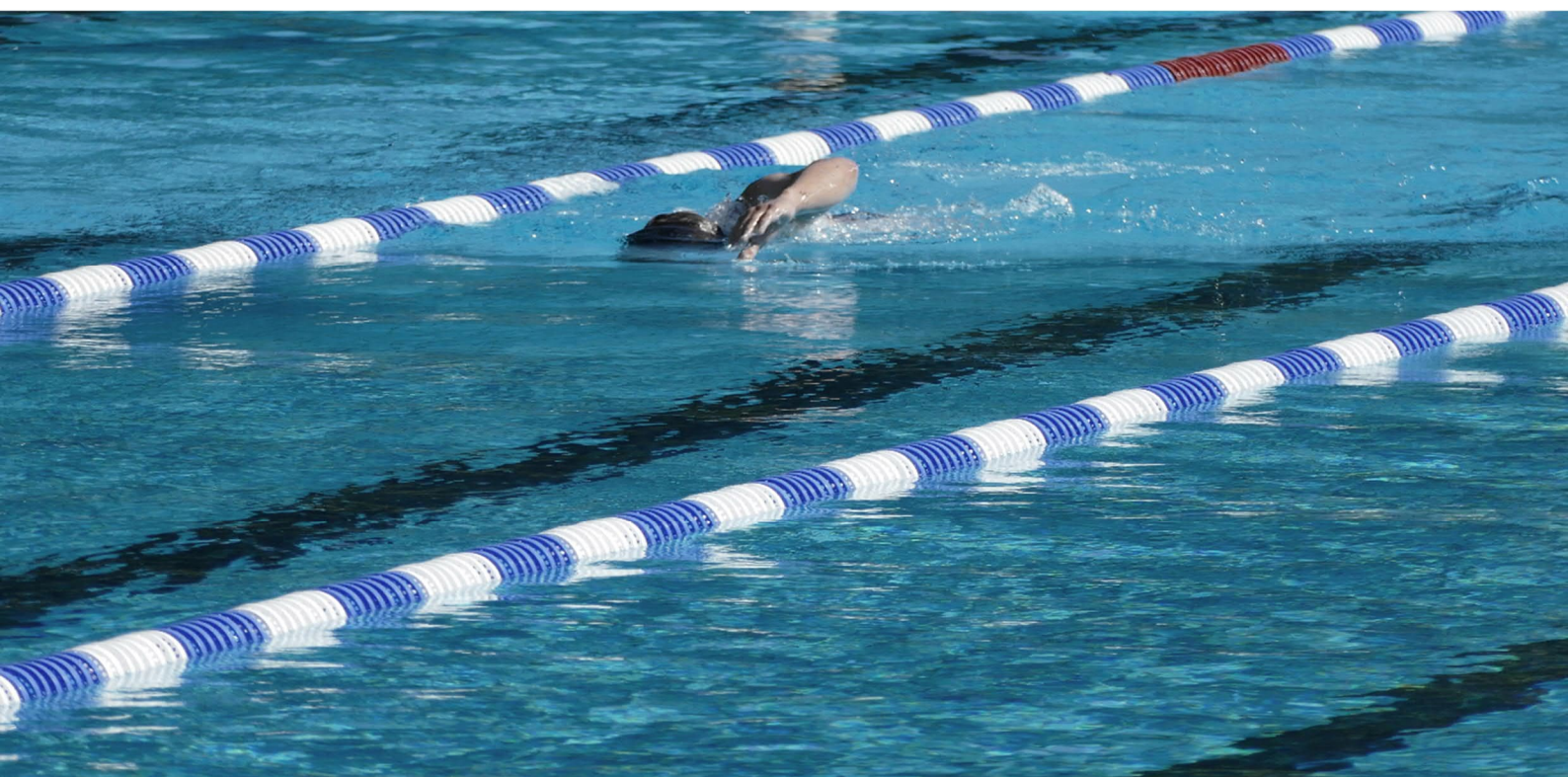


Concept Passivhaus pour les piscines :

# Lignes directrices



<b>1 Introduction</b>	3
<b>2 Enveloppe du bâtiment</b>	6
2.1 Composants opaques	7
2.2 Composants transparents	10
2.3 Séparation thermique	12
2.4 Etanchéité à l'air	12
<b>3 Ventilation</b>	14
3.1 Ventilation de la piscine	14
3.2 Ventilation des zones annexes	22
<b>4 Technique des piscines</b>	26
4.1 Besoin en électricité pour la circulation de l'eau du bassin	26
4.2 Besoin en chaleur de chauffage de l'eau du bassin	31
<b>5 Eau chaude des douches</b>	38
<b>6 Autres potentiels</b>	40
<b>7 Production de chaleur</b>	42
<b>8 Mise en service et gestion de l'exploitation</b>	44
8.1 Technique de mesure et GTB	44
8.2 Mise en service	50
8.3 Gestion et optimisation de l'exploitation	55
<b>9 Conclusion et informations complémentaires</b>	61
<b>10 Bibliographie</b>	63
<b>11 Mentions légales</b>	64

# 1 Introduction

De plus en plus de personnes, d'institutions politiques et d'acteurs économiques sont conscients de l'importance fondamentale de l'efficacité énergétique. Pourtant, aujourd'hui encore, on se focalise souvent sur les coûts d'investissement : Une municipalité souhaite offrir une piscine couverte à ses citoyens et détermine, avec un montant d'investissement, le type et la taille de piscine qu'elle peut se permettre. Le fait que la plus grande partie des coûts soit générée après la construction, à savoir par l'exploitation de la piscine, est alors occulté ; souvent, cela concerne également un autre service de l'administration. La prise en compte de mesures d'efficacité dès le processus de planification permet de réduire considérablement les besoins énergétiques des piscines couvertes. Cela permet non seulement de contribuer à la protection de l'environnement, mais aussi de préserver les ressources financières de la municipalité.

Le concept de Passivhaus est une approche globale qui prend en compte la consommation énergétique totale d'un bâtiment. En investissant dans une planification intelligente, des éléments de construction de qualité et un système de régulation bien rodé, les coûts énergétiques liés à l'exploitation du bâtiment peuvent être considérablement réduits. Cela signifie que les coûts d'investissement sont légèrement plus élevés, mais que les coûts d'exploitation diminuent.

Outre les coûts d'exploitation réduits, d'autres avantages en découlent :

- Sécurité de planification pour le ménage grâce à une moindre dépendance aux augmentations des prix de l'énergie.
- Qualité élevée et longévité de la structure du bâtiment, car l'étanchéité à l'air et les surfaces intérieures élevées protègent contre les déperditions de chaleur protègent contre les dommages au bâtiment
- Confort élevé
- Contribution au tournant énergétique et aux structures d'approvisionnement en énergie durables

En raison de la forte consommation d'énergie des piscines couvertes, l'amélioration de l'efficacité énergétique a un impact particulièrement important. Ce guide propose des aides pour la mise en œuvre d'une haute efficacité énergétique, aussi bien lors de la planification que lors de la mise en service et de la gestion. Ce document a été élaboré par le Passivhaus Institut dans le cadre du projet de recherche "Passivhaus-Konzept für Hallenbäder : Datenauswertung und Empfehlungen". Les recommandations sont basées sur des recherches et des études menées par le Passivhaus Institut, ainsi que sur l'expérience pratique acquise lors de projets pilotes accompagnés.

En plus de ce guide détaillé, un guide succinct est disponible sur [www.passiv.de](http://www.passiv.de) pour les maîtres d'ouvrage, les exploitants et les autres personnes intéressées. On y trouve d'autres rapports complets sur les piscines couvertes Passivhaus (Bambados et Lippe-Bad) (voir également le chapitre 9 Conclusion et informations complémentaires).

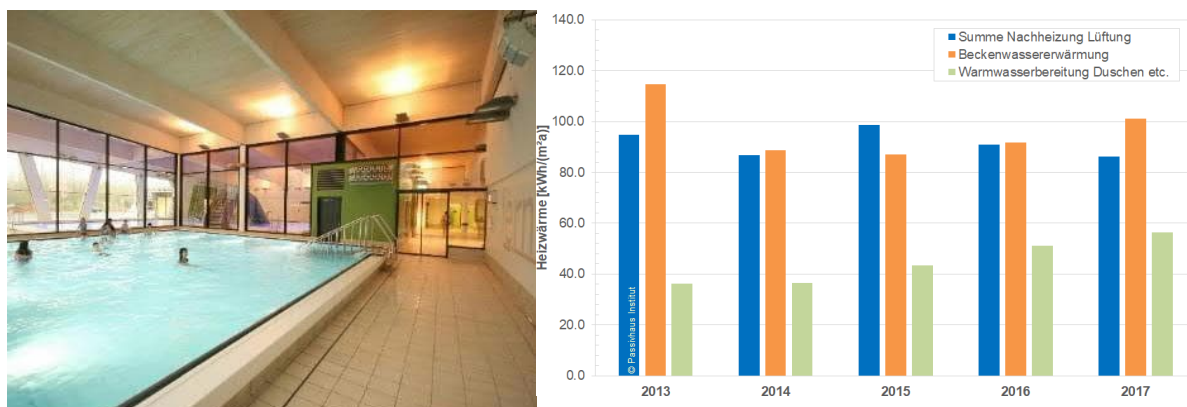


Fig. 1 : Bassin du Lippe-Bad Lünen et valeurs de mesure de la consommation à long terme du bain à l'exemple de la consommation de chaleur (référence : surface totale chauffée du bain).

En particulier, la qualité élevée de l'enveloppe du bâtiment, de type passivhaus, avec des températures de surface élevées, permet de repenser la conception conventionnelle des piscines couvertes et ouvre ainsi la porte à des optimisations énergétiques. Les relations de base sont représentées dans le schéma ci-dessous.

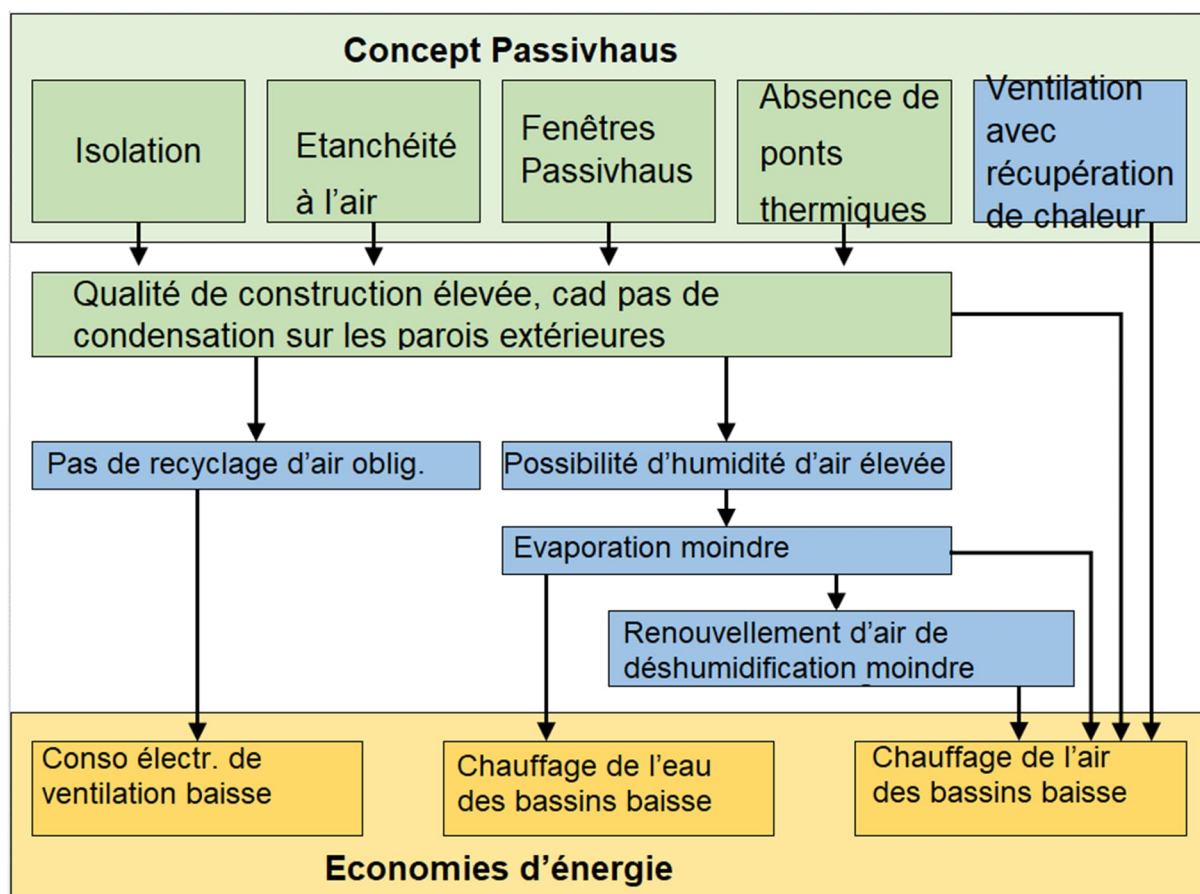


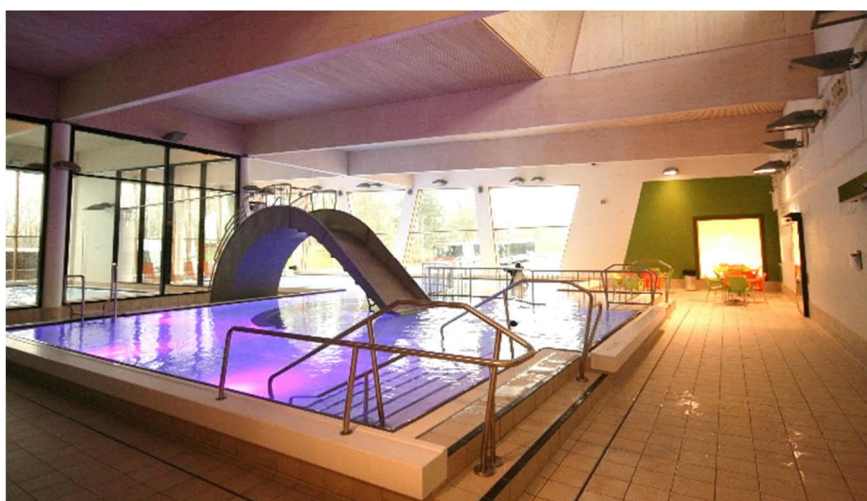
Fig. 2 Schéma : liens entre le concept Passivhaus et les économies d'énergie

Afin d'obtenir une solution globalement efficace sur le plan énergétique, il convient de considérer non seulement le chauffage des piscines couvertes, mais aussi tous les autres consommateurs d'énergie dans le bâtiment. Cela concerne notamment les domaines suivants:



- Besoins en électricité de la technique de la piscine
- Besoin en chauffage de l'eau chaude des douches
- Ventilation à la demande avec récupération de chaleur
- Besoin en eau fraîche et en chaleur de chauffage de l'eau du bassin
- Efficacité électrique d'autres consommateurs, par ex. éclairage, ventilation, technique du bâtiment, etc.
- Haute efficacité des éventuelles zones de loisirs ou des offres supplémentaires p. ex. toboggans, sauna, spa, fitness, gastronomie.

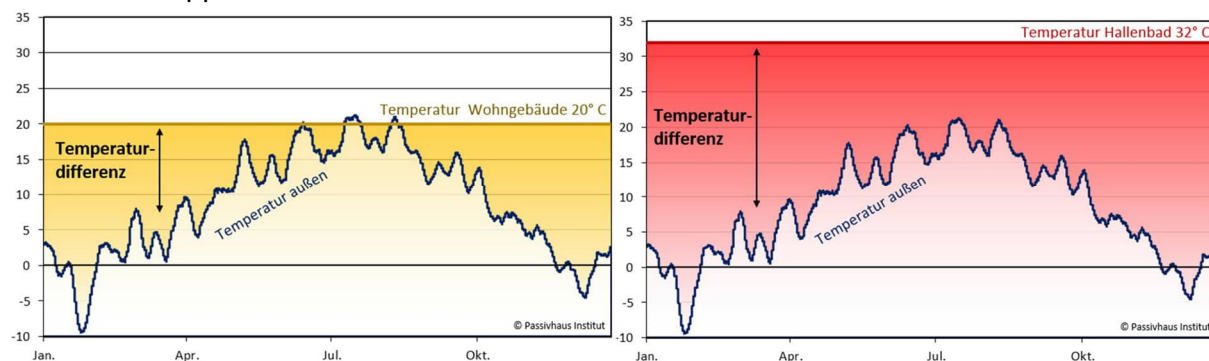
L'application globale et cohérente des principes de la Passivhaus dans les piscines couvertes offre un grand confort et une qualité de l'air élevée, tout en utilisant le moins d'énergie possible et en réduisant ainsi les coûts d'exploitation.



**Fig. 3 : Les deux premières piscines intérieures de Passivhaus, Bambados à Bamberg (en haut) et la piscine Lippe à Lünen (en bas), achevées en 2011.**

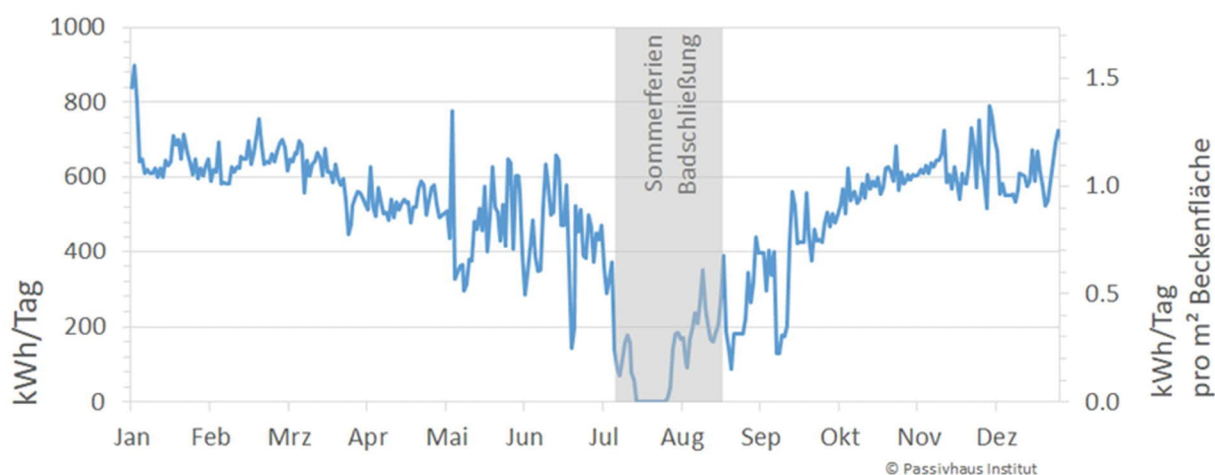
## 2 Enveloppe du bâtiment

Une enveloppe de bâtiment hautement isolée thermiquement permet d'économiser une quantité importante d'énergie de chauffage, augmente la protection du bâtiment et est donc nécessaire à la fois économiquement et pour la protection du climat. Par rapport aux bâtiments typiques avec chauffage à 20°C, les pertes de chaleur par transmission des composants externes dans les piscines intérieures avec une température ambiante plus chaude d'environ 30-32°C sont nettement plus élevées, et aussi les économies pour chaque centimètre supplémentaire d'isolation.



**Fig. 4 :** Par rapport à un bâtiment résidentiel avec 20°C, la différence de température pour les piscines entre l'intérieur et l'extérieur est beaucoup plus grande et la période de chauffage est donc beaucoup plus longue.

En raison de la température intérieure élevée et de l'évaporation de l'eau de la piscine, il existe un besoin de chauffage sur toute l'année, comme le montre l'exemple suivant d'évaluation des données de mesure de la consommation de chauffage d'une halle du Lippe-Bad :



**Fig. 5 :** Consommation de chauffage de la piscine sportive couverte de Lippe en 2016 (superficie piscine 575 m², température intérieure moyenne 28°C & humidité ambiante 52%)

Les besoins énergétiques totaux peuvent être réduits en augmentant l'humidité du hall (voir schéma page 4). L'un des facteurs limitants est la température de surface minimale de l'enveloppe du bâtiment, c'est-à-dire le point où le condensat apparaît pour la première fois en quantités critiques. C'est généralement le cas des fenêtres et des ponts thermiques, de sorte qu'en plus des faibles valeurs U, une attention particulière doit être accordée à la planification

et à l'exécution sans ponts thermiques. Le tableau 1 indique les températures du point de rosée pour différentes conditions d'air ambiant.

**Tab. 1 : Températures du point de rosée pour différentes conditions d'air ambiant**

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

Les fenêtres et les façades poteaux-poutres présentent des pertes plus importantes que le mur isolé thermiquement et donc des températures de surface plus basses. Les constructions traditionnelles présentent ici un risque accru de formation de condensation. En revanche, la qualité thermique élevée du triple vitrage adapté aux maisons passives et des profilés de cadre à rupture de pont thermique rend inutile la ventilation de la façade pour éviter la condensation. Cela permet d'envisager des approches alternatives pour l'apport d'air frais dans le hall de natation et de réduire considérablement, voire de supprimer, la part d'air recyclé dans la ventilation du hall.

Avantages de l'enveloppe du bâtiment à haute isolation thermique pour la piscine couverte :

- Températures ambiantes élevées -> besoins de chauffage toute l'année → potentiel d'économie élevé
- Pertes de chaleur par transmission fortement réduites → Isolation supplémentaire très économique
- Part d'air recyclé réduite ou nulle nécessaire pour "sécher" la façade → économie d'électricité notable
- Mise en œuvre sans ponts thermiques → pas de dépassement vers le bas de la température du point de rosée -> protection des éléments de construction

## 2.1 Composants opaques

Alors que les valeurs U (coefficient de transmission thermique) recommandées pour les murs extérieurs à des températures ambiantes normales de 20°C sont de 0,15 W/(m²K) au maximum (voir [PB 42]), des valeurs U encore meilleures sont fortement recommandées d'un point de vue économique pour des températures intérieures plus élevées. En raison de la température intérieure élevée (32°C), la piscine présente des degrés-heures de chauffage nettement plus élevés par rapport à un bâtiment chauffé normalement (20°C). Si l'on prend l'exemple d'une piscine équipée d'une ITE, l'amélioration de la valeur U de 0,15 W/(m²K) à 0,10 W/(m²K) permet presque de diviser par deux les besoins en chauffage.

Lors du choix des produits, il convient de tenir compte des conditions intérieures particulières

des piscines couvertes (humidité élevée et présence de chlore). En outre, dans le cas des piscines couvertes, il est généralement important de contrôler régulièrement l'absence de dommages à la construction.

### Exemple des qualités de composants (Lippe-Bad / Bambados)

Les qualités des composants du Lippe-Bad à Lünen et du Bambados à Bamberg sont répertoriées dans le tableau suivant à titre d'exemples. Davantage de matériaux isolants avec une conductivité thermique plus faible sont maintenant disponibles sur le marché. Par conséquent, d'un point de vue économique, des valeurs U encore meilleures devraient certainement être atteintes dans les projets futurs.

