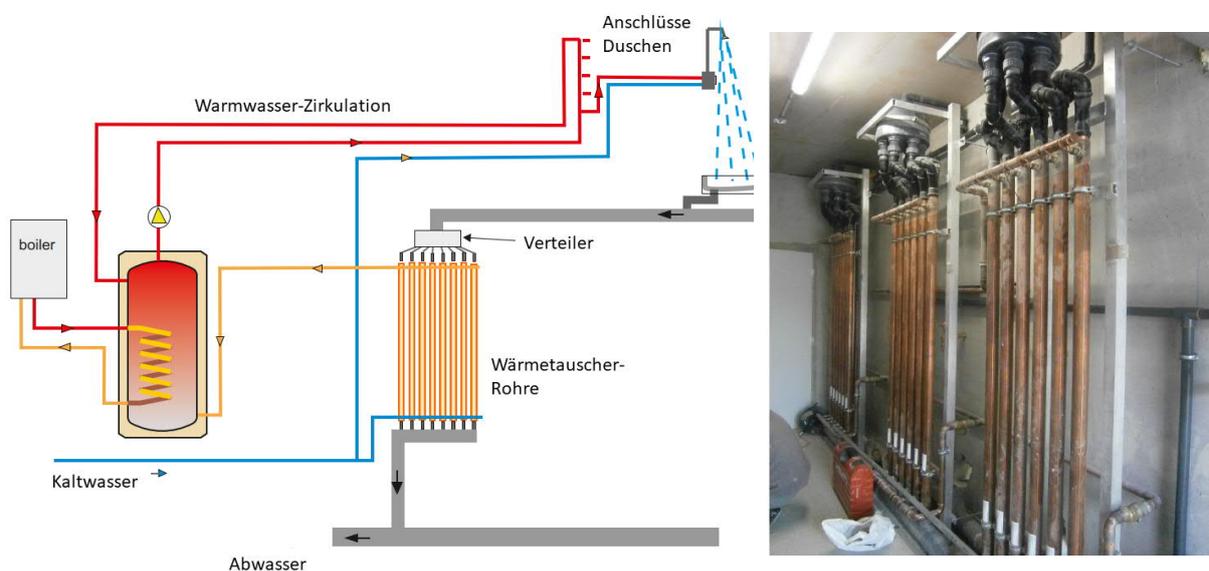
**Abb. 28:** Sammelduschen im Lippe-Bad in Lünen mit zentraler Leitungsführung jeweils in der Mitte der beiden Duschsäulen. Rechts: Ausschnitt der Ausführungsplanung Sanitär, Grundriss Keller, Quelle: Fa. ENERATIO.

## Wärmerückgewinnung

Ein weiteres bedeutendes energetisches Einsparpotential bietet eine Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser. Durch die hohe Abwassertemperatur von ca. 35 °C und die häufige Nutzung können bereits mit einfachen passiven Maßnahmen der Wärmerückgewinnung deutliche Einsparungen erreicht werden. Auch aktive Systeme mit Wärmepumpe werden speziell für die Nutzung in Hallenbädern auf dem Markt angeboten.

Bewährte Systeme zur Duschwasserwärmerückgewinnung mit Integration eines passiven Gegenstrom-Wärmetauschers im Abwasserrohr kommen vermehrt im Wohnungsbau zum Einsatz (siehe z.B. [Schnieders 2015]). Bei großen Abwassermengen, wie es in Schwimmbädern der Fall ist, werden Systeme mit mehreren parallel angeschlossenen Wärmetauscher-Rohren angeboten. Nach Herstellerangaben wird, je nach Installationsweise und Nutzung, in der Praxis in einigen Beispielprojekten eine Gesamt-Effizienz von 35-50% erreicht.

Es ist zu beachten, dass die Vorerwärmung von kaltem Trinkwasser aus hygienischer Sicht problematisch sein kann (Legionellen). Dies kann vermieden werden, indem das vorerwärmte Wasser nicht direkt an die Kaltwasserauslässe der Duschen, sondern zunächst in die Heizzentrale geführt und dort auf hygienisch unbedenkliche Temperaturen geheizt wird.



**Abb. 29:** links: Anschlussbeispiel für Wärmetauscher-Sammelrohre zur Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser; Quelle: Q-Blue (Übersetzung PHI)  
rechts: Duschwasser-Wärmerückgewinnung Multivert im Hallenbad Mons en Baroeul (Frankreich); Quelle: Gaia Green

## 6 Weitere Potentiale

Für alle Bereiche des Hallenbades sollte eine hohe Energieeffizienz angestrebt werden. Dafür gibt es zwei Gründe: Zum einen steckt darin großes Potential die Energiekosten im Betrieb zu senken. Zum anderen werden damit die internen Wärmelasten gering gehalten, was dem Gesamtkonzept Passivhaus und der Behaglichkeit zu Gute kommt. Neben den bereits behandelten Bereichen gibt es projektspezifisch weitere Bereiche mit Einsparpotentialen:

### Gastronomie

- Klärung der tatsächlichen Anforderungen und geeignete Wahl des Garprozesses
- Thermische Optimierung des Gargeräts
- Effiziente Küchengeräte
- Küchengeräte mit direktem Abluftanschluss
- Bedarfsgeführte Lüftung (Vorbereitungs- und Kochphasen)
- Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser und der Abluft (Wrasen)
- Platzierung und Ausführung von Kühlräumen im Gebäude (möglichst an Nordfassade und neben kühleren Räumen, sehr gute Dämmung von allen Seiten)

### Spa

- Effizienz besonders bei Geräten, die kühlen oder heizen
- Niedriger Standby-Verbrauch
- Bedarfsgeführte Lüftung

### Fitnessbereich

- Platzierung im Gebäude (möglichst an Nordfassade und neben kühleren Räumen, thermische Trennung zu warmen Gebäudeteilen)
- Bei aktiver Kühlung Abwärmenutzung für Hallenbad technisch und finanziell prüfen
- Nutzungszeiten mit Hallenbad vergleichen: entweder synchronisieren oder separate Lüftungs- und Beleuchtungsregelung, evtl. separaten Eingang, Umkleiden

### Sauna

- Positionierung der Saunakabinen (möglichst neben warmen, nicht neben kühlen Bereichen)
- Sehr gute Dämmung der Saunakabinen, vor allem eine zusätzliche Dämmung des Dachs lässt sich meist leicht und sehr kostengünstig realisieren.
- Lüftung Saunakabinen: Die größte Energieerhaltung wird erzielt, wenn die Saunakabinen über ein eigenes Lüftungsgerät mit WRG belüftet werden. Dies sollte projektspezifisch geprüft werden. Alternativ kann der gesamte Saunabereich über ein Lüftungsgerät versorgt werden (Zuluft in den Ruheräumen/Vorräumen und Abluft in der Saunakabine).
- Saunavorräume und Ruheräume: Bedarfsgeführte Lüftungsregelung z.B. nach CO<sub>2</sub>
- Tauchbecken: bei aktiver Wasserkühlung Abwärmenutzung prüfen

## **Beleuchtung**

Durch die langen Nutzungszeiten und großen Räume ist der Strombedarf für Beleuchtung oft einer der Hauptstromverbraucher in Hallenbädern. Durch den Einsatz effizienter Technologien (insbesondere LED), sowie bedarfsgerechter Regelungsstrategien kann der Stromverbrauch deutlich reduziert werden.

- Bei LEDs auf die Eignung für hohe Temperaturen achten. (Höhere Temperaturen bedeuten meist eine starke Verringerung der Lebensdauer)
- Bewegungs-/Präsenzmelder
- Tageslichtsteuerung für die Halle; geeignete Unterteilung der Beleuchtung (Fassadennah, Fassadenfern)
- Bei Anordnung der Fenster auf Tageslichtnutzung achten

## **Aufzüge**

Für eine Beurteilung der Effizienz von Aufzügen stehen das Verfahren und die Gruppierung in Energieklassen nach VDI 4707 zur Verfügung. Als Hilfestellung bietet das Passivhaus Institut ein Berechnungstool zum Download zur Verfügung:

[http://www.passiv.de/de/05\\_service/02\\_tools/02\\_tools.htm](http://www.passiv.de/de/05_service/02_tools/02_tools.htm)

Oft kann der Stromverbrauch in Bereitschaftszeiten den Stromverbrauch für die aktive Beförderung von Nutzern übersteigen. Für eine hohe Effizienz ist insbesondere auf folgende Aspekte zu achten:

- Fahrstuhlinnenbeleuchtung: Effiziente LED Ausstattung, die sich während der Bereitschaftszeit ausschaltet
- Sicherheitsausstattung: Lösungsansatz mit niedrigen dauerhaftem Stromverbrauch, z.B. Sicherheitsbremsen mit einer mechanischen Steuerung
- Belüftung: Bedarfsgerecht
- Rauchentlüftung Fahrstuhlschacht: Dauerhaft geschlossen, öffnet nur im Brandfall  
Aufzugsunter- oder überfahrt rundum von außen dämmen

## **Gebäudeleittechnik (GLT)**

- Niedriger Standby-Verbrauch der eingesetzten GLT-Anlage inkl. aller Unterkomponenten

## **Reinigung Hallenbad**

Findet die Reinigung tagsüber, parallel zum Betrieb statt, wird kein zusätzlicher Stromverbrauch für Beleuchtung und evtl. Lüftung benötigt. Andernfalls ist es sinnvoll, dass das Reinigungspersonal eine geeignete Beleuchtung nach Bereichen ein- und ausschalten kann. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass das Gebäude über mehrere Stunden voll beleuchtet werden muss.