Tab.2 : Aperçu des qualités des composants du bain de Lippe et du Bambados :

	Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Dämmstärke [mm]	U-Wert des Bauteils [W/(m²K)]
Lippe-Bad				
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
Bambados				
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

### Mur extérieur

Les systèmes composites d'isolation thermique sont exempts de ponts thermiques lors de l'utilisation de chevilles appropriées et sont relativement peu coûteux. Des murs-rideaux ventilés par l'arrière sont également souvent utilisés. Ceux-ci sont durables et permettent une large gamme de surfaces différentes. Ils nécessitent une sous-structure porteuse qui, selon le système, peut provoquer d'énormes ponts thermiques. Cependant, il existe également des



sous-structures exemptes de ponts thermiques, qui sont présentées entre autres dans [AkkP 35] ou peuvent être trouvées dans la base de données des composants du Passive House Institute ([www.passiv.de/komponentendatenbank](http://www.passiv.de/komponentendatenbank) [www.passiv.fr](http://www.passiv.fr) ).

- Isolation continue des composants
- Utiliser des chevilles en matériau isolant sans pont thermique et des supports de façade

## **Toit**

Afin d'éviter les ponts thermiques, l'évacuation du toit doit être acheminée vers l'extérieur afin que les descentes soient hors de l'enveloppe thermique.

Si une isolation inclinée est utilisée sur de grandes surfaces de toit, il existe de grandes différences dans la hauteur de l'isolation. L'isolation peut être utilisée plus efficacement lorsqu'elle est aussi épaisse que possible. Il est donc utile de prévoir des pentes courtes ou de réaliser la construction du toit avec une pente telle qu'une épaisseur d'isolation uniforme puisse être utilisée.

## **Sous-sols et zones en contact avec le sol**

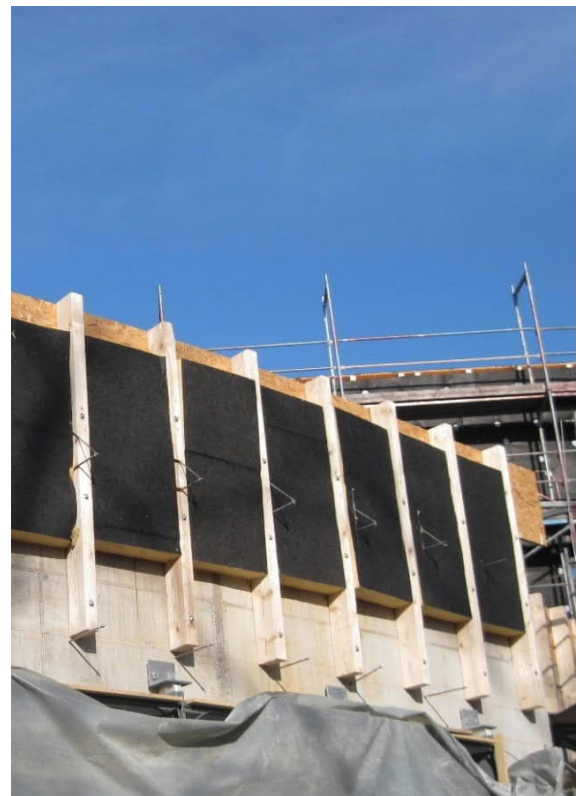
Toutes les zones chauffées directement et indirectement du bâtiment doivent être intégrées dans l'enveloppe thermiquement isolée. Ceci s'applique également au sous-sol des piscines. L'isolation est continue et fait le tour du sous-sol tout en évitant les ponts thermiques. Cela n'a pas de sens d'isoler la piscine et de retirer le sous-sol de l'enveloppe thermique, car la surface à isoler (piscine, tous les tuyaux au sous-sol) serait alors très grande.

Dans les grands bâtiments, sous certaines conditions, l'isolation des murs du sous-sol et du radier peut être supprimée. C'est le cas lorsque les déperditions de chaleur par le sol peuvent être suffisamment réduites en formant une poche de chaleur sous la dalle de plancher. Ceci peut être réalisé, par exemple, en isolant des tabliers dans la zone du mur extérieur de la cave (voir [AkkP 48]).

## **Ponts thermiques typiques**

Les grands bâtiments non résidentiels ont des détails typiques qu'il est préférable de concevoir avec l'ingénieur structure. Les ajustements ultérieurs aux solutions détaillées prennent généralement du temps. Ceux-ci incluent entre autres les ponts thermiques s'ils sont pris en compte à un stade précoce de la planification. Il est

- Solutions d'acrotère sans pont thermique
- Rupture thermique dans les zones des puits de lumière en béton armé
- Rupture thermique des pré-toits et des balcons
- Eviter les débords de dalle
- Pas de traversée de l'enveloppe du bâti par des canaux de natation ou des toboggans Eviter les
- évacuations intérieures d'eau des toits
- Minimisation des aérations par le toit; les colonnes montantes des tuyaux d'évacuation doivent être isolées.
- Réaliser la compensation de pression des réservoirs d'eau de rinçage à l'intérieur du bâtiment



**Fig. 6 Exemple de ponts thermiques réduits :**  
**A gauche : Consols de façade pour le mur-rideau sans ponts thermiques**  
**A droite : Acrotère en construction en bois**

## 2.2 Composants transparents

La qualité énergétique des fenêtres et des façades murs-rideaux résulte de la combinaison des valeurs U des châssis et des vitrages et des ponts thermiques des bords de vitrage. Lors du choix du cadre, l'absence de condensation est importante en plus des propriétés d'isolation thermique. Pour ces raisons, il est recommandé d'utiliser de très bons châssis

(certifiés ?). Les cadres en aluminium offrent l'avantage de valeurs fRsi élevées, qui garantissent l'absence de condensation. Les cadres en bois, en revanche, peuvent avoir des pertes de transmission encore plus faibles. Il est optimal de combiner ces aspects, c'est-à-dire de choisir un cadre de la meilleure classe d'efficacité possible avec une valeur fRsi élevée en même temps. Les valeurs sont disponibles pour les cadres certifiés sur [www.passiv.de/components-database](http://www.passiv.de/components-database).

Il vaut la peine de choisir des valeurs U particulièrement basses pour les vitrages des piscines couvertes (inférieures à 0,60 W/(m²K)), car cela maintient les pertes de transmission à un faible niveau et la température de surface élevée du vitrage assure le confort des baigneurs. Pour que les propriétés thermiques des éléments de fenêtre et de mur-rideau de haute qualité aient un effet optimal, l'installation sans ponts thermiques est d'une grande importance.

Les recommandations suivantes pour les fenêtres et par conséquent également pour les façades à murs-rideaux et les portes doivent être respectées :

- Triple vitrage thermo-isolant
- Cadres de haute qualité thermique
- Bords isolés ("warm edge") ; la plupart du temps, la température de surface la plus basse se trouve sur le bord du vitrage. Température de surface (influencée par l'intercalaire et le cadre de fenêtre). C'est là que la condensation se forme en premier (voir tableau 1).

Montage avec peu de ponts thermiques : cadre de fenêtre dans le plan d'isolation, fixation avec des profilés aussi courts que possible.

- Raccord étanche à l'air du cadre au niveau étanche à l'air
- Répartition des fenêtres : éviter l'éblouissement des nageurs dès la conception.

### Exemple de la piscine de Lippe

En relevant la tête du bassin, la façade a pu être placée sur une balustrade sans que cela n'affecte la visibilité des nageurs vers l'extérieur. Ainsi, la partie inférieure de la façade mur-rideau est moins exposée aux projections d'eau. Les autres avantages de cette solution sont la réalisation du nettoyage du bain pendant l'exploitation, car il n'est pas nécessaire de commuter les caniveaux d'écoulement, et une hauteur de sous-sol éventuellement plus faible.



**Illustration 7 : Piscine Lippe, une tête de bassin relevée permet de réaliser un parapet pour la façade MR sans gêner la visibilité des nageurs vers l'extérieur.**

## 2.3 Séparation thermique

Souvent, les piscines comportent également des zones nettement plus fraîches ou normalement chauffées (p. ex. salles de séjour, bureaux ou locaux administratifs). Il faut éviter d'"imbriquer" des zones de températures nettement différentes. Un zonage bien pensé dans la conception est très utile pour la mise en œuvre ultérieure du concept Passivhaus et, en fin de compte, pour l'exploitation.

Les éléments de construction restants entre les différentes zones de température doivent être séparés thermiquement. Dans le cas contraire, la chaleur s'écoule de manière significative des zones chaudes vers les zones plus froides, qui doivent alors être activement refroidies. La séparation thermique est d'autant plus facile à mettre en œuvre qu'elle est prise en compte tôt dans le processus de conception. En règle générale, il suffit de réaliser les murs intérieurs avec des matériaux légèrement isolants (p. ex. béton cellulaire). Alternativement, les plafonds ou les murs en béton armé peuvent être améliorés par l'ajout d'une couche d'isolation modérée sur la face froide du mur ou du plafond.

- Tenir compte du zonage dès la conception
- Valeurs  $U$  de la séparation thermique de l'ordre de  $0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  à partir d'une différence de température d'environ  $4 \text{ K}$ . Il convient de tenir compte à la fois des températures de consigne pour l'hiver et des températures maximales pour l'été.
- Une séparation thermique entre le bassin et la cave n'est pas nécessaire.

## 2.4 Etanchéité à l'air

Une exécution étanche à l'air de l'enveloppe du bâtiment offre une protection contre les dégâts dus à l'humidité. Plus l'enveloppe est étanche, moins l'air humide peut s'infiltrer dans



la construction par les fuites. Une étanchéité à l'air de  $q_{50} \leq 0,4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$  est recommandée pour les piscines couvertes. Comme le montre la mesure de l'étanchéité à l'air du Bambados, cette valeur peut même être largement inférieure (résultat du test :  $q_{50} = 0,2 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ ,  $n_{50} = 0,07 \text{ h}^{-1}$ ). Cela permet en outre d'économiser les pertes de chaleur dues à la ventilation.

Pour garantir la qualité de l'étanchéité à l'air, un test d'étanchéité à l'air est indispensable et obligatoire en Passivhaus. Celui-ci doit être planifié dans le déroulement de la construction de manière à ce que les éléments essentiels de l'enveloppe étanche à l'air ainsi que leurs percements soient encore facilement accessibles. Il s'agit avant tout des raccords de fenêtres, des portes et des constructions poteaux-poutres des murs extérieurs. Dans le cas de constructions de toitures légères, le raccordement du niveau d'étanchéité à l'air du toit à celui des murs extérieurs en fait également partie. Une fois les revêtements et les faux-plafonds installés, la recherche et la réparation des fuites sont difficiles et coûteuses, ce qui les rend impossibles.

- Le concept d'étanchéité à l'air est une tâche de conception
- Tous les raccords des éléments de l'enveloppe du bâtiment doivent être étanches à l'air.
- Tous les passages (par ex. gaines de ventilation, tuyaux d'eau) doivent être raccordés de manière étanche au niveau d'étanchéité à l'air.
- Pénétrations (p. ex. tuyaux) en un nombre aussi réduit que possible de points centraux. Des produits spéciaux pour l'étanchéité offrent ici une aide pour des solutions durables.
- Un test d'étanchéité à l'air doit être effectué pour garantir la qualité.



**Fig. 8 Mesure de l'étanchéité à l'air de Bambados :** En raison de la très bonne étanchéité à l'air, l'ensemble du bâtiment a pu être mesuré avec un seul ventilateur.

### 3 Ventilation

Une ventilation adaptée et optimisée dans les piscines couvertes joue un rôle important pour des raisons de santé, de construction, de physique et d'énergie.

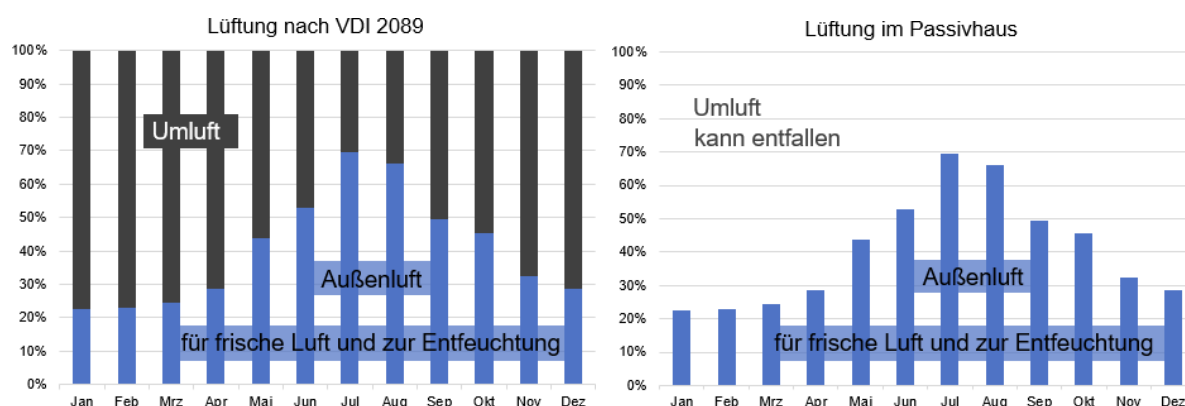
#### 3.1 Ventilation de la piscine

##### Tâches

La ventilation des piscines couvertes a deux tâches principales : Assurer une bonne qualité de l'air (ventilation hygiénique pour évacuer notamment les sous-produits de désinfection), et déshumidifier l'air du hall. Pour maintenir l'air de la halle à un taux d'humidité constant, l'eau qui s'évapore continuellement doit être évacuée en permanence. Pour limiter les pertes d'énergie dues à la ventilation, les appareils de ventilation avec récupération de chaleur à haute efficacité sont les plus appropriés. Le débit d'air entrant peut être utilisé pour apporter l'énergie de chauffage nécessaire dans la salle.

Dans les salles de bains conventionnelles, on souffle souvent de l'air sec sur les vitrages pour que la façade soit exempte de condensation. Cette tâche supplémentaire de ventilation n'est généralement pas nécessaire dans la piscine couverte Passivhaus en raison de la haute qualité thermique du châssis de fenêtre, du vitrage et de l'intercalaire.

Cela permet, dans un climat comme celui de l'Allemagne, de faire fonctionner les appareils de ventilation uniquement avec de l'air extérieur et, le cas échéant, de dimensionner les appareils plus petits. La part habituelle d'air recyclé selon la norme VDI 2089 peut être supprimée ou du moins nettement réduite, ce qui permet de réaliser des économies d'électricité significatives. Le débit d'air extérieur est réglé en fonction des besoins de déshumidification, mais ne devrait pas être inférieur à un débit minimal pour une ventilation hygiénique (en fonction de la qualité de l'eau, 15 % ou 30 % du débit nominal selon [VDI 2089]). L'évaporation de l'eau du bassin peut être réduite par différentes mesures (p. ex. une humidité de l'air plus élevée), ce qui diminue en outre la puissance de déshumidification nécessaire de la ventilation (voir chapitre 4.2).

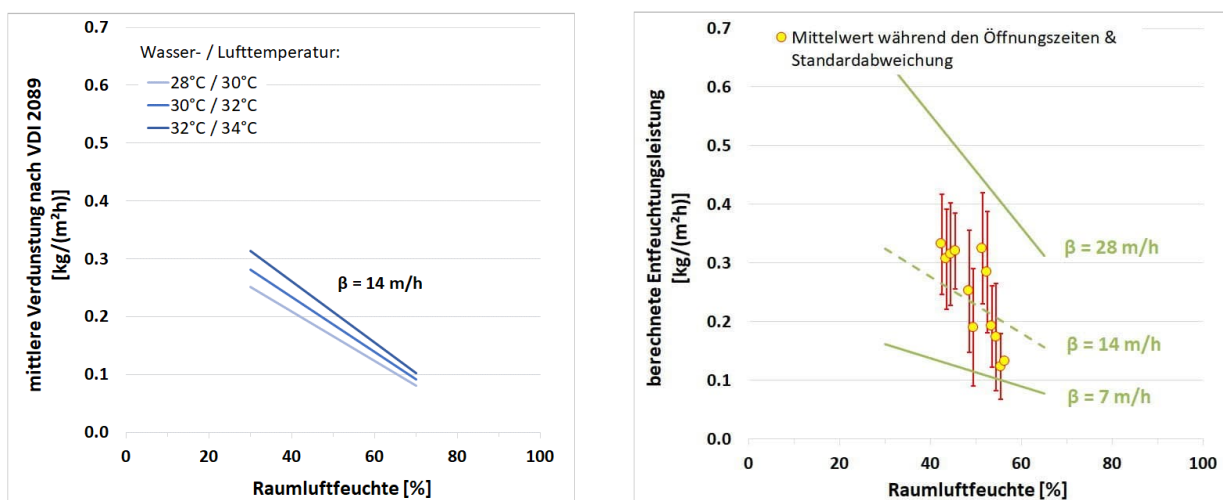


**Fig. 9** Comparaison du débit d'air entre la ventilation selon la norme VDI 2089 et celle selon le concept de la Passivhaus. (Les valeurs moyennes mensuelles sont représentées)

## Conditions de la halle

Comme les exigences en matière de condition des halls sont parfois contradictoires (exigences pour différents utilisateurs, protection du bâtiment et besoins énergétiques), la définition des températures et de l'humidité de consigne devrait être spécifique au projet. Un baigneur mouillé préfère une humidité relative de l'air aussi élevée que possible, tandis que le personnel se sent plus à l'aise avec une humidité plus faible. C'est pourquoi il faut prévoir, dès la conception, un local spécialement tempéré pour le maître-nageur. Pour des raisons de protection des bâtiments, l'humidité relative ne devrait pas dépasser 64 % [Schulz et al. 2009].

En raison des différentes exigences, il est recommandé de mettre en place ce que l'on appelle une ventilation par couches, décrite ci-dessous dans la section "Circulation dans le hall". Comme valeur indicative pour la planification, on propose une humidité d'environ 55% dans le pourtour du bassin (1,5 m de hauteur). Le niveau réel d'humidité doit être testé et déterminé lors de l'exploitation. Plus la couche d'air située directement au-dessus de la surface de l'eau est humide, plus l'évaporation de l'eau du bassin est faible et plus les coûts énergétiques sont réduits. L'illustration 10 montre comment l'évaporation varie en fonction des conditions du hall.



**Fig. 10 : Influence de l'humidité de l'air sur l'évaporation moyenne par m² de surface de bassin.**  
 À gauche : Calculé selon VDI 2089 ( $\beta = 14 \text{ m/h}$ ) avec différentes combinaisons de températures d'eau et d'air.  
 À droite : performances de déshumidification mesurées via la ventilation du hall en 2016 (hall de la piscine parents-enfants dans le bain de Lippe : environ 32 °C de température de l'eau et de l'air) [Gollwitzer et al. 2018].

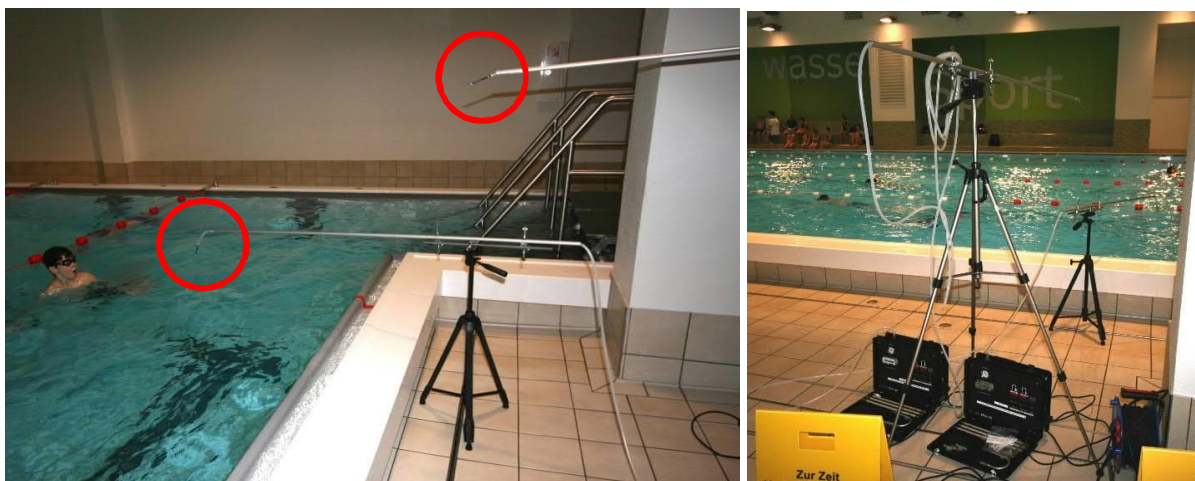
Lors de la mesure de l'humidité, il faut noter que même avec des capteurs de haute qualité, l'imprécision de mesure est relativement importante et que les capteurs dérivent également dans le temps. Il peut facilement y avoir des écarts de plus de 10 points de pourcentage au total. Pour cette raison, la prudence est généralement requise lors de la comparaison des humidités ou de la définition des valeurs cibles.

Une enveloppe de bâtiment Passive House présente l'avantage d'avoir des températures de

surface internes plus élevées sur tous les composants, ce qui entraîne, entre autres, une moindre stratification de la température dans la pièce. Cela signifie que la température de l'air en Passivhaus est plus homogène qu'avec des normes énergétiques inférieures. Néanmoins, différents niveaux d'humidité se produiront dans un hall, par exemple en raison du flux d'air respectif. En raison des imprécisions de mesure et des différences d'humidité dans la pièce, vous ne devez pas vous fier uniquement aux réglementations relatives à la protection des bâtiments, mais faire effectuer régulièrement des contrôles de protection des bâtiments sur les composants structurellement importants.

### Polluants atmosphériques (THM)

Un point central pour la réalisation d'une piscine intérieure selon le concept Passivhaus est la réduction énergétiquement motivée de la proportion d'air en circulation. Les paramètres décisifs de la qualité de l'air doivent être pris en compte. Dans les piscines, des sous-produits dits de désinfection (DNP) sont produits par la chloration pour assurer l'hygiène de l'eau de la piscine. L'évaluation sanitaire porte en particulier sur le groupe émergent des trihalométhanes (THM). Si la ventilation du hall est insuffisante, les THM peuvent s'accumuler dans l'air du hall. Dans l'eau de la piscine, le THM sert de substance indicatrice pour évaluer la qualité de l'eau de baignade. Le lien entre la concentration de polluants et la proportion d'air extérieur ainsi que l'élimination ou la réduction de l'air circulant a été systématiquement examiné dans trois piscines couvertes au moyen de campagnes de mesure réalisées (voir [Gollwitzer et al. 2018]). Il est montré que par rapport aux valeurs moyennes données dans la littérature, les valeurs de THM mesurées dans les trois bains peuvent être jugées bonnes. Au total, il est prouvé qu'avec un débit d'air adapté, une piscine intérieure peut très bien fonctionner avec de l'air recirculé réduit ou totalement sans que la qualité de l'air ne soit altérée. Cela signifie que des économies d'énergie importantes peuvent être réalisées sur le long terme.