## 7 Wärmeerzeugung

Im Sinne der Nachhaltigkeit und der Kostensenkung hat die Senkung des Energiebedarfs höchste Priorität. Wenn die Effizienzmaßnahmen ausgeschöpft sind, gibt es verschiedene Möglichkeiten, den noch verbleibenden niedrigen Energiebedarf zu decken. Die verfügbaren Systeme effizienter Energieerzeugung sind vielseitig, z.B. Wärmepumpen, Blockheizkraftwerk (BHKW), Gas-Brennwertkessel, Solarthermie etc. Es kann auch durchaus von Vorteil sein unterschiedliche Systeme zu kombinieren, z.B. für eine Unterscheidung zwischen Grundheizlast und Spitzenlastdeckung.

Bei der Auswahl des Energieerzeugers ist es wichtig den Kontext des individuellen Projektes zu beachten und potentielle Synergien zu nutzen. Durch den dauerhaften und vergleichbar hohen Heizbedarf können Hallenbäder z.B. zur Abwärme-Nutzung interessant sein (aus Industrieprozessen, als Wärmesenke für die Kühlung nahegelegener Gebäude, Abwärme aus Heizzentralen etc.). Konkretes Beispiel Lippe-Bad: In einem angrenzenden Technik-Keller werden zwei BHKWs betrieben, die das städtische Nahwärmenetz versorgen. Ca. 60% des gesamten Heizwärmebedarfs des Bades werden alleine durch die Abwärme-Nutzung dieser BHKWs gedeckt. Zusätzlich zur Brennwertnutzung (Abgaswärme) wird in diesem Fall auch die Gehäuseabwärme genutzt (siehe [BGL 2011], [Peper/Grove-Smith 2013] und [Gollwitzer et al. 2018] für eine Systembeschreibung und Monitoringdaten). Diese Synergien-Nutzung ist nicht nur im Sinne der Effizienz vorteilhaft, sondern stellt sich auch als sehr wirtschaftlich dar (siehe Abb. 30).

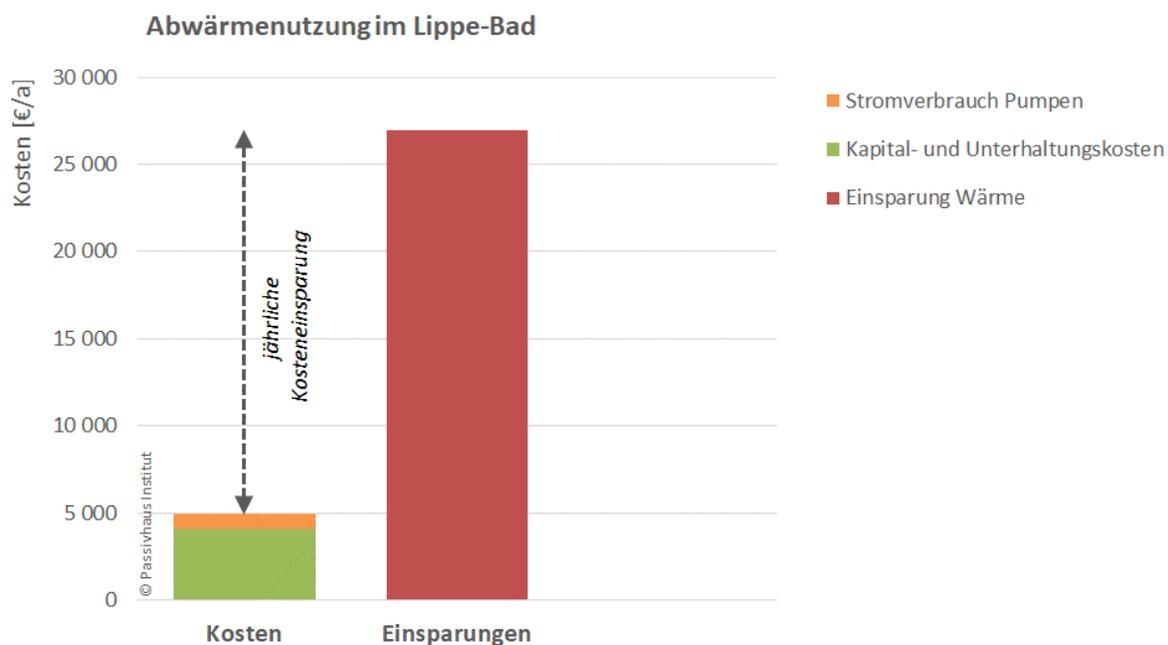


Abb. 30: Kosten-Nutzen-Analyse der BHKW Abwärmenutzung im Lippe-Bad.

Im Allgemeinen bieten Hallenbäder aufgrund des ganzjährigen Heizwärme- und Strombedarfs sehr vorteilhafte Bedingungen für den Einsatz von Blockheizkraftwerken (BHKWs). Die kombinierte Erzeugung an Strom und Wärme ist meist eine insgesamt sehr effiziente Art der Brennstoffnutzung. Dies kann dann z.B. mit Gas-Brennwertkesseln zur Spitzenlastdeckung ergänzt werden.

Im Lichte der Energiewende gewinnt Strom als erneuerbarer Energieträger immer mehr an Bedeutung und somit der Einsatz von Wärmepumpen als Energieerzeuger. Als Beitrag zur Deckung des Heizwärmebedarfs kann z.B. eine Außenluftwärmepumpe in Betracht gezogen werden. Als Besonderheit in Hallenbädern bietet sich zudem der Einsatz von Wärmepumpen zur Nutzung der Fortluftenthalpie an. Durch die hohen Temperaturen und Raumlufffeuchten besteht erhebliches Potential, Wärme aus der Fortluft der Schwimmhallenlüftung zurück-zu-gewinnen. Systeme dieser Art werden von verschiedenen Lüftungsherstellern angeboten. Die Betriebsweise der Lüftung (ggf. niedrigere Luftmengen in einem Passivhaus-Hallenbad) beeinflusst die erreichte Effizienz der Wärmepumpe. Es ist also unbedingt darauf zu achten, dass die einzelnen Komponenten hinsichtlich Dimensionierung und geplanten Betriebsweise in Einklang stehen.

Unabhängig vom gewählten System, ist es für eine effiziente Wärmeerzeugung wichtig, dass die Anlagen entsprechend der zu erwartenden Heizleistungen ausgelegt sind und die einzelnen Komponenten gut aufeinander abgestimmt sind. Durch adäquate Dämmung der Leitungen und Wärmetauscher sollten zudem die Verteil- und Übergabeverluste niedrig gehalten werden. Oft ist die endgültige Entscheidung dann letztendlich eine Frage der Investitionskosten und Präferenzen des Betreibers.



**Abb. 31:** Lippe-Bad Lünen: Erdgas und Biogas-BHKW (links) und Abgaswärmetauscher eines der BHKWs (rechts) macht "kostenlose" Abwärme nutzbar.

## 8 Inbetriebnahme und Betriebsführung

### 8.1 Messtechnik und GLT

Üblicherweise verfügt jedes Hallenbad über eine zentrale Gebäudeleittechnik (GLT), um diverse Prozesse und Regelungen der Haus- und Anlagentechnik zentral zu steuern. Die Aufgaben und Ausbaugrößen der Anlagen können dabei sehr unterschiedlich ausfallen. Generell lassen sich die auf solchen Anlagen erfassten, gespeicherten und ggf. visualisierten Messdaten auch zur Kontrolle, Dokumentation und Betriebsoptimierung nutzen.

Je nach Ausbauzustand und Funktion der Anlage sowie der Qualität der Sensoren und Zähler ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten: Je mehr Zähler und Messpunkte installiert werden, desto detaillierter sind die Möglichkeiten der Betriebsüberwachung. Allerdings sinkt damit auch die Übersichtlichkeit. Deswegen sollte schon während der Planungsphase die späteren Betriebskontrollen geplant werden. Geklärt werden muss, welche Messgrößen überwacht werden sollen. Dabei sollten auch die Darstellungsmöglichkeiten auf der GLT mit einbezogen werden, denn Messwerte sind nur von Nutzen, wenn Sie übersichtlich dargestellt und einfach ausgewertet werden können.

Sinnvolle Anzeigen auf der GLT:

- Strom- und Wärmemengenzähler: Verbrauchswerte (z.B. kWh/Monat)
- Monatsvergleiche (als Balkendiagramme im Jahresverlauf)
- Mittelwerte über verschiedene Zeiträume (Stunden-, Tages-, Wochenmittelwerte) um bei stark schwankenden Werten auch für größere Zeiträume lesbare Diagramme zu erhalten
- Darstellung der Nacht- bzw. Tagesmittelwerten bei Unterschiede im Tag-/Nachtbetrieb

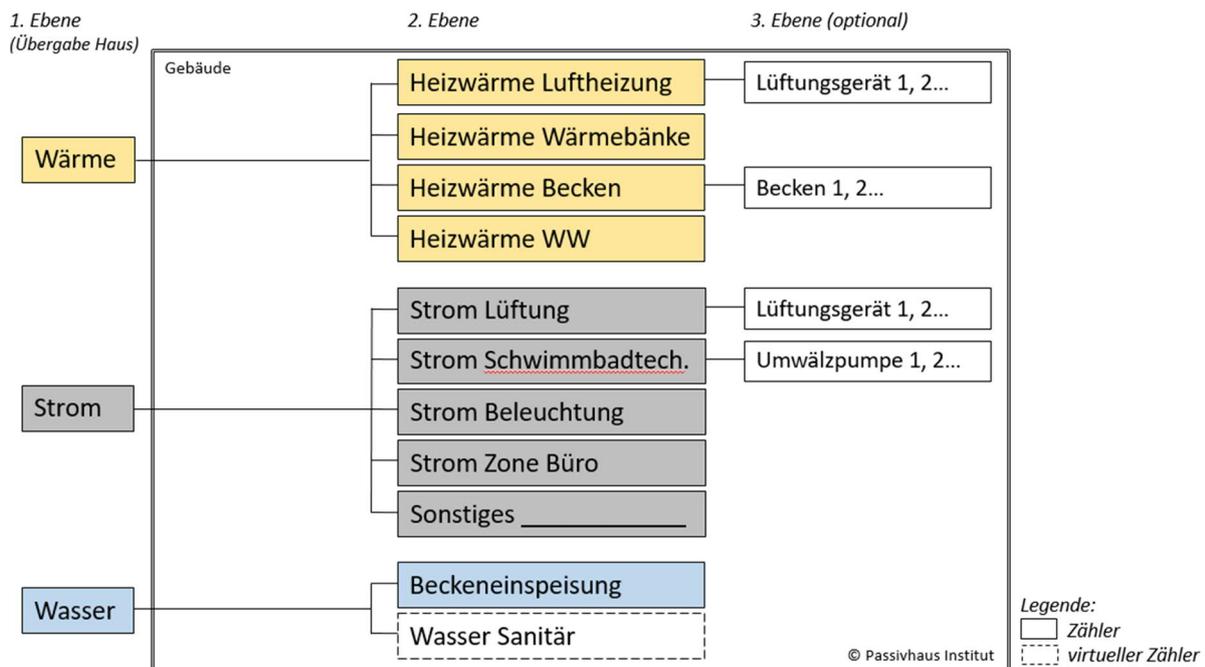


Abb. 32 Stromzähler in einem GLT-Schrank

## Aufteilung der Zähler

Als grundlegende Verbrauchsgrößen sollten die Gesamtbezugszähler für Wärme bzw. Gas, Strom und Wasser an der Gebäudegrenze gemessen werden. Aus Gründen der Abrechnung sind diese in der Regel bereits vorhanden. Es ist zu prüfen, ob diese mit vertretbarem Aufwand auf die GLT aufgeschaltet werden können.

Um einen Überblick bekommen zu können, welche Funktionen im Gebäude wieviel Energie benötigen, ist es sinnvoll Unterzähler für Wärme und Strom zu installieren (siehe Abb. 33: 2. Ebene). Beim Strom sollten vor allem die großen Verbraucher einzeln gemessen werden (Lüftung, Schwimmbadtechnik, evtl. Beleuchtung). Der restliche Stromverbrauch könnte aufgeteilt nach Zonen (Umkleiden, Büro usw.) erfasst werden. In den meisten Fällen wird es aufwendig sein, die Beleuchtung des Gesamtgebäudes zentral zu messen. Dann ist der Stromverbrauch für die Beleuchtung bei den Verbrauchswerten der einzelnen Zonen enthalten. In Einzelfällen ist es nicht möglich einen Bereich der 2. Ebene mit einem Zähler zu erfassen. In solchen Fällen können mehrere parallel angeordnete Zähler verwendet werden, deren Summe wiederum den Gesamtverbrauch abbildet.

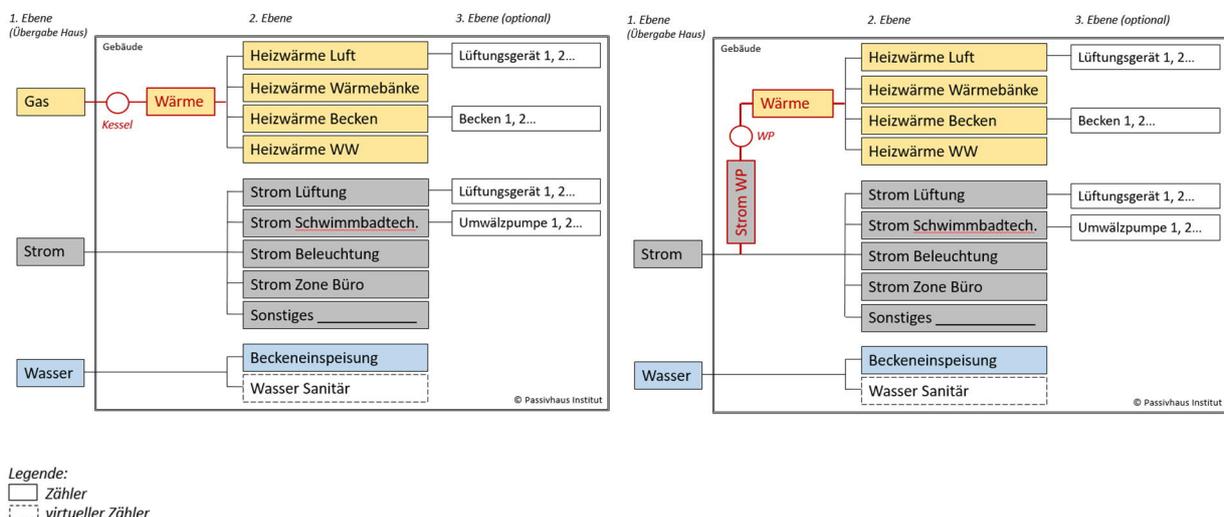


**Abb. 33: Vorschlag eines Zählerkonzeptes (Beispiel mit Fern-/Nahwärmeanschluss). Als "virtueller Zähler" wird hier ein berechneter Zählerwert bezeichnet: Z.B. die Differenz verschiedener Zähler.**

Für eine erfolgreiche Betriebsoptimierung und Fehlersuche im laufenden Betrieb empfiehlt es sich häufig noch weitere Unterzähler zu installieren, z.B. für den Stromverbrauch der einzelnen Lüftungsgeräte. Vorschläge hierzu sind in Abb. 33 in der 3. Ebene aufgeführt. Die Stadt Frankfurt empfiehlt in ihren Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen [Stadt Frankfurt 2014] generell alle Verbraucher, welche Jahreskosten von über 2.500,- € erwarten lassen, mit Unterzählern auszustatten.

Insbesondere beim Stromverbrauch gibt es in der 2. Ebene meist noch diverse Verbraucher, welche nicht gesondert gemessen werden. Es ist sinnvoll und hilfreich, spätestens während der Inbetriebnahme genau zu dokumentieren, um welche Verbraucher es sich dabei handelt. Im Idealfall kann also der Gesamtverbrauch eines Energieträgers direkt über einen Zähler oder als Summe von mehreren Zählern ausgewertet und verglichen werden.

Wird die Wärme im Gebäude selbst erzeugt (z.B. durch einen Gaskessel oder Wärmepumpe) sollte geklärt werden, ob der Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung während des Betriebs gemessen werden soll. Dementsprechend müssen weitere Zähler installiert werden (in Abb. 34 in Rot dargestellt). Mit Hilfe dieser Zähler kann die Performance des Gaskessels, der WP o.ä. kontinuierlich überprüft werden. Zur energetischen Optimierung des Badbetriebes sind dagegen die Zähler in der 2. Und 3. Ebene hilfreich.



**Abb. 34: Vorschläge von Zählerkonzepten:**

**Links: Beispiel mit Gaskessel; mit Hilfe eines weiteren Zählers (in Rot) kann der Wirkungsgrad des Kessels überwacht werden.**

**Rechts: Beispiel mit Wärmepumpe "WP"; mit Hilfe zwei weiterer Zähler (in Rot) kann die Arbeitszahl (AZ) der Wärmepumpe überwacht werden.**

Für die Aufstellung eines Zählerkonzeptes ist es wichtig, vorab zu klären, welche Ziele mit den Messungen verfolgt werden sollen.

## **Benötigte Sensoren**

Für eine bedarfsgerechte Regelung eines Hallenbades sind unterschiedliche Sensoren notwendig. Neben der Notwendigkeit der Sensoren für die Steuerung und Regelung können mit Sensoren Randbedingungen des Hallenbadbetriebes erfasst werden. Diese Randbedingungen sind grundlegend für die spätere Auswertung der gemessenen Energieverbräuche, weshalb der Auswahl der notwendigen Sensoren eine wichtige Aufgabe zukommt. Folgende Messpunkte sind empfehlenswert.

### Sensoren:

- Außen: Temperatur + Feuchte
- Raumtemperatur + -feuchte im Raum (falls als Regelgröße benötigt)
- Wassertemperatur
- CO<sub>2</sub> (falls als Regelgröße benötigt)
- Präsenzmelder (falls als Regelgröße benötigt)
- Tagelichtsensor (falls als Regelgröße benötigt)
- Lüftungsgeräte: Volumenströme (AB, ZU; ggf. zusätzlich Umluft oder FO)
- Lüftungsgeräte: Temperatur + Feuchte (AB, ZU; wenn Frostschutz erforderlich, dann FO)

### Besucherzahlen:

- Tagesweise erfassen

Empfehlenswert ist es, ein qualitativ hochwertiges mobiles Handgerät zur Messung der Temperatur und Feuchte (mind.  $rF \pm 3 \%$ , Temperatur  $\pm 0,5 \text{ K}$ ) anzuschaffen. Damit kann bei Bedarf in verschiedenen Räumen bzw. in unterschiedlichen Höhen und Bereichen der Halle nachgemessen werden. Damit kann z.B. ein driftender Feuchtesensor eines Lüftungsgerätes entdeckt und in Folge dessen zu hohe oder niedrige Volumenströme korrigiert werden.

## **Anforderungen an Zähler und Sensoren**

Nach der Festlegung der benötigten Sensoren und Zähler sollte zusätzlich die jeweilige Qualität festgelegt werden. Dazu ist die Überlegung, welches Ziel mit der Messung mittels des Sensors bzw. Zählers erreicht werden soll, grundlegend: Sind relativ grobe Auflösungen und Genauigkeiten ausreichend oder sollen z.B. Verbrauchswerte (wie Heizwärme) anhand der Messdaten (z.B. Lufttemperatur und -feuchte) bewertet werden? Danach richten sich die Anforderungen an die Qualität der Sensoren und Zähler. Üblicherweise sind die Standardsensoren von GLT-Anlagen nicht ausreichend für weitergehende Fragestellungen und Bewertungen. Die Hersteller verfügen häufig aber auch über Sensoren mit höheren Qualitäten, die dann gefordert werden können. Werden höhere Genauigkeiten von Sensoren benötigt, ist nicht nur die Qualität des Sensors entscheidend sondern auch die Montageposition und -art (z.B. Höhe und Aufputz oder Unterputz) sowie ggf. die Kabellänge (bei Spannungssignalen). Diese Punkte müssen mit dem Fachplaner und Hersteller besprochen werden.