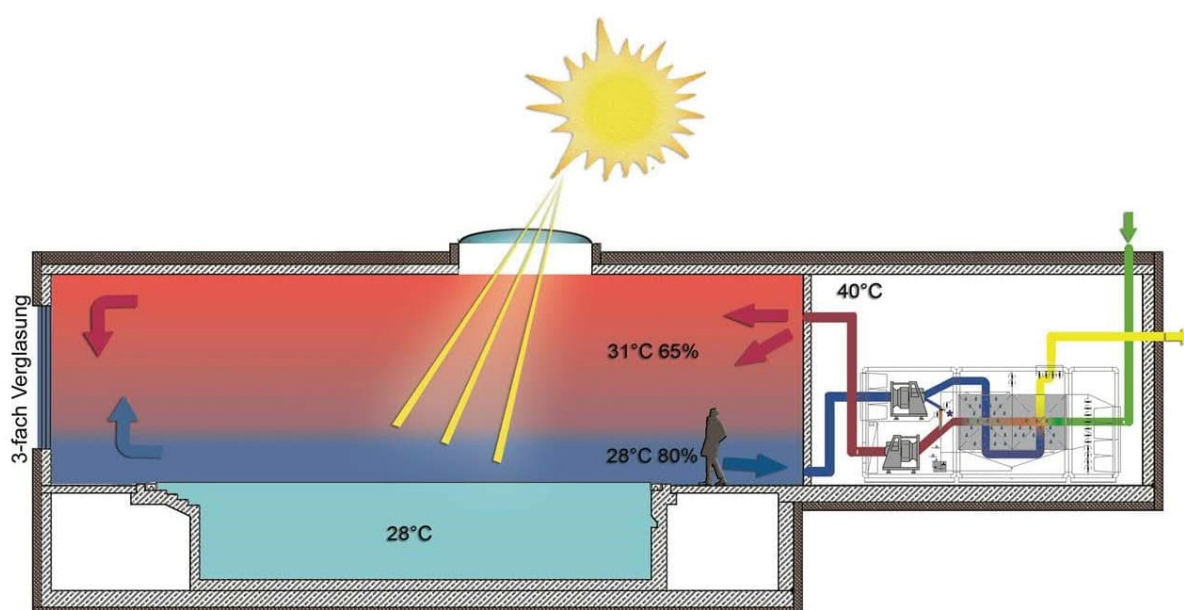
**Fig. 11 Mesure THM : prélèvement d'air avec des pompes aspirantes à 20 cm au-dessus de la surface de l'eau et 1,5 m au-dessus de la galerie.**



## Circulation de l'air dans le hall

Pour évacuer efficacement les polluants, il est essentiel de disposer d'une bonne circulation d'air et d'un bon flux dans le hall. Il s'est avéré qu'une ventilation par couches présente de nombreux avantages. Une couche humide se forme directement au-dessus de l'eau, ce qui entraîne une évaporation moindre. L'air à 50 cm au-dessus du niveau de l'eau est déjà beaucoup plus sec (env. 10 %Points), ce qui offre un climat agréable pour les personnes sèches (personnel). De plus, l'enveloppe du bâtiment est ainsi moins exposée à l'humidité.

La ventilation par couches est obtenue en évacuant l'air vicié dans la partie inférieure du hall. Cela présente non seulement des avantages énergétiques, mais permet également d'évacuer efficacement les polluants présents dans l'eau. L'air frais peut être introduit au choix, sur la façade, au-dessus de la zone de séjour ou au plafond. Il est important que la couche humide au-dessus du bassin ne soit pas détruite par un apport d'air exagéré. En outre, il faut veiller à ce que l'air froid des pièces annexes ne pénètre pas dans le hall, car il soulèverait la couche humide et chaude au-dessus du bassin. La figure 12 présente une représentation graphique de la ventilation par stratification.



**Fig. 12 : Circulation de l'air avec aspiration au niveau du sol, ce qui conduit à une stratification avantageuse de la température et de l'humidité. Source : [Kaluza 2016].**

## Réseau de gaines de ventilation

Les coûts d'investissement, l'espace nécessaire et les coûts d'électricité sont d'autant plus faibles que le réseau de gaines est réalisé de manière compacte. Le réseau de gaines doit être conçu de manière à réduire au maximum les pertes de charge. Des vitesses d'air inférieures à 3 m/s sont recommandées. Il est encore plus décisif de veiller, lors du choix des composants, à ce que les pièces installées présentent de faibles pertes de pression (par exemple, augmenter la section de la gaine pour la grille d'air extérieur).

L'appareil de ventilation doit être installé le plus près possible de l'enveloppe thermique, afin de pouvoir réaliser un tracé court des canalisations d'air extérieur et d'air d'évacuation (entre l'appareil de ventilation et l'enveloppe thermique). Ces canalisations doivent dans tous les cas être complets, étanches à la diffusion de vapeur et bien isolés (min. 10 cm), car les pertes de chaleur élevées entre l'intérieur et les canaux froids d'air extérieur et d'air d'évacuation réduisent nettement le degré de mise à disposition effective de chaleur des appareils de ventilation. S'il n'est pas possible d'éviter un long passage d'air entrant et sortant par des zones secondaires plus froides, celui-ci devrait également être isolé.

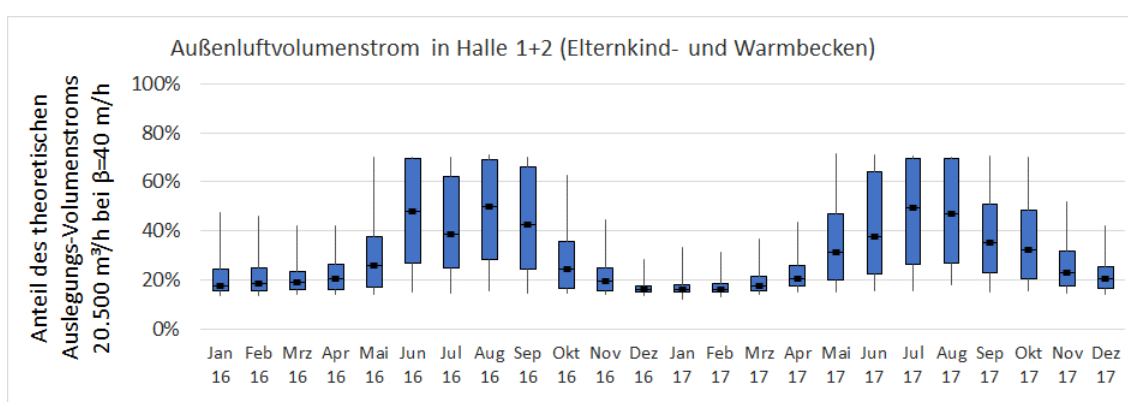
L'air vicié peut être extrait de manière centralisée par une seule grille d'évacuation. Exemple de la piscine familiale de Niederheid (voir [Gollwitzer et al. 2018]) : pour un débit maximal de 30.000 m<sup>3</sup>/h, une grille d'évacuation de 2 m x 2 m est suffisante. A une distance d'un mètre devant la grille, aucun mouvement d'air n'est perceptible. Pour cette raison, la grille d'évacuation ne doit pas être placée à proximité immédiate de bancs ou autres, à moins que la surface de la section ne soit augmentée en conséquence. Comme alternative à une évacuation centrale, l'air vicié peut être aspiré le long d'un mur. Dans les deux cas, il est essentiel pour la ventilation par couches que les ouvertures d'évacuation soient installées dans le bas du hall.

Il existe différentes possibilités pour l'introduction d'air frais. Il est important de veiller à ce que le flux d'air traverse le local même si le débit d'air entrant est faible et que la couche humide au-dessus de la surface de l'eau ne soit pas perturbée.

Si un mode de ventilation intermittent (arrêt des appareils de ventilation pendant la nuit) doit être réalisé, il est recommandé d'installer des clapets motorisés dans les canaux d'air extérieur et d'air d'évacuation, de préférence au niveau de l'enveloppe thermique du bâtiment. Cela permet d'éviter que de l'air extérieur froid ne pénètre dans les gaines en dehors des heures d'utilisation. Lors de la planification, il est utile de tenir compte de la procédure d'équilibrage et de déterminer les endroits où les débits doivent être mesurés dans les gaines. Pour l'équilibrage, il convient d'établir une liste des vannes ou des points de mesure dans la gaine avec les débits standard (ou moyens) correspondants.

## Appareils de ventilation

Le débit maximal d'un appareil de ventilation de halle est conçu pour pouvoir déshumidifier l'air du hall via l'air extérieur, même en été, dans des conditions d'air extérieur humide. Pour cela, l'évaporation est calculée selon la norme VDI 2089. Celui-ci se base sur une hypothèse pour la quantité d'évaporation selon le type de bassin (ce que l'on appelle le coefficient de transfert d'eau  $\beta$ ). Il est recommandé d'envisager un dimensionnement avec un débit de dimensionnement plus faible par rapport à la norme (voir paragraphe suivant), car un dimensionnement plus petit permet de réaliser des économies potentielles sur les coûts d'investissement. De plus, une fourchette réduite de débits à couvrir facilite le choix des composants (p. ex. les ventilateurs) pour un fonctionnement globalement efficace des unités de ventilation.



**Fig. 13 : Piscine de Lippe : débits d'air neuf mesurés en pourcentage par rapport au débit maximal selon VDI. Les diagrammes en boîte montrent les valeurs moyennes mensuelles, les quartiles supérieur et inférieur et les valeurs extrêmes (quantile 2,5 et 97,5%). Cela signifie que 50% des données de mesure se trouvent à l'intérieur du rectangle. La piscine a été fermée pendant les vacances d'été.**

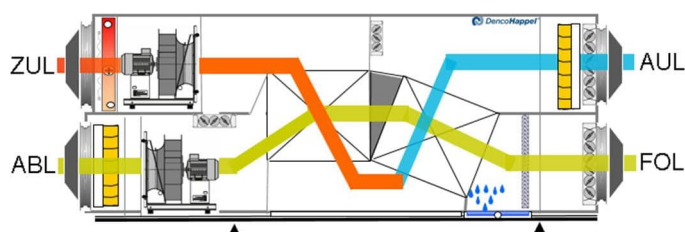
L'hypothèse d'un coefficient de transfert d'eau de  $\beta = 20$  m/h (formule selon VDI 2089), indépendamment de la profondeur du bassin (voir [Gollwitzer et al. 2018]), constitue une valeur indicative pour une utilisation typique (sans attractions). Cela conduit généralement à des tailles d'appareils plus petites par rapport à la conception conventionnelle selon VDI : env. 70% pour une profondeur d'eau > 1,35 m ( $\beta = 28$  m/h selon VDI) et env. 50% pour les bassins moins profonds ( $\beta = 40$  m/h selon VDI). Bien entendu, les conditions marginales du projet concret doivent être prises en compte, notamment l'utilisation attendue. S'il faut s'attendre à une exploitation continue de la piscine couverte, même pendant la période estivale, avec une humidité élevée de l'air extérieur, un renouvellement d'air accru pour la déshumidification doit être assuré soit par des ouvertures de fenêtres supplémentaires, soit par un dimensionnement correspondant de l'appareil de ventilation. Une alternative peut être d'envisager une déshumidification active. Plus le nombre de visiteurs attendus ou la densité maximale d'occupation des bassins est élevé (p. ex. grand cercle d'attraction, nombreuses écoles/associations avec de grandes équipes de natation), plus il faut prévoir de « tampons » lors de la conception des appareils de ventilation. L'évaporation attendue des attractions doit être calculée au cas par cas et prise en compte lors de la conception des appareils d'aération. Il faut cependant veiller à ce que les débits d'air puissent être suffisamment réduits lorsque les

attractions ne sont pas en service.

Dans la piscine de Lippe, l'évaporation pour le bassin parents-enfants a été fixée à un niveau inférieur dès la planification ( $\beta = 28 \text{ m/h}$  au lieu de  $\beta = 40 \text{ m/h}$ ). La pratique a confirmé que ce dimensionnement correspondait mieux à l'évaporation réelle.

Comme l'air du hall contient beaucoup d'énergie en raison de la température et de l'humidité élevées, un taux de récupération de chaleur élevé de l'installation est doublement rentable. L'énergie sensible et l'énergie latente peuvent toutes deux être récupérées en partie, ce qui permet de réduire les besoins en chauffage. Les échangeurs de chaleur à contre-courant conviennent à cet effet. Le matériau de l'échangeur de chaleur doit être adapté à l'air des piscines couvertes (humidité élevée, chlore). Un taux de mise à disposition de chaleur (sec) de  $\geq 85 \%$  est recommandé pour les halls de natation, et ce pour des débits d'air extérieur moyens attendus pendant les mois d'hiver. L'efficacité doit être vérifiée lors de la phase de planification, en concertation avec le fabricant, tant pour le fonctionnement à plein régime que pour le fonctionnement minimal.

Étant donné que les débits d'air varient fortement au cours de la journée et de l'année et que l'appareil fonctionne en grande partie à charge partielle, il faut absolument veiller, lors du choix des ventilateurs, à ce qu'ils soient également très efficaces à charge partielle. Afin de pouvoir couvrir efficacement la grande variété de débits, il peut être judicieux d'utiliser deux ventilateurs en parallèle au lieu d'un seul. La valeur maximale de  $0,45 \text{ Wh/m}^3$  est généralement considérée comme une valeur de référence pour les besoins en électricité du système de ventilation en Passivhaus.



**Fig. 14 : Ventilation d'une piscine couverte en mode air extérieur pur, c'est-à-dire sans recyclage de l'air (graphique © FlaktGroup Deutschland GmbH). Le clapet entre l'air sortant et l'air entrant reste fermé.**

Une autre exigence pour un appareil de ventilation de halle est un équilibre interne automatique pour l'air extérieur et l'air évacué, afin d'éviter une surpression dans le bâtiment et protéger l'enveloppe du bâtiment. Une faible dépression dans la piscine couverte est judicieuse. Pour réduire les pertes de pression, il convient d'envisager une filtration à un seul niveau plutôt qu'à deux niveaux. Il faut tenir compte du fait que les filtres à poches à faible perte de charge peuvent nécessiter plus de place. C'est pourquoi il est important d'examiner et de définir ce point suffisamment tôt dans la planification.

La question de savoir s'il est avantageux d'utiliser une pompe à chaleur sur l'air sortant doit être examinée en fonction du projet, car les pompes à chaleur sont souvent en concurrence avec une centrale de cogénération ou un réseau de chaleur de proximité sur le plan



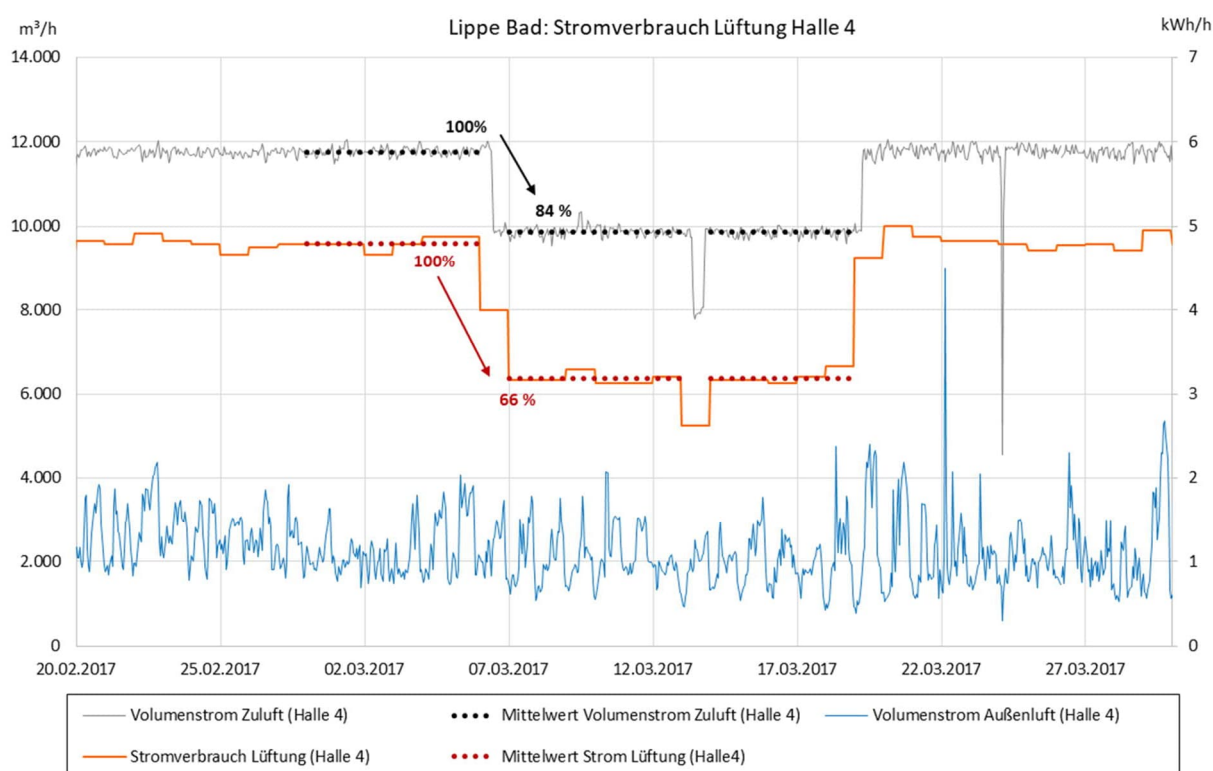
énergétique.

Si une pompe à chaleur est utilisée, elle doit être conçue de manière à pouvoir fonctionner même si l'appareil de ventilation n'est exploité qu'avec un débit volumique minimal (charge partielle). Les pertes de charge supplémentaires des registres doivent en tout cas être prises en compte dans le bilan.

## Régulation

La régulation de la ventilation des piscines couvertes doit assurer un débit minimal pour l'évacuation des polluants et, en outre, augmenter le débit d'air neuf en fonction des besoins de déshumidification. Un débit d'air recyclé peut et doit être évité. Un exemple d'impact énergétique est présenté dans la figure 15.

Les mesures effectuées dans la piscine couverte passive de Bambados ont montré qu'en pratique, aucun air recyclé supplémentaire n'était nécessaire pour chauffer les salles. Si toutefois l'air entrant n'est pas suffisant pour apporter une charge de chauffage suffisante, il est possible de faire circuler temporairement l'air (en passant devant le récupérateur). Pendant le fonctionnement au repos, il est recommandé d'arrêter les appareils et de surveiller l'humidité des halls.



**Fig. 15 : Test dans la piscine de Lippe : le débit d'air entrant a été réduit tout en conservant le même débit d'air extérieur. Ainsi, la consommation électrique de l'appareil de ventilation diminue de manière significative.**

La régulation de la technique du bâtiment s'effectue généralement au moyen d'une gestion technique de bâtiment (GTB). Pour le contrôle ultérieur du fonctionnement, il est utile que les différentes valeurs mesurées et les réglages soient visibles pour l'exploitant (voir chapitre 8 Mise en service et gestion du fonctionnement).

Afin de mettre en œuvre le concept de ventilation décrit ci-dessus sans recirculation de l'air, le Passivhaus Institut a élaboré un exemple de régulation de la ventilation pour aider les autres projets (voir [Gollwitzer et al. 2018]).

### **Mise en service**

#### **Optimisation et gestion de l'exploitation**

Une gestion d'exploitation transparente et vérifiable ainsi que des responsables d'exploitation formés sont essentiels. Si les régulateurs de la programmation de la ventilation (déshumidification, chauffage, éventuellement refroidissement) sont simplement affichés, on obtient un aperçu du temps et de la durée de la demande de chauffage et du besoin de déshumidification, par exemple. Seule une vue d'ensemble régulière permet de détecter facilement les écarts dans le fonctionnement. Il est tout aussi important de contrôler le débit d'air extérieur, entrant et sortant sous forme de diagramme temporel. Si l'on compare les courbes hebdomadaires, les changements apparaissent immédiatement. Si la ventilation du hall est exploitée sans recirculation, les trois débits volumétriques devraient en règle générale être identiques. Il est judicieux de vérifier de temps en temps la position des clapets : Les clapets d'évacuation, d'amenée, d'évacuation et d'air extérieur devraient être entièrement ouverts pendant le fonctionnement des appareils de ventilation afin de maintenir les pertes de pression à un niveau faible.

## **3.2 Ventilation des zones annexes**

Dans les piscines couvertes, il existe généralement, en plus de la salle de natation, différentes zones annexes présentant d'autres conditions de température et d'humidité : Douches, vestiaires et locaux techniques. De plus, il y a souvent l'administration, le foyer, le sauna, la gastronomie, le spa, le fitness, les salles de formation, les serveurs ou les locaux électriques. Il est utile, dès la conception, de clarifier les exigences des locaux et de les regrouper en zones. Une séparation thermique devrait être réalisée entre les zones qui présentent une grande différence de température de l'air. Pour le choix des zones de ventilation, il convient de tenir compte des facteurs suivants : Température de consigne, températures maximales, besoins de déshumidification, périodes d'utilisation et variations d'utilisation. Il faut déterminer quelles pièces seront alimentées ensemble par un appareil de ventilation et combien d'appareils de ventilation seront prévus au total. Le plus simple est de faire coïncider les zones de température et de ventilation. Si l'on prévoit plusieurs petites unités de ventilation, le mieux est de les régler en fonction des besoins réels. Il convient toutefois de choisir un moyen praticable et de regrouper les zones. Pour des raisons d'énergie et de confort, il convient de ventiler en fonction des besoins, mais en même temps, les coûts d'investissement doivent

rester faibles et la régulation simple. Pour certaines pièces ou petites zones dont l'utilisation est très différente du reste, il vaut la peine de vérifier si un petit appareil décentralisé peut être utilisé. La tâche fondamentale de la ventilation est d'assurer un renouvellement d'air hygiénique. Parallèlement, la ventilation peut servir à chauffer les pièces annexes, ce qui évite l'installation de radiateurs.

Lors de la mise en œuvre, les objectifs centraux suivants devraient être poursuivis : Un réseau de gaines à faible perte de charge, des ventilateurs efficaces, un taux élevé de mise à disposition de chaleur ainsi qu'une régulation du débit d'air en fonction des besoins.

### **Débits volumétriques adaptés aux besoins**

Pour le niveau des débits volumétriques dans les zones secondaires, il existe différentes exigences dans les normes et les règlements. Dans ce contexte, le débit volumétrique est toujours indiqué pour le cas le plus défavorable. L'instrument fondamental et très important du concept de Passivhaus est de réaliser un débit volumétrique adapté aux besoins. Dans la Passivhaus de Bambados, les coûts d'électricité pour la ventilation ont ainsi pu être réduits de 50 %. En plus de l'économie d'électricité, les pertes de chaleur dues à la ventilation et donc la consommation de chauffage diminuent.

La première étape d'une régulation en fonction des besoins consiste à ne faire fonctionner l'appareil qu'aux heures d'utilisation. Il faut éventuellement prévoir un temps de rinçage et dans tous les cas un temps de pré-rinçage avant le début de l'utilisation. Pendant la période de pré-rinçage, l'air est renouvelé, ce qui permet de garantir une bonne qualité de l'air dès le début de l'utilisation de la pièce. Un simple changement d'air en guise de pré-rinçage semble approprié. La deuxième étape d'une régulation adaptée aux besoins est l'adaptation du débit volumétrique à l'utilisation réelle et momentanée de la zone. Selon le type d'utilisation, il est possible d'utiliser des capteurs d'humidité, des capteurs de CO<sub>2</sub> ou des détecteurs de présence.

### **Douches et vestiaires**

Il est recommandé de diriger le flux d'air des vestiaires vers les douches. L'air peut ainsi être "doublement" utilisé, ce qui permet de réduire le débit total et la taille des unités de ventilation.

Les douches et les vestiaires peuvent alors être alimentés par une seule unité de ventilation : L'air frais est amené dans les vestiaires, d'où il est diffusé dans les douches. En plus d'un renouvellement d'air de base, le débit est régulé en fonction de l'humidité pendant la période d'utilisation : Si le besoin de déshumidification est plus important dans les douches, le débit total de l'appareil est augmenté. La nuit, l'appareil est éteint et il y a un circuit de sécurité pour éviter une humidité trop élevée dans les douches.

## Cave technique

La cave technique doit également être alimentée en air frais, car le personnel y séjourne quotidiennement. En outre, la ventilation sert à déshumidifier. Étant donné que même avec une technique de ventilation et de piscine efficace, de la chaleur est transmise à l'espace environnant, une ventilation avec récupération de chaleur va de soi - comme dans le reste de la piscine couverte. Il faut alors évaluer si le local technique doit être ventilé par un appareil de ventilation propre ou, par exemple, par l'appareil de ventilation des vestiaires. Afin de limiter les pertes de chaleur dues à la ventilation, le renouvellement d'air ne doit pas être inutilement élevé.

## Réseau de gaines et appareils de ventilation

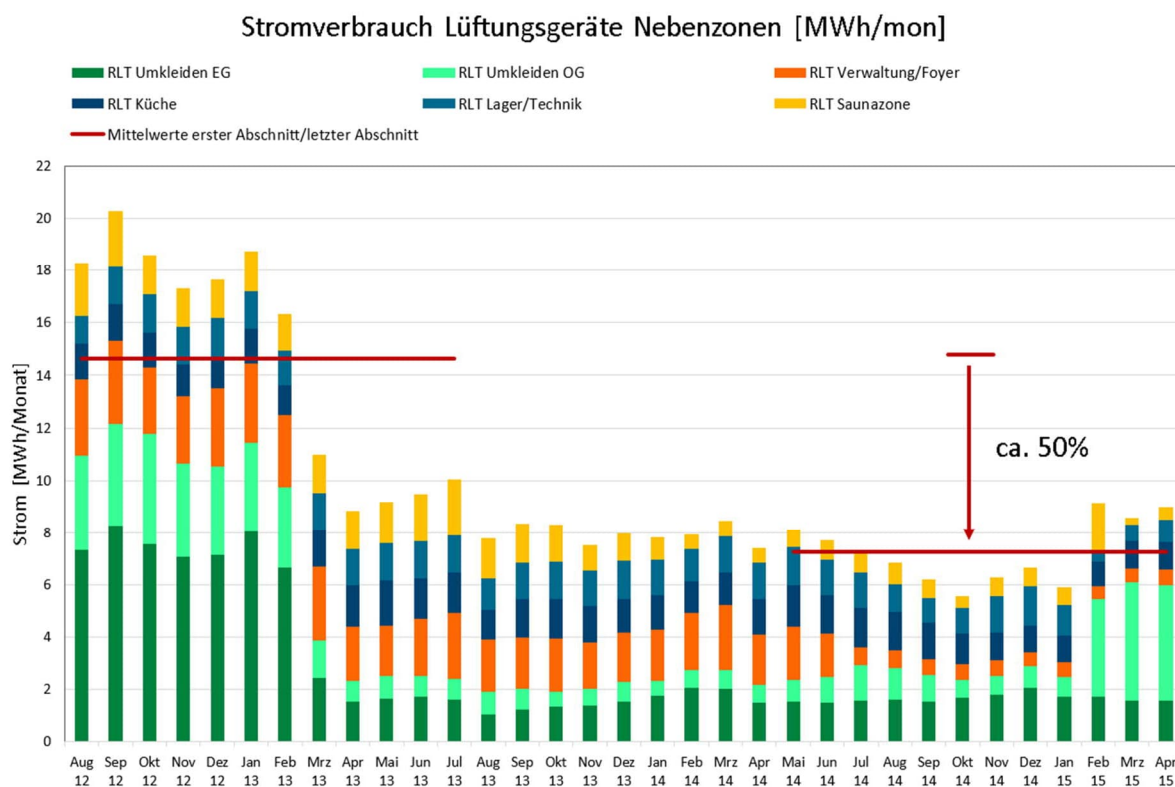
Les principes de base énoncés au chapitre 3.1 Ventilation des piscines couvertes s'appliquent également au réseau de gaines et aux appareils de ventilation des zones annexes. Pendant la phase de planification, il convient déjà de déterminer quels conduits peuvent être mesurés pour l'équilibrage et à quelles positions. Si des régulateurs de débit sont prévus pour pouvoir réguler individuellement certaines zones, l'économie réalisée grâce à la régulation devrait être mise en balance avec la surconsommation due aux pertes de charge supplémentaires.

## Régulation

Principe important : garder la régulation aussi simple que possible ! Même si la technique et les fabricants offrent de nombreuses possibilités, il ne faut pas oublier que des concepts de régulation doivent être élaborés et que les programmations doivent être effectuées et contrôlées. La planification est plus efficace lorsque le futur exploitant peut être impliqué. S'il connaît les régulations prévues, il peut mieux les contrôler, les gérer et les optimiser pendant l'exploitation.

Dans certaines zones froides du bâtiment (par ex. l'administration), une ventilation nocturne passive peut-être utile et nécessaire pour le refroidissement. Il est important que celle-ci soit utilisée de manière ciblée, car la majeure partie du bâtiment a besoin de chauffage tout au long de l'année. La ventilation nocturne peut être passive, grâce à l'aération par les fenêtres, ou active, grâce à l'appareil de ventilation avec bypass d'été. La stratégie de ventilation passive a l'avantage de ne pas introduire de charges thermiques supplémentaires, contrairement à la ventilation avec des ventilateurs. Une protection solaire extérieure est recommandée dans ces zones, car elle réduit considérablement les gains solaires.





**Fig. 16 Bambados : Le réglage des appareils de ventilation pour les zones secondaires a permis d'adapter les débits aux besoins réels et d'économiser ainsi 50% de la consommation d'électricité.**

## 4 Technique des piscines

Une grande partie de la consommation d'énergie dans les piscines est nécessaire pour la mise à disposition d'une eau de piscine chaude et hygiénique. D'une part, l'énergie électrique est nécessaire pour le nettoyage et le transport de l'eau du bassin et d'autre part, il y a un besoin de chauffage pour chauffer l'eau du bassin. Une planification bien pensée de la technique de la piscine, y compris le choix des composants et l'optimisation du mode de fonctionnement, permet de réduire considérablement les besoins en énergie. Dans les bassins non-nageurs et de loisirs, le potentiel d'économie est plus élevé que dans les bassins de natation en raison des températures et des charges généralement plus élevées (plus de baigneurs par surface de bassin et donc plus de besoins en eau fraîche), et il est donc particulièrement intéressant de veiller à une grande efficacité.

Il existe de nombreuses approches différentes pour le traitement de l'eau de baignade avec différents systèmes de filtration. Le choix devrait être fait pour chaque bain en fonction des conditions marginales et en vue de l'efficacité énergétique.

### 4.1 Besoin en électricité pour la circulation de l'eau du bassin

En ce qui concerne les besoins en électricité de la technique des piscines, les pompes utilisées pour faire circuler l'eau du bassin sont au premier plan. En raison de leur longue durée de fonctionnement et de leurs performances élevées comparables, même de petites améliorations se font fortement ressentir en termes d'énergie et de coûts. Avec des systèmes très efficaces, il est possible d'atteindre une consommation électrique de 25-40 W par m<sup>3</sup>/h de débit de circulation (par rapport au débit de traitement à charge nominale selon la norme DIN 19643 avec un facteur de charge  $k = 0,5 \text{ m}^{-3}$ ). Rapporté à la surface du bassin, cela correspond à environ 10-17 W/m<sup>2</sup> pour les bassins de natation et à environ 17-29 W/m<sup>2</sup> pour les bassins non-nageurs.

**Tab. 3 : Estimation des besoins spécifiques en électricité des pompes de circulation pour différentes pertes de charge. Les hypothèses suivantes ont été retenues : Facteur de charge  $k = 0,5 \text{ m}^{-3}$ , rendement total de la pompe = 70%.**

Schwimmerbecken			
Nennbelastung	Druckverluste	mittlere spezifische Stromaufnahme	
$\text{m}^2/\text{P}$	mWs	$\text{Wh}/\text{m}^3$	$\text{W}/\text{m}^2$
4,5	4	16	7
4,5	6	23	10
4,5	8	31	14
4,5	10	39	17
4,5	15	58	26
4,5	20	78	35
4,5	25	97	43

Nichtschwimmerbecken			
Nennbelastung	Druckverluste	mittlere spezifische Stromaufnahme	
$\text{m}^2/\text{P}$	mWs	$\text{Wh}/\text{m}^3$	$\text{W}/\text{m}^2$
2,7	4	16	12
2,7	6	23	17
2,7	8	31	23
2,7	10	39	29
2,7	15	58	43
2,7	20	78	58
2,7	25	97	72

### Pertes de pression du réseau de canalisation

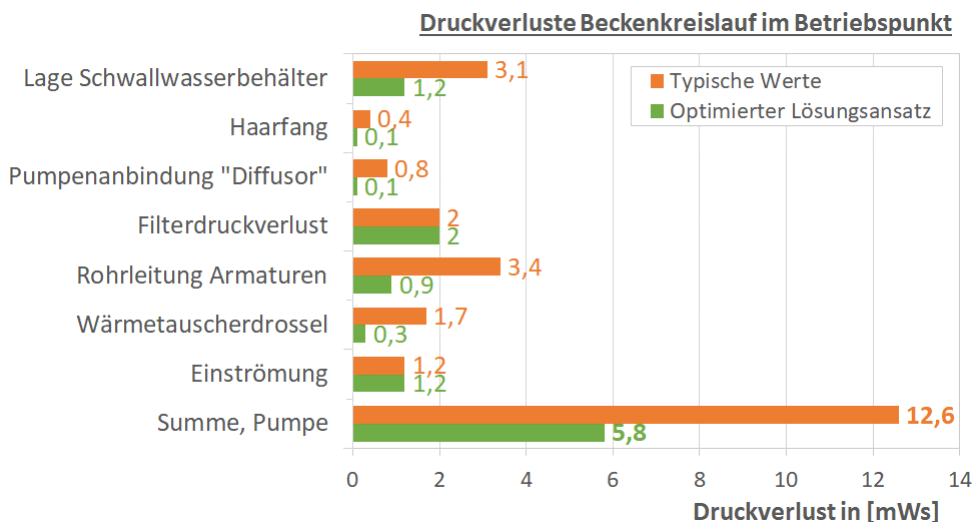
La composition de l'ensemble du réseau de tuyauterie détermine la hauteur de refoulement que la pompe peut maîtriser. En règle générale, plus les pertes de charge sont faibles, moins l'énergie nécessaire au fonctionnement est importante. Il est donc essentiel de réduire au maximum les pertes de charge afin d'obtenir un fonctionnement efficace. En règle générale, il convient de viser 5 à 10 mWS (pour un encrassement moyen des filtres) pour une solution efficace - le moins élevé étant le mieux.

Les mesures suivantes contribuent à réduire les pertes de charge :

- Réseau compact de canalisations avec des tuyaux courts et directs
- Dimensionnement généreux des diamètres de canalisation. Comme valeur cible de dimensionnement, on prendra 1-1,3 m/s comme vitesse de déplacement du fluide
- Pièces de forme à faible perte de pression (par ex. deux pièces de tuyau à 45° au lieu d'une à 90°, clapets FW (à fermeture par ressort) au lieu de clapets anti-retour conventionnels, etc.)
- Emplacement du bassin de tranquillisation (différence de hauteur la plus faible possible par rapport à la surface de l'eau du bassin)
- Choix du débit d'eau du bassin
- L'utilisation de diffuseurs après les pompes

Dans la pratique, les pertes de charge sont souvent nettement supérieures au potentiel technique et les potentiels d'économie ne sont pas exploités par les approches de planification courantes. Pour aider à trouver des valeurs d'orientation, la figure 17 présente les pertes de pression (au point de fonctionnement typique) de différents composants dans le circuit du bassin. Dans ces exemples, les pertes de pression totales sont de 5,8 mWS dans le cas

optimisé. Chaque bain individuel est conçu un peu différemment et il convient d'optimiser le système global au cas par cas.



**Fig. 17 : Pertes de pression des différents composants d'un circuit de piscine pour des solutions courantes (orange) et une approche optimisée (vert). Les données ont été traitées par le bureau d'études Inco et reflètent des valeurs moyennes issues de mesures et d'analyses de nombreux bains. Au total, les pertes de charge sont ici réduites de plus de 50%, passant de 12,6 mWS à 5,8 mWS.**

## Sélection des pompes

Le facteur décisif pour l'efficacité de la pompe est finalement le rendement de l'ensemble du système au point de fonctionnement réel, c'est-à-dire le rendement combiné du moteur électrique, plus l'hydraulique de la pompe, ainsi que la régulation électronique. Pour une solution efficace, il faut viser des rendements globaux (pompe, moteur et convertisseur de fréquence) supérieurs à 70%.

Recommandations d'action et conseils pour le choix de la pompe :

- Il faut veiller en priorité à ce que le moteur électrique soit très efficace. Il s'agit généralement de moteurs à aimants permanents ou de moteurs synchrones (par opposition aux moteurs asynchrones conventionnels).
- Seul le choix d'une pompe adaptée permet d'obtenir un rendement élevé dans la pratique. Il est important d'adapter correctement le système aux points de fonctionnement réels. La condition préalable est un calcul précis et une bonne compréhension des pertes de charge en fonctionnement. Dans ce cas, il faut par exemple optimiser le choix de la pompe en fonction des pertes de charge moyennes à travers les filtres, plutôt que des pertes de charge en cas de conception maximale.
- L'utilisation de convertisseurs de fréquence (FU) est désormais à la pointe de la technologie pour un fonctionnement efficace. La régulation de la vitesse de la pompe au moyen d'un variateur de fréquence permet d'atteindre une efficacité élevée même en cas de points de fonctionnement différents (par exemple, abaissement nocturne ou différents degrés d'encrassement des filtres). De plus, l'utilisation d'un variateur de vitesse garantit un tampon pour un fonctionnement efficace de la pompe si les pertes de charge de l'installation devaient s'écarter des valeurs de planification dans la pratique.
- Le choix du matériau de la pompe a une influence sur son efficacité et notamment sur l'usure. L'utilisation de pompes revêtues permet de réduire le risque de corrosion.



**Fig. 18 : Pompes de circulation dans le circuit d'eau du bassin sans (à gauche) et avec (à droite) un diffuseur en aval (Photos : à gauche PHI ; à droite INCO)**

### Mode de fonctionnement des pompes de circulation

Il n'est pas obligatoire de faire circuler l'eau du bassin en permanence avec le plein courant de dimensionnement. En dehors des heures de fonctionnement ou lorsque les baigneurs sont peu nombreux, la consommation d'électricité peut être réduite par un fonctionnement à charge partielle. La condition impérative est de garantir la qualité de l'eau. La régulation peut par exemple se faire très simplement par une minuterie pour différents niveaux de réduction (p. ex. charge partielle la plus basse en dehors des heures de service, charge partielle moyenne pendant les heures de faible fréquentation). Le potentiel d'économie est particulièrement élevé pour les bassins non-nageurs, pour lesquels le débit volumique de circulation nominal selon DIN est conçu avec une densité d'occupation du bassin plus élevée. Dans ce cas, même avec un débit volumétrique réduit, il est encore possible d'obtenir un taux de renouvellement élevé de l'eau du bassin (circulation 1/h).

- Circulation interne :  
Dans ce cas, le débit volumétrique est prélevé sous la surface de l'eau du bassin et circule donc sans gouttière de débordement ni réservoir d'eau de rinçage. Les pertes de charge étant plus faibles, la consommation électrique diminue également. Il faut veiller à ce que la circulation dans le bassin soit suffisante. La circulation interne peut être réalisée pour l'ensemble du débit volumétrique ou seulement pour un volume partiel.
- Réduction temporaire du débit volumétrique :  
La consommation d'électricité diminue proportionnellement à la puissance 3 du facteur de réduction, ce qui signifie que de faibles baisses sont déjà très efficaces. Dans tous les cas, il faut veiller à ce que le débit du bassin soit garanti. En d'autres termes, de faibles réductions sur une longue période sont plus avantageuses que des réductions temporaires importantes pour garantir la qualité de l'eau.



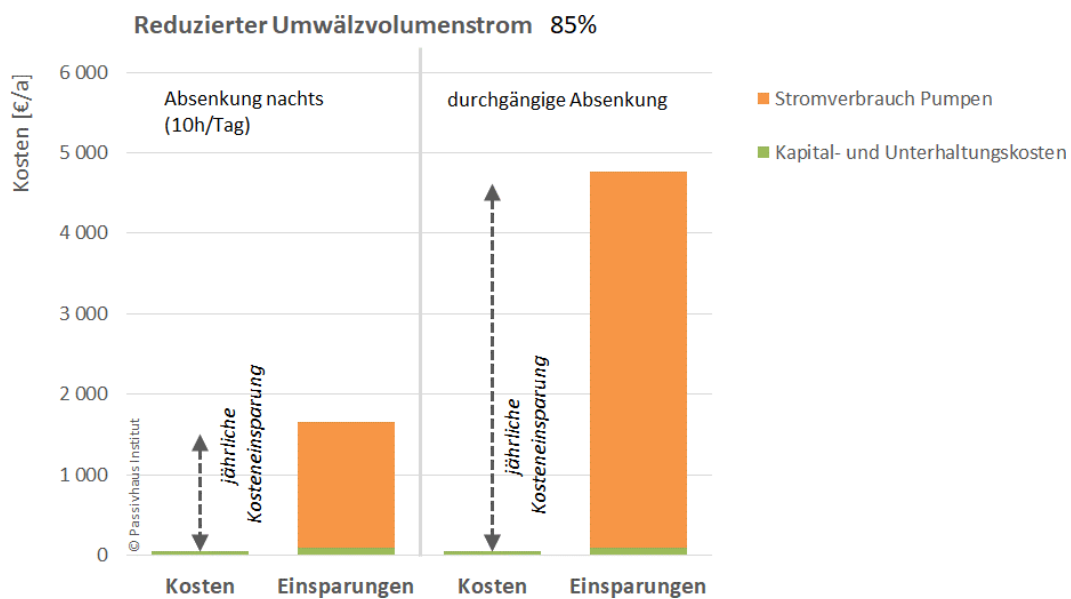
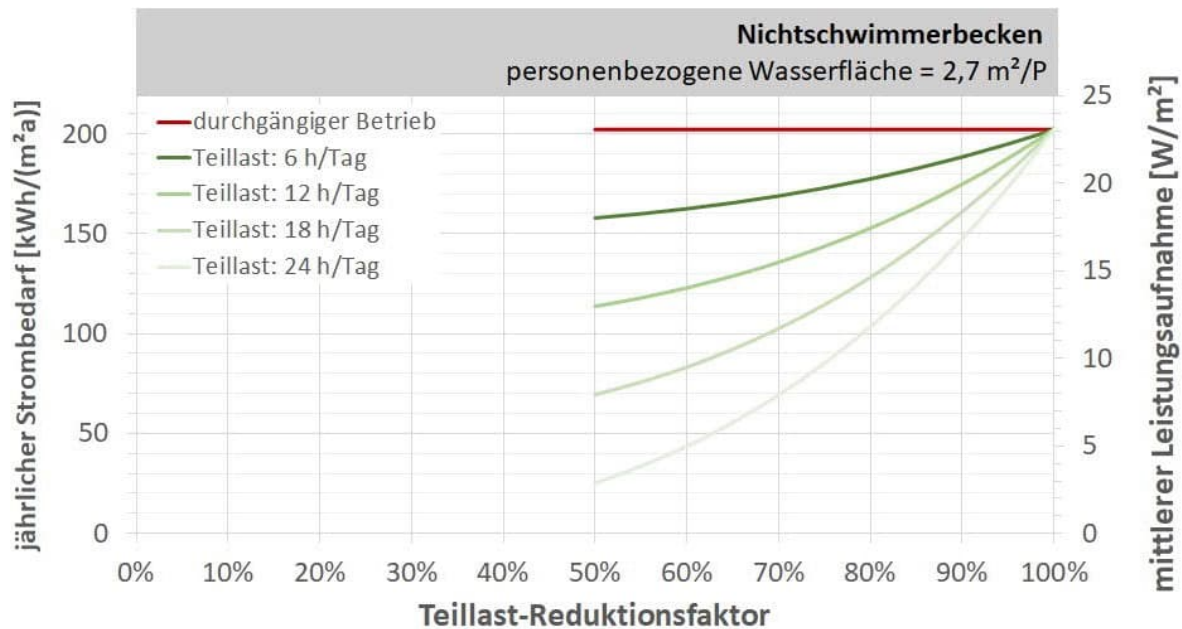
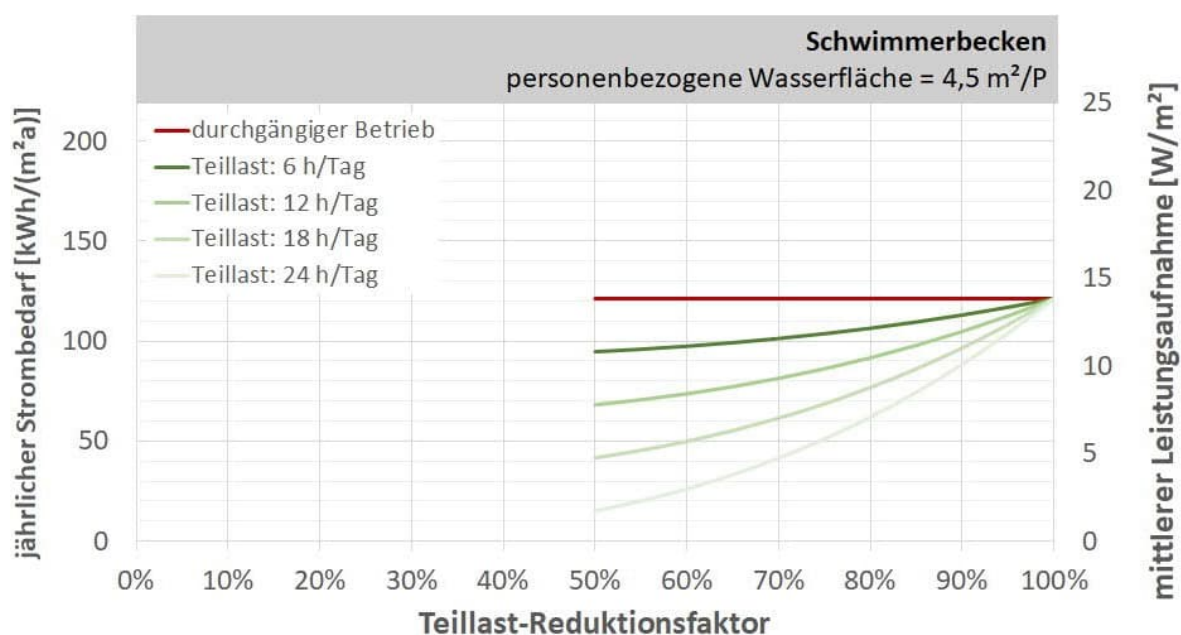


Fig. 19 : Exemple d'analyse coûts/bénéfices pour une circulation réduite du bassin à 85 % en dehors des périodes d'utilisation (à gauche) ou en continu (à droite). Source : [Gollwitzer et al. 2018]





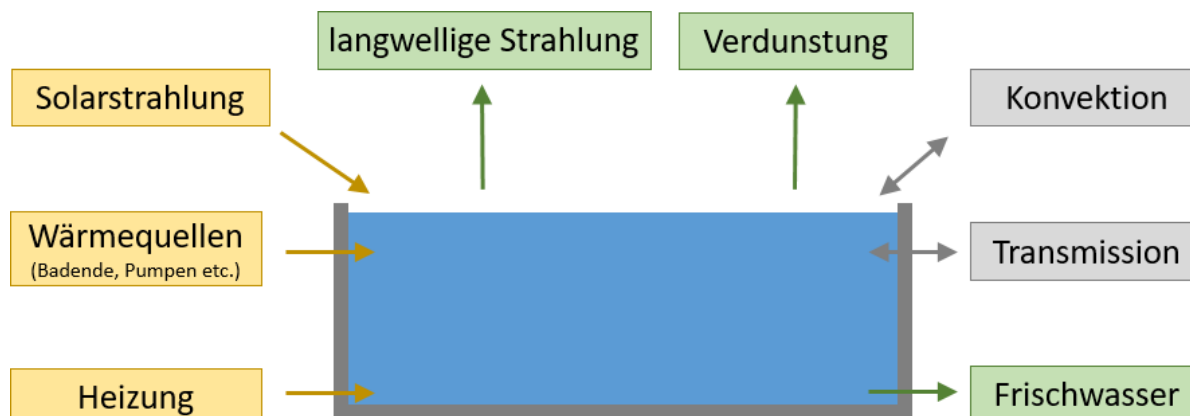
**Fig. 20 : Exemples de besoins en électricité des pompes de circulation pour différents fonctionnements à charge partielle pour un bassin non-nageur (en haut) et un bassin nageur (en bas). Conditions limites : 8 mWS de perte de charge et 70% de rendement total de la pompe. Source : [Gollwitzer et al. 2018]**

Exemple de la figure 20 ci-dessus (bassin non-nageur) : si le débit de circulation est réduit à 60 % pendant 12 heures, la consommation d'électricité est d'environ 120 kWh par m<sup>2</sup> de bassin par an. En revanche, si la réduction peut être répartie uniformément sur 24 heures au lieu de 12 heures, le débit de circulation est de 80 % en permanence et la consommation d'électricité est encore plus faible, à savoir environ 100 kWh/(m<sup>2</sup>a). Dans les deux cas, le taux de renouvellement total de l'eau est identique sur 24 heures.