Tab. 4: Übersicht zu Anforderungen und Empfehlungen an Zähler und Sensoren

Messgröße	Einheit	Spezifikation	Auflösung (Anzeige)	Empfehlung Messgenauigkeit
Wärmemenge	kWh	Wärmemengenzähler (Datenausgabe von Wärmemenge möglichst auch VL- & RL-Temp. sowie Volumen) (Abrechnungszähler)	max. 1 kWh	Klasse C
Stromverbrauch	kWh	Keine gesonderte Anforderung (Abrechnungszähler)	max. 0,1 kWh	Klasse 2
Gaszähler	m <sup>3</sup>	Keine gesonderte Anforderung (Abrechnungszähler)	max. 10 Liter/ Impuls	< 0,5%
Volumen (Wasser)	Liter	Keine gesonderte Anforderung (Abrechnungszähler)	je nach Baugröße	je nach Baugröße
Volumenstrom (Luft)	m <sup>3</sup> /h	Von der Messung im Lüftungsgerät (AU/FO Ventilatoren) Über ReKu -> vom Lüftungsgerät gemessen, regelmäßige „Nullung“ (täglich für Detailmonitoring, sonst wöchentlich)	angepasst an Messaufgabe	angepasst an Messaufgabe
Lufttemperatur	°C	Sensor-Typ: PT 100 (bevorzugt, altert nicht) Kalibrierung angeraten	max. 0,05 K	max. +/- 0,2 K
Oberflächentemperatur	°C	Sensor-Typ: PT 100 (bevorzugt, altert nicht) Kalibrierung angeraten	max. 0,05 K	max. +/- 0,2 K
Rel. Luftfeuchte	%	Empfehlung: Kapazitiv Kalibrierung angeraten	0,10%	max. +/- 3 % (bei 23°C)

Während der gesamten Betriebsphase müssen die Sensoren und Zähler regelmäßig auf ihre Funktion hin überprüft werden. Bei Abrechnungszählern sorgt der Versorger oder Netzbetreiber für die Einhaltung der Eichfristen der Messgeräte. Auch die internen Unterzähler sollten diesbezüglich überprüft und ggf. ausgetauscht werden. Für Sensoren ist es sinnvoll bei der Wartung der GLT-Anlage eine Funktionskontrolle der Sensoren durchführen zu lassen. Bei gewünscht höheren Anforderungen ist ggf. auch eine Kalibrierung der Sensoren notwendig (Abgleich mit einem höherwertigem Messgerät). Dies ist nicht bei allen Sensoren mit vertretbarem Aufwand möglich. Bei CO<sub>2</sub>-Sensoren sind dazu Prüfgase notwendig, was einen sehr hohen Aufwand darstellt. Auf der anderen Seite ist bei zahlreichen dieser Sensoren eine starke zeitliche Drift feststellbar. Werden mit dem Signal die Lüftungsgeräte gesteuert, führt dies ggf. zu abweichenden Luftqualitäten oder zu hohen Luftwechselraten und damit verbunden zu unnötig höheren Stromkosten. Bei CO<sub>2</sub>-Sensoren ist es daher angeraten sog. "selbstkalibrierende" Sensoren (mit interner doppelter Messstrecke) zu verwenden.

## **Gebäudeleittechnik (GLT)**

Im Hinblick auf die spätere Betriebskontrolle sollte in der Planungsphase bereits abgewogen werden welche Messpunkte/Informationen auf der GLT aufgeschaltet werden, welche aufgezeichnet werden und welche davon vom Nutzer geändert werden können. Für spätere Auswertungen und Bewertungen von Verbrauchsdaten sollten viele Messwerte nicht nur als Momentanwert erscheinen sondern auch deren zeitlicher Verlauf abrufbar sein. Als Hilfestellung werden hier einige Größen aufgelistet, die häufig nicht als Zeitverlauf erfasst werden, was für eine Auswertung aber hilfreich wäre:

- Umwälzvolumenstrom
- Frischwasserzugabe Becken
- Wassertemperatur
- Klappenstellung der Lüftungsgeräte
- Reglervorgabe aus der Lüftungsgeräteprogrammierung (z.B. Heizen, Entfeuchten)

Dabei ist es zentral und unerlässlich, die diversen eingestellten Sollwerte zu dokumentieren. Nur so ist eine Betriebsoptimierung überhaupt möglich. Die Sollwerte müssen nicht zwingend im zeitlichen Verlauf festgehalten werden. Die Dokumentation in zumindest gesicherter Protokollform ist allerdings auf jeden Fall notwendig. Dies gilt für jede durchgeführten Änderungen eines Sollwertes. Werden die Werte digital in der GLT dokumentiert, ist darauf zu achten, dass die Werte z.B. bei Updates des GLT-Programms nicht gelöscht werden können.

Für die spätere Nutzung der GLT zur Betriebsführung sowie zur energetischen Betriebskontrolle sind unmissverständliche und prägnante Bezeichnungen der Messpunkte essentiell. Bei der Wahl der Bezeichnungen ist es hilfreich, wenn alle Seiten (TGA-Planer, Fachfirma, GLT-Programmierer und Betreiber) dabei zusammenwirken und sich auf eindeutige gleiche Bezeichnungen verständigen.

Voreingestellte Diagramme ("Rezepte"), die im Betrieb immer wieder für neue Zeiträume aufgerufen werden können, erleichtern die regelmäßige Kontrolle des Energieverbrauchs durch den Betreiber. Dies wird vielleicht sogar ausschlaggebend sein, ob solch eine Kontrolle überhaupt durchgeführt wird (Beispiel für ein Diagramm: Abb. 39 auf Seite 56).

## 8.2 Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme der Gebäudetechnik des Hallenbades dient dazu, zu prüfen, ob die geplanten Funktionen in der Realität funktionieren und die entsprechende Leistung erbringen. Durch unterschiedliche Tests wird die Technik im Betrieb mit allen Wechselwirkungen innerhalb des kompletten Bades überprüft. Darüber hinaus müssen bei der Inbetriebnahme konkrete Einstellungen für das Bad vorgenommen und justiert werden. Dafür werden die Sollwerte festgelegt und dabei ggf. angepasst.

Für den Bauherrn ist die Inbetriebnahme wichtig, um zu überprüfen, ob alle beauftragten und notwendigen Funktionen vorhanden und anwendbar sind. Dies ist auch genau der Zeitpunkt, das Wissen zur Technik und zu allen Einstellungen, die von den Fachfirmen vorgenommen wurden, an den Betreiber weiter zu geben. Diese Wissensvermittlung spielt für den Betrieb, die Betriebsoptimierung und damit für die zukünftigen Betriebskosten (Energie, Wartung usw.) sowie für die Behaglichkeit eine entscheidende Rolle! Wichtig ist, dass die ausführenden Firmen (mit Wissen über die eingebaute Technik inkl. der Programmierung), die Planer (mit Wissen über die geplanten Betriebszustände/Regelungen) und die Betreiber (zukünftige Verantwortung für den Betrieb) bei der Inbetriebnahme gut zusammen arbeiten. Ausreichend Zeit für die Inbetriebnahme sollte deswegen auf allen Seiten von vornherein eingeplant werden. Diese Zeit zahlt sich durch einen reibungslosen Betrieb und der dann möglichen Betriebsoptimierung mehrfach aus. Empfehlenswert ist die Bedeutung der Inbetriebnahme bereits in der Ausschreibung zu betonen und kostenseitig angemessen zu berücksichtigen. Dabei kann es helfen die Anforderungen und den Ablauf genau zu beschreiben (z.B. Forderungen von mehreren Terminen).

Im Folgenden sind Punkte zur Abnahme und Inbetriebnahme hinsichtlich des Energieverbrauchs und eines energieeffizienten Betriebes aufgeführt. Die Prüfung hinsichtlich anderer Bereiche wie Sicherheit, Wasserhygiene, Arbeitsschutz usw. sind nicht Bestandteil dieser hier zusammengestellten Auflistung.

### **Vorbereitung**

Alle drei beteiligte Parteien (Planer, Ausführende, Betreiber) sollten die Inbetriebnahme gut vorbereiten. Die Inhalte und die Aufgabenverteilung sollten dabei vorher abgesprochen werden.

- Planer: Technische Beschreibungen, Vorgaben aus der Ausschreibung, Sollwerte, Regelkonzepte, Listen für Einregulierung, Revisionspläne, Checkliste für die Inbetriebnahme
- Fachfirmen: Betriebsanleitungen, technische Datenblätter, Revisionspläne, voreingestellte Diagramme auf der GLT
- Betreiber: Sollwerte, Betriebszeiten, notwendiges Personal

## Lüftung

- Einregulierung der Lüftungsgeräte; sind die Geräte in Balance (Außen- und Fortluft)? (Die Hallen können auch mit leichtem Unterdruck betrieben werden).
- Filter: Passende Filterstufen entsprechend der Planung? Sauber?
- Kanäle: Dämmung der Zuluft- und Abluftkanäle entsprechend der Planung?
- Kanäle: Lückenlose Dämmung der Luftkanäle (Fort- und Außenluft) zwischen Lüftungsgerät und thermischer Hülle?
- Fort- und Abluftgitter: Freier Querschnitt entsprechend der Planung ausgeführt?
- Dichtheit der Klappen für die Außen- und Fortluftkanäle prüfen
- Einregulierung des Kanalnetzes und der Zu- und Abluftventile: Ziel ist es, die Luftmengen entsprechend der Planung zu verteilen, d.h. in der Regel sind mehrere Messreihen notwendig (iteratives Vorgehen). Wenn bei großen Kanalnetzen nicht jedes Ventil gemessen werden kann, sollten strangweise Messungen durchgeführt werden, um zu überprüfen, ob die einzelnen Bereiche mit den geplanten Luftmengen durchströmt werden. Die Einregulierung sollte nicht mit den maximalen sondern den mittleren Volumenströmen durchgeführt werden. Dazu müssen Listen mit entsprechenden Angaben von den Planern vorbereitet sein.
- GLT Betriebsüberwachung: voreingestellte Diagramme ("Rezepte") zur kontinuierlichen Betriebsüberwachung testen/erstellen (Volumenströme, Regler Heizen, Entfeuchten, Kühlen, Regelgrößen wie Feuchte und Temperatur, Stromverbrauch).
- Überprüfen der eingestellten Sollwerte (Temperatur, Feuchte, Mindestluftwechsel)
- Sollwerte dokumentieren
- Zeitprogramm: Abgleich zwischen Planer und Betreiber
- Frostschutz: Überprüfen der Grenzwerte (Dies ist vor allem interessant für kältere Nebenzonen. Beispiel: Wenn statt +3 °C eine Grenztemperatur von -3 °C gewählt wird, kann die Stundenanzahl des Frostschutzbetriebes auf ca. ein Viertel reduziert werden) [AkkP 52]
- Zusatztermin: Da die Regelung der Lüftung komplex ist und von verschiedenen Nutzungen des Bades beeinflusst wird, sollte ein zweiter zusätzlicher Inbetriebnahmetermin eingeplant werden, um den Betrieb anhand der zurückliegenden Zeitspanne zu überprüfen und ggf. anzupassen bzw. zu optimieren. Der Termin sollte so angesetzt werden, dass die Filtertechnik bereits eine kontinuierlich gute Wasserqualität liefert und das Bad mindestens ein oder zwei Monate normal genutzt wurde.
- Messung der Luftdichtheit des Kanalnetzes (mindestens Klasse B nach DIN EN 16798-3:2017-11)
- Stromeffizienz: Ermittlung bei Nennvolumenstrom durch Messung der elekt. Leistungsaufnahme des Lüftungsgerätes. Die so errechenbare Stromeffizienz (Leistung geteilt durch Nennvolumenstrom) gibt Hinweise zur Effizienz des Lüftungsgerätes im Zusammenhang mit den vorhandenen Druckverlusten.

## Schwimmbadtechnik

- Wasseranschluss am Hauseingang erstmal frei laufen lassen und das Wasser beproben. Erst wenn die Wasserqualität gut ist, die Leitungen des Gebäudes mit dem Wasseranschluss verbinden.
- Die Regelung des bedarfsgeführten Umwälzvolumenstroms überprüfen.
- Falls vorhanden, den Betrieb und die Regelung der Internumwälzung prüfen.
- Die Beckendurchströmung mit Hilfe von Färbeversuchen überprüfen. Den Versuch sowohl bei Voll- als auch bei Teillast der Umwälzung durchführen (Einsparpotential sichern).
- Das Zeitprogramm und die händische Schaltung von Attraktionen überprüfen.
- Wenn möglich die Leistung der Umwälzpumpe mit der Pumpenkennlinien bei geplanter Förderhöhe und Umwälzvolumenstrom abgleichen.
- Der Stromverbrauch der Schwimmbadtechnik oder der Umwälzpumpen sollte separat erfasst werden. Dazu sollten geeignete Diagramme auf der GLT zur Visualisierung voreingestellt werden. Diese dienen dann zur kontinuierlichen Überwachung des Stromverbrauchs der Schwimmbadtechnik im Betrieb. Der Betreiber sollte bei der Inbetriebnahme in Funktion, Aussage und Eingriffsmöglichkeiten unterrichtet werden.
- Sollwerte dokumentieren.

## Warmwasser Duschen

- Dämmung der Speicher: Lückenlose Ausführung auch am Fußpunkt und Anschlußstellen; zur Überprüfung eignet sich ggf. eine Thermografieaufnahme.
- Dämmung der Wasserleitungen: Lückenlose Ausführung; auch kalte Leitungen müssen in warmen Bereichen zum Schutz vor Legionellen gedämmt sein. Bei kälteren Leitungen diffusionsdichte Dämmung verwenden um Kondensat zu vermeiden.
- Duschen: Eventuell Durchfluss kontrollieren durch Auslitern (Wasser in Eimer auffangen, Zeit stoppen)
- Selbstschließende Armaturen: Geeignete Zeiteinstellung überprüfen
- Bei intermittierendem oder bedarfsgerechtem Betrieb: Regelung der Pumpen und Frischwasserstationen überprüfen



**Abb. 35: Lippe-Bad: Auslitern der Duschen**

## Heizen und Kühlen

- Zeitprogramm und Regelung überprüfen
- Hydraulischen Abgleich durchführen
- GLT Betriebsüberwachung: voreingestellte Diagramme ("Rezepte") zur kontinuierlichen Überwachung des Heizwärmeverbrauchs auf der GLT testen/erstellen (Heizung Becken, Heizung Räume, ggf. Kühlung Becken, ggf. Kühlung Räume). Es sollte leicht zu erkennen sein, wenn gleichzeitig geheizt und gekühlt wird, ausgenommen davon sind Kaltbecken oder kritische Serverräume o.ä. Diese sollten dennoch in einem (separaten) Diagramm für die kontinuierliche Überwachung dargestellt werden.
- Verschattung: Überprüfen, dass der Sonnenschutz hochgefahren wird bzw. entsprechende Meldung erscheint, wenn in den Gebäudeteilen geheizt wird (Ausnutzung Solarstrahlung).
- Pumpen im Teillastbetrieb: Regelung ohne Drosselung durch Klappen?
- Heizregister Lüftung: Ausreichende Dimensionierung?
- Heizungsregelung: Vorlauftemperatur nicht nach Außentemperatur regeln (Notfalls die Heizkurve extrem flach einstellen)
- Sollwerte dokumentieren

## Passive Kühlung für kältere Nebenzonen

- Beschreibung der Funktionsweise: Fensterlüftung (manuell oder motorisch), Abluftbetrieb, Lüftungsanlage mit Sommerbypass, geöffnete Zwischentüren
- Beschreiben der Regelstrategie; bei manuellen Maßnahmen sicherstellen, dass diese durchgeführt werden
- Festlegen von begrenzten Kühl-Zeiträumen im Sommer (gesperrt für den Winter)



**Abb. 36: Bambados: Sauna**

## Beleuchtung

- LED: Eignung der Leuchtmittel überprüfen (passend zu den hohen Raumtemperaturen; Lebensdauer temperaturabhängig)
- Präsenzmelder o.ä. mit eingestellte Nachlaufzeiten und Empfindlichkeiten prüfen
- Gruppenschaltungen zur optimalen Tageslichtausnutzung prüfen (Abgleich mit der Planung)
- Eingestellte Beleuchtungsszenarien (z.B. Standardbetrieb, Wettkampfbeleuchtung, Putzbeleuchtung) überprüfen
- Abgleich der eingestellten Zeitprogramme mit den tatsächlichen Nutzungszeiten
- Beleuchtungsregelung: Einweisung des Betriebsleiters durch die ausführenden Firmen in die Bedienung
- Stromverbrauch Beleuchtung: Bei separater Erfassung Voreinstellung von geeigneten Diagramme auf der GLT zur kontinuierlichen Überwachung