## 4.2 Besoin en chaleur de chauffage de l'eau du bassin

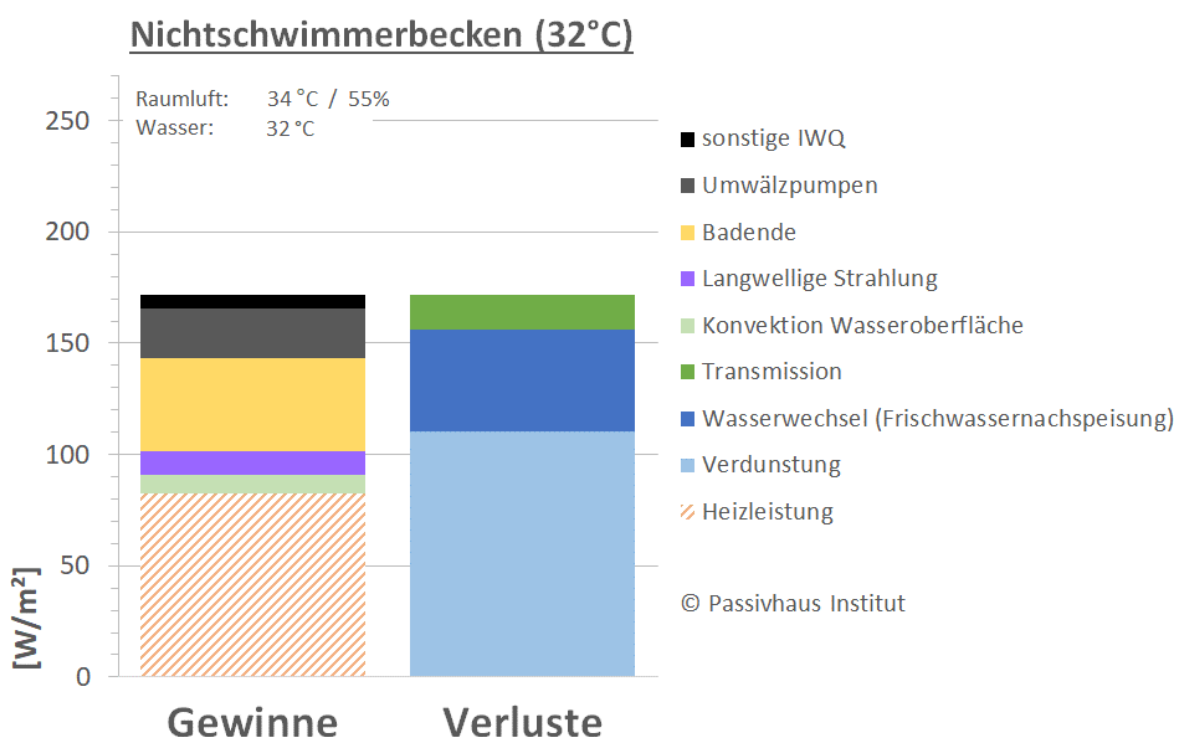
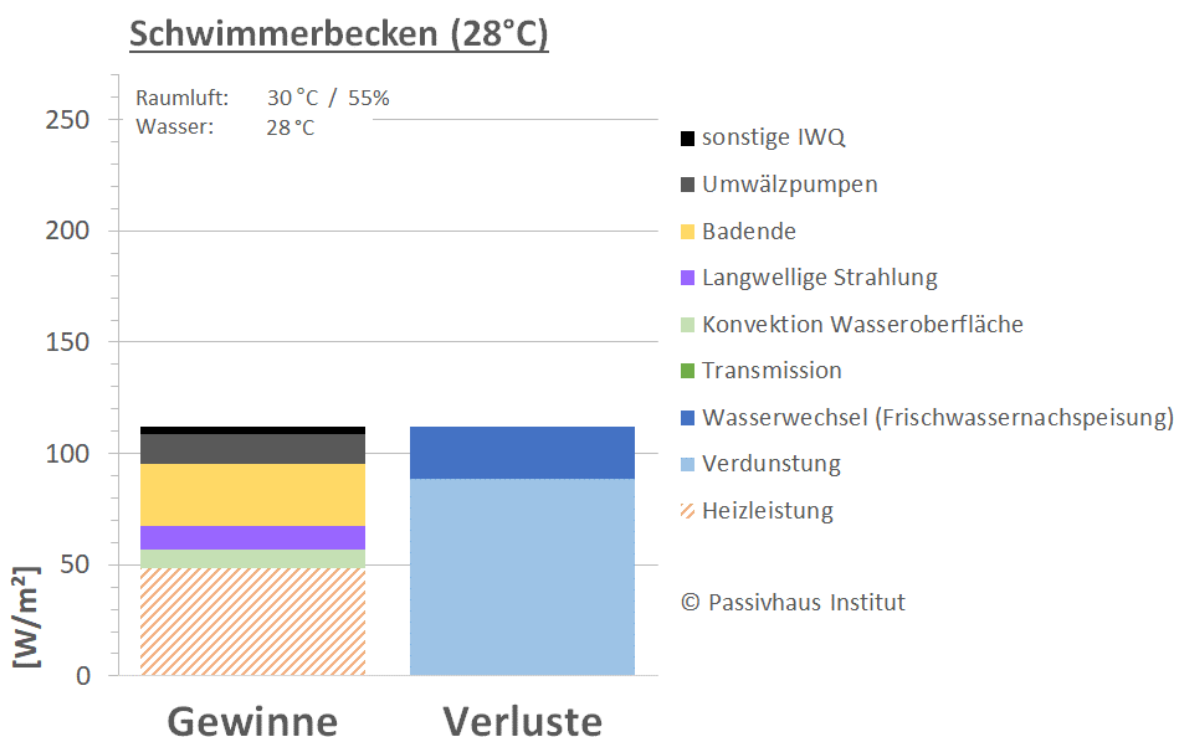
On peut s'attendre à ce que les besoins en chauffage pour l'eau des piscines se situent dans une fourchette d'environ 400-700 kWh/(m<sup>2</sup><sub>SBA</sub>) pour des solutions efficaces. Cependant, il existe de nombreux facteurs d'influence qui peuvent provoquer des écarts importants et rendre la comparaison difficile sans informations supplémentaires, par exemple les interactions avec l'efficacité de la technique de la piscine : les pompes inefficaces avec une consommation d'électricité élevée transmettent plus de chaleur à l'eau du bassin, ce qui réduit les besoins en chauffage.

Les facteurs d'influence et les besoins de chauffage attendus peuvent être calculés à l'aide d'un bilan énergétique. Un calcul a été développé à cet effet par l'Institut Passivhaus, qui peut servir de support utile lors de la planification, afin de mieux évaluer l'impact énergétique des conditions limites (par ex. température et humidité), ainsi que des composants choisis (par ex. technique de filtration et besoins correspondants en eau de rinçage).



**Fig. 21 : Les paramètres essentiels pour le bilan énergétique d'une piscine (piscine couverte).**

En règle générale, plus la température de l'eau est basse, plus les besoins en chauffage sont faibles. La température doit donc être maintenue aussi basse que possible en fonction de l'utilisation prévue et du confort des visiteurs. En outre, la quantité d'eau fraîche nécessaire chaque jour est déterminante pour les besoins en chauffage. Le volume minimal hygiénique est de 30 litres par client. Dans la pratique, la quantité d'eau nécessaire au rinçage des filtres est également souvent déterminante pour la consommation d'eau. Cette quantité dépend de la technologie de filtration choisie et des conditions marginales de chaque cas. Comme valeur d'orientation, dans le cas de filtres multicouches conventionnels, on peut se baser sur un besoin en eau de rinçage des filtres d'environ  $0,6 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{mois})$  par mois pour les bassins de natation et de  $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{mois})$  pour les bassins non-nageurs. Lors de la planification, il convient de veiller, lors du choix de la technique de piscine, à ce que les quantités d'eau fraîche nécessaires ne soient pas inutilement élevées, car une consommation d'eau élevée s'accompagne d'une consommation d'énergie plus importante et également de coûts d'exploitation plus élevés.



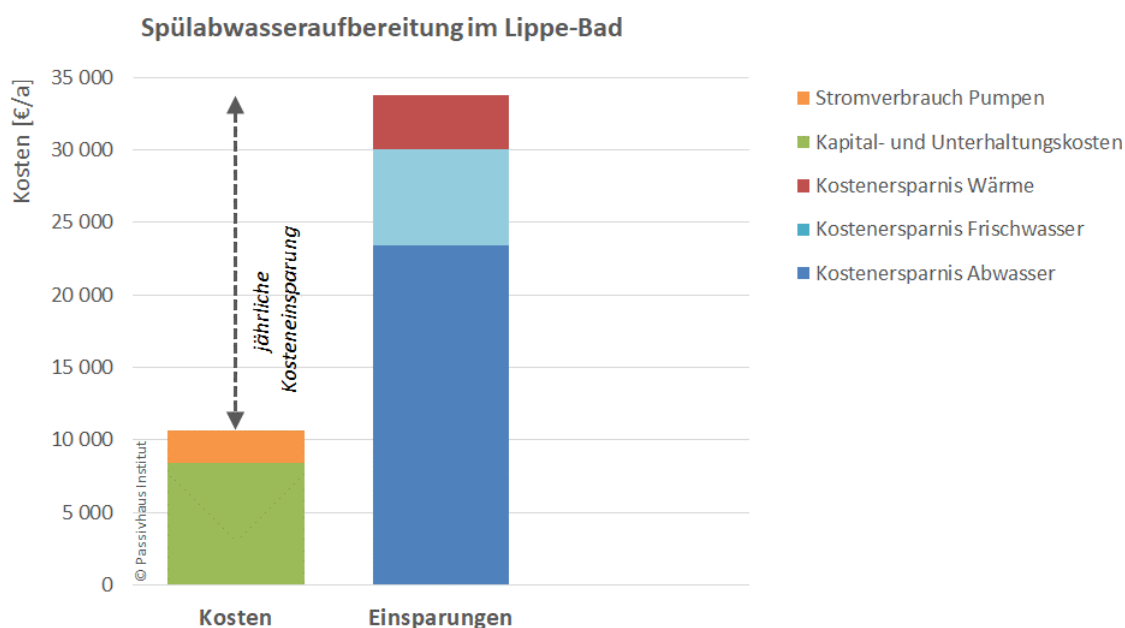
**Fig. 22 : Exemples de bilans énergétiques pour un bassin de natation et un bassin de non-natation. Les besoins spécifiques en chauffage par m² de surface d'eau sont en général plus élevés pour les bassins non-nageurs en raison de la température plus élevée de l'eau et du nombre plus important de personnes (besoin plus important en eau fraîche). Source : : [Gollwitzer et al. 2018].**

Il existe en principe deux approches différentes permettant de réduire efficacement les pertes de chaleur de l'appoint d'eau. Plus la quantité d'eau fraîche nécessaire est importante, plus ces mesures ont de poids :

- Traitement de l'eau de rinçage du filtre pour la réutiliser dans la salle de bains, par exemple comme eau sanitaire (toilettes) et/ou comme eau de remplissage des bassins.
- Récupération de la chaleur des eaux chaudes de rinçage des filtres, soit par une méthode passive, soit par un échangeur de chaleur ou avec un système actif avec une pompe à chaleur.

### Traitement des eaux de rinçage

Dans le projet pilote Lippe-Bad, la solution réalisée de traitement des eaux de rinçage avec une triple utilisation (alimentation en amont, eau de remplissage des bassins et utilisation de l'eau industrielle), combinée à une récupération passive de la chaleur, se révèle très économique (voir illustration 23). De tels potentiels apparaissent notamment dans le cas de l'ultrafiltration avec un besoin en eau de rinçage comparable. Le potentiel d'économie (énergie et eau) et la rentabilité d'une solution système appropriée doivent être examinés au cas par cas. Un facteur d'influence essentiel pour la rentabilité d'une installation de traitement des eaux de rinçage est par exemple la technologie de filtration et de désinfection choisie. En raison des économies réalisées sur les coûts élevés des eaux usées, une installation de traitement des eaux destinée à alimenter directement un cours d'eau est généralement rentable. En revanche, un traitement destiné à être utilisé comme eau de remplissage pour les circuits des bassins est techniquement plus complexe et plus coûteux (exigences plus élevées en matière de qualité de l'eau, une deuxième barrière antivirale peut être nécessaire) - mais peut également être économiquement viable dans certains cas. Dans [Gollwitzer et al. 2018], des analyses coûts-avantages ont été réalisées à titre d'exemple.



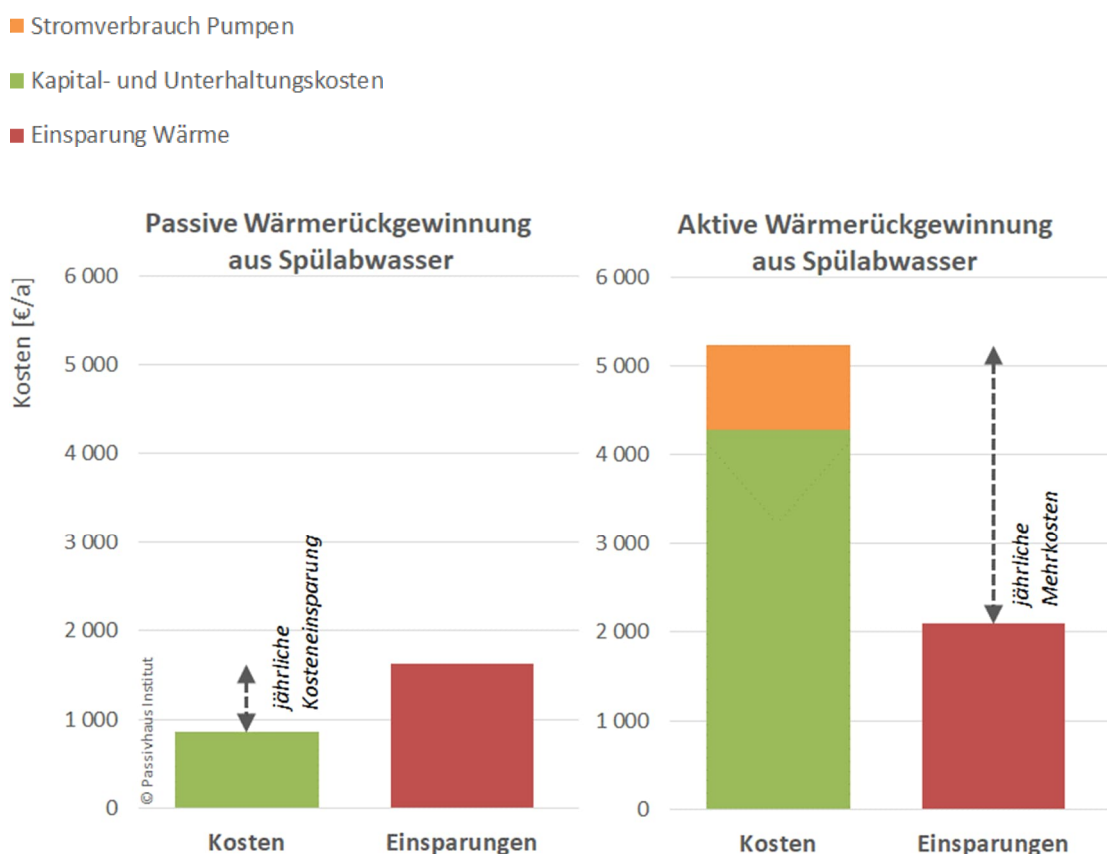
**Fig. 23 : Analyse coûts-avantages de l'installation de traitement des eaux de rinçage à Lippe-Bad.**  
Source : [Gollwitzer et al. 2018]



## Récupération de la chaleur des eaux de rinçage des filtres

Il existe différents systèmes permettant de récupérer la chaleur des eaux usées chaudes de lavage des filtres. On distingue essentiellement entre un système passif avec échangeur de chaleur et un système actif avec pompe à chaleur. Dans le cas d'un système actif, les potentiels d'économie d'énergie sont plus élevés, mais les coûts d'investissement le sont également. Les études menées dans [Gollwitzer et al. 2018] indiquent que les systèmes passifs pour un seul bassin de natation sont plus économiques qu'un système actif plus coûteux (voir Fig. 24).

Pour les deux approches, des réservoirs intermédiaires supplémentaires sont nécessaires afin de conserver les eaux usées et de ne les envoyer vers la récupération de chaleur qu'aux moments où l'eau fraîche froide est réalimentée.



**Fig. 24 : Exemple d'analyse coûts/bénéfices pour la récupération de chaleur des eaux de rinçage au moyen d'une pompe à chaleur. Bassin de natation de 25 m. Source : [Gollwitzer et al. 2018]**

## Évaporation

Lors de l'évaporation de l'eau à la surface, une grande quantité de chaleur est extraite du bassin. Il existe différentes approches pour réduire l'évaporation. Outre une économie d'énergie de chauffage pour l'eau du bassin, ces approches présentent également des avantages pour la ventilation du hall, car l'air doit être moins déshumidifié (voir chapitre 3).

Les mesures efficaces pour réduire l'évaporation sont les suivantes :

- Augmentation de l'humidité de l'air du hall, en permanence ou au moins en dehors des heures d'ouverture. Une valeur indicative pour la planification est une humidité d'environ 55-60% pendant les heures d'exploitation. Pour cela, il faut que l'enveloppe du bâtiment soit bien isolée et que la formation de condensation soit évitée. Pour des raisons de protection des bâtiments, l'humidité relative ne devrait pas dépasser 64 %.
- Abaissement nocturne du niveau d'eau au moyen d'une circulation interne (pas d'évaporation par le système de gouttières, ainsi qu'une surface d'évaporation globalement réduite).
- Conception du trop-plein d'eau (système de rigoles)
- Peu d'attractions aquatiques ou des durées de fonctionnement réduites (uniquement en cas d'utilisation effective).

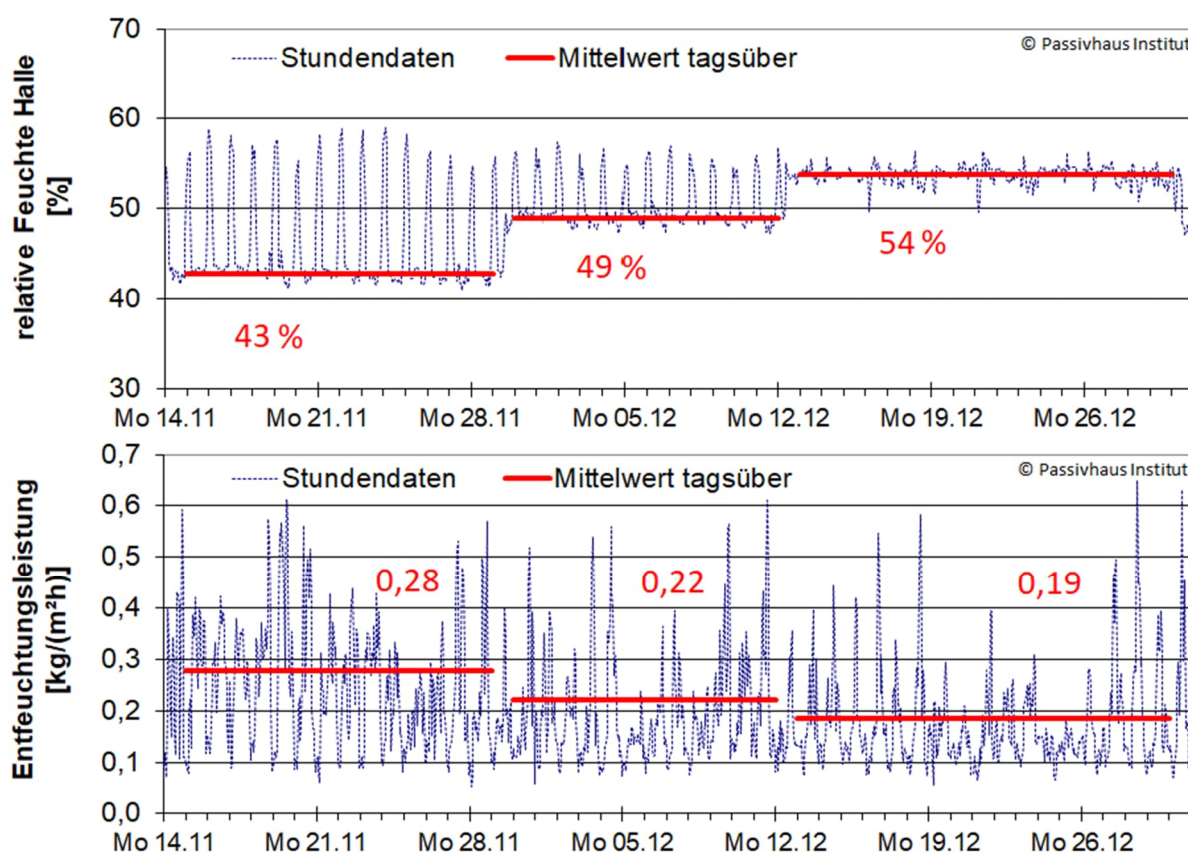


Fig. 25 : Série d'essais à Lippe-Bad : en cas d'augmentation de l'humidité (en haut), la puissance de déshumidification fournie par l'installation de ventilation diminue (en bas). Les valeurs moyennes pendant les heures d'ouverture sont indiquées en rouge. Cela permet également de conclure à une évaporation réduite. [Gollwitzer et al. 2018]

## Attractions et autres potentiels d'économie dans la technique des piscines

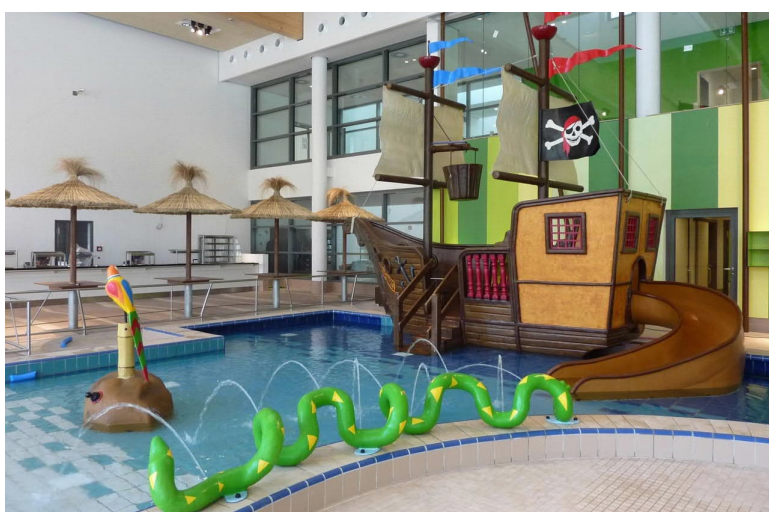
Dans le domaine de la technique des piscines, il existe d'autres points de départ pour économiser de l'énergie. Il est important que l'ensemble du système - composants et régulation - soit adapté à l'utilisation et à la technique de filtration choisie. Il s'agit de réduire le nombre de consommateurs d'électricité, d'utiliser la technique la plus efficace possible et de maintenir les besoins en chauffage et en électricité à un faible niveau grâce au mode de fonctionnement.

Des exemples concrets de mesures d'économie supplémentaires :

- Les attractions :

Les attractions aquatiques telles que les toboggans, les buses de massage, les champignons aquatiques ou autres nécessitent du courant supplémentaire pour faire fonctionner les pompes. De plus, leur fonctionnement entraîne une évaporation accrue, avec des pertes de chaleur par évaporation et un besoin accru de ventilation. Une mesure d'économie d'énergie essentielle pour les attractions consiste à veiller à une bonne régulation, c'est-à-dire à n'activer un fonctionnement qu'en cas de besoin. Pour cela, il existe différentes possibilités, par exemple via des boutons manuels avec minuterie (arrêt automatique après un temps de fonctionnement prédéfini), via des déclencheurs automatiques (par ex. barrière lumineuse pour les toboggans) ou via des minuteries (horaires fixes ou commande intelligente tenant compte du nombre de visiteurs).

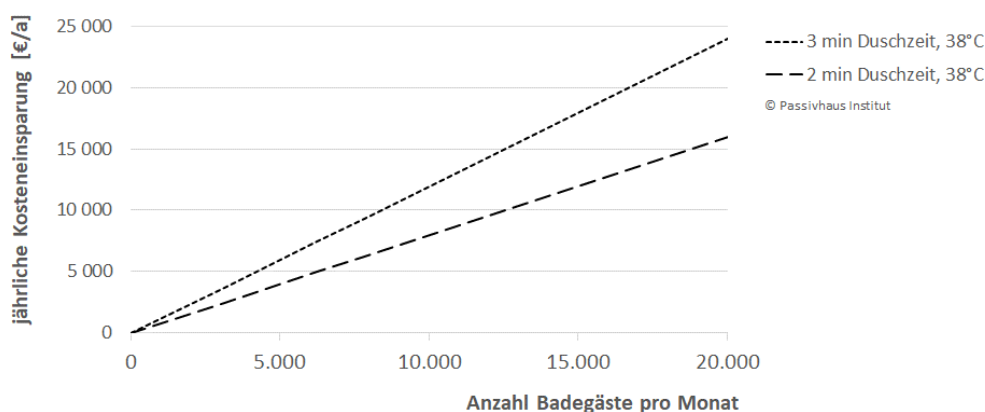
- Intégrer le guidage de l'eau de mesure pour le contrôle de la qualité de l'eau dans le circuit de circulation, c.-à-d. réalisation sans pompes supplémentaires. En outre, réintroduire l'eau de mesure dans le circuit du bassin au lieu de l'évacuer sous forme d'eaux usées. Cela réduit la consommation d'électricité et d'eau.
- Réduction des pertes de chaleur en évitant les ventilations en toiture (par ex. du réservoir d'eau d'éclusee).
- Nettoyage régulier des filtres des pompes pour un fonctionnement efficace des pompes.



**Illustration 26 : Bassin pour petits enfants avec attractions (Bambados)**

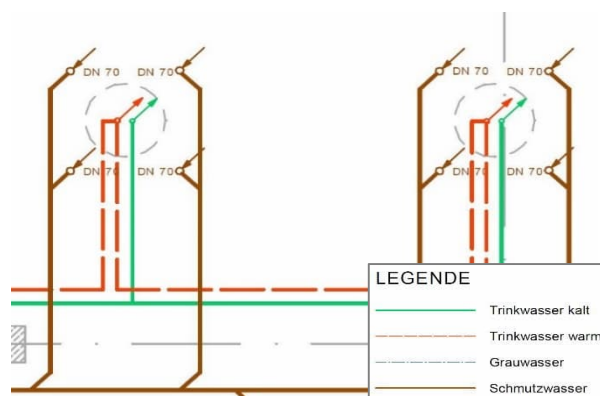
## 5 Eau chaude des douches

Outre le chauffage de l'eau des bassins, les besoins en chauffage de l'eau chaude sanitaire dans les piscines couvertes sont principalement dus à l'utilisation des douches. L'utilisation de robinets à économie d'eau et à fermeture automatique est recommandée pour économiser de l'énergie, de l'eau et des coûts. Le débit des robinets de douche devrait être d'environ 6 l/min et fournir en même temps un jet abondant. Il existe également des systèmes d'économie d'eau avec récupération de chaleur et/ou traitement de l'eau pour les douches à effet pluie, utilisées par exemple dans les spas.



**Illustration 27 : Exemple d'économie de coûts annuels grâce à l'utilisation de robinets à économie d'eau (6 l/min, contre 12 l/min habituellement) pour différents nombres de visiteurs et temps de douche moyen par baigneur. Source : [Gollwitzer et al. 2018]**

Si, grâce à une planification judicieuse, la production et la consommation d'eau chaude peuvent être regroupées à proximité, cela permet d'avoir un réseau de tuyaux compact avec de courtes longueurs de conduites. Cela permet non seulement d'économiser de l'électricité pour les pompes de circulation d'eau, mais aussi de réduire les pertes de distribution et donc les besoins en chauffage pour l'eau chaude. Un réservoir d'eau chaude entièrement isolé y contribue également.



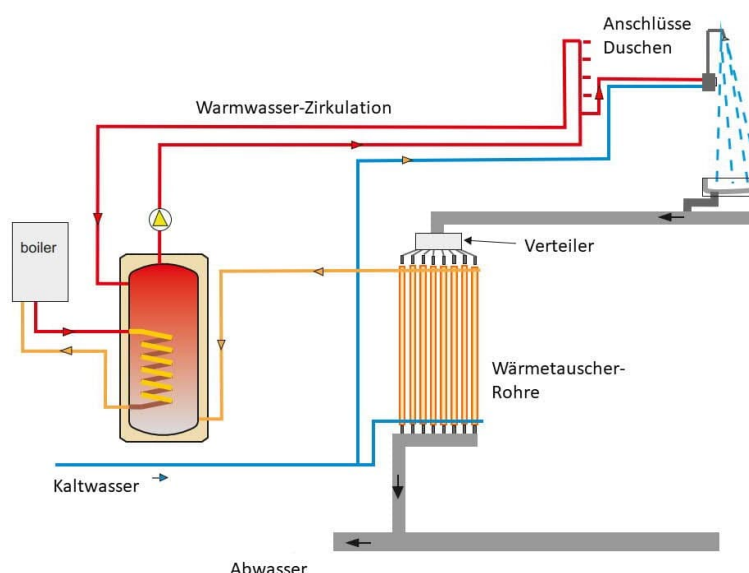
**Fig. 28 : Douches collectives aux bains de Lippe avec conduite centrale au milieu de chacune des deux colonnes de douche. A droite : plan d'exécution sanitaire, plan de la cave, source : société ENERATIO.**

## Récupération de chaleur

La récupération de la chaleur des eaux usées des douches offre un autre potentiel d'économie d'énergie important. En raison de la température élevée des eaux usées (environ 35 °C) et de leur utilisation fréquente, des mesures passives simples de récupération de la chaleur permettent déjà de réaliser des économies significatives. Des systèmes actifs avec pompe à chaleur sont également proposés sur le marché, spécialement pour l'utilisation dans les piscines couvertes.

Des systèmes éprouvés de récupération de la chaleur de l'eau des douches avec intégration d'un échangeur de chaleur passif à contre-courant dans le tuyau des eaux usées sont de plus en plus utilisés dans la construction de logements (voir par exemple [Schnieders 2015]). Pour les grandes quantités d'eaux usées, comme c'est le cas dans les piscines, des systèmes avec plusieurs tubes d'échangeurs de chaleur raccordés en parallèle sont proposés. Selon les indications des fabricants, une efficacité globale de 35 à 50 % est atteinte dans la pratique, en fonction du mode d'installation et de l'utilisation, dans certains projets exemplaires.

Il convient de noter que le préchauffage de l'eau potable froide peut être problématique d'un point de vue hygiénique (légionelles). Cela peut être évité en n'amenant pas l'eau préchauffée directement aux sorties d'eau froide des douches, mais en l'amenant d'abord à la centrale de chauffage où elle est chauffée à des températures qui ne posent pas de problème d'hygiène.



**Fig. 29 : à gauche : Exemple de raccordement de tubes collecteurs d'échangeurs de chaleur pour la récupération de la chaleur des eaux usées des douches ; source : Q-Blue (traduction PHI)**  
**A droite : Récupération de chaleur de l'eau de douche MulitVert à la piscine couverte de Mons en Baroeul (France) ; source : Gaïa Green**



## 6 Autres potentiels

Il convient de viser une efficacité énergétique élevée pour tous les secteurs de la piscine couverte. Il y a deux raisons à cela : D'une part, cela représente un grand potentiel de réduction des coûts énergétiques. D'autre part, cela permet de maintenir les charges thermiques internes à un faible niveau, ce qui est favorable au concept global de Passivhaus et au confort. Outre les domaines déjà traités, il existe d'autres domaines spécifiques au projet qui présentent un potentiel d'économie :

### Restauration

- Clarification des exigences réelles et choix approprié du processus de cuisson
- Optimisation thermique de l'appareil de cuisson
- Appareils de cuisine efficaces
- Appareils de cuisine avec raccordement direct à l'évacuation d'air
- Ventilation à la demande (phases de préparation et de cuisson)
- Récupération de la chaleur des eaux usées et de l'air vicié (buées)
- Emplacement et réalisation des chambres froides dans le bâtiment (si possible sur la façade nord et à côté des pièces plus fraîches, très bonne isolation sur toutes les faces).

### Spa

- Efficacité notamment pour les appareils qui refroidissent ou chauffent
- Faible consommation en mode veille
- Ventilation contrôlée par la demande

### Espace fitness

- Emplacement dans le bâtiment (si possible sur la façade nord et à côté de pièces plus fraîches, séparation thermique avec les parties chaudes du bâtiment)
- En cas de refroidissement actif, vérifier techniquement et financièrement l'utilisation de la chaleur résiduelle pour la piscine couverte
- Comparer les horaires d'utilisation avec ceux de la piscine couverte : soit synchroniser, soit régler la ventilation et l'éclairage séparément, évent. entrée séparée, vestiaires

### Sauna

- Positionnement des cabines de sauna (si possible à côté des zones chaudes, pas à côté des zones fraîches).
- Très bonne isolation des cabines de sauna, en particulier une isolation supplémentaire du toit peut généralement être réalisée facilement et à très bon marché.
- Ventilation des cabines de sauna : La plus grande conservation d'énergie est obtenue lorsque les cabines de sauna sont ventilées par leur propre appareil de ventilation avec récupération de chaleur. Cela doit être vérifié en fonction du projet. Une autre solution consiste à alimenter l'ensemble de l'espace sauna par un seul appareil de ventilation (air entrant dans les salles de repos/vestibules et air sortant dans la cabine de sauna).
- Antichambres de sauna et salles de repos : régulation de la ventilation en fonction des besoins, par exemple selon le CO<sub>2</sub>.

- Bassins de plongée : en cas de refroidissement actif de l'eau, vérifier l'utilisation de la chaleur résiduelle

## **Éclairage**

En raison des longues périodes d'utilisation et des grands espaces, le besoin en électricité pour l'éclairage est souvent l'un des principaux consommateurs d'électricité dans les piscines couvertes. L'utilisation de technologies efficaces (en particulier les LED), ainsi que de stratégies de régulation adaptées aux besoins, permet de réduire considérablement la consommation d'électricité.

- Veiller à ce que les LED soient adaptées aux températures élevées. (Des températures plus élevées signifient généralement une forte réduction de la durée de vie).
- Détecteurs de mouvement/de présence
- Commande de la lumière du jour pour le hall ; subdivision appropriée de l'éclairage (proche de la façade, éloigné de la façade).
- Veiller à l'utilisation de la lumière du jour lors de la disposition des fenêtres

## **Ascenseurs**

Pour évaluer l'efficacité des ascenseurs, on dispose de la méthode et du regroupement en classes énergétiques selon la norme VDI 4707. Pour vous aider, le Passivhaus Institut met à disposition un outil de calcul à télécharger : [http://www.passiv.de/de/05\\_service/02\\_tools/02\\_tools.htm](http://www.passiv.de/de/05_service/02_tools/02_tools.htm)

Souvent, la consommation d'électricité pendant les périodes de veille peut dépasser la consommation d'électricité nécessaire à la promotion active des utilisateurs. Pour une efficacité élevée, il convient de prêter une attention particulière aux aspects suivants :

- Eclairage intérieur de l'ascenseur : équipement LED efficace qui s'éteint pendant les heures de veille.
- Equipement de sécurité : solution avec une faible consommation d'énergie permanente, par ex.
- Freins de sécurité avec une commande mécanique
- Ventilation : en fonction des besoins
- Ventilation du désenfumage Gaine d'ascenseur : fermée en permanence, ne s'ouvre qu'en cas d'incendie Isoler le dessous ou le dessus de l'ascenseur de l'extérieur sur tout le pourtour.

## **Gestion technique du bâtiment (GTB)**

- Faible consommation en veille de l'installation GLB utilisée, y compris tous les sous-composants

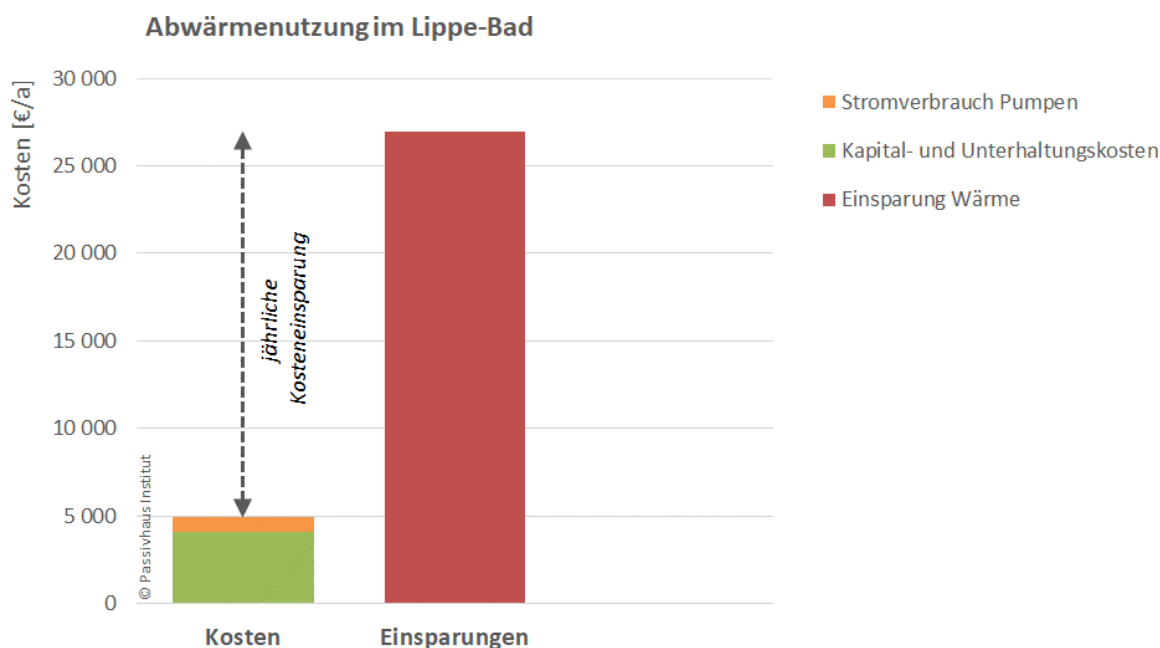
## **Nettoyage de la piscine couverte**

Si le nettoyage a lieu pendant la journée, parallèlement à l'exploitation, aucune consommation électrique supplémentaire n'est nécessaire pour l'éclairage et éventuellement la ventilation. Dans le cas contraire, il est judicieux que le personnel de nettoyage puisse allumer et éteindre un éclairage approprié en fonction des zones.

## 7 Production de chaleur

Dans un souci de durabilité et de réduction des coûts, la diminution des besoins en énergie est une priorité absolue. Lorsque les mesures d'efficacité ont été épuisées, il existe différentes possibilités de couvrir les faibles besoins énergétiques restants. Les systèmes de production d'énergie efficaces disponibles sont variés, par exemple les pompes à chaleur, les centrales de cogénération, les chaudières à gaz à condensation, l'énergie solaire thermique, etc. Il peut également être avantageux de combiner différents systèmes, par exemple pour faire la distinction entre la charge de chauffage de base et la couverture des charges de pointe.

Lors du choix du générateur d'énergie, il est important de tenir compte du contexte du projet individuel et d'exploiter les synergies potentielles. En raison de leurs besoins de chauffage élevés et permanents, les piscines couvertes peuvent par exemple être intéressantes pour l'utilisation de la chaleur résiduelle (provenant de processus industriels, comme puits de chaleur pour le refroidissement de bâtiments proches, chaleur résiduelle de centrales de chauffage, etc.) Exemple concret de Lippe-Bad : deux centrales de cogénération sont exploitées dans une cave technique adjacente et alimentent le réseau de chauffage urbain de la ville. Environ 60% des besoins totaux en chauffage de la piscine sont couverts par la seule utilisation de la chaleur résiduelle de ces centrales de cogénération. En plus de l'utilisation de la condensation (chaleur des gaz d'échappement), la chaleur résiduelle du boîtier est également utilisée dans ce cas (voir [BGL 2011], [Peper/Grove-Smith 2013] et [Gollwitzer et al. 2018] pour une description du système et des données de suivi). Cette utilisation des synergies n'est pas seulement avantageuse en termes d'efficacité, elle se révèle également très économique (voir figure 30).



**Fig. 30 : Analyse coûts-avantages de l'utilisation de la chaleur résiduelle de la centrale de cogénération aux bains de Lippe.**

En général, les piscines couvertes offrent des conditions très avantageuses pour l'utilisation de centrales de cogénération en raison des besoins en chauffage et en électricité tout au long

de l'année. La production combinée d'électricité et de chaleur est généralement une manière très efficace d'utiliser le combustible. Cela peut ensuite être complété par exemple par des chaudières à gaz à condensation pour couvrir les charges de pointe.

À la lumière de la transition énergétique, l'électricité en tant que source d'énergie renouvelable prend de plus en plus d'importance, et donc l'utilisation de pompes à chaleur en tant que générateurs d'énergie. Pour contribuer à couvrir les besoins en chauffage, on peut par exemple envisager une pompe à chaleur sur l'air extérieur. En outre, l'utilisation de pompes à chaleur pour exploiter l'enthalpie de l'air évacué est une particularité des piscines couvertes. En raison des températures élevées et de l'humidité de l'air ambiant, il existe un potentiel considérable de récupération de la chaleur de l'air évacué par la ventilation des piscines couvertes. Des systèmes de ce type sont proposés par différents fabricants de systèmes de ventilation. Le mode de fonctionnement de la ventilation (le cas échéant, des débits d'air plus faibles dans une piscine couverte Passivhaus) influence l'efficacité atteinte par la pompe à chaleur. Il faut donc absolument veiller à ce que les différents composants soient en harmonie en termes de dimensionnement et de mode de fonctionnement prévu.

Indépendamment du système choisi, il est important, pour une production de chaleur efficace, que les installations soient conçues en fonction des puissances de chauffage attendues et que les différents composants soient bien adaptés les uns aux autres. En outre, les pertes de distribution et de transfert doivent être maintenues à un faible niveau grâce à une isolation adéquate des conduites et des échangeurs de chaleur. Souvent, la décision finale est une question de coûts d'investissement et de préférences de l'exploitant.



**Fig. 31 : Lippe-Bad Lünen : le gaz naturel et la centrale de cogénération au biogaz (à gauche) et l'échangeur de chaleur des gaz d'échappement d'une des centrales de cogénération (à droite) permet d'utiliser la chaleur résiduelle "gratuite".**

## 8 Mise en service et gestion de l'exploitation

### 8.1 Technique de mesure et GTB

En règle générale, toute piscine couverte dispose d'un système de gestion technique de bâtiment (GTB) centrale qui permet de commander de manière centralisée divers processus et réglages de la technique du bâtiment et des installations. Les tâches et les dimensions des installations peuvent être très différentes. En général, les données de mesure saisies, enregistrées et éventuellement visualisées sur de telles installations peuvent également être utilisées pour le contrôle, la documentation et l'optimisation de l'exploitation.

Les possibilités varient en fonction de l'état d'aménagement et du fonctionnement de l'installation ainsi que de la qualité des capteurs et des compteurs : Plus le nombre de compteurs et de points de mesure installés est élevé, plus les possibilités de surveillance de l'exploitation sont détaillées. Toutefois, la visibilité diminue également. C'est pourquoi il convient de planifier les contrôles ultérieurs de l'exploitation dès la phase de planification. Il faut déterminer quelles grandeurs de mesure doivent être surveillées. Les possibilités de représentation sur la GTC doivent également être prises en compte, car les valeurs de mesure ne sont utiles que si elles sont représentées de manière claire et peuvent être facilement évaluées.

Des affichages judicieux sur la GTB :

- Compteurs d'électricité et de chaleur : valeurs de consommation (p. ex. kWh/mois)
- Comparaisons mensuelles (sous forme de diagrammes à barres au cours de l'année)
- Valeurs moyennes sur différentes périodes (moyennes horaires, journalières, hebdomadaires) afin d'obtenir des diagrammes lisibles pour des périodes plus longues en cas de fortes variations des valeurs.
- Représentation des valeurs moyennes nocturnes ou diurnes en cas de différences entre le mode jour et le mode nuit



Fig. 32 Compteur électrique dans une armoire GTC



## Répartition des compteurs

En tant que paramètres de consommation de base, les compteurs de référence globaux pour la chaleur ou le gaz, l'électricité et l'eau devraient être mesurés à la limite du bâtiment. Pour des raisons de facturation, ils sont généralement déjà en place. Il convient de vérifier s'ils peuvent être connectés à la GTC à un coût raisonnable.

Afin d'avoir une vue d'ensemble des fonctions du bâtiment qui consomment combien d'énergie, il est judicieux d'installer des sous-compteurs pour la chaleur et l'électricité (voir fig. 33 : 2ème niveau). Pour l'électricité, ce sont surtout les gros consommateurs qui devraient être mesurés individuellement (ventilation, technique de piscine, éventuellement éclairage). Le reste de la consommation d'électricité pourrait être enregistré en fonction des zones (vestiaires, bureaux, etc.). Dans la plupart des cas, il sera coûteux de mesurer l'éclairage de l'ensemble du bâtiment de manière centralisée. Dans ce cas, la consommation d'électricité pour l'éclairage est incluse dans les valeurs de consommation des différentes zones. Dans certains cas, il n'est pas possible de saisir une zone du 2e niveau avec un seul compteur. Dans de tels cas, il est possible d'utiliser plusieurs compteurs disposés en parallèle, dont la somme représente à son tour la consommation totale.

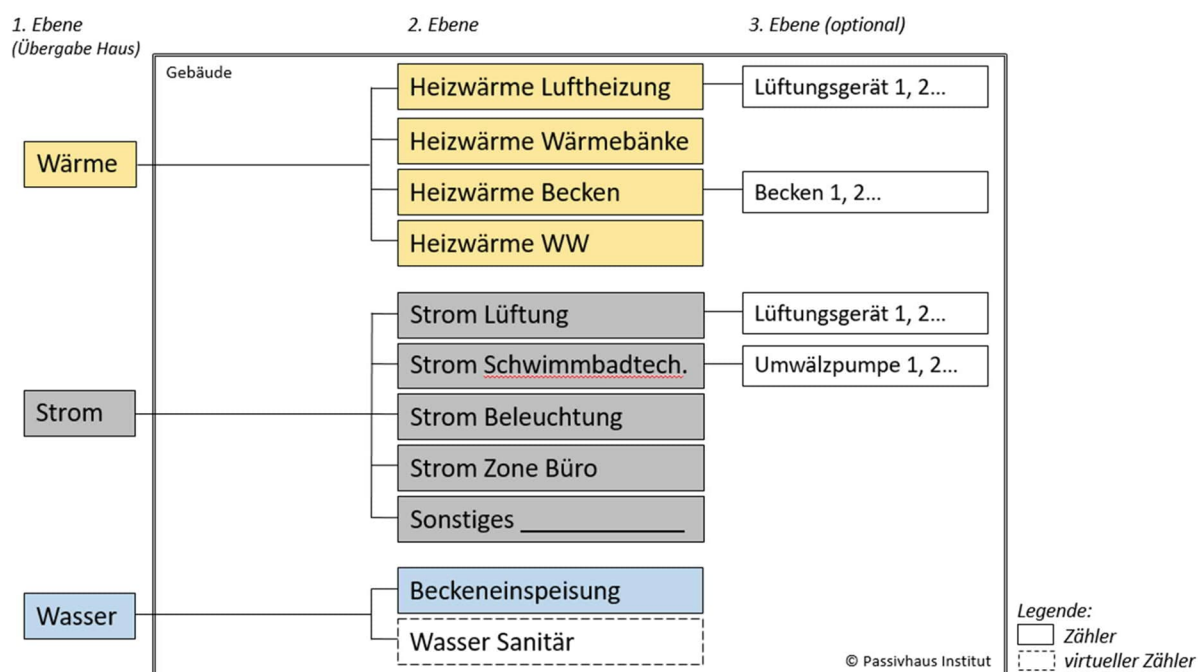
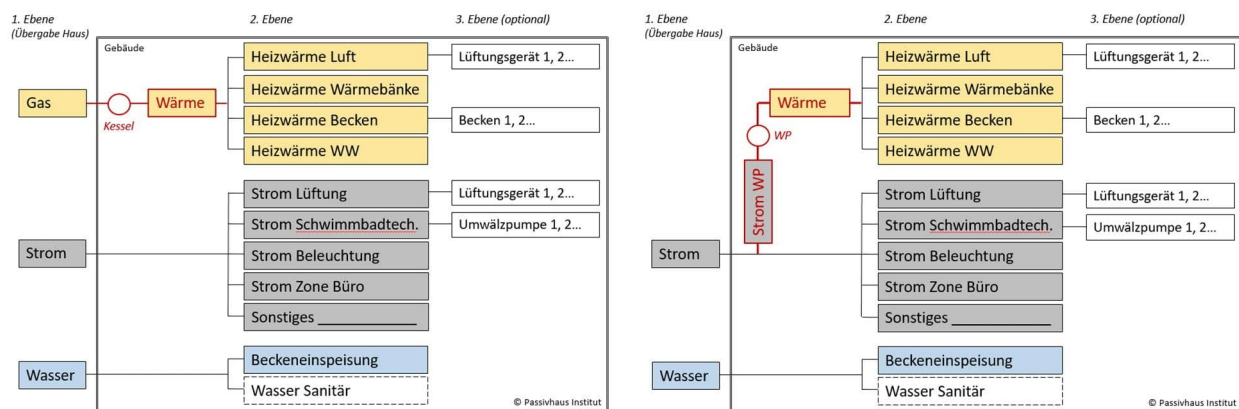


Fig. 33 : Proposition d'un concept de compteur (exemple avec raccordement au chauffage urbain). Par "compteur virtuel", on entend ici une valeur de compteur calculée : Par ex. la différence entre différents compteurs.

Pour une optimisation réussie de l'exploitation et la recherche d'erreurs en cours de fonctionnement, il est souvent recommandé d'installer encore d'autres sous-compteurs, par exemple pour la consommation électrique des différents appareils de ventilation. Des propositions à ce sujet sont présentées dans la figure 33 au troisième niveau. Dans ses lignes directrices sur la construction économique [Stadt Frankfurt 2014], la ville de Francfort recommande généralement d'équiper de sous-compteurs tous les consommateurs dont les coûts annuels sont supérieurs à 2.500,- €.

En ce qui concerne la consommation d'électricité en particulier, il y a généralement encore divers consommateurs au deuxième niveau qui ne sont pas mesurés séparément. Il est judicieux et utile de documenter précisément de quels consommateurs il s'agit, au plus tard lors de la mise en service. Dans l'idéal, la consommation totale d'une source d'énergie peut donc être évaluée et comparée directement via un compteur ou comme somme de plusieurs compteurs.

Si la chaleur est produite dans le bâtiment lui-même (par exemple par une chaudière à gaz ou une pompe à chaleur), il convient de déterminer si l'efficacité de la production de chaleur doit être mesurée pendant le fonctionnement. En conséquence, des compteurs supplémentaires doivent être installés (représentés en rouge dans la figure 34). Ces compteurs permettent de contrôler en continu les performances de la chaudière à gaz, de la PAC ou autre. Par contre, les compteurs des 2ème et 3ème niveau sont utiles pour l'optimisation énergétique du fonctionnement du bain.



**Fig. 34 : Propositions de concepts de compteurs :**

**A gauche : Exemple avec une chaudière à gaz ; un autre compteur (en rouge) permet de surveiller le rendement de la chaudière.**

**A droite : exemple avec une pompe à chaleur "PAC" ; deux compteurs supplémentaires (en rouge) permettent de surveiller le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur.**

Pour établir un concept de compteurs, il est important de clarifier au préalable les objectifs que l'on souhaite poursuivre avec les mesures.

## Capteurs nécessaires

Différents capteurs sont nécessaires à la régulation d'une piscine couverte en fonction des besoins. Outre la nécessité des capteurs pour la commande et la régulation, les capteurs permettent de saisir les conditions marginales du fonctionnement de la piscine couverte. Ces conditions marginales sont fondamentales pour l'évaluation ultérieure des consommations d'énergie mesurées, c'est pourquoi le choix des capteurs nécessaires revêt une grande importance. Les points de mesure suivants sont recommandés.

Capteurs :

- Extérieur : température + humidité
- Température + humidité ambiante dans la pièce (si nécessaire comme grandeur de régulation) Température de l'eau
- CO<sub>2</sub> (si nécessaire comme grandeur de régulation) Détecteur de présence (si nécessaire comme grandeur de régulation) Capteur de lumière du jour (si nécessaire comme grandeur de régulation)
- Appareils de ventilation : débits volumétriques (EHA, SUP ; le cas échéant, air recyclé ou ETA)
- Appareils de ventilation : température + humidité (EHA, SUP ; si protection antigel nécessaire, alors ETA)

Nombre de visiteurs :

- Saisie journalière

Il est recommandé d'acheter un appareil portable de haute qualité pour mesurer la température et l'humidité (au moins HR  $\pm 3$  %, température  $\pm 0,5$  K). Cela permet, si nécessaire, d'effectuer des mesures dans différentes pièces ou à différentes hauteurs et zones du hall. Cela permet par exemple de détecter une dérive du capteur d'humidité d'un appareil de ventilation et, par conséquent, de corriger les débits trop élevés ou trop faibles.

## Exigences relatives aux compteurs et aux capteurs

Après avoir défini les capteurs et compteurs nécessaires, il convient également de déterminer leur qualité respective. Pour ce faire, il est essentiel de réfléchir à l'objectif à atteindre avec la mesure effectuée par le capteur ou le compteur : des résolutions et des précisions relativement grossières sont-elles suffisantes ou faut-il par exemple évaluer des valeurs de consommation (comme la chaleur de chauffage) à l'aide des données mesurées (par exemple la température et l'humidité de l'air) ? Les exigences en matière de qualité des capteurs et des compteurs dépendent de ces critères. En général, les capteurs standard des installations GTC ne sont pas suffisants pour répondre à des questions et des évaluations plus approfondies. Mais les fabricants disposent souvent de capteurs de qualité supérieure, qui peuvent alors être exigés. Si des capteurs d'une plus grande précision sont nécessaires, la qualité du capteur n'est pas le seul facteur déterminant, mais également la position et le type de montage (par exemple hauteur et montage en surface ou encastré) ainsi que, le cas échéant, la longueur du câble (pour les signaux de tension). Ces points doivent être discutés avec le planificateur spécialisé et le fabricant.

**Tab. 4 : Aperçu des exigences et des recommandations relatives aux compteurs et aux capteurs**

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)

Pendant toute la phase d'exploitation, le fonctionnement des capteurs et des compteurs doit être régulièrement vérifié. Pour les compteurs de facturation, le fournisseur ou l'exploitant du réseau veille au respect des délais d'étalonnage des appareils de mesure. Les sous-compteurs internes devraient également être vérifiés à cet égard et remplacés si nécessaire. Pour les capteurs, il est judicieux de faire effectuer un contrôle de fonctionnement des capteurs lors de l'entretien de l'installation GTC. En cas d'exigences plus élevées, il peut être nécessaire d'étalonner les capteurs (réglage avec un appareil de mesure plus performant). Cela n'est pas possible pour tous les capteurs à un coût raisonnable. Pour les capteurs de CO<sub>2</sub>, des gaz de contrôle sont nécessaires, ce qui représente un coût très élevé. D'autre part, on constate une forte dérive temporelle pour nombre de ces capteurs. Si le signal est utilisé pour commander les appareils de ventilation, cela peut conduire à des qualités d'air différentes ou à des taux de renouvellement d'air élevés et donc à des coûts d'électricité inutilement élevés. Pour les capteurs de CO<sub>2</sub>, il est donc conseillé d'utiliser des capteurs "autocalibrants" (avec double parcours de mesure interne).

## Gestion technique du bâtiment (GTB)

Dans la perspective d'un contrôle ultérieur de l'exploitation, il convient de déterminer dès la phase de planification quels points de mesure/informations seront affichés sur la GTC, lesquels seront enregistrés et lesquels pourront être modifiés par l'utilisateur. Pour les évaluations ultérieures des données de consommation, de nombreuses valeurs mesurées ne doivent pas seulement être affichées sous forme de valeurs instantanées, mais également sous forme d'évolution dans le temps. Pour vous aider, voici une liste de valeurs qui ne sont souvent pas enregistrées sous forme d'évolution temporelle, ce qui serait pourtant utile pour une évaluation :

- Débit volumique de circulation
- Ajout d'eau fraîche dans le bassin
- Température de l'eau
- Position des clapets des appareils de ventilation
- Réglage de la programmation des appareils de ventilation (par ex. chauffage, déshumidification).

Il est essentiel et indispensable de documenter les différentes valeurs de consigne réglées. Ce n'est qu'ainsi qu'une optimisation de l'exploitation est possible. Les valeurs de consigne ne doivent pas nécessairement être consignées dans le temps. La documentation sous forme de protocole au moins sécurisé est toutefois nécessaire dans tous les cas. Cela vaut pour chaque modification d'une valeur de consigne. Si les valeurs sont documentées numériquement dans la GTC, il faut veiller à ce que les valeurs ne puissent pas être effacées, par exemple lors de mises à jour du programme de GTC.

Pour l'utilisation ultérieure de la GTC pour la gestion de l'exploitation ainsi que pour le contrôle énergétique de l'exploitation, il est essentiel que les points de mesure soient désignés de manière claire et concise. Lors du choix des désignations, il est utile que toutes les parties (planificateur TGA, entreprise spécialisée, programmeur GTC et exploitant) collaborent et se mettent d'accord sur des désignations claires et identiques.

Des diagrammes pré-réglés ("recettes"), qui peuvent toujours être appelés en cours d'exploitation pour de nouvelles périodes, facilitent le contrôle régulier de la consommation d'énergie par l'exploitant. Cela peut même être déterminant pour la réalisation d'un tel contrôle (exemple de diagramme : fig. 39 à la page 56).



## 8.2 Mise en service

La mise en service de la technique du bâtiment de la piscine couverte sert à vérifier si les fonctions prévues fonctionnent dans la réalité et fournissent la performance attendue. Différents tests permettent de vérifier la technique en fonctionnement avec toutes les interactions au sein de la piscine complète. De plus, lors de la mise en service, des réglages doivent être effectués et ajustés pour le bain. Pour cela, les valeurs de consigne sont définies et, le cas échéant, adaptées.

Pour le maître d'ouvrage, la mise en service est importante pour vérifier si toutes les fonctions nécessaires sont disponibles et utilisables. C'est aussi précisément le moment de transmettre à l'exploitant les connaissances sur la technique et sur tous les réglages effectués par les entreprises spécialisées. Cette transmission de connaissances joue un rôle décisif pour l'exploitation, l'optimisation de l'exploitation et donc pour les futurs coûts d'exploitation (énergie, entretien, etc.) ainsi que pour le confort ! Il est important que les entreprises chargées de la mise en œuvre (qui ont des connaissances sur la technique installée, y compris la programmation), les planificateurs (qui ont des connaissances sur les compétences/règlements d'exploitation prévus) et les exploitants (responsabilité future de l'exploitation) collaborent bien lors de la mise en service. Il convient donc de prévoir dès le départ suffisamment de temps pour la mise en service, et ce pour toutes les parties. Ce temps est rentabilisé plusieurs fois par une exploitation sans heurts ainsi que par l'optimisation de l'exploitation qui en résulte. Il est recommandé de souligner l'importance de la mise en service dès l'appel d'offres et d'en tenir compte dans le calcul des coûts. Il peut être utile de décrire précisément les exigences et le déroulement (p. ex. exigences de plusieurs dates).

Les points suivants concernent la réception et la mise en service en termes de consommation d'énergie et d'efficacité énergétique. Les contrôles concernant d'autres domaines tels que la sécurité, l'hygiène de l'eau, la protection du travail, etc. ne font pas partie de cette liste.

### Préparation

Les trois parties concernées (planificateur, exécutant, exploitant) doivent bien préparer la mise en service. Les contenus et la répartition des tâches doivent être convenus au préalable.

- Concepteur : descriptions techniques, directives de l'appel d'offres, valeurs de consigne, concepts de régulation, listes pour l'équilibrage, plans de révision, liste de contrôle pour la mise en service.
- Entreprises spécialisées : Manuels d'utilisation, fiches techniques, plans de révision, diagrammes pré-réglés sur la GTC
- Exploitant : valeurs de consigne, temps de fonctionnement, personnel nécessaire

## Ventilation

- Réglage des appareils de ventilation ; les appareils sont-ils en équilibre (air extérieur et air évacué) ? (Les halls peuvent aussi fonctionner en légère dépression).
- Filtres : niveaux de filtration appropriés en fonction de la planification ? Propreté des locaux ?
- Conduits : les gaines sont-elles bien entretenues ? Isolation des gaines de soufflage et d'extraction conformément à la planification ?
- Conduits de ventilation : Isolation continue des conduits d'air (air évacué et air extérieur) entre l'appareil de ventilation et l'enveloppe thermique ?
- Grilles d'évacuation et de reprise d'air : section libre réalisée conformément à la planification ?
- Vérifier l'étanchéité des clapets pour les gaines d'air extérieur et d'air évacué.
- Réglage du réseau de gaines et des clapets d'amenée et d'évacuation d'air : l'objectif est de répartir les volumes d'air conformément à la planification, ce qui signifie qu'en règle générale, plusieurs séries de mesures sont nécessaires (procédure itérative). Si, dans le cas de grands réseaux de gaines, il n'est pas possible de mesurer chaque **vanne**, il convient d'effectuer des mesures par tronçon afin de vérifier si les différentes zones sont traversées par les débits d'air prévus. L'équilibrage ne devrait pas être effectué avec les débits maximaux mais avec les débits moyens. Pour cela, des listes avec des indications correspondantes doivent être préparées par les planificateurs.
- Surveillance de l'exploitation par GTC : tester/établir des diagrammes préréglés ("recettes") pour la surveillance continue de l'exploitation (débits, régulateurs chauffage, déshumidification, refroidissement, grandeurs de régulation telles que l'humidité et la température, consommation électrique).
- Vérifier les valeurs de consigne réglées (température, humidité, renouvellement minimal de l'air).
- Documenter les valeurs de consigne
- Programme horaire : ajustement entre le planificateur et l'exploitant
- Protection contre le gel : vérification des valeurs limites (ceci est surtout intéressant pour les zones secondaires plus froides. Exemple : Si, au lieu de + 3 °C, on choisit une température limite de - 3 °C, le nombre d'heures de fonctionnement hors gel peut être réduit d'environ un quart) [AkkP 52].
- Date supplémentaire : Étant donné que la régulation de la ventilation est complexe et qu'elle est influencée par différentes utilisations de la salle de bains, il convient de prévoir une deuxième date de mise en service supplémentaire afin de vérifier le fonctionnement sur la base de la période écoulée et, le cas échéant, de l'adapter ou de l'optimiser. La date devrait être fixée de manière à ce que la technique de filtration fournisse déjà une bonne qualité d'eau en continu et que la piscine ait été utilisée normalement pendant au moins un ou deux mois.
- Mesure de l'étanchéité à l'air du réseau de gaines (au moins classe B selon la norme DIN EN 16798-3:2017-11).

- Efficacité électrique : détermination au débit nominal par la mesure de la puissance électrique de l'appareil. Puissance absorbée de l'appareil de ventilation. L'efficacité électrique ainsi calculée (puissance divisée par le débit volumique nominal) donne des indications sur l'efficacité de l'appareil de ventilation en relation avec les pertes de pression existantes.

### **Technique des piscines**

- Laisser l'eau couler librement à l'entrée du bâtiment et prélever un échantillon de l'eau. Ne raccorder les conduites de l'immeuble à l'arrivée d'eau que si la qualité de l'eau est bonne.
- Vérifier la régulation du débit de circulation en fonction des besoins.
- Si disponible, vérifier le fonctionnement et la régulation de la circulation interne.
- Vérifier le débit du bassin à l'aide d'essais de coloration. Effectuer l'essai aussi bien à pleine charge qu'à charge partielle de la circulation (assurer le potentiel d'économie).
- Vérifier le programme horaire et la commutation manuelle des attractions.
- Si possible, faire correspondre la puissance de la pompe de circulation avec les caractéristiques de la pompe pour la hauteur de refoulement et le débit de circulation prévus.
- La consommation électrique de la technique de la piscine ou des pompes de circulation devrait être enregistrée séparément. Pour ce faire, des diagrammes appropriés devraient être pré-réglés sur la GTB pour la visualisation. Ceux-ci servent ensuite à surveiller en continu la consommation électrique de la technique de la piscine en fonctionnement. Lors de la mise en service, l'exploitant devrait être informé du fonctionnement, des déclarations et des possibilités d'intervention.
- Documenter les valeurs de consigne.

### **Douches chaudes**

- Isolation des ballons : exécution continue, y compris à la base et aux points de raccordement ; une thermographie peut éventuellement être utilisée pour vérifier cette isolation.
- Isolation des conduites d'eau : Exécution continue, même les conduites froides doivent être isolées dans les zones chaudes pour les protéger des légionelles. Pour les conduites plus froides, utiliser une isolation étanche à la diffusion pour éviter la condensation.



**Fig. 35 : Bains Lippe : vidage des douches**

## Chauffer et refroidir

Vérifier le programme horaire et la régulation

- Description du fonctionnement : Aération par les fenêtres (manuelle ou motorisée), mode évacuation, système de ventilation avec bypass d'été, portes intermédiaires ouvertes
- Décrire la stratégie de régulation ; en cas d'actions manuelles, s'assurer qu'elles sont effectuées.
- Définir des périodes de refroidissement limitées en été (bloquées pour l'hiver)
- Ombrage : vérifier que la protection solaire est remontée ou que le message correspondant apparaît lorsque des parties du bâtiment sont chauffées (utilisation du rayonnement solaire).
- Pompes en charge partielle : régulation sans étranglement par des clapets ?
- Registre de chauffage ventilation : dimensionnement suffisant ?
- Régulation du chauffage : ne pas régler la température de départ en fonction de la température extérieure (en cas d'urgence, régler la courbe de chauffe de manière extrêmement plate).
- Documenter les valeurs de consigne

## Refroidissement passif pour les zones secondaires plus froides



**Fig. 36 : Bambados : Sauna**

## Éclairage

LED : vérifier l'adéquation des sources lumineuses (adaptées aux températures élevées de la pièce ; durée de vie en fonction de la température)

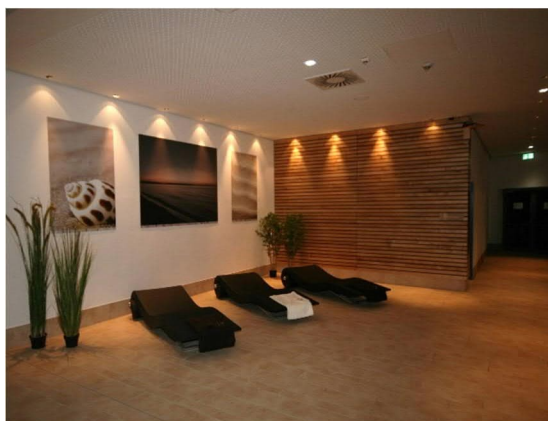
Contrôler les détecteurs de présence ou autres avec les temps d'arrêt et les sensibilités réglés Contrôler les commutations de groupe pour une exploitation optimale de la lumière du jour (comparaison avec la planification)

Contrôler les scénarios d'éclairage réglés (par ex. mode standard, éclairage de compétition, éclairage de nettoyage)

Comparaison des programmes horaires réglés avec les heures d'utilisation réelles

Régulation de l'éclairage : initiation du chef d'exploitation à l'utilisation par les entreprises exécutantes.

Consommation électrique de l'éclairage : en cas de saisie séparée, pré-réglage de diagrammes appropriés sur la GTB pour une surveillance continue



**Fig. 37 : à gauche : Sauna à Bambados ; à droite : vestiaires à Lippe**

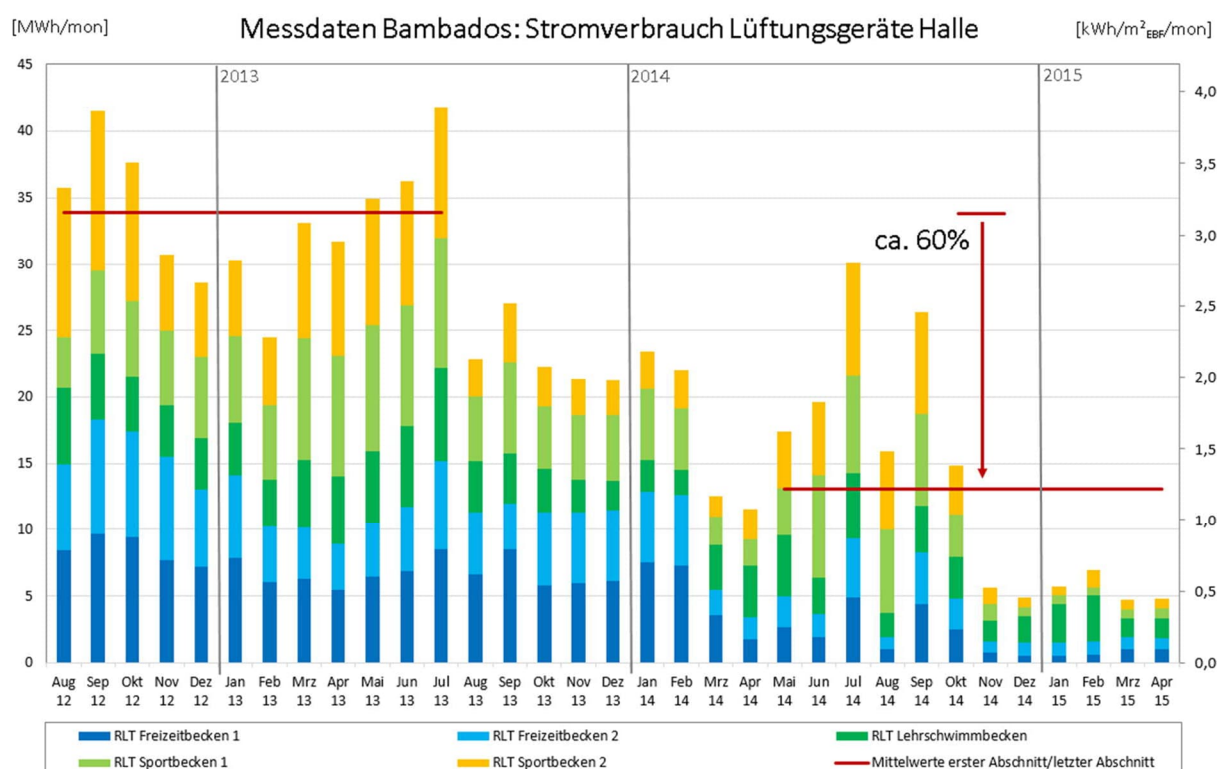
## Documentation de la mise en service

- Documentation sur ce qui a été contrôlé lors de la mise en service (par ex. liste de contrôle à l'aide des points de ce chapitre)
- Protocoles de régulation
- Collection de tous les modes d'emploi et fiches techniques des produits (les garder accessibles)
- Documentation des programmations (explication textuelle du programme et organigrammes pour que l'utilisateur puisse les suivre), y compris les valeurs de consigne réglées dans le code du programme.
- Valeurs de consigne réglées sur la GTB ou d'autres appareils
- Documentation sur les diagrammes/listes qui ont été pré-réglés lors de la mise en service et qui seront utilisés pour le contrôle de la qualité. A utiliser pour la surveillance continue du fonctionnement
- Préparer le matériel de formation pour le personnel



## 8.3 Gestion et optimisation de l'exploitation

Les piscines couvertes sont des bâtiments techniques complexes dont l'exploitation doit être confiée à des spécialistes. Il devrait y avoir un directeur d'exploitation responsable, qui a une vue d'ensemble et le pouvoir de mettre en œuvre des adaptations de l'exploitation. L'opportunité et la manière de déléguer d'autres responsabilités dépendent notamment de la taille de la piscine. Dans tous les cas, il est judicieux d'organiser des formations de gestion pour le personnel. Outre le directeur de l'établissement, les entreprises spécialisées chargées de l'exécution peuvent également y être associées. Il est bien d'en tenir compte dès l'appel d'offres. Pour une exploitation réussie, différents objectifs doivent être combinés : par exemple la sécurité, la satisfaction des clients, la durabilité et les faibles coûts d'exploitation (énergie + personnel). Ce chapitre se concentre sur le contrôle de la consommation d'énergie. Celui-ci doit être effectué à intervalles réguliers afin de pouvoir détecter rapidement toute augmentation de la consommation d'énergie sans bénéfice supplémentaire souhaité et y remédier. En outre, la gestion de l'exploitation devrait viser une optimisation de l'exploitation (surtout au cours des premières années). L'utilisation souhaitée devrait être satisfaite avec une consommation d'énergie aussi faible que possible. Le potentiel d'une optimisation de l'exploitation peut être exploité avec un faible investissement monétaire et conduire à d'importantes économies de coûts d'exploitation sur plusieurs années. L'investissement se compose généralement d'heures de travail du responsable de l'exploitation et, le cas échéant, de petites améliorations liées aux investissements. Dans la piscine couverte de Bambados, par exemple, la consommation d'électricité de tous les appareils de ventilation a pu être réduite de manière significative d'environ 60 % grâce à des modifications de la régulation (voir fig. 38).



**Fig. 38 : Exemple de la piscine couverte de Bambados : réduction de la consommation d'électricité grâce à l'optimisation de l'exploitation (sans investissements supplémentaires)**

L'optimisation de l'exploitation est très économique, car elle ne nécessite souvent aucun investissement supplémentaire (mesures de construction). La technique nécessaire est généralement déjà disponible, mais n'est pas utilisée. Néanmoins, l'optimisation ne va pas de soi, car les responsables d'exploitation doivent généralement remplir de nombreuses autres tâches, parfois prioritaires (respect des exigences en matière d'hygiène, organisation du personnel). Les approches qui contribuent à l'optimisation de l'exploitation sont, par exemple, les suivantes :

- Formation du personnel
- Outils tels que des diagrammes de contrôle prédéfinis ("recettes") sur la GTC, une liste de contrôle (voir fig. 40 et fig. 41), un appareil de mesure mobile de haute qualité (humidité relative)
- Temps ou personnel fixe ou supplémentaire pour le contrôle énergétique de l'exploitation (y compris la documentation)
- Information sur les montants financiers considérables des économies réalisables
- Motivation par la participation à l'économie de coûts (éventuellement)
- Définition de rythmes de contrôle
- Echanges réguliers au sein de l'équipe et demande d'idées d'optimisation

### **Gestion prévisionnelle de l'exploitation**

Pour mettre en place une gestion prévisionnelle, il est essentiel de comprendre les interactions et de savoir quels modes de fonctionnement/événements entraînent une augmentation de la consommation d'énergie. Il est également utile de pouvoir estimer l'ordre de grandeur de la consommation d'énergie résultant d'un changement afin de pouvoir évaluer les coûts et les avantages d'une mesure.

Les exemples suivants contribuent à une augmentation de la consommation d'énergie :

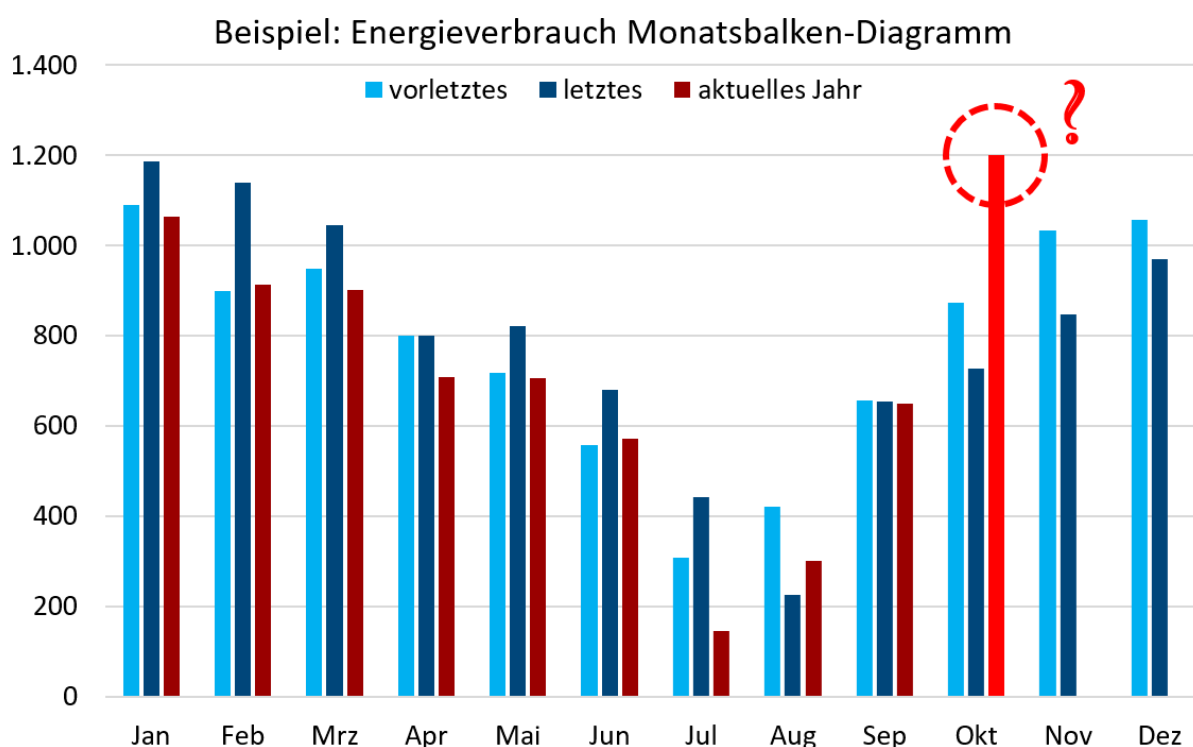
- Pertes de chaleur vers l'extérieur (p. ex. porte/fenêtre ouverte dans la cave)
- Pertes de chaleur vers des zones de température plus froides (p. ex. porte ouverte en permanence entre une zone chaude et une partie de bureau plus froide ou vers une zone de cuisine ou de sport réfrigérée)
- Ombrage en cas de chauffage simultané (par ex. protection solaire abaissée)
- Pertes de pression accrues dans les gaines de ventilation (par ex. clapets d'air extérieur à moitié fermés, filtres encrassés)
- Pertes de pression accrues dans les circuits d'eau (par ex. clapets de régulation, filtres encrassés)
- Évaporation accrue (p. ex. douches à remous et lits à bulles sans utilisateur)
- Consommation d'électricité accrue (par ex. fonctionnement des pompes des toboggans sans utilisateur)
- Débits d'aération inutilement élevés
- Rétrolavage trop fréquent des filtres
- Consignes de température élevées et consignes d'humidité basses
- Il est utile de sensibiliser régulièrement les collaborateurs afin que tous suivent attentivement le fonctionnement quotidien et puissent détecter les anomalies.

## Contrôle de la consommation d'énergie

Un contrôle régulier de la consommation d'énergie permet de détecter les changements involontaires et, le cas échéant, les augmentations de coûts qui en découlent. Le contrôle peut être effectué de manière plus ou moins détaillée. Le plus important est d'avoir une vue d'ensemble de la consommation d'énergie totale. C'est la raison pour laquelle l'analyse commence par les compteurs de consommation centralisés au niveau des raccordements domestiques. Ensuite, en cas de changements indésirables, il est possible d'aller plus en détail, étape par étape, et d'analyser les consommations et les corrélations.

Il convient tout d'abord d'évaluer la consommation d'énergie (électricité, chaleur, gaz, eau). Pour ce faire, il convient de représenter les consommations mensuelles au cours de l'année, de sorte que la consommation d'électricité de janvier puisse être comparée à la consommation d'électricité de janvier de l'année précédente (voir l'exemple de la figure 39). De cette manière, il est facile de voir s'il y a des différences importantes. Il est également possible d'évaluer si la consommation est constante au cours de l'année ou si elle présente des variations saisonnières (par exemple, une consommation de chauffage des locaux plus faible en été qu'en hiver).

Une évaluation plus précise des consommations est possible si la consommation d'électricité et de chaleur est enregistrée séparément par zone d'utilisation avec des sous-compteurs (p. ex. piscine couverte, vestiaires, etc.). Dans ce cas également, il est recommandé de procéder à une représentation telle que décrite ci-dessus. En cas d'anomalies ou de divergences, il convient de passer à des représentations plus précises, telles que des courbes hebdomadaires ou journalières. Ainsi, en cas d'anomalies dans les différents domaines, il est possible de travailler en profondeur, étape par étape.



**Fig. 39 :** Dans une représentation des consommations mensuelles au cours de l'année, les changements sont facilement reconnaissables ; évaluation : les trois années présentent des variations saisonnières ; le mois actuel (oct.) montre une nette anomalie. Ca vaut la peine d'en rechercher la cause.

D'autres valeurs de mesure peuvent alors être utiles pour l'analyse proprement dite de la consommation d'énergie et des corrélations. Si l'on affiche par exemple les régulateurs (déshumidification, chauffage, etc.) d'un appareil de ventilation à partir de la programmation, il est facile de comprendre quelle était la "tâche" de l'appareil à un moment donné. Il est par exemple possible de savoir à quelle fréquence le régulateur Chauffage est activé au cours de la journée, s'il est même activé par une chaude journée de printemps. Il serait par exemple indésirable que les demandes de chauffage et de refroidissement soient effectuées à un court intervalle de temps (cadencement) ou dans deux zones voisines sans séparation thermique suffisante. Les courbes de température ou d'humidité, tant à l'intérieur du bâtiment que dans les conditions extérieures, peuvent également constituer une base utile pour l'évaluation.

Après la mise en service d'une piscine couverte, les données doivent être analysées en détail pendant au moins un an (après l'achèvement des travaux restants) afin de comprendre les interactions dans le fonctionnement et de découvrir les possibilités d'optimisation. Une fois l'optimisation de l'exploitation terminée avec succès, il suffit de faire des comparaisons mensuelles avec peu d'efforts. Pour pouvoir évaluer les écarts, il est important de tenir un calendrier d'exploitation dans lequel sont documentés les changements, les entretiens, les utilisations particulières, etc. Si des écarts apparaissent lors du contrôle des consommations mensuelles d'énergie, il est possible de vérifier dans le calendrier d'exploitation s'il existe des causes compréhensibles à ces écarts (par ex. modification des valeurs de consigne). Cela permet de gagner du temps dans la recherche d'éventuelles erreurs, par exemple si des réglages involontaires ont été effectués lors d'une maintenance.

Il est très efficace de définir des périodes au cours desquelles l'optimisation initiale de l'exploitation est répétée à plus petite échelle. Cela permet de remettre en question l'état actuel et d'identifier un potentiel d'optimisation supplémentaire. Il se peut que les temps ou les valeurs de consigne, fixés soient dépassés. Si l'ensemble du personnel est impliqué, il est possible de prendre en compte des réactions supplémentaires issues de l'exploitation quotidienne et d'intégrer d'autres idées qui servent le processus d'optimisation. Cette implication augmente la motivation du personnel à collaborer à la mise en œuvre et au contrôle des mesures.

Le contrôle énergétique ne révèle pas seulement des coûts énergétiques plus élevés, mais peut également avoir d'autres effets positifs sur l'entreprise. Il arrive souvent que des anomalies dans la consommation d'énergie indiquent des dysfonctionnements dans l'entreprise, qui peuvent avoir des conséquences en termes d'hygiène ou de durabilité. Par exemple, une consommation d'énergie élevée due à l'encrassement des filtres indique une éventuelle diminution de la capacité de nettoyage.

## Liste de contrôle (Checkliste)

La liste de contrôle mise à disposition (également disponible sous forme de fichier Excel sur [www.passiv.de](http://www.passiv.de) ) sert d'outil pour le contrôle et l'optimisation de l'exploitation. Elle peut être adaptée et complétée en fonction de la piscine concernée. La liste est divisée en trois parties:

- **A : Gestion de l'énergie** (voir fig. 40) : clarification du processus général et définition des délais et des responsabilités.
- **B : Contrôle de la consommation d'énergie et optimisation de l'exploitation** en deux étapes (voir fig. 41) : cette partie de la liste de contrôle convient pour un contrôle mensuel lorsque la salle de bains est en service depuis longtemps et que des valeurs de consommation sont disponibles pour comparaison.
- **C : Analyse détaillée dans des domaines partiels** : Si le contrôle mensuel révèle des anomalies, la partie C peut être utilisée pour une analyse plus détaillée. La partie C convient également pour une optimisation de l'exploitation (sans illustration).

A Energiemanagement		Checkliste Hallenbad: jährlich
<b>Schulung Personal</b>		
	wann? Welche Schwerpunkte? Teilnehmer?	
- Regelmäßige Schulungen des Personals (Um eine vorausschauende 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 CO2-Sensoren regelmäßig über GLT prüfen (Funktionsprüfung)		

Fig. 40 : La partie A de la checklist sert à fixer les délais et les responsabilités.



La liste de contrôle part du principe que de nombreux compteurs et points de mesure peuvent être connectés à la GTC et analysés dans le temps. Si ce n'est pas le cas, des relevés manuels de compteurs peuvent être utiles. Si la cause d'une augmentation de la consommation d'énergie reste inexpliquée, il est possible de demander d'autres mesures temporaires dans la zone, d'envisager la connexion d'autres points de mesure à la GTB ou de confier des analyses plus précises à des entreprises spécialisées. Toutes les questions de la liste de contrôle ne peuvent pas être traitées immédiatement par le chef d'entreprise. Mais si elles semblent pertinentes, un examen plus approfondi peut être entrepris.

La liste de contrôle peut également être utile dans le cadre d'un audit énergétique.

**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)?*

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

nächste Stufe

**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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- Heizwärmeverbrauch Wärmepumpen etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- Heizwärmeverbrauch Beckenwasser	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- Heizwärmeverbrauch WW	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- Heizwärmeverbrauch Sauna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**Fig. 41 : La partie B de la check-list sert au contrôle mensuel de la consommation d'énergie. L'ensemble de la check-list est disponible sous forme de fichier Excel sur [www.passiv.de](http://www.passiv.de).**

## 9 Conclusion et informations complémentaires

Le concept Passivhaus fonctionne pour les piscines couvertes, permet de réaliser des économies considérables sur les coûts d'exploitation et peut donc alléger considérablement les budgets municipaux. C'est un argument décisif pour maintenir une telle offre, même si les prix de l'énergie augmentent pour les citoyens. Les recommandations contenues dans ce guide fournissent une aide importante qui devrait être intégrée dans une planification minutieuse.

D'autres informations de fond sont disponibles dans les publications du Passivhaus Institut sur le thème des piscines couvertes passives. Tous les rapports peuvent être consultés gratuitement sur le site internet : [http://passiv.de/de/05\\_service/03\\_fachliteratur/030306\\_hallenbad.htm](http://passiv.de/de/05_service/03_fachliteratur/030306_hallenbad.htm)






## 10 Bibliographie

[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 Mentions légales

<p>Auteurs:</p> <p>Dipl.-Ing. Esther Gollwitzer          MPhys. (Hons) Jessica Grove-Smith          Dipl.-Ing. (FH) Søren Peper          Dipl.-Ing. Tanja Schulz</p> <p>Avec la collaboration de :</p> <p>Olaf Ahrens (Eneratio; Hamburg)          Jörn Kaluza (Inco; Aachen)</p> <p>Éditeur :</p>  <p>Rheinstraße 44/46          D-64283 Darmstadt          Tel: 06151-82699-0          E-Mail: mail@passiv.de          www.passiv.de</p> <p>Darmstadt, Juni 2018</p>	<p>Ce guide a été réalisé à la demande de la Fondation fédérale allemande pour l'environnement (DBU) sous le numéro de subvention: 33217/01-24/2</p> <p>Titre du projet de recherche: Wissenschaftliche Auswertung des Betriebsverhaltens des ersten Passivhaus-Hallenbades zur Generierung weiterer Planungssicherheit.</p> <p>Nous remercions la société des bains de Lünen, les services municipaux de Bamberg et la société des bains de Düsseldorf pour leurs divers soutiens et pour nous avoir permis de réaliser des études dans leurs piscines et d'utiliser les données pour l'enquête. Un grand merci également à la société FlaktGroup Deutschland GmbH.</p> <p>Toutes les illustrations et graphiques de ce rapport sont la propriété du Passivhaus Institut. Les sources sont indiquées de manière différente.</p>
--	--

Mandataire :  
 Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Avec le soutien de :



2024 Traduit par:  
 Propassiv, Etienne Vekemans