Abb. 37: links: Sauna im Bambados; rechts: Umkleide im Lippe-Bad

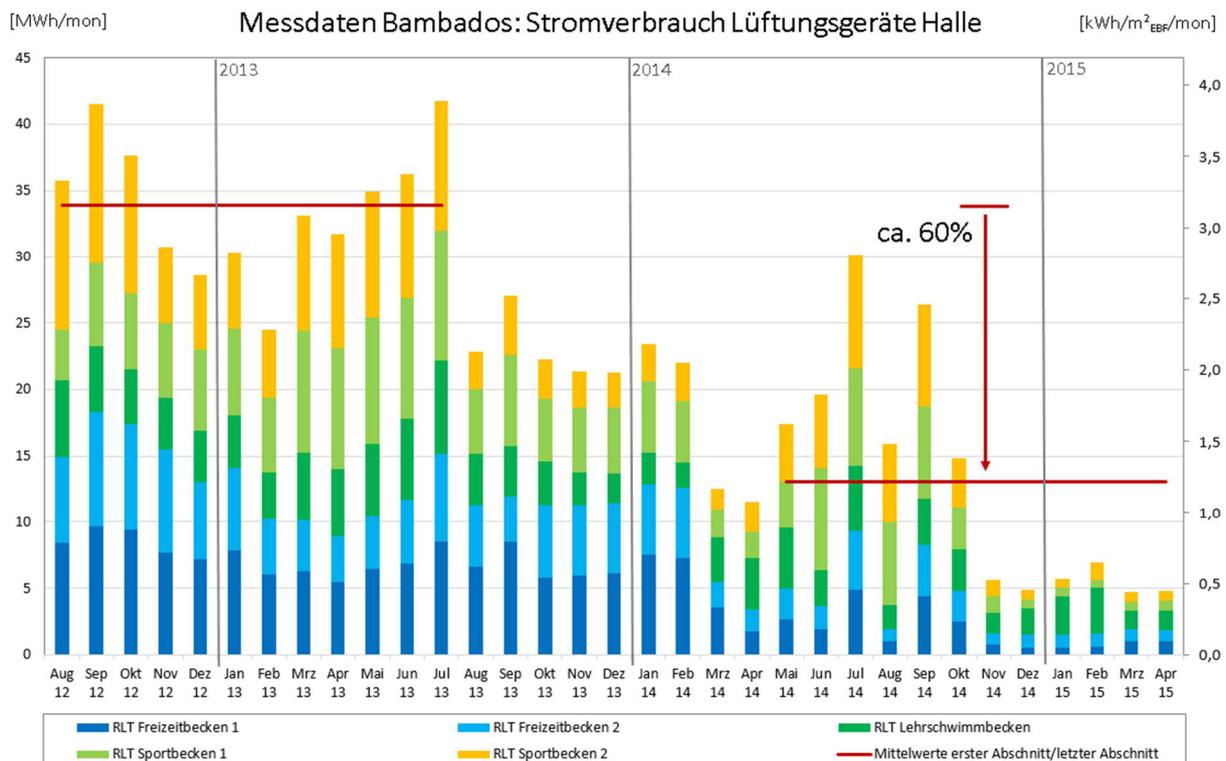
## Dokumentation der Inbetriebnahme

- Dokumentation, was bei Inbetriebnahme geprüft wurde (z.B. Checkliste anhand der Punkte in diesem Kapitel)
- Einregulierungsprotokolle
- Sammlung aller Betriebsanleitungen und Produktdatenblätter (zugänglich halten)
- Dokumentation von Programmierungen (textliche Erklärung des Programms und Flussdiagramme zum Nachvollziehen durch den Betreiber) inklusive eingestellten Sollwerten im Programmcode
- Eingestellte Sollwerte auf der GLT oder sonstigen Geräten
- Dokumentation, welche Diagramme/Listen bei der Inbetriebnahme voreingestellt wurden und zur kontinuierlichen Betriebsüberwachung benutzt werden sollen
- Schulungsmaterial für das Personal vorbereiten

### 8.3 Betriebsführung und Betriebsoptimierung

Hallenbäder sind komplexe technische Gebäude, deren Betrieb von Fachleuten geführt werden muss. Es sollte einen verantwortlichen Betriebsleiter geben, der den Gesamtüberblick und die Befugnis hat, Betriebsanpassungen umzusetzen. Ob und wie weitere Verantwortlichkeiten delegiert werden, hängt u.a. von der Größe des Bades ab. In jedem Fall ist es sinnvoll, Einführungsschulungen für das Personal durchzuführen. Neben dem Betriebsleiter können dazu auch die ausführenden Fachfirmen hinzugezogen werden. Es ist sinnvoll dies bereits in der Ausschreibung zu berücksichtigen.

Für einen erfolgreichen Betrieb müssen verschiedene Ziele kombiniert werden: z.B. Sicherheit, Kundenzufriedenheit, Dauerhaftigkeit und niedrige Betriebskosten (Energie + Personal). Dieses Kapitel fokussiert auf die Kontrolle des Energieverbrauchs. Diese sollte in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden, damit eine Zunahme des Energieverbrauchs ohne erwünschten zusätzlichen Nutzen schnell erkannt und Abhilfe geschaffen werden kann. Darüber hinaus sollte (gerade in den ersten Jahren) die Betriebsführung eine Betriebsoptimierung zum Ziel haben. Die gewünschte Nutzung sollte bei möglichst niedrigem Energieverbrauch erfüllt werden. Das Potential einer Betriebsoptimierung kann mit geringem monetärem Einsatz genutzt werden und zu großer Betriebskosteneinsparung über Jahre hinweg führen. Der Einsatz besteht meistens aus Arbeitsstunden des Betriebsleiters und ggf. kleinen investiven Verbesserungen. Im Hallenbad Bambados konnte z.B. nur durch Änderungen in der Regelung der Stromverbrauch aller Lüftungsgeräte signifikant um ca. 60 % reduziert werden (siehe Abb. 38).



**Abb. 38: Beispiel Hallenbad Bambados: Reduzierung des Stromverbrauchs durch Betriebsoptimierung (ohne zusätzliche Investitionen)**

Die Betriebsoptimierung ist sehr wirtschaftlich, da sie oft ohne weitere Investitionen (bauliche Maßnahmen) auskommt. Die notwendige Technik ist in der Regel bereits vorhanden, wird aber nicht entsprechend genutzt. Trotzdem ist die Optimierung kein Selbstläufer, da die Betriebsleiter in der Regel viele andere, zum Teil prioritäre Aufgaben erfüllen müssen (Einhaltung der hygienischen Anforderungen, Organisation des Personals). Ansätze, die bei der Betriebsoptimierung helfen, sind z.B.:

- Schulung des Personals
- Hilfsmittel wie z.B. voreingestellte Kontrolldiagramme ("Rezepte") auf der GLT, Checkliste (siehe Abb. 40 und Abb. 41), hochwertiges mobiles Messgerät (relative Feuchte)
- feste oder zusätzliche Zeit bzw. Personal für die energetische Betriebskontrolle (inkl. Dokumentation)
- Aufklärung über die beachtlichen finanziellen Höhen der realisierbaren Einsparungen
- evtl. Motivation durch Teilhabe an der Kosteneinsparung
- Festlegung von Kontrollrhythmen
- regelmäßiger Austausch im Team und Abfragen von Ideen zur Optimierung

### **Vorrausschauende Betriebsführung**

Um eine vorrausschauende Betriebsführung zu realisieren ist es grundlegend, Zusammenhänge zu verstehen und ein Verständnis zu entwickeln, welche Betriebsweisen/Ereignisse zu erhöhtem Energieverbrauch führen. Dabei ist es hilfreich auch die Größenordnung des Energieverbrauchs durch eine Änderung einschätzen zu können, um Aufwand und Nutzen einer Maßnahme abwägen zu können.

Folgende Beispiele tragen in der Regel zu einem erhöhten Energieverbrauch bei:

- Wärmeverluste nach außen (z.B. geöffnetes Tor/Fenster im Technikeller)
- Wärmeverluste zu kälteren Temperaturzonen (z.B. dauerhaft offene Tür zwischen warmen Bereich und kälterem Büroteil oder zu gekühltem Küchen- oder Sportbereich)
- Verschattung bei gleichzeitigem Heizbetrieb (z.B. heruntergefahrener Sonnenschutz)
- Erhöhte Druckverluste in Lüftungskanälen (z.B. halbverschlossene Außenluftklappen, verschmutzte Filter)
- Erhöhte Druckverluste in Wasserkreisläufen (z.B. Drosselklappen, verschmutzte Filter)
- Erhöhte Verdunstung (z.B. Schwallduschen und Sprudelliegen ohne Nutzer)
- Erhöhter Stromverbrauch (z.B. Betrieb der Rutschenpumpen ohne Nutzer)
- Unnötig hohe Lüftungsvolumenströme
- Zu häufige Rückspülungen der Filter
- Hohe Temperatursollwerte und niedrige Feuchtesollwerte

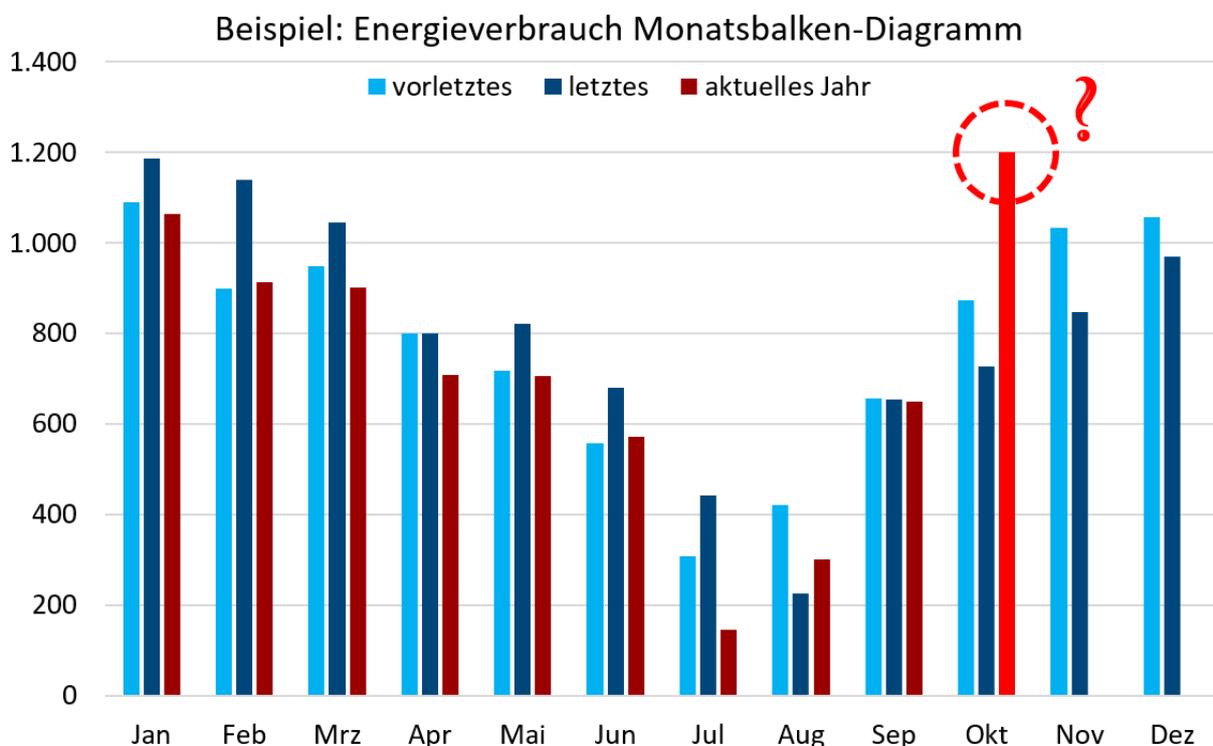
Hilfreich ist es, wenn Mitarbeiter immer wieder sensibilisiert werden, so dass alle aufmerksam den täglichen Betrieb begleiten und Auffälligkeiten entgegenwirken können.

## Kontrolle des Energieverbrauchs

Durch regelmäßige Kontrolle des Energieverbrauchs können ungewollte Veränderungen und ggf. damit verbundene Kostenzunahmen aufgedeckt werden. Die Kontrolle kann unterschiedlich detailliert ausgeführt werden. Am Wichtigsten ist ein Überblick über den Gesamtenergieverbrauch. Aus diesem Grund beginnt die Analyse mit den zentralen Verbrauchszählern an den Hausanschlüssen. Anschließend kann man bei unerwünschten Veränderungen Schritt für Schritt weiter ins Detail gehen und die Verbräuche und Zusammenhänge analysieren.

Zunächst sollte der Energiebezug (Strom, Wärme, Gas, Wasser) ausgewertet werden. Dazu eignet sich eine Darstellung von Monatsverbräuchen im Jahresverlauf, so dass der Stromverbrauch im Januar mit dem Stromverbrauch des Januars im Vorjahr verglichen werden kann (siehe Abb. 39 als Beispiel). Auf diese Weise kann leicht gesehen werden, ob es wesentliche Abweichungen gibt. Außerdem kann beurteilt werden, ob der Verbrauch im Jahr konstant ist oder eine jahreszeitliche Schwankung aufweist (z.B. geringerer Raumheizwärmeverbrauch im Sommer als im Winter).

Eine genauere Beurteilung der Verbräuche ist möglich, wenn Strom- und Wärmeverbrauch nach Nutzungsbereichen mit Unterzählern separat erfasst werden (z.B. Schwimmhalle, Umkleiden usw.). Auch hier empfiehlt sich eine Darstellung wie oben beschrieben. Gibt es Auffälligkeiten oder Abweichungen sollte zu genaueren Darstellungen, wie Wochen- oder Tagesverläufen gewechselt werden. So kann man sich bei Auffälligkeiten in den einzelnen Bereichen Schritt für Schritt in die Tiefe vorarbeiten.



**Abb. 39:** In einer Darstellung von Monatsverbräuchen im Jahresverlauf sind Änderungen leicht zu erkennen; Auswertung: Alle drei Jahre weisen jahreszeitliche Schwankung auf; der aktuelle Monat (Okt.) zeigt eine deutliche Auffälligkeit. Hier lohnt es sich nach der Ursache zu suchen.

Für die eigentliche Analyse des Energieverbrauchs und der Zusammenhänge können dann weitere Messwerte hilfreich sein. Wenn man sich z.B. für ein Lüftungsgerät die Regler (Entfeuchten, Heizen usw.) aus der Programmierung anzeigen lässt, kann leicht nachvollzogen werden, welche "Aufgabe" das Gerät zu einem bestimmten Zeitpunkt hatte. So kann z.B. nachvollzogen werden, wie häufig der Regler Heizen im Tagesverlauf aktiv ist, ob er an einem warmen Frühlingstag überhaupt aktiv wird. Unerwünscht wäre beispielsweise eine Heiz- und Kühlanforderung in kurzem zeitlichem Abstand (Takten) oder in zwei benachbarten Bereichen ohne ausreichende thermische Trennung. Auch Temperatur- oder Feuchteverläufe sowohl im Inneren des Gebäudes als auch die Außenbedingungen können für die Auswertung hilfreiche Grundlage sein.

Nach der Inbetriebnahme eines Hallenbades, sollten die Daten für mindestens ein Jahr (nach Abschluss der Restarbeiten) im Detail analysiert werden, um Wechselwirkungen im Betrieb zu verstehen und Optimierungsmöglichkeiten aufzudecken. Nach erfolgreich abgeschlossener Betriebsoptimierung reicht es, mit wenig Aufwand monatliche Vergleiche zu ziehen. Um Abweichungen beurteilen zu können, ist es wichtig einen Betriebskalender zu führen, in dem Änderungen, Wartungen, besondere Nutzungen usw. dokumentiert werden. Zeigen sich bei der Kontrolle der monatlichen Energieverbräuche Abweichungen, kann im Betriebskalender nachgesehen werden, ob es nachvollziehbare Ursachen für diese Abweichungen gibt (z.B. Änderung der Sollwerte). Das erspart Zeit bei der Suche nach möglichen Fehlern, falls z.B. bei einer Wartung ungewollte Einstellungen vorgenommen wurden.

Sehr effektiv ist es, Zeiträume festzulegen, in denen die anfängliche Betriebsoptimierung in kleinerem Umfang wiederholt wird. Dies dient dazu, den Istzustand zu hinterfragen und weiteres Optimierungspotential zu identifizieren. Eventuell sind festgelegte Zeiten oder Sollwerte überholt. Wenn das gesamte Personal miteingebunden wird, können zusätzliche Rückmeldungen aus dem alltäglichen Betrieb berücksichtigt und weitere Ideen integriert werden, die dem Optimierungsprozess dienen. Durch diese Einbindung steigt die Motivation des Personals, bei der Umsetzung und Kontrolle von Maßnahmen zusammen zu wirken.

Die energetische Kontrolle deckt nicht nur höhere Energiekosten auf, sondern kann auch weitere positive Effekte auf den Betrieb haben. Es kommt immer wieder vor, dass Auffälligkeiten im Energieverbrauch auch auf Störungen im Betrieb hinweisen, die z.B. Folgen bzgl. Hygiene oder Dauerhaftigkeit haben können. So gibt z.B. ein hoher Stromverbrauch auf Grund verschmutzter Filter Hinweise auf evtl. verminderte Reinigungsleistung.

## Checkliste

Die zur Verfügung gestellte Checkliste (auch als Exceldatei auf [www.passiv.de](http://www.passiv.de) verfügbar) dient als Hilfsmittel zur Betriebskontrolle und -optimierung. Sie kann an das jeweilige Bad angepasst und ergänzt werden. Die Liste gliedert sich in drei Teile:

- **A: Energiemanagement** (siehe Abb. 40): Klärung des allgemeinen Ablaufs sowie Festlegung von Terminen und Zuständigkeiten
- **B: Energieverbrauchskontrolle und Betriebsoptimierung** in 2 Stufen (siehe Abb. 41): Dieser Teil der Checkliste eignet sich für eine monatliche Kontrolle, wenn das Bad schon länger in Betrieb ist und Verbrauchswerte zum Vergleich vorliegen.
- **C: Detaillierte Analyse in Teilbereichen:** Zeigt die monatliche Kontrolle Auffälligkeiten, kann im Teil C der entsprechende Bereich für eine genauere Untersuchung zu Hilfe genommen werden. Teil C eignet sich auch für eine Betriebsoptimierung (ohne Abb.).

A Energiemanagement		Checkliste Hallenbad: jährlich
<b>Schulung Personal</b>		
		wann? Welche Schwerpunkte? Teilnehmer?
- Regelmäßige Schulungen des Personals (Um eine vorrausschauende Betriebsführung zu realisieren ist es grundlegend, Zusammenhänge zu verstehen und ein Verständnis zu entwickeln, welche Betriebsweisen/Ereignisse zu erhöhtem Energieverbrauch führen)		
<b>Führung eines Betriebskalenders</b>		
		Wer führt? Wer meldet? Wer kann einsehen?
- Betriebsänderungen, geänderte Sollwerte, besondere Nutzung, Reparaturen, Wartungen, Ausfälle/Stillstandszeiten, Schäden, neue Geräte, Änderung von Sollwerten/Zeiten		
- Gründe der Änderungen notieren		
- Notieren, ob dadurch Änderungen im Energieverbrauch zu erwarten sind (Strom, Wärme, Tag, Nacht, Mehrverbrauch, Minderverbrauch?)		
<b>Zeitpläne</b>		
		Termine, Zeitbedarf, Zuständigkeit?
- regelmäßige Energieverbrauchskontrolle (Strom, Wärme, Wasser, Gas)		
- Optimierungszyklen (Einholen von Ideen, Austausch im Team, genaue Analyse des Betriebs und des Energieverbrauchs)		
- Filterwechsel Lüftungsgeräte		
- Schwimmbadtechnik: Spülzeiten, -menge und -intervall kontrollieren		
- Haar- und Faserfänger reinigen		
- Sensoren (Temperatur, Feuchte, Präsenz) warten/kalibrieren		
- selbstkalibrierende CO <sub>2</sub> -Sensoren regelmäßig über GLT prüfen (Funktionsprüfung)		

Abb. 40: Teil A der Checkliste dient der Festlegung von Terminen und Zuständigkeiten

Die Checkliste geht davon aus, dass viele Zähler und Messpunkte auf die GLT aufgeschaltet und im Zeitverlauf analysiert werden können. Ist das nicht der Fall, können händische Ablesungen von Zählern weiterhelfen. Bleibt die Ursache eines Energieanstieges dennoch unerklärbar, können weitere temporäre Messungen in dem Bereich veranlasst, eine Aufschaltung von weiteren Messpunkten auf die GLT überlegt oder genauere Untersuchungen an Fachfirmen vergeben werden. Nicht alle Fragen der Checkliste können vom Betriebsleiter sofort beantwortet werden. Wenn sie aber relevant erscheinen, kann eine genauere Überprüfung in die Wege geleitet werden.

Die Checkliste könnte auch für ein durchzuführendes Energieaudit hilfreich sein.

**B Energieverbrauchskontrolle und Betriebsoptimierung**

Checkliste Hallenbad:  
monatliche Kontrolle

in Ordnung  
→

Anstieg  
↑

Verringerung  
↓

Anstieg, aber  
Ursache behoben  
↗

Verringerung, aber  
Ursache behoben  
↘

Name: \_\_\_\_\_

betrachteter Zeitraum: \_\_\_\_\_

Stufe 1

**Energiebezug gesamt**

*Ungewöhnliche Abweichungen? (Vergleich des Monatsverbrauchs mit dem Vormonat bzw. mit dem entsprechenden Monat der Vorjahre)  
Zusammenhang mit durchgeführten Änderungen (siehe Betriebskalender)?*

	→	↑	↓	↗	↘	
- Strom	<input type="checkbox"/>	Warum? (erste Hinweise)				
- Wärme	<input type="checkbox"/>					
- Gas	<input type="checkbox"/>					
- Wasser	<input type="checkbox"/>					
- _____	<input type="checkbox"/>					

Stufe 2

**Wärme- und Stromverbrauch nach Nutzungen**

*Vergleich des Monatsverbrauchs mit dem Vormonat und mit dem entsprechenden Monat der Vorjahre: ungewöhnliche Abweichungen? Zusammenhang mit durchgeführten Änderungen (siehe Betriebskalender)? Jahreszeitliche Schwankungen wie erwartet/plausibel? Hilfreich für weitere Analysen ist es, wenn man sich notiert, wie der Verlauf des Verbrauchs aussehen soll (z.B. jahreszeitlicher Verlauf: Winter niedrig, Sommer hoch, aber niedrige Werte zu Schließzeiten)*

*Bei Abweichungen genauere Kontrolle der Verbrauchswerte (Wochen- und Tagesgänge) und dann weiter mit der nächsten Stufe.*

	→	↑	↓	↗	↘	
Wärmemengenzähler:						Veränderung langsam/schnell? Zeitpunkt? Warum? (erste Hinweise)
- Heizwärmeverbrauch Luftnacherhitzung	<input type="checkbox"/>					
- Heizwärmeverbrauch Wärmebänke etc.	<input type="checkbox"/>					
- Heizwärmeverbrauch Beckenwasser	<input type="checkbox"/>					
- Heizwärmeverbrauch WW	<input type="checkbox"/>					
- Heizwärmeverbrauch Sauna	<input type="checkbox"/>					
- _____	<input type="checkbox"/>					

Abb. 41: Teil B der Checkliste dient zur monatlichen Energieverbrauchskontrolle. Die gesamte Checkliste ist als Exceldatei auf [www.passiv.de](http://www.passiv.de) verfügbar.

## 9 Fazit und weitere Informationen

Das Passivhaus Konzept funktioniert für Hallenbäder, spart in erheblichem Umfang Betriebskosten und ist damit in der Lage kommunale Haushalte deutlich zu entlasten. Dies ist ein entscheidendes Argument, um ein solches Angebot auch bei steigenden Energiepreisen für Bürger aufrechterhalten zu können. Mit Empfehlungen in diesem Leitfaden werden wichtige Hilfestellungen gegeben, die in eine sorgfältige Planung einfließen sollten.

Weitere Hintergrundinformationen finden sich in den verfügbaren Publikationen des Passivhaus Instituts zum Thema Passivhaus Hallenbäder. Alle Berichte können kostenlos über die Homepage abgerufen werden:

[http://passiv.de/de/05\\_service/03\\_fachliteratur/030306\\_hallenbad.htm](http://passiv.de/de/05_service/03_fachliteratur/030306_hallenbad.htm)



### Grundlagenuntersuchung der bauphysikalischen und technischen Bedingungen zur Umsetzung des Passivhauskonzepts im öffentlichen Hallenbad

Untersuchung der energetischen Wechselwirkungen in Hallenbädern und Entwicklung von Lösungsansätzen zur deutlichen Senkung des Energiebedarfs.

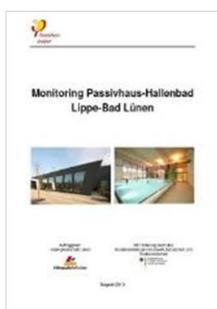
[Schulz et al. 2009]



### Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie

Dokumentation des Planungsprozesses des Passivhaus Hallenbades in Lünen. Beschreibung aller relevanten Teilbereiche im integralen Planungsprozess von der Gebäudehülle, Schwimmbad- und Gebäudetechnik, Kosten, Energiebilanzen bis hin zum Reinigungs-, Akustik- und Brandschutzkonzept.

[BGL 2011]



### Monitoring Passivhaus-Hallenbad Lippe-Bad Lünen

Dokumentation des detaillierten Monitorings der ersten 1,5 Betriebsjahre des Lippe-Bads. Die messtechnische Analyse zeigt die Betriebsbedingungen und zugehörigen Energieverbrauchswerte. Durch den Vergleich mit den Prognosewerten werden die Berechnungsansätze validiert und verfeinert sowie weitere Einsparpotentiale aufgezeigt.

[Peper/Grove-Smith 2013]



### Passivhaus-Hallenbad Bambados. Monitoring

Forschungsbericht zum Monitoring der ersten Betriebsjahre des Passivhaus-Hallenbads Bambados, inkl. Betriebsoptimierung und deren Auswirkungen auf die Betriebszustände. Handlungsempfehlungen basierend auf Analysen der gemessenen Energieverbrauchswerte.

[Gollwitzer et al. 2015]



### Passivhaus-Konzept für Hallenbäder: Datenauswertung und Empfehlungen

Aufarbeitung und Ergänzung des gewonnenen Wissens aus den untersuchten Hallenbädern und Erarbeitung von Planungsempfehlungen für Folgeprojekte. Auf dieser Grundlage können in zukünftigen Projekten zielgerichtet Energieeinsparpotentiale erschlossen werden.

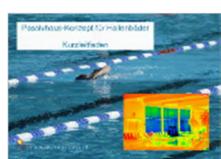
[Gollwitzer et al. 2018]



### Passivhaus-Konzept für Hallenbäder: Leitfaden

Zusammenstellung der Planungs- und Betriebsempfehlungen aus der Forschungsarbeit [Gollwitzer et al. 2018] als Hilfestellung für den Bau und Betrieb von Passivhaus Hallenbädern.

Passivhaus Institut, 2018



### Passivhaus-Konzept für Hallenbäder: Kurzleitfaden

Erstinformation zu den wichtigsten Punkte zum Bau und Betrieb von Passivhaus Hallenbädern als Extrakt des Leitfadens.

Passivhaus Institut, 2018

## 10 Literaturverzeichnis

[AkkP 35]	Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase IV, Protokollband Nr. 35: Wärmebrücken und Tragswerkplanung – die Grenzen des wärmebrückenfreien Konstruierens. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2007.
[AkkP 48]	Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 48: Einsatz von Passivhaustechnologie bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012
[AkkP 52]	Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 52: Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung als Erfolgsfaktoren für energieeffiziente Gebäude. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2017.
[Bay. Landesamt 2012]	Energieeffizienz in Schwimmbädern, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg, 2012
[BGL 2011]	Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie, Bädergesellschaft Lünen, Lünen 2011
[DIN 19643]	DIN 19643-1: Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser, Teil 1: Allgemeine Anforderungen, November 2012.
[Gollwitzer et al. 2015]	Gollwitzer, E., Gressier, F., Peper, S.: Passivhaus Hallenbad Bambados: Monitoring, Passivhaus Institut, August 2015
[Gollwitzer et al. 2018]	Gollwitzer, E.; Grve-Smith, J.; Peper, S.: Passivhaus-Konzept für Hallenbäder: Datenauswertung und Empfehlungen, Passivhaus Institut, Juni 2018
[Kaluza 2016]	Kaluza, J.: Aktuelle Versuche: Luftführung abwärts! In: Dr.Jentsch Schwimmbadseminare "Energieeffizienz", Nürnberg, 2016.
[KOK 2013]	Koordinierungskreis Bäder: Richtlinien für den Bäderbau, Essen 2013.
[Peper/Grove-Smith 2013]	Peper, S; Grove-Smith, J.: Monitoring Passivhaus-Hallenbad Lippe-Bad Lünen, Passivhaus Institut, Darmstadt 2013.
[Schnieders 2015]	Schnieders, J.: Wärmerückgewinnung aus Abwasser - Konzepte und Messdaten. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 49: Energieeffiziente Warmwassersysteme. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2015.
[Schulz et al. 2009]	Schulz, T.; Pfluger, R.; Grove-Smith, J.; Kah, K.; Krick, B.: Grundlagenuntersuchung der bauphysikalischen und technischen Bedingungen zur Umsetzung des Passivhauskonzepts im öffentlichen Hallenbad. Veröffentlicht: Passivhaus Institut, Darmstadt 2009.
[Stadt Frankfurt 2014]	Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planen, Bauen, Wohnen und Grundbesitz, Hochbauamt, Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2014
[VDI 2089]	VDI-Richtlinien. VDI 2089-1 Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern, Hallenbäder. Hrsg. Von Verein Deutscher Ingenieure. Verein Deutscher Ingenieure, 2009.

## 11 Impressum

### Autoren:

Dipl.-Ing. Esther Gollwitzer  
MPhys. (Hons) Jessica Grove-Smith  
Dipl.-Ing. (FH) Søren Peper  
Dipl.-Ing. Tanja Schulz

### Unter Mitarbeit von:

Olaf Ahrens (Eneratio; Hamburg)  
Jörn Kaluza (Inco; Aachen)

### Herausgeber:



Rheinstraße 44/46  
D-64283 Darmstadt  
Tel: 06151-82699-0  
E-Mail: mail@passiv.de  
www.passiv.de

Darmstadt, Juni 2018

Dieser Leitfaden entstand im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Förderkennzeichen: 33217/01-24/2

Titel des Forschungsprojektes: Wissenschaftliche Auswertung des Betriebsverhaltens des ersten Passivhaus-Hallenbades zur Generierung weiterer Planungssicherheit.

Wir danken der Bädergesellschaft Lünen, den Stadtwerken Bamberg sowie der Bädergesellschaft Düsseldorf für die diversen Unterstützungen und die Möglichkeit, Untersuchungen an ihren Bädern durchführen zu können und die Daten für die Untersuchung verwenden zu dürfen. Vielen Dank auch an die Firma FlaktGroup Deutschland GmbH.

Alle Abbildungen und Grafiken dieses Berichtes sind Eigentum des Passivhaus Instituts. Abweichend sind jeweils die Quellen angegeben.

### Auftraggeber:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt



### Mit Unterstützung durch:

