

EnerPHit für ein klimaresilientes St. Johann (EnerPHit-for-2040)

LEUCHTTÜRME FÜR RESILIENTE STÄDTE 2040 - AUSSCHREIBUNG 2022

Ausschreibungsschwerpunkt:

F&E-DL 1: Erstellung von Klimaneutralitätsfahrplänen für Städte & Kommunen

Instrument

FuE Dienstleistung

Projektlaufzeit

16.01.2023 – 15.07.2024

DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN

Verfasst von:

Universität Innsbruck

Arbeitsbereich für Energieeffizientes Bauen

Rainer Pfluger – rainer.pfluger@uibk.ac.at

Sascha Hammes – sascha.hammes@uibk.ac.at

Andreas Frei – andreas.frei@uibk.ac.at



Arbeitsbereich für
Energieeffizientes Bauen

Marktgemeinde St. Johann

Hans Soder – hans.soder@st.johann.tirol



Regio-Tech (Projektleitung)

Das Zentrum für Regionalentwicklung

Andreas Franze – franze@regio-tech.at



Letzte Änderung
22.05.2024

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| ZUSAMMENFASSUNG | 3 |
| 1 EINLEITUNG, AUFGABENSTELLUNG | 5 |
| 2 GRUNDLAGENERMITTLUNG BESTAND, EINSARPOTENZIALE | 6 |
| 2.1.1 Freibad | 8 |
| 2.1.2 Hallenbad | 9 |
| 2.1.3 Eislauf- bzw. Tennisplatz..... | 10 |
| 2.1.4 Parkplatz..... | 10 |
| 2.2 Infrarotthermographie und Messung der Oberflächentemperaturen | 10 |
| 3 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG ZUM ENERGIEKONZEPT HALLENBAD..... | 17 |
| 3.1 Energetische und Exergetische Betrachtung der Energieflüsse | 17 |
| 3.2 Bauphysikalische und anlagentechnische Grundlagen | 17 |
| 3.2.1 Minimale Oberflächentemperaturen | 18 |
| 3.2.2 Luftdichtheit | 20 |
| 3.3 Einsarpotenziale und Möglichkeiten zur technischen Umsetzung..... | 21 |
| 3.3.1 Beeinflussung der Beckenwasserverdunstung und des daraus resultierenden Wärmebedarfs für Hallenheizung und Beckenwassererwärmung | 21 |
| 3.3.2 Hallenlufttrocknung und Lüftung mit Wärmerückgewinnung..... | 22 |
| 3.3.3 Nachrüstung der Bestandslüftungsanlage mit Kreislaufverbundsystem | 23 |
| 3.3.4 Reduzierung des Strombedarfs für die Umwälzpumpen..... | 25 |
| 3.3.5 Frischwasserzufuhr mit Abwasser-Wärmerückgewinnung | 26 |
| 3.3.6 Fortluftkondensation mittels nachgeschaltetem Kondensationswärmeübertrager | 26 |
| 3.3.7 Verbesserung der Luftdichtheit der Schwimmhalle | 27 |
| 3.3.8 Transmissionswärmeverluste im Kellergeschoss: Dämmung der Beckenwände bzw. der Rohrleitungen | 27 |
| 3.3.9 Gesamtenergiebilanz im Hallenbereich..... | 28 |
| 3.3.10 Duschwasser-Wärmerückgewinnung..... | 28 |
| 3.3.11 Tages- und Kunstlicht..... | 29 |
| DANKSAGUNG | 30 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 31 |
| TABELLENVERZEICHNIS | 32 |
| REFERENZEN | 33 |
| ANHANG A – INFRAROTMESSUNGEN HALLENBAD..... | 34 |

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des von der FFG geförderten Projektes (Leuchttürme für resiliente Städte 2040, Ausschreibung 2022) „EnerPHit für ein klimaresilientes St. Johann“ (EnerPHit-for-2040) soll einerseits ein Fahrplan zur Klimaneutralität bis 2040 für die Marktgemeinde St. Johann gemeinsam mit den Projektbeteiligten Universität Innsbruck und der Regio-Tech (Konsortialführer) mit umsetzbaren und finanzierbaren Maßnahmen und unter Berücksichtigung der guten lokalen PV-Potentiale, des bestehenden Fernwärmenetzes der Ortswärme mit hohem Anteil an Abwärme und Biomasse und der Sanierungspotentiale öffentlicher und privater Gebäude erstellt werden.

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den kommunalen Gebäuden, welche größtenteils bereits durch ein Energiemonitoring erfasst werden. Dabei sollen Sofortmaßnahmen identifiziert werden, welche sich sowohl technisch als auch ökonomisch in naher Zukunft umsetzen lassen und besondere Einsparpotenziale erschließen. Die **Panorama-Badewelt**, eines der größten Hallen- und Freibäder der Region zeichnet sich als einer der größten Einzelverbraucher der Marktgemeinde aus. Dies spiegelt sich auch im gemeindeeigenen Energiemonitoring wider¹. Die Wärmeversorgung basiert auf der Ortswärme von St. Johann, darüber hinaus verfügt das Gebäude seit Juni 2022 bereits über eine PV-Anlage und in 2023 wurden alle Filterpumpen durch Hocheffizienzpumpen (40% Stromeinsparung) getauscht. Im Bereich der **Dusch- und Beckenwassererwärmung sowie der Lüftung** konnten jedoch erhebliche Einsparpotenziale identifiziert werden, welche nicht nur aus Klimaschutzgründen, sondern auch in Bezug auf die ökonomischen Randbedingung für eine Sofortmaßnahme geeignet erscheinen. Dabei wird der Fokus im vorliegenden Energiekonzept auf Maßnahmen im Hallenbadbereich gelegt, weil die Freibekken bereits über eine Beckenwasser-Abdeckung verfügen und die Dringlichkeit der Wärmeeinsparung aufgrund des hohen ganzjährigen Abwärme-Potenzials durch die Egger-Werke bislang in den Sommermonaten noch nicht gegeben ist.

Zur Erfassung der Ist-Situation im Schwimmbad zählte die Umsetzung einer umfangreichen Messwertaufnahme vor Ort u.a. hinsichtlich Lufttemperatur (Innen, Außen), Luftfeuchtigkeit (Innen, Außen), sowie Bewertung der Innenoberflächen über Thermografie-Messung und Auswertung von bereits geloggtten Daten, u.a. Energie- und Wasserverbräuche, Nutzungsgrad des Gebäudes und deren Funktionsbereiche (Schwimmbecken, Dusche, Sauna, ...), Energieerzeugung (hier PV). Die gewonnenen Daten wurden anschließend von der Universität Innsbruck ausgewertet, dokumentiert und Einsparpotenziale für Sofortmaßnahme wurden abgeleitet (AP3).

Die identifizierten Potenziale beziehen sich hauptsächlich auf folgende Bereiche

- Reduzierung der Beckenwasserverdunstung durch Anhebung der maximalen Hallenluftfeuchte (Tag) und ggf. Beckenwasserabdeckung (Nacht), letzteres erscheint bei derzeitigen Randbedingungen unwirtschaftlich.
- Reduzierung der Wärmeverluste durch die Filtrerrückspülung durch Abwasser-Frischwasser-Wärmerückgewinnung und ggf. Verwendung von abgekühltem Abwasser für die Filtrerrückspülung
- Enthalpienutzung der Abluft- und Fortluft der Hallenlüftung mittels Wärmerückgewinnung und nachgeschaltetem Luft-/Wasser-Wärmetauscher
- Erhöhung der Luftdichtheit der Halle
- Reduzierung des Warmwasser-Wärmebedarfs für die Duschen durch Duschwasser-Wärmerückgewinnung

Alle offenen Potentiale wurden in einer Gesamtenergiebilanz über den Jahresverlauf untersucht und für die Gemeinde und für Dissemination-Aktivitäten aufbereitet und dokumentiert. Alle Energieflüsse

¹ <https://energiemonitoring-stjohann.hub.arcgis.com/>, Aufruf: 05.2024

DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN

wurden in einem Sankey-Diagramm visualisiert. Das höchste Potential bietet hier eine Modernisierung der Lüftungsanlage.

In diesem Energiekonzept werden die genannten Potenziale qualitativ und quantitativ erläutert, die technischen Voraussetzungen geklärt sowie in ihrer jeweiligen Priorität der zeitlichen Umsetzung gereiht. Letztlich entscheiden technische und ökonomische Randbedingungen auch im Hinblick auf Fördermöglichkeiten über die tatsächliche Umsetzung von Einzelmaßnahmen, da es sich jedoch um einen großen Anteil des kommunalen Energieverbrauchs handelt, können die Entwicklungsstufen auch relevanten Einfluss auf den Fahrplan zur Klimaneutralität bis 2040 ausüben.

Die Ergebnisse wurden auf der 27. Internationalen Passivhaustagung 2024 in Innsbruck vorgestellt. Innerhalb des Konsortiums wurden die Ergebnisse derzeit in den Fahrplan aufgenommen.

1 EINLEITUNG, AUFGABENSTELLUNG

1.1 Einleitung

Im Rahmen des von der FFG geförderten Projektes (Leuchttürme für resiliente Städte 2040, Ausschreibung 2022) „EnerPHit für ein klimaresilientes St. Johann“ (EnerPHit-for-2040) soll einerseits ein Fahrplan zur Klimaneutralität bis 2040 für die Marktgemeinde St. Johann gemeinsam mit den Projektbeteiligten Universität Innsbruck und der Regio-Tech (Konsortialführer) mit umsetzbaren und finanzierbaren Maßnahmen und unter Berücksichtigung der guten lokalen PV-Potentiale, des bestehenden Fernwärmenetzes der Ortswärme mit hohem Anteil an Abwärme und Biomasse und der Sanierungspotentiale öffentlicher und privater Gebäude erstellt werden.

1.2 Aufgabenstellung

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den kommunalen Gebäuden, welche größtenteils bereits durch ein Energiemonitoring erfasst werden. Dabei sollen Sofortmaßnahmen identifiziert werden, welche sich sowohl technisch als auch ökonomisch in naher Zukunft umsetzen lassen und besondere Einsparpotenziale erschließen. Die Panorama-Badewelt, eines der größten Hallen- und Freibäder der Region zeichnet sich neben dem Bezirkskrankenhaus als einer der größten Einzelverbraucher der Marktgemeinde aus. Die Wärmeversorgung basiert auf der Ortswärme von St. Johann, darüber hinaus verfügt das Gebäude seit Juni 2022 bereits über eine PV-Anlage und in 2023 wurden alle Filterpumpen durch Hocheffizienzpumpen (40% Stromeinsparung) getauscht. Darüber hinaus ermöglicht eine thermische Solaranlage (bei geeigneter Einstrahlung) eine rasche Beckenwassererwärmung mit regenerativer Energie. Im Bereich der Dusch- und Beckenwassererwärmung sowie der Lüftung konnten jedoch erhebliche Einsparpotenziale identifiziert werden, welche nicht nur aus Klimaschutzgründen, sondern auch in Bezug auf die ökonomischen Randbedingung für eine Sofortmaßnahme geeignet erscheinen. Dabei wird der Fokus im vorliegenden Energiekonzept auf Maßnahmen im Hallenbadbereich gelegt, weil die Freibecken bereits über eine Beckenwasser-Abdeckung verfügen und die Dringlichkeit der Wärmeeinsparung aufgrund des hohen ganzjährigen Abwärme-Potenzials durch die Egger-Werke bislang in den Sommermonaten noch nicht gegeben ist.

Die identifizierten Potenziale beziehen sich hauptsächlich auf folgende Bereiche

- Möglichst weitgehende Reduzierung der Beckenwasserverdunstung durch Anhebung der maximalen Hallenluftfeuchte unter Berücksichtigung der bauphysikalischen Anforderungen und des thermischen Komforts. Eine nächtliche Beckenwasserabdeckung erweist sich beim Einsatz einer hocheffizienten Lüftungsanlage als nicht wirtschaftlich.
- Reduzierung der Wärmeverluste durch die Filtrerrückspülung durch Abwasser-Frischwasser-Wärmerückgewinnung und Verwendung von abgekühltem Abwasser für die Filtrerrückspülung
- Enthalpienutzung der Abluft- und Fortluft der Hallenlüftung mittels Wärmerückgewinnung und ggf. nachgeschalteten Luft-Wasser-Wärmetauschern
- Reduzierung des Warmwasser-Wärmebedarfs für die Duschen durch Duschwasser-Wärmerückgewinnung

In diesem Energiekonzept werden die genannten Potenziale qualitativ und quantitativ erläutert, die technischen Voraussetzungen geklärt sowie in ihrer jeweiligen Priorität der zeitlichen Umsetzung gereiht. Letztlich entscheiden technische und ökonomische Randbedingungen auch im Hinblick auf Fördermöglichkeiten über die tatsächliche Umsetzung von Einzelmaßnahmen, da es sich jedoch um einen großen Anteil des kommunalen Energieverbrauchs handelt, können die Entwicklungsstufen auch relevanten Einfluss auf den Fahrplan zur Klimaneutralität bis 2040 ausüben.

2 GRUNDLAGENERMITTLUNG BESTAND, EINSPARPOTENZIALE

2.1 Übersicht Panorama Badewelt St. Johann

Im Folgenden wird eine generelle Übersicht über die Gesamtanlage der Panorama Badewelt St. Johann inklusive der Freianlagen gegeben, da diese evtl. für das langfristige Energiekonzept sowie den Fahrplan zur Klimaneutralität bis 2040 ebenfalls relevant werden. Im vorliegenden Dokument wird jedoch der Schwerpunkt der Maßnahmen auf den Hallenbadbereich gelegt, weil dieser auch Einsparpotenziale in den Wintermonaten verspricht, welche derzeit primär erschlossen werden sollten. Generell gliedert sich das Areal in die Bereiche Freibad **A**, Hallenbad **B** (inkl. Familienbereich, Rutschentrum und Ausschwimmbecken) mit Restaurant und Saunawelt sowie den Eislauf- bzw. Tennisplatz **C** und Parkplatz **D**.

A Freibad

- 50-m Sportbecken (1050 m², 2250 m³, Temperatur zwischen 23-28 °C)
- Nichtschwimmerbecken (220 m², 180 m³, Temperatur zwischen 24-29 °C)
- Kleinkinderbecken (50 m², 12 m³, Temperatur zwischen 24-29 °C)
- Mehrzweckbecken mit Sprungturm und Großwasserrutsche (550 m², 1000 m³, Temperatur zwischen 22-27 °C)
- 10 Duschen (40,0 °C 130 Tage/Jahr)
- Umkleiden mit Buffet

B Hallenbad

- 25-m-Becken (313 m², 495 m³, Temperatur 29,5 °C)
- Kleinkinderbecken (32 m², 15 m³, Temperatur 33,5 °C)
- Ausschwimmbecken (100 m², 170 m³, Temperatur 33,5 °C)
- Rutschenturm (40 m³, Temperatur 30,0 °C)
- 11 Duschen (40,0 °C 330 Tage/Jahr)
- Restaurant
- Saunawelt mit Kaltwasserbecken und 11 Duschen (40,0 °C 330 Tage/Jahr)
- Familienbereich
- Personal 2 Duschen (40,0 °C 365 Tage/Jahr)



Abbildung 1: Ausschwimmbecken mit Beckenwasserabdeckung.

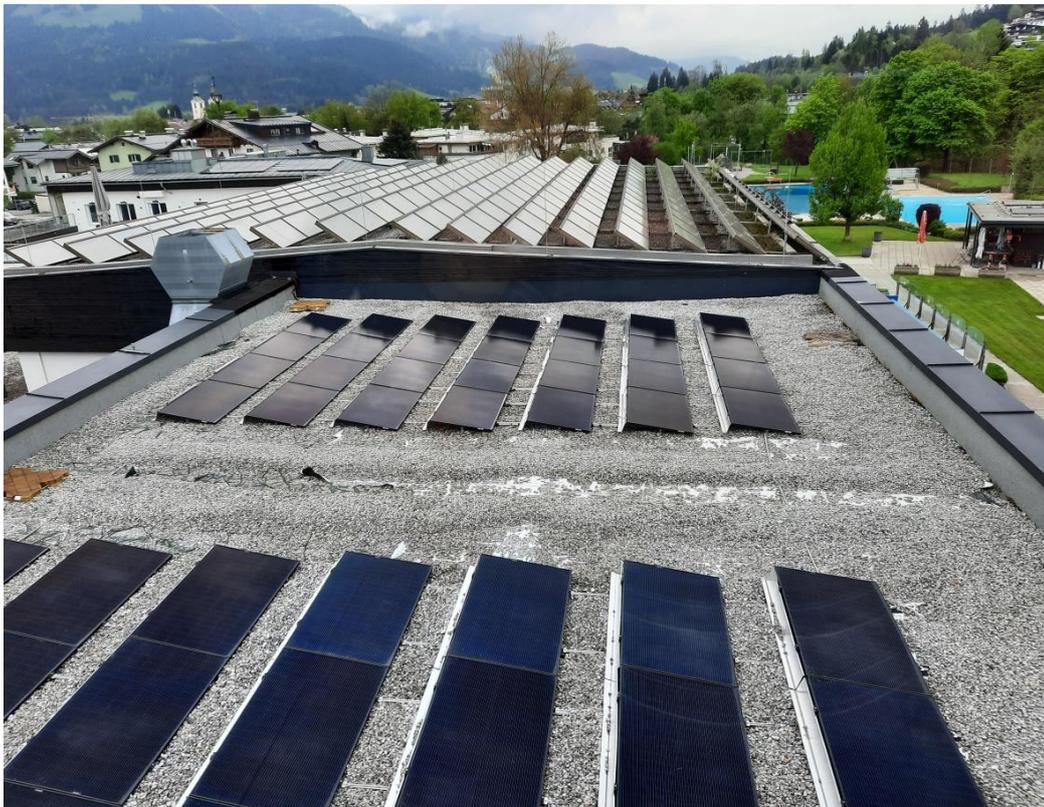


Abbildung 2: Dachaufsicht 500 Photovoltaikmodule (800 m², 170 kWp, Ertrag 150000 kWh, Vordergrund) und Solarthermie (Hintergrund).

C Eislauf- bzw. Tennisplatz

- Winter: Eislaufplatz 4 Duschen (40,0 °C 120 Tage/Jahr)
- Sommer: 4 Tennisplätze 4 Duschen (40,0 °C 330 Tage/Jahr)

D Parkplatz

- Parkplatzfläche mit insges. 125 Stellplätzen

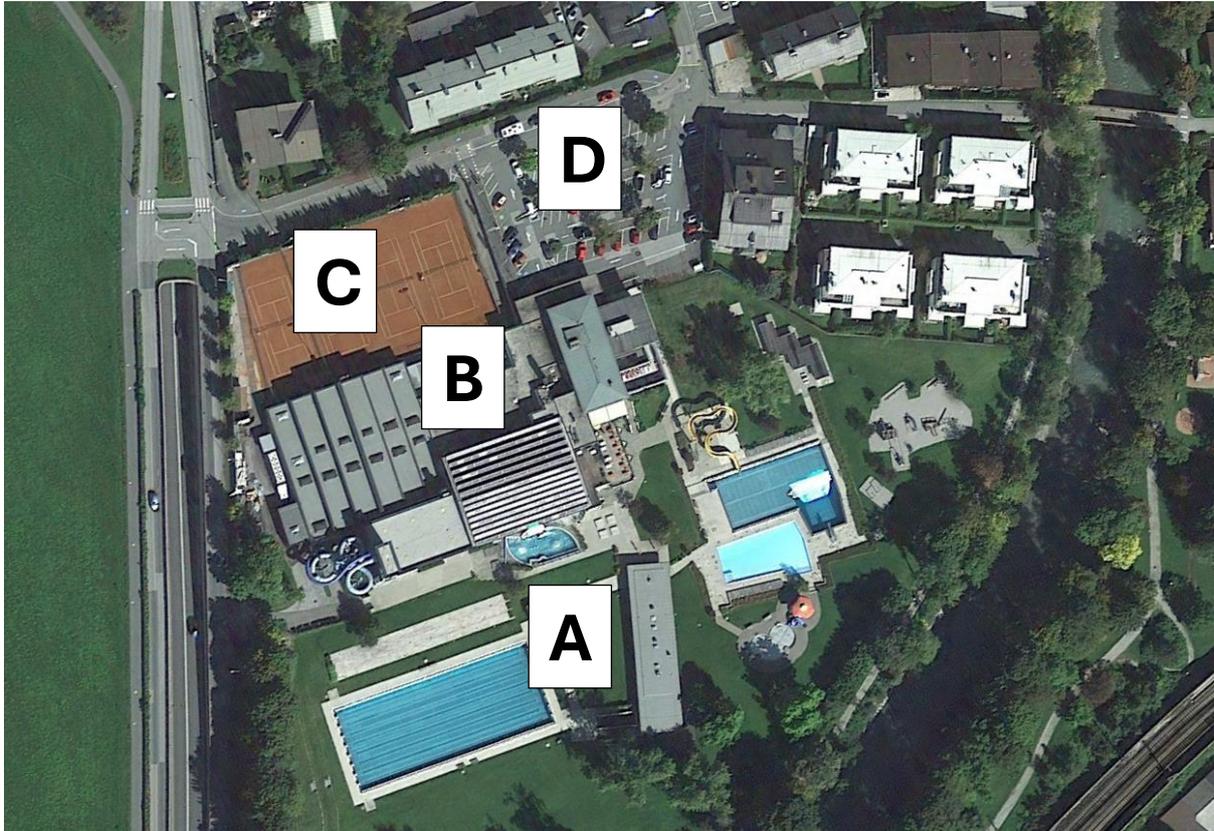


Abbildung 3: Luftbild Panorama Badewelt St. Johann (Goolge Earth, 9/2019).

2.1.1 Freibad

Öffnungszeiten Freibad (Winter- und Sommersaison 2023):

| Saison | Zeit |
|---------------------------|-------------------|
| 20.05.2023 bis 10.09.2023 | 09.30 – 19.30 Uhr |

50-m Sportbecken (26-28°C)

Sprungbecken, Mehrzweck (25-27°C) mit 55 m Großwasserrutsche

Kinder- und Nichtschwimmerbecken (27-29°C)

Derzeitiges Energiekonzept:

Beckenwassererwärmung über Ortswärme und solarthermische Anlage auf dem Hallendach.

PV-Anlage auf dem Dach der Umkleidekabinen

Beckenwasserabdeckung: keine

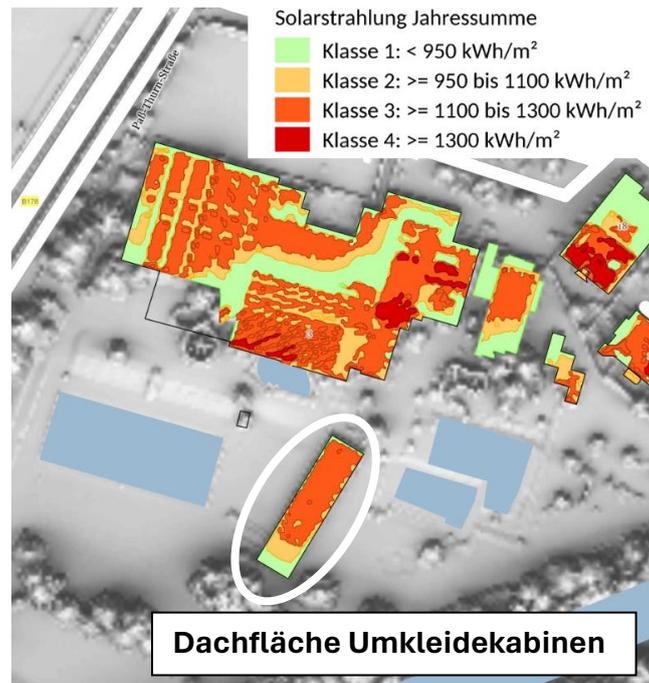


Abbildung 4: Eignungsflächen Solarenergienutzung (Solarpotenziale in Tirol – Datenstand 2013, Amt der Tiroler Landesregierung – Sg. Landesstatistik und TIRIS)

2.1.2 Hallenbad

Öffnungszeiten Hallenbad/Solarium (Winter- und Sommersaison 2023):

| Saison | Zeit |
|---------------------------|-------------------|
| 13.03.2023 bis 16.04.2023 | 12.00 - 21.00 Uhr |
| 17.04.2023 bis 19.05.2023 | GESCHLOSSEN |
| 20.05.2023 bis 10.09.2023 | 09.30 - 20.30 Uhr |
| 11.09.2023 bis 22.10.2023 | 12.00 - 21.00 Uhr |

Eine genaue Eintrittsstatistik für die Jahre 2019 bis 2022 liegt auf Monatsbasis vor. Aufgrund der untypischen Belegung in den Corona-Jahren wurde für die folgende Tabelle der Mittelwert aus den Jahren 2019 und 2022 für die Berechnung der hygienisch notwendigen Frischwassermengen verwendet. Geht man von 30 l/Person aus, so ergibt sich eine jährlich notwendige Frischwassermenge von 2445 m³/a. Diese Wassermenge übersteigt den für die Beckenwasserverdunstung aufzubringenden Bedarf von 1534 m³/a um 911 m³/a.

Tabelle 1: Eintrittsstatistik Hallenbad in den Jahren 2019 und 2022 sowie Monatsmittelwerte für die Abschätzung der hygienisch notwendigen Frischwassermenge.

| | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. | Ges. |
|--------------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|
| 2019 | 8209 | 10353 | 9611 | 3893 | 4211 | 6204 | 10002 | 10319 | 5733 | 5682 | 836 | 6423 | 81476 |
| 2022 | 7798 | 10029 | 7222 | 6072 | 3637 | 7272 | 8078 | 10135 | 5689 | 4173 | 3232 | 8219 | 81556 |
| Mittelwert 19 u. 22 | 8003.5 | 10191 | 8416.5 | 4982.5 | 3924 | 6738 | 9040 | 10227 | 5711 | 4927.5 | 2034 | 7321 | 81516 |

- 25-m Sportbecken (Fläche 313 m², Volumen 495 m³, 29,5 °C)
- Ausswimmbecken (Fläche 100 m², Volumen 170 m³, 33,5 °C)
- Kleinkinderbecken (Fläche 32 m², Volumen 15 m³, 33,5 °C)
- Rutschenturm (Volumen 40 m³, 100-m Schlauchrutsche, 35-m Turborutsche, 30,0 °C)
- Restaurant

Saunawelt mit Kaltwasserbecken
Familienbereich

Derzeitiges Energiekonzept:

Beckenwasser- und Duschwassererwärmung über Ortswärme

Beckenwasserabdeckung: keine, lediglich das Ausschwimmbecken verfügt über eine Abdeckung

Vorschläge für künftiges Energiekonzept:

Anhebung der Hallenluftfeuchte

Hocheffiziente Lüftung mit Wärmerückgewinnung, ggf. nachgeschalteter Luft/Wasser-Wärmetauscher

2.1.3 Eislauf- bzw. Tennisplatz

In den Wintermonaten werden EPDM-Matten mit Wasser-Glycol für den Eislaufplatz entrollt, im Sommer wird der Platz als Tennisplatz genutzt.

Derzeitiges Energiekonzept:

Kältemaschine nur für die Eiserzeugung

Vorschläge für künftiges Energiekonzept:

Nutzung der Abwärme aus der Eiserzeugung für TWW und/oder Beckenwassererwärmung

Ggf. reversierbarer Betrieb und Nutzung der Absorber als Wärmequelle für die WP

2.1.4 Parkplatz

Parkplatzfläche mit insges. 125 Stellplätzen

Derzeitiges Energiekonzept:

Keines

Vorschläge für künftiges Energiekonzept:

PV-Überdachung mit gleichzeitiger Verschattungswirkung für die Fahrzeuge

PV-Stromerzeugung für den Eigenverbrauch (Pumpenstrom etc.)

2.2 Infrarotthermographie und Messung der Oberflächentemperaturen

Wie im Abschnitt 0 erläutert wird, sind zur Kondensatvermeidung bei hohen Hallenluftfeuchte die Oberflächentemperaturen möglichst aller an Außenuft grenzenden Bauteile möglichst hochzuhalten. Um mögliche Schwachstellen zu erkennen, wurde am 16.05.2023 eine Begehung mit einer Infrarotkamera (VarioCAM HDx 645 mit dynamischem MicroScanning und LowNoise-Detektor, Spektralbereich 7,5-14 Mikrometer, Messbereich -40 °C bis 600 °C, thermische Auflösung 40 mK) durchgeführt.



Abbildung 5: VarioCAM HDx 645

Parallel dazu wurden Oberflächentemperaturen (innen und außen) sowie die Raumluft- und Außenlufttemperaturen gemessen. Ziel war dabei mögliche Schwachstellen (Wärmebrücken sowie Leckagen) zu

DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN

detektieren sowie Möglichkeiten und Grenzen (Kondensatvermeidung) für eine Anhebung der Hallenluft aufzuzeigen.

Die Schwimmhalle (25 m - Becken) wird nach außen hauptsächlich durch die Glasfassade (Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung), das Dach sowie eine Beton-Sandwich-Konstruktion begrenzt. Der durch eine Schiebetüre abgegrenzte anschließende Hallenteil mit dem Kleinkindbecken verfügt ebenfalls über eine raumhohe Pfosten-Riegel-Fassade, allerdings nur mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung. Letzteres gilt auch für den Rutschenturm. Die nachfolgenden IR-Aufnahmen zeigen die Temperaturverteilungen unter den zum Zeitpunkt der Messungen vorgefundenen Randbedingungen. Aus organisatorischen Gründen wurde dieser Zeitpunkt vor der neuerlichen Inbetriebnahme in der Aufheizphase durchgeführt, weil in dieser Zeit die Halle bereits aufgeheizt, jedoch noch nicht im Badebetrieb befindlich war.

Nachfolgende Aufnahme zeigt die Schwimmhalle mit dem 25-m Becken sowie dem daran anschließenden Kleinkindbecken. Dieser Bereich, in dem sich auch die Ausläufe der Rutschen befinden, ist mit einer Glasschiebetür von der Schwimmhalle abgetrennt.

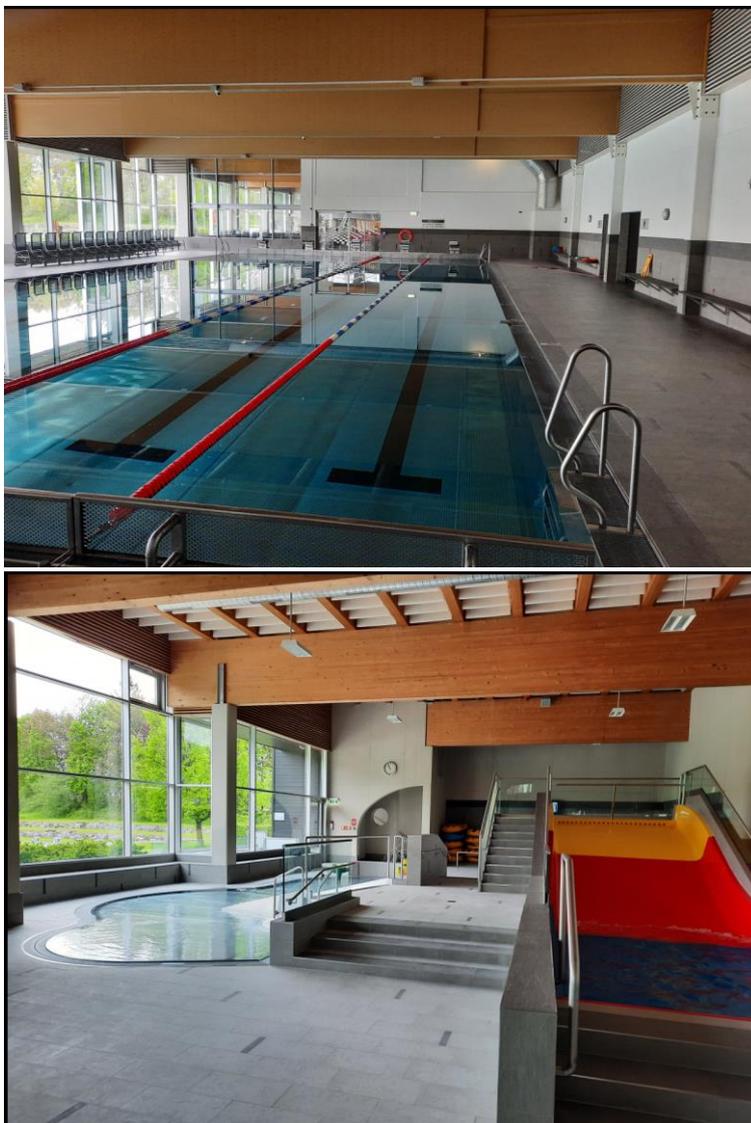


Abbildung 6: Innenaufnahme der Schwimmhalle (25 m -Becken, oben bzw. Kleinkindbecken, unten).

DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN

Tabelle 2: Randbedingungen der Infrarotaufnahmen im Messzeitraum von 10:00Uhr bis 11:45Uhr am 16.05.2023 (Messwertaufnahme mit Center-313 Datenlogger (Humidity and Temperature), Bosch GTC 1000C Professional, Humlog Datenlogger).

| Messgröße | Messwert |
|----------------------|--------------|
| Hallenlufttemperatur | 26,0 °C |
| Hallenluftfeuchte | 58,67 % r.F. |
| Außenlufttemperatur | 14,0 °C |
| Außenluftfeuchte | 72,2 % r.F. |

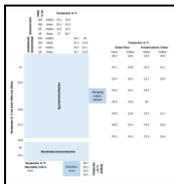
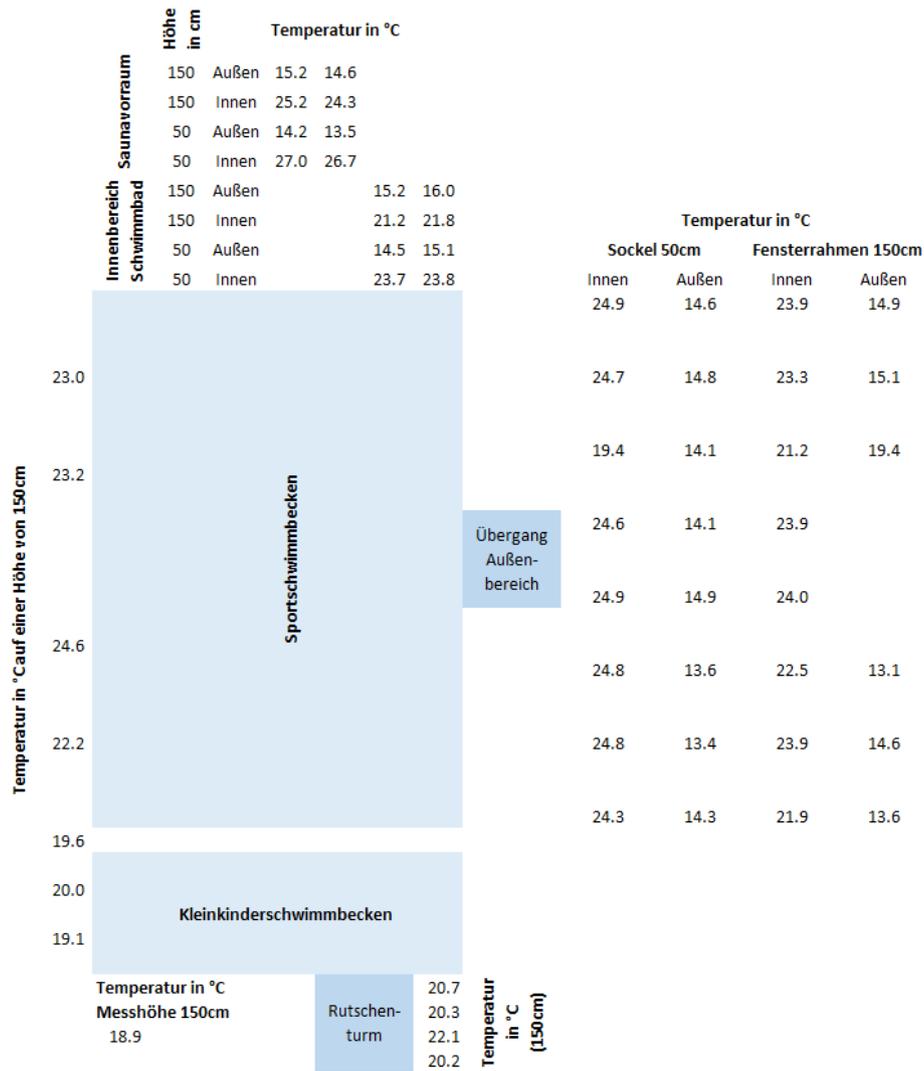


Abbildung 7: Innenaufnahme der Schwimmhalle mit Blick auf Pfosten-Riegel-Fassade (25 m -Becken links, bzw. Kleinkindbeckenrechts).



Abbildung 8: Innenaufnahme der Schwimmhalle mit Blick auf die rückseitige Außenwand (25 m -Becken, Schiebetür zum Kleinkindbecken links).

DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN



Doppelklick auf Icon links zur Wiedergabe der Abbildung in hoher Auflösung

Abbildung 9: Oberflächentemperatur-Randbedingungen im Messzeitraum von 10:00Uhr bis 11:45Uhr am 16.05.2023 (Messwerterhebung über Bosch GTC 1000C Professional), beginnend mit der Messung im Gebäude, anschließend Datenerhebung im Außenbereich, durchschnittliche Höhe der Aufnahme der Oberflächentemperatur: 1.5m (oder 0.5m explizit ausgewiesen), Materialänderungen wurden berücksichtigt.

DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN

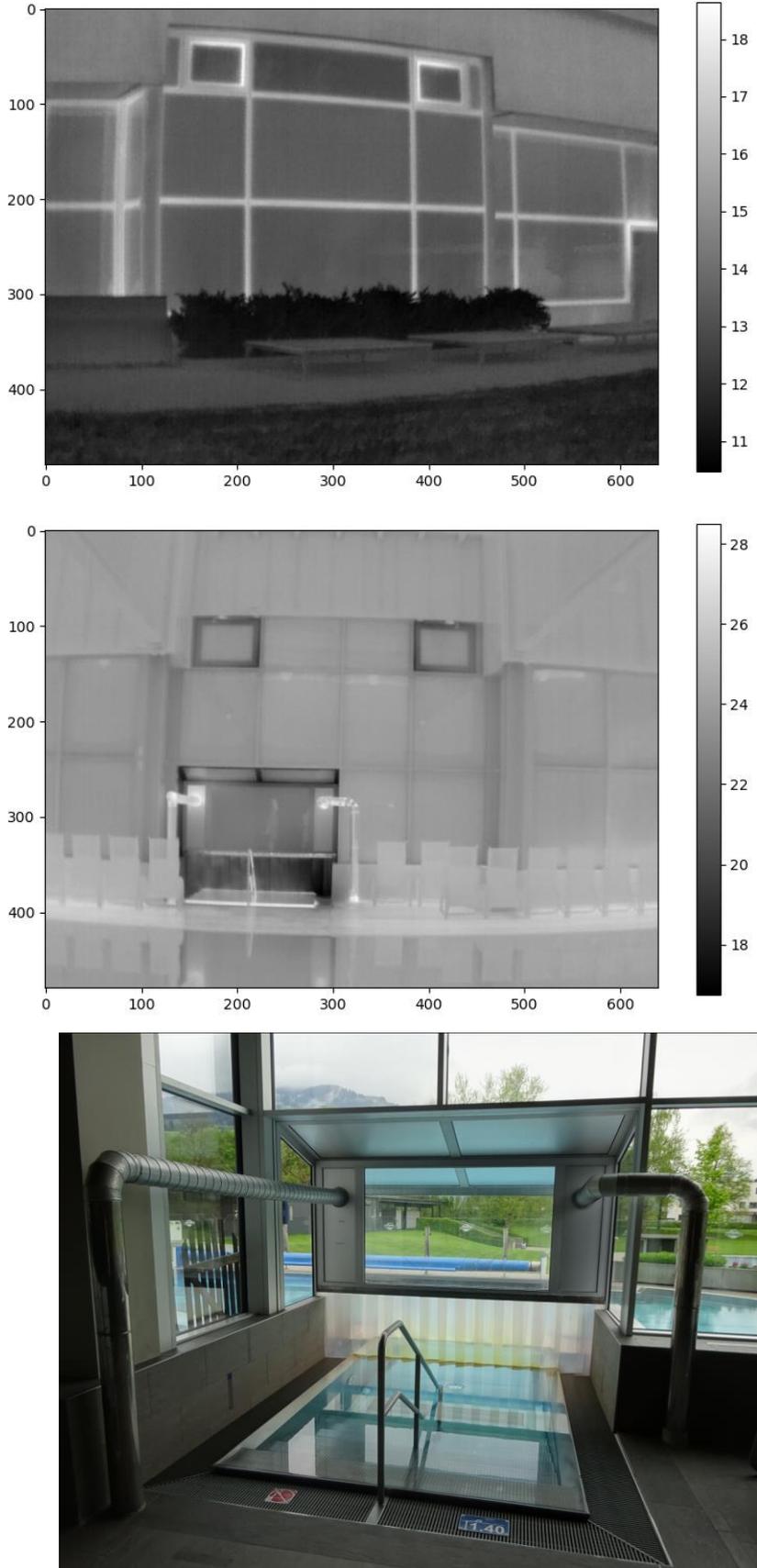


Abbildung 10: IR-Aufnahme der Pfosten-Riegel-Fassade von außen (oben) und innen (unten, mitte).

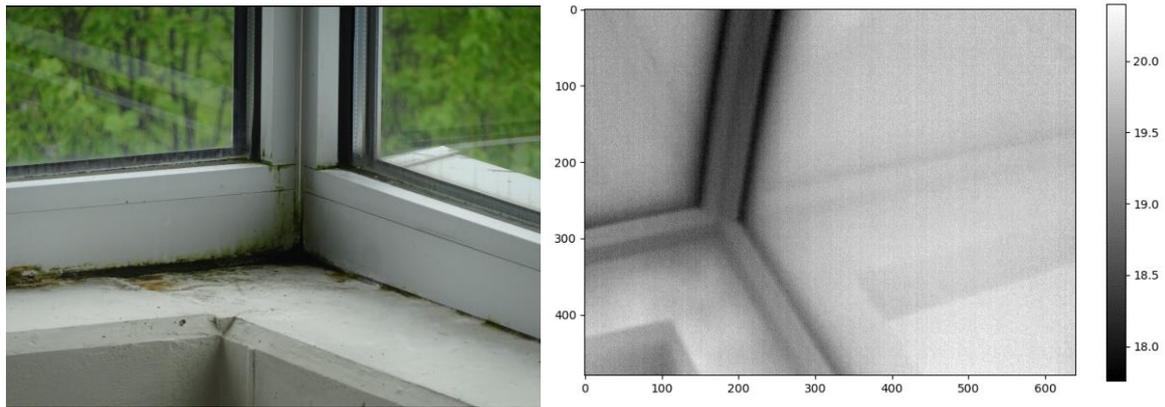


Abbildung 11: Algenwachstum im Fenster-Eckbereich des Rutschenturms (oberste Etage).

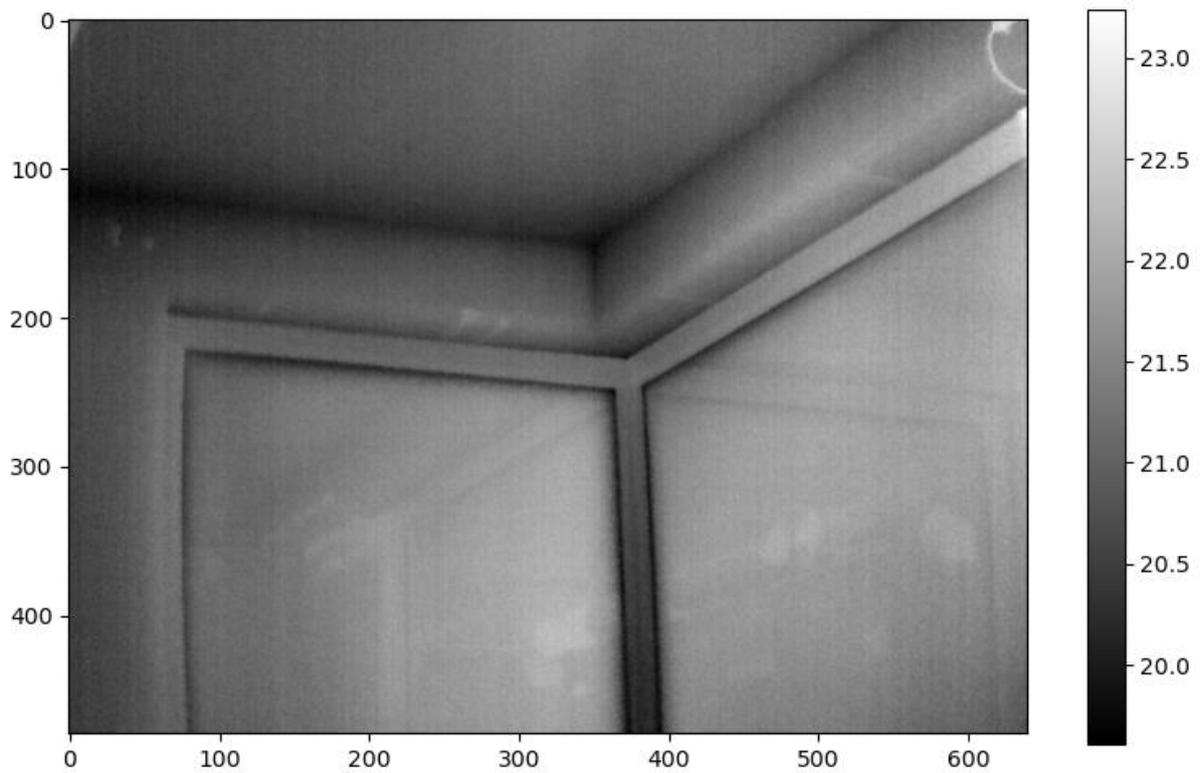


Abbildung 12: Fenstereck Rutschenturms (oberste Etage).

DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN

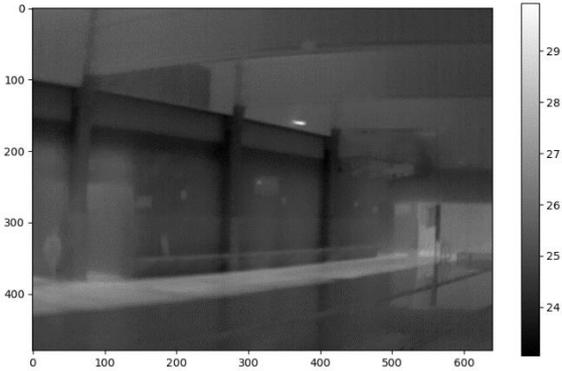


Abbildung 13: Außenwand Halle (Beton-Sandwich-Teil).

3 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG ZUM ENERGIEKONZEPT HALLENBAD

Wie eingangs bereits erwähnt, soll im Projekt EnerPHit-for-2040 nicht nur ein Fahrplan zur Klimaneutralität bis 2040 für die Marktgemeinde St. Johann erstellt, sondern auch Vorschläge für konkrete kommunale Umsetzungsprojekte erarbeitet werden. Hierbei wurde das Hallenbad als geeignetes Projekt sowohl hinsichtlich der zeitlichen Umsetzbarkeit als auch in Bezug auf die zu erwartenden Einsparpotenziale identifiziert.

Daher werden nachfolgend sowohl die Potenziale als auch ihre mögliche technische Umsetzbarkeit und hierfür vorgeschlagene Maßnahmen und ggf. deren Reihenfolge erläutert, die sich lediglich auf den Hallenbadbereich beziehen. Maßnahmen für den Freibadbereich, wie bereits erläutert, sind künftig im Rahmen des langfristigen Fahrplans ebenfalls sinnvoll, jedoch im Moment nicht vordringlich.

3.1 Energetische und Exergetische Betrachtung der Energieflüsse

Im Hallenbad treten unterschiedliche Energieströme auf unterschiedlichem Exergieniveau auf. Dabei unterscheiden wir reine Stromanwendungen (z.B. für Pumpen, Beleuchtung etc.) mit 100% Exergie, Wärme- und Enthalpieströme auf höherem Temperaturniveau (z.B. Duschwarmwasserbereitung) sowie geringerem Temperaturniveau (z.B. Beckenwassererwärmung) bzw. niedrigem Niveau (z.B. Fortluft). Um ein sinnvolles möglichst ganzheitliches Energiekonzept aufstellen zu können ist die Betrachtung möglichst aller Energieströme und deren ggf. Nutzbarkeit z.B. durch Wärmerückgewinnung erforderlich. Um das langfristige Ziel der möglichst vollständigen Dekarbonisierung nicht aus dem Auge zu verlieren, sind die einzelnen Maßnahmen aufeinander abzustimmen und deren zeitliche Umsetzung und Reihenfolge so zu gestalten, dass in letzter Konsequenz das ganzheitliche Energiekonzept zur vollständigen Dekarbonisierung der gesamten Energieregion führen kann.

Letztlich geht es darum, die Energiedienstleistung – nämlich Bewegung, Sport, Spaß, Erholung und Gesundheit -im Hallenbad für die Marktgemeinde St. Johann und das Umland mit möglichst geringem ökologischem Fußabdruck und Kosten zu ermöglichen. Neben dem Einsatz von regenerativer Energie und Abwärme spielt dabei die Energieeffizienz eine wichtige Rolle.

3.2 Bauphysikalische und anlagentechnische Grundlagen

Bereits 2009 wurden in [Schulz 2009] die Grundlagen zur bauphysikalischen und technischen Umsetzung des Passivhauskonzepts in öffentlichen Hallenbädern zusammengestellt. Eine zentrale Erkenntnis daraus ist, dass die nach Vorgaben der [VDI 2089 Blatt 1] zulässigen Luftfeuchte mit **14,3 g/kg** auf einen Wärmeschutz der damaligen Energieeinsparverordnung EnEV in Deutschland bezogen ist, die sehr gute Wärmedämmung von Passivhäusern bzw. sehr gut sanierter Altbau-Schwimmhallen aber aufgrund höherer innerer Oberflächentemperaturen der Außenbauteile aber eine Verschiebung dieser Grenze zu höheren Feuchtegehalten erlaubt. Die höhere Feuchte im Hallenbereich senkt die Verdunstungsleistung des Beckenwassers, damit kann wiederum der Luftwechsel und somit die Lüftungswärmeverluste reduziert werden. Die maximal zulässige Luftfeuchte wird jedoch nicht nur durch die Kondensatvermeidung sondern auch in Bezug auf Materialschutz, Behaglichkeit und Bauschadensfreiheit begrenzt. Auch diese Einflüsse werden beim nachfolgenden Konzept für den speziellen Fall der Panorama-Badewelt Schwimmhalle berücksichtigt.

Inzwischen hat auch der VDI-Ausschuss auf diese Erkenntnisse reagiert, die Überarbeitung der VDI-Richtlinie 2089 [VDI 2089 2010] ein liegt als neuer Entwurf [VDI 2089 Entwurf 2023] vor. Darin sind insbesondere statt einer bisher starren ganzjährig geltenden absoluten Feuchte von 14,3 g/kg für

verschiedene Bereiche und Jahreszeiten eine Lockerung geplant. So ist in Abhängigkeit von der Raumnutzung z.B. im Sommer eine höhere Feuchtigkeit zulässig. Darüber hinaus soll der Außenluftanteil in Abhängigkeit vom Klimazustand im Hallenbad variieren, dazu wird ein Außenmindestluftanteil vorgeschrieben, um der Raumlufthygiene Rechnung zu tragen. Im Ruhebetrieb sieht der Entwurf künftig einen intermittierenden Betrieb der RLT-Anlage vor. Im Abschnitt 6.2.1 (Bemessung des Außenluft-Auslegungsmassenstroms steht im neuen Entwurf [VDI 2089 Entwurf 2023]: „In Abschnitt 5.3.1 wird ein absoluter Wassergehalt der Schwimmhallenluft von 17,2 g/kg bei bestimmten Randbedingungen zugelassen, wenn aus bauphysikalischer Sicht kein Risiko der Betauung festgestellt wird. Die entfeuchtungsbreite von 5,3 g/kg für die Berechnung des entfeuchtenden Außenluftmassenstroms wird zwingend beibehalten.

Im Abschnitt 5.3.1 im neuen Entwurf der VDI 2089 wird das Thema „Luftfeuchte der Schwimmhalle“ wie folgt behandelt:

Die relative Feuchte der Raumluft in der Schwimmhalle muss im Bereich physiologischer Zuträglichkeit liegen. Zu hohe relative Luftfeuchte verursacht Schwüleempfinden. Die Schwülegrenze für den unbedeckten und mit Wasser benetzten Menschen liegt je nach Aktivitätsgrad im für Schwimmhallen relevanten Temperaturbereich von 30 °C bis 34 °C bei einer absoluten Feuchte x zwischen 21 g/kg und 30 g/kg trockener Luft [Schulz 2009]. Für trockene Menschen liegt die Grenze der Behaglichkeit bei leichtem Aktivitätsgrad dagegen bei $x < 10$ g/kg trockener Luft. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, Bereiche unterschiedlicher Nutzung (z.B. Schwimmen, Ruhebereich, Gastronomie) hinsichtlich Temperatur und Feuchte thermisch zu trennen.

Zum vorbeugenden Schutz für Metall- und Holzbauteile im Schwimmhalleninnenraum soll die relative Raumluftfeuchte im Bereich $40\% \leq \varnothing \leq 64\%$ liegen. Kurzfristige Unter- und Überschreitungen können auftreten; die Verträglichkeit mit den Bauteilen ist nachzuweisen.

Bei der Festlegung der Feuchte der Schwimmhallenluft muss die Bauphysik berücksichtigt werden. In Abhängigkeit von der Gebäudedämmung ist ein unterer Grenzwert des absoluten Wassergehalts in der Schwimmhallenluft von 14,3 g/kg zu sehen. Gebäude mit optimaler Wärmedämmung lassen absolute Wassergehalte von bis zu 17,2 g/kg ohne ein Risiko der Betauung von Umschließungsflächen zu. Zur Beurteilung und Festlegung des absoluten Wassergehalts ist zwingend ein Bauphysiker hinzuzuziehen.“

3.2.1 Minimale Oberflächentemperaturen

Wie in [Schulz 2009] gezeigt treten auch bei modernen hochwertigen Pfosten-Riegel-Fassaden mit thermisch getrennten Abstandshaltern die minimalen Oberflächentemperaturen am Glasrand an der Ecke zwischen Pfosten und Riegel auf. Bei winterlichen Außentemperaturen von -5°C und für Schwimmhallen typische Raumlufttemperaturen von 32°C können hier aber immer noch 24 bis 28 °C (bei thermisch optimierten Pfosten-Riegel-Fassaden) erreicht werden, Standardfassaden liegen hier nur bei 12,7 °C. Anhebungen der zulässigen Feuchte bis auf 23 g/kg wären mit bereits heute marktverfügbaren hochwertigen Pfosten-Riegel-Systemen aus Sicht der Kondensatvermeidung möglich.

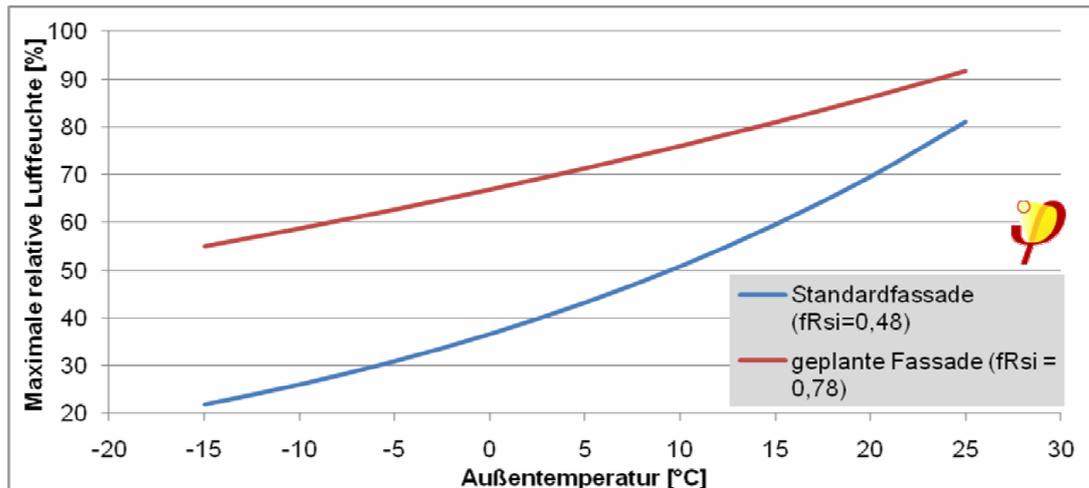


Abbildung 14: Maximale tauwasserfreie Raumluftechten einer Standardfassade (Aluminium-Tragsystem, 2-fach Verglasung, Aluminium-Randverbund) und der geplanten Fassade in Abhängigkeit von der Außentemperatur Quelle: [DBU 2011].

Da die Fenster/Fassade in der Panorama-Badewelt vor nicht allzu langer Zeit erneuert wurde ist nun keine spezielle Optimierung in dieser Hinsicht mehr möglich, sollte aber schon deutlich besser als alte Standardfassaden sein. Um sich einen Überblick über eventuelle thermische Schwachstellen zu machen, wurden am 16.05.2023 sowohl Thermographieaufnahmen als auch Messungen der Oberflächentemperaturen bei gleichzeitiger Messung der Innen- und Außentemperaturen vorgenommen.

Die Unterschreitung des Taupunktes muss für alle Oberflächenbereiche der Halle vermieden werden. Die hohen Dampfdrücke bergen insbesondere bei Bestandsgebäuden mit ggf. vorhandenen Leckagen darüber hinaus die Gefahr von Kondensatbildung in der Konstruktion durch Eindringen von feuchter Hallenluft. Aus diesem Grund wird bei der Einstellung der Lüftungsanlage tendenziell zu leichtem Abluftüberschuss von max. 5 % geraten, damit die Leckagen eher von außen nach innen durchströmt werden.

Die Behaglichkeitsanforderungen von nassen Personen sind nicht die limitierende Größe der zulässigen Hallenluftfeuchte [Schulz 2009].

Laut [VDI 2089] wird zum vorbeugenden Schutz für Metall- und Holzbauteile im Schwimmhalleninnenraum die relative Raumluffteuchte auf 64% begrenzt.

Für die weitere Betrachtung wird eine Hallentemperatur von 32 °C und eine relative Feuchte von 64% (19,3 g/kg) gewählt, da hier moderate Verdunstungsmengen (ca. 0,0889 kg/(hm²)) bei gleichzeitig akzeptablen Klimabeurteilungen sowohl von nassen als auch von trockenen Badegästen zu erwarten sind.

| | |
|--------------------------------|--|
| Oberflächenkriterium | Je nach Fassadenqualität bis zu 76% (23 g/kg) |
| Korrosionskriterium | Dauerhafte Sicherstellung der Tauwasserfreiheit |
| Behaglichkeitskriterium | 65% (19,3 g/kg) |
| Schadstoffkriterium | Min. Außenluftwechsel 30% Auslegungsvolumenstrom |

Zulässige Hallenluftfeuchte bei 32 °C Hallentemperatur

Außerhalb der Öffnungszeiten spielt das Behaglichkeitskriterium keine Rolle mehr, somit könnten nachts bzw. außerhalb der Betriebszeiten Hallenfeuchten bis 76% (23 g/kg) gefahren werden, wenn Korrosions- und Feuchteschäden ausgeschlossen werden können.

3.2.2 Luftdichtheit

Für Schwimmhallen ist die Bedeutung der Luftdichtheit im Vergleich zu Wohn- und Bürobauten nochmals höher, sowohl aus bauphysikalischer Sicht (Vermeidung von Bauschäden) als auch aus Sicht der Energieeinsparung (Reduktion der Lüftungswärmeverluste). Es ist daher empfehlenswert die Luftdichtheit so sorgfältig wie möglich auszuführen, als Richtwerte gelten hier für großvolumige Hallen in Passivhaus-Bauweise $n_{50} = 0,1-0,3$ 1/h bzw. der besser geeignete Kennwert Q_{50} von ca. $0,6$ $m^3/h/m^2$. Im vorliegenden Fall handelt es sich um die Sanierung eines Bestandsgebäudes. Die Problematik liegt dabei sowohl im häufig fehlenden Luftdichtheitskonzept in der Errichtungsphase sowie in möglichen Anschluss-Problematiken bei später erfolgten (Teil-)Sanierungen. Luftdichtheitsmessungen liegen der Zeit aber nur für den relativ neu sanierten Bereich mit Kinderbecken und Rutschenturm vor, im Hallenbereich mit dem Sportbecken dagegen nicht. Daher beruhen die Annahmen für die Luftdichtheit von $n_{50} = 0,7$ h^{-1} in der nachfolgenden Abschätzung der möglichen Einsparpotenziale lediglich auf Schätzungen.

3.3 Einsparpotenziale und Möglichkeiten zur technischen Umsetzung

| Fall | Ge- samt- wärme | WRG tro- cken | WRG effektiv | KWT | Becken- abdeckung | Abs. Feuchte | Abwas- ser- WRG | Abwas- ser- WRG ef- fektiv | Filter- rückspü- lung aufbe- reitet | Einspa- rung ge- genüber Status- Quo VDE | |
|---------|-----------------------|---------------------|-----------------|------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|--|--|------------|
| Nr. | MWh | | | | | g/kg | | | | | |
| Fall 1 | 515.6 | 60% | 64% | 0% | ohne | 14% | 0% | 0% | 0% | 0% | |
| Fall 2 | 467.2 | 60% | 64% | 0% | mit | 14% | 0% | 0% | 0% | 9% | 9% |
| Fall 3 | 382.3 | 60% | 64% | 0% | ohne | 17.36 | 0% | 0% | 0% | 26% | 16% |
| Fall 4 | 368.1 | 60% | 64% | 0% | mit | 17.36 | 0% | 0% | 0% | 29% | 3% |
| Fall 5 | 284.4 | 85% | 89% | 0% | ohne | 17.36 | 0% | 0% | 0% | 45% | 16% |
| Fall 6 | 247.3 | 85% | 89% | 0% | ohne | 17.36 | 60% | 54% | 0% | 52% | 7% |
| Fall 7 | 230.4 | 85% | 89% | 0% | ohne | 17.36 | 0% | 0% | 100% | 55% | 3% |
| Fall 8 | 222.5 | 85% | 89% | 0% | ohne | 17.36 | 60% | 54% | 100% | 57% | 2% |
| Fall 9 | 155.26 | 85% | 89% | 18% | ohne | 17.36 | 60% | 54% | 100% | 70% | 13% |
| Fall 10 | 141.01 | 85% | 89% | 18% | ohne | 17.36 | 60% | 54% | 100% | 73% | 3% |

| Fall Nr. | Fallbeschreibung |
|----------|--|
| Fall 1 | Status Quo mit Hallenluftfeuchte nach VDI (14,3 g/kg) |
| Fall 2 | Wie Fall 1 aber mit nächtlicher Beckenwasserabdeckung |
| Fall 3 | Status Quo mit Hallenluftfeuchte wie im Istzustand (17,4 g/kg, d.h.63% r.F) |
| Fall 4 | Wie Fall 3 aber mit Beckenwasserabdeckung |
| Fall 5 | Wie Fall 3 aber mit WRG hocheffizient (Wärmerückgewinnungsgrad trocken 85%, mit Kondensat 89 %) |
| Fall 6 | Wie Fall 5 aber mit Abwasser-WRG 60 % (mit Gleichzeitigkeit etc. effektiv 54%) ohne Filtrerrückspülung |
| Fall 7 | Wie Fall 5 aber mit Filtrerrückspülung ohne Abwasser-WRG |
| Fall 8 | Wie Fall 5 aber mit Filtrerrückspülung und mit Abwasser-WRG |
| Fall 9 | Wie Fall 8 aber mit KW-WT in der Fortluft |
| Fall 10 | Wie Fall 8 aber mit verbesserter Luftdichtheit (von n ₅₀ 0,7 1/h auf 0,1 1/h) |

3.3.1 Beeinflussung der Beckenwasserverdunstung und des daraus resultierenden Wärmebedarfs für Hallenheizung und Beckenwassererwärmung

Durch die Senkung des Dampfdruckgefälles wird eine Reduzierung der Verdunstung und der damit verbundenen Heizenergie für die Beckenwasser-Nacherwärmung zur Kompensation der Verdunstungskälte erzielt. Darüber hinaus führt die geringere Verdunstung zugleich zu geringeren erforderlichen Außenluftwechseln zu Hallenlufttrocknung, die sich wiederum positiv auf die Lüftungswärmeverluste auswirken. Die **Anhebung der Hallenfeuchte** wirkt sich also positiv auf den Heizwärmebedarf für Halle und Beckenwassererwärmung aus. Die Anhebung der nach VDI 2089 zulässigen Hallenfeuchte von max. 14,3 g/kg (entspricht bei einer Hallentemperatur von 30,5 °C einer relativen Luftfeuchte von 52 %,

Fall 1) auf 17,4 g/kg (entspricht 63% r.F. bei 30,5°C, Fall 3) führt unter der Annahme der vorhandenen Bestandslüftungsanlage (WRG ca. 60% trocken) **zu einer Einsparung von 26% (Fall 3 gegenüber Fall 1)**. Voraussetzung ist die Sicherstellung der Bauschadensfreiheit der Bauteile sowie die Behaglichkeit trockener bzw. bekleideter Badegäste und des Personals.

Für die Berechnung der Verdunstung wurde der Wasserübergangskoeffizient nach VDI 2089 tagsüber mit 28 m/h und nachts mit 7 m/h. Durch die Unterwasserumwälzung und das Abschalten der Überlaufwannen bei Abwesenheit der Schwimmer wird nachts von dieser reduzierten Verdunstungsrate ausgegangen.

Die Einsparung durch eine ggf. nachzurüstende Beckenwasserabdeckung hängt direkt von den Randbedingungen (absolute Feuchte der Hallenluft sowie Enthalpienutzung aus der Fortluft) ab. Die Einsparung fällt aber in beiden Fällen relativ gering aus, sie liegt bei **9 % (Hallenfeuchte nach VDI, Einsparung Fall 2 gegenüber Fall 1)** bzw. 3% (Hallenfeuchte 17,4 g/kg, **Einsparung Fall 4 gegenüber Fall 3**) und rechtfertigt den Mehraufwand für die Installation und den täglichen Aufwand für öffnen und schließen sowie Wartung insbesondere bei bereits angehobener Hallenfeuchte kaum. Die Einsparung belief sich auf nur 15 bzw. 5 €/Tag.

3.3.2 Hallenlufttrocknung und Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Die derzeit verbaute Lüftungsanlage (Annahme WRG 60%) sollte durch eine neue mit höherer Effizienz (höhere Wärmerückgewinnung, WRG 85% trocken bzw. 89% inklusive Kondensationswärme - sowie effizientere Ventilatoren) ersetzt werden. Allein diese Verbesserung würde eine Einsparung um 19% für die Nacherwärmung sowie weitere Stromverbrauchseinsparung aufgrund hocheffizienter Ventilatoren und deren Steuerung ermöglichen.

Für Schwimmbad-Lüftungsanlagen werden auch Kombinationen mit nachgeschalteter Wärmepumpe angeboten, allerdings sind diese fertig konfektionierten Geräte für den Betrieb mit reduzierten Volumenströmen nicht effizient, weil stark überdimensioniert. Auch in Bezug auf Investition und Wartung ist deren Einsatz im vorliegenden Fall grenzwertig und daher nicht zu empfehlen. Stattdessen wird ein nachgeschalteter Luft-/Wasser-Wärmetauscher zum Auskondensieren der verbleibenden Feuchte aus der Fortluft empfohlen.

Die Volumenströme werden ohne Umluftbetrieb auf den Winterfall dimensioniert, die Entfeuchtung erfolgt über die Außenluft. Darüber hinaus ist eine aktive Entfeuchtung über Umluft mit Wärmepumpe denkbar. Aufgrund der aggressiven Chlor-Atmosphäre der Hallenluft wird mit rekuperativen Wärmeübertragern aus Propylen gearbeitet. Nachgeschaltet könnte mit einer Wärmequelle mit einer Leistungsziffer von mindestens 5 auf ein Temperaturniveau von 40°C gearbeitet werden, wenn die Latentwärme der Fortluft genutzt wird. Dies ist allerdings aufgrund der hohen Investitions- und Betriebskosten und der geringen Primärenergiefaktoren der Fernwärme derzeit noch kaum wirtschaftlich.

In der vorhandenen Ausführung der Zuluft- und Abluftführung in der Halle werden beide Luftströme an der Hallendecke geführt. In Bezug auf gezielte Schadstoffabfuhr wäre die Abluftführung in Beckennähe aus gesundheitlichen Gründen für die Badegäste vorteilhaft (Quellabsaugung). Da es sich aber um ein Bestandsgebäude handelt erscheint ein Umbau aber eher unrealistisch.

Der ohnehin geplante Austausch der bestehenden Lüftungsanlage von Freevent (Annahme zum Wärmerückgewinnungsgrad trocken 60%, mit Latentwärmenutzung 64%) gegen eine moderne hocheffiziente Lüftungsanlage (Annahme zum Wärmerückgewinnungsgrad trocken 85%, mit Latentwärmenutzung 89%) würde eine **Einsparung gegenüber dem Status Quo (Fall 3) von 19 %** erreichen.

3.3.3 Nachrüstung der Bestandslüftungsanlage mit Kreislaufverbundsystem

3.3.3.1 Bestandslüftung

Die Planung der Bestandslüftung erfolgte durch das Ingenieurbüro Pfeiffer, Kaiser Josef Platz 35, A-4600 Wels, Tel 0724260306 (Planer: Richtinger; Projekt Nr. 9554; Plandatum 22.7.1996).

Nachfolgende Tabelle listet die Nennluftmengen der beiden Anlagen (Anlage Nebenräume und Anlage Schwimmhalle) auf. Die tatsächlichen Luftmengen weichen davon je nach Entfeuchtungsbedarf in Richtung Teillast bis zu 50% ab.

Tabelle 3: Nennluftmengen der Anlagen im Schwimmbad.

| Raumbezeichnung | Einblastemperatur | Volumenstrom |
|---------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Duschen/WC Herren | | 1500 m ³ /h |
| Duschen/WC Damen | | 1500 m ³ /h |
| Umkleide Hallenbad | | 8400 m ³ /h |
| Summe Nebenräume | | 11.400 m³/h |
| Hallenbad | 42 °C | 12.097 m ³ /h |
| Mutter-Kind-Bereich | 42 °C | 1.905 m ³ /h |
| Summe Schwimmhalle | | 14.002 m³/h |

3.3.3.2 Derzeitige Feuchteabhängige Steuerung der Luftmengen

Bei Anstieg der relativen Feuchte über 65 % RH fährt die Anlage auf Volllast (14.000 m³/h), darunter wird die Anlage in Teillast bis ca. 50% der Volllast heruntergefahren. Die Entfeuchtung wird über die Außenluftklappe (Klappenstellung Sommer 30%, Winter 15 %).

Die Anlage fährt zu etwa 70 % in Teillast und 30 % in Volllast (bei einem 24 h Betrieb). Bei der Nebenraumlüftung gibt es nur Volllast, d.h. ca. 11.400 m³/h bei einem 18 h Betrieb.

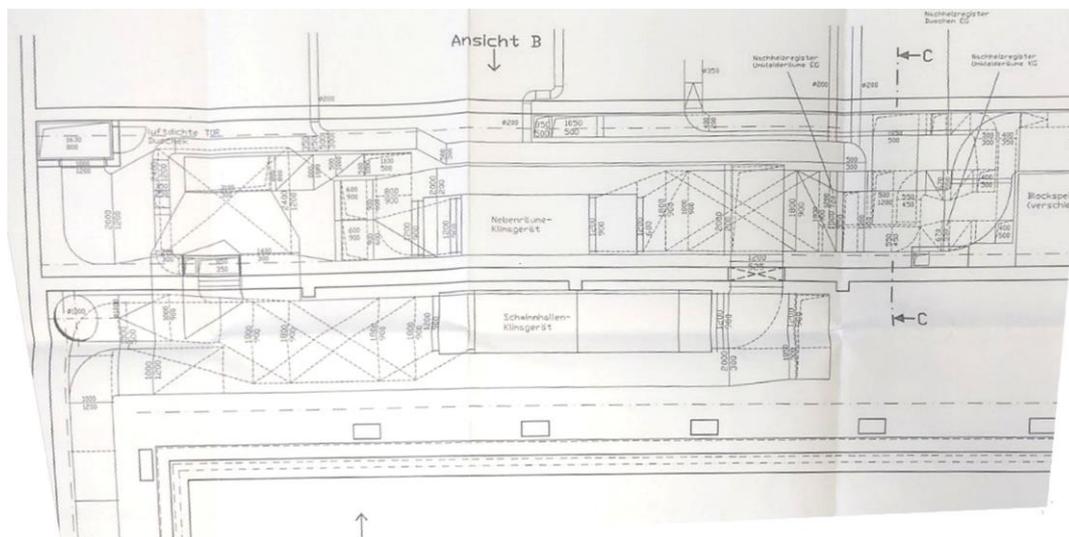


Abbildung 15: Bestandslüftungsgeräte (Nebenräume oben, Schwimmhalle unten).

In Bezug auf die Effizienzverbesserung der vorhandenen Lüftung mit Wärmerückgewinnung bestehen grundsätzlich die Möglichkeiten des vollständigen Ersatzes des Bestandslüftungsgerätes sowie die alternativ die energetische Ertüchtigung. Erstere verursacht Kosten für Demontage der Bestandsanlage sowie Investition in ein hocheffizientes Neugerät sowie dessen Montage und Inbetriebnahme.

Mittels Seriellschaltung eines Kreislaufverbundsystems (KVS) im Außen-/Fortluftbereich der Bestandsanlage könnte die Fortlufttemperatur weiter abgekühlt und auskondensiert und damit die

Gesamteffizienz der Lüftungsanlage erhöht werden. Weitere Abkühlung in einem Wasser/Luft-Wärmetauscher bis zur Kaltwassertemperatur von ca. 10 °C wäre durch einen nachgeschalteten Wärmeübertrager in der Fortluft möglich. Mittels Enthalprierückgewinnung könnte damit eine Beckenwassererwärmung erfolgen. Je nach Bedarf an Lüftungswärmerückgewinnung könnte dieser Anteil mittels Dreiwegeventilen auf Lüftung bzw. Beckenwassererwärmung aufgeteilt und somit die Gesamteffizienz erhöht werden.

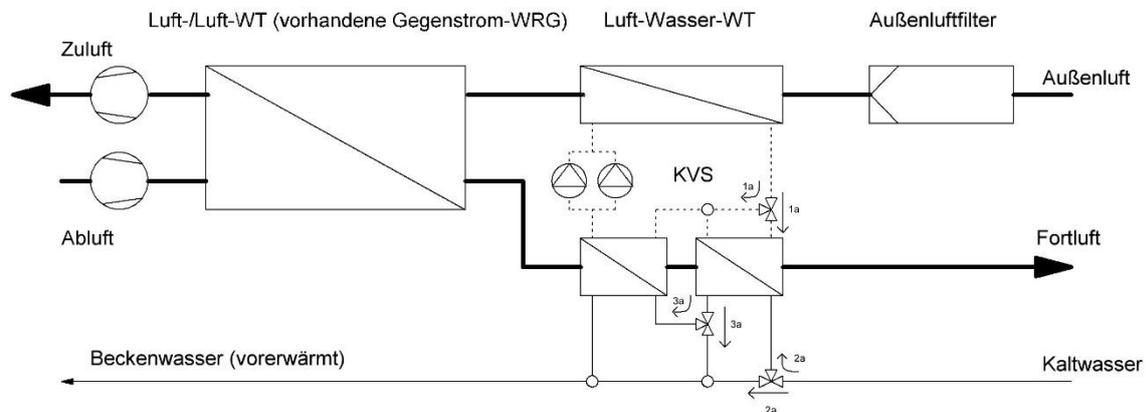


Abbildung 16: Erweiterung des Bestandslüftungsgerätes mit KVS-System und Kaltwasservorerwärmung der Beckenwassernachspeisung.

Eine Möglichkeit der Nachrüstung und Verschaltung der Luft-Wasser-Wärmetauscher ist in Abbildung 16 dargestellt. WT1 dient der Vorerwärmung der Außenluft und kann bei Bedarf auch als Frostschutzheizregister verwendet werden. Es wird wahlweise mit WT2 bzw. WT2 und WT3 im Kreislaufverbund mittels der Umwälzpumpen betrieben, falls eine Lüftungswärmerückgewinnung (Heizperiode) gebraucht wird. Mittels Dreiwegeventil 1 im Durchgang (1a) kann hierfür die gesamte Übertragerfläche von WT2 und WT3 genutzt werden. Mit Umschaltung des Dreiwegeventils auf 1a wird WT3 umgangen und nur WT2 im Kreislaufverbund betrieben. WT3 wird dann für die Beckenwasservorerwärmung frei und kann die Kaltwassertemperatur mit 10 °C im Vorlauf zum Auskondensieren der Feuchte in der Fortluft nutzbar machen. Wird außerhalb der Heizperiode keine Wärmerückgewinnung benötigt, kann über die Dreiwegeventilstellung 2a und 3a auch die gesamte Übertragerfläche für diesen Zweck genutzt werden. Für die Beckenwasser-Wärmetauscher werden spezielle chlorbeständige korrosionsgeschützte Materialien (z.B. Titan) und Beschichtungen eingesetzt.

In Bezug auf die Ventilatoreffizienz sind die zusätzlichen Druckabfälle durch die Luft-Wasser-Wärmetauscher zu berücksichtigen. Die nach der Nachrüstung des KVS-Systems geänderte (steilere) Netzkennlinie muss bei der Ventilatorauswahl bzw. Dimensionierung zu einem neuen optimierten Arbeitspunkt (bzw. Arbeitsbereich bei variablen feuchteangepassten Volumenströmen) auf der Ventilator Kennlinie führen. Für den Ersatz der alten Bestandsventilatoren spricht damit nicht nur die höhere Effizienz, sondern auch die angepasste Ventilator Kennlinie und damit die gesamte verbesserte Systemeffizienz.

3.3.3.3 Effizienzverbesserung durch optimierte Luftmengen-Regelung

Das folgende Regelkonzept ist dem Endbericht zum Hallenbad in Lünen [Lünen 2011] entnommen und könnte in adaptierter Form auch für die Badewelt in St. Johann eingesetzt werden:

„Das Regelkonzept sieht vor, die Lüftungsanlage außerhalb der Betriebszeiten komplett abzuschalten und den Feuchteanstieg an den gefährdeten Bauteilen zu überwachen. So muss die Lüftungsanlage nur bei Überschreiten eines Grenzwertes mit einem hohen Außenluftanteil angefahren werden, um die Feuchte abzuführen. Ist eine unkritische Feuchte erreicht, wird die Anlage wieder abgeschaltet.“

Ähnlich angelegt ist die Regelung der Temperatur, wobei die Lüftung lediglich bei Unterschreiten eines eingestellten Sollwertes im vollen Umluftbetrieb, d.h. ohne Außenluftanteil, Wärme einbringt, um die Temperatur wieder einzustellen.

Die Be- und Entlüftung des Eingangsbereiches sowie der Umkleiden / Duschen erfolgt ohne Umluftanteil aufgrund des Anschlusses des WC-Bereiches. Hier ist zum einen geplant die warme, trockene, unbelastete Abluft des Umkleidebereiches im Nachgang zu erwärmen und dann in die Duschen zur Entfeuchtung zu geben. So kann ein erheblicher Energieanteil, der zur Erwärmung der Zuluft der Duschen nötig wäre, eingespart werden. Gleichzeitig werden die benötigten Raumkonditionen sicher eingestellt.“

3.3.3.4 Derzeitige Luftführung und Empfehlungen für die Effizienzverbesserung

Die derzeitige Luftführung in Bezug auf Zu- und Abluft in der Schwimmhalle wurde wie in vielen Hallen dieser Baualtersklasse im Bereich der Hallendecke mit Weitwurfdüsen und Deckenabsaugung realisiert.

Wird die Lüftungsanlage, wie empfohlen, mit geringeren Luftmengen gefahren, ist besonderes Augenmerk auf die Lüftungseffizienz zu legen. Diese hängt maßgeblich von Geometrie und Anordnung von Zu- und Abluftdurchlässen ab. CFD-Simulationen zur Ableitung von Empfehlungen für hocheffiziente Schwimmhallen wurden in [Rojas 2018] durchgeführt. Die Empfehlung lautet dabei, die Abluftdurchlässe in der Nähe der Beckenwasseroberfläche anzuordnen. Diese Art der Quellabsaugung führt zu einer effizienten Schadstoffabfuhr (hohe Lüftungseffizienz) und geringe Schadstoffkonzentrationen im Atembereich der Badegäste.

3.3.4 Reduzierung des Strombedarfs für die Umwälzpumpen

2023 wurden alle Filterpumpen durch Hocheffizienzpumpen (40% Stromeinsparung) getauscht. Der Pumpenstromverbrauch kann durch Reduzierung der Umwälzmengen bei Abwesenheit der Badegäste (nachts bzw. außerhalb der Betriebszeiten) reduziert werden. Allerdings reagiert die Anlage träge, starke Unterschiede zwischen Tag und Nacht machen also keinen Sinn.



Abbildung 17: Hocheffiziente Filterpumpen vor der Montage.

In der Energiebilanz werden die Umwälzpumpen als Interne Gewinne mit einer mittleren Leistung von $40 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ als Richtwert verbucht.

3.3.5 Frischwasserzufuhr mit Abwasser-Wärmerückgewinnung

Nach [VDI 2089] ist eine Frischwassermenge von $30 \text{ l}/\text{Person}$ pro Tag notwendig die dem Becken zugeführt werden muss. Die Menge des Frischwassers wird zum einen durch den hygienischen Bedarf und zum anderen durch die Verluste der notwendigen Filterspülung und Verdunstung bestimmt. Im Regelfall sind diese Verluste höher als der hygienische Mindestwasseraustausch, so dass die Summe dieser Größen für die Energiebilanz ausschlaggebend ist.

Mit Hilfe einer Abwasser-WRG zur Frischwasser-Vorerwärmung kann der Wärmebedarf prinzipiell noch weiter gesenkt werden. Das abgekühlte Wasser könnte dann für die Filtrerrückspülung verwendet werden. Allerdings wird, wenn das abgekühlte Wasser in einem Behälter im Keller aufbewahrt wird, dieses während der Standzeit wieder warm (dem Kellerraum wird Wärme entzogen). Besser ist es die Wärme dann zu entziehen, wenn das Wasser danach gleich das Haus verlässt.

Der Einbau einer Abwasser-Wärmerückgewinnung mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 60% (effektiver Wert unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit etc. 54%) würde eine **Einsparung von weiteren 7% bewirken (Fall 6 gegenüber Fall 5). Dies stellt eine vorsichtige Schätzung dar**, mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung sind sogar Rückgewinnungsgrade bis ca. 80% möglich (effektive Rückgewinnung 72%), damit ließen sich nochmals 17,4% einsparen.

Um das maximale Einsparpotential von aufbereitetem Wasser für die Filtrerrückspülung abschätzen zu können, wurde mit einer 100%igen Aufbereitung des Abwassers für die Filtrerrückspülung gerechnet. Unter dieser (unrealistischen) Annahme könnte durch diese Maßnahme allein (also ohne Abwasser WRG) maximal **5% (Fall 7 gegenüber Fall 5) eingespart werden**. Kombiniert man diese Maßnahme mit der zuvor genannten Abwasser-Wärmerückgewinnung **nochmal 2% zusätzlich eingespart werden (Fall 8 gegenüber Fall 7)**.

3.3.6 Fortluftkondensation mittels nachgeschaltetem Kondensationswärmeübertrager

Die in Abschnitt 0 erwähnte Nachrüstung einer hocheffizienten Lüftungsanlage könnte wie gesagt erhebliche Einsparungen durch Wärme- und Enthalpierückgewinnung aus der Abluft erreichen. Dabei wird die Fortluft durch den hocheffizienten Gegenstrom-Wärmeübertrager bereits bis auf wenige Kelvin über der Außenluft abgekühlt und unterschreitet sehr häufig den Taupunkt. Damit wird Kondensationswärme frei, welche die Temperatur im Fortlufttrakt etwas anhebt. Handelt es sich beim Temperaturverlauf eines Gegenstrom-Wärmeübertragers in Balance ohne Kondensation um zwei parallele Geraden (Außen-/Zulufttemperatur parallel zur Abluft-/Fortlufttemperatur), so ist der Temperaturverlauf im Bereich der Fortluft (und damit indirekt auch im Bereich der Außenluft) leicht gekrümmt und dadurch nach oben verschoben. Es resultiert eine etwas höhere Zulufttemperatur und damit auch etwas höherem effektiven Wärmebereitstellungsgrad je nach Außentemperatur zwischen 3% und 8%. Die Fortluft, welche den Wärmeübertrager verlässt, hat damit aber noch nicht alle Feuchte verloren, in einem nachgeschalteten Wärmeübertrager könnte also noch weitere Enthalpie entzogen werden. Dies wird im Schwimmbadbereich üblicherweise mit einem Verdampfer eine Wärmepumpe gemacht, weil hier besonders niedrige Temperaturen und damit hohen Kondensatbildung über den gesamten Jahresverlauf erreicht werden können.

Soll stattdessen (um Investitions-, Strom- und Wartungskosten zu vermeiden) ein mit Kaltwasser (KW-Temperatur ca. $10 \text{ }^\circ\text{C}$) durchströmter Luft/Wasser-Gegenstromwärmeübertrager eingesetzt werden, so

wird nur in Zeiten höherer Außentemperatur zusätzliche Kondensatwärme anfallen, die zur Vorerwärmung des Beckenwassers genutzt werden kann. Darüber hinaus steht diese in Konkurrenz zur Abwasser-Wärmerückgewinnung, welche ja ebenfalls zur Vorerwärmung des Kaltwassers genutzt wird. Maximal könnte bei einem effektiven Wärmebereitstellungsgrad die nachgeschaltete Luft/Wasser-Wärmeübertrager **zusätzliche 6% eingespart werden (Fall 9 gegenüber Fall 8)**. In der Praxis wird dieser Wert jedoch deutlich geringer ausfallen.

Soll mit Umluft entfeuchtet werden, könnte ein derartiger Luft/Wasser-Wärmeübertrager ähnlich wie eine Wärmepumpe, allerdings nicht mit derart geringen Temperaturen und damit hohen Kondensatmengen eingesetzt werden.

3.3.7 Verbesserung der Luftdichtheit der Schwimmhalle

Wie bereits im Abschnitt 0 erläutert ist eine Verbesserung der Luftdichtheit schon allein zur Vermeidung von potenziellen Bauschäden anzuraten. Aber auch aus energetischer Sicht können signifikante Einsparungen erreicht werden, weil die durch Leckagen aus- bzw. eintretende Luft nicht über die Lüftungsanlage geführt werden kann und somit nicht an der Wärmerückgewinnung beteiligt ist. Würde man die Luftdichtheit von einem **n_{50} -Wert von 0,7 1/h auf 0,1 1/h verbessern, so könnten (Fall 9 verbessert auf Fall 10) nochmals 5% eingespart** werden.

3.3.8 Transmissionswärmeverluste im Kellergeschoss: Dämmung der Beckenwände bzw. der Rohrleitungen

Die Transmissionswärmeverluste des Hallenbades teilen sich in Verluste von der Hallenluft an die Außenluft über Wände, Fenster und Dach sowie durch die Transmissionswärmeverluste durch die Kellerwände an das Erdreich zusammen. Zwar liegt die treibende Temperaturdifferenz im Kellerbereich um den Faktor 0,5 unter den Verlusten der Hallenluft an die Außenluft (wegen der im Winter geringeren Bodentemperaturen), schlagen aber dennoch zu Buche, falls die Kellerwände, wie im Altbau noch häufig anzutreffen, ungedämmt sind. Der Keller wird indirekt von der warmen Hallenlufttemperatur (32 °C) über den Beckenumlaufboden sowie vom Becken über die derzeit ungedämmten Beckenwände sowie die Rohrleitungen/Armaturen beheizt. Eine Dämmung der Beckenwände erscheint angesichts des hohen Aufwandes (keine glatte Wand, sondern Trapezprofilbleche) und der Wärmeabgaben durch die Rohrleitungen und Armaturen wenig sinnvoll. Wenn überhaupt kommt eine Innendämmung der Kellerwände in Frage, ist aber auch aufgrund des hohen Aufwandes fragwürdig. Beim Neubau würde die Dämmung (möglichst als Außendämmung) von vorneherein vorgesehen werden. Beim Bestand müsste hierfür mit erheblichem Aufwand außen aufgedämmt und nachträglich Dämmung aufgebracht werden.

3.3.9 Gesamtenergiebilanz im Hallenbereich

Energiebilanz Hallenbad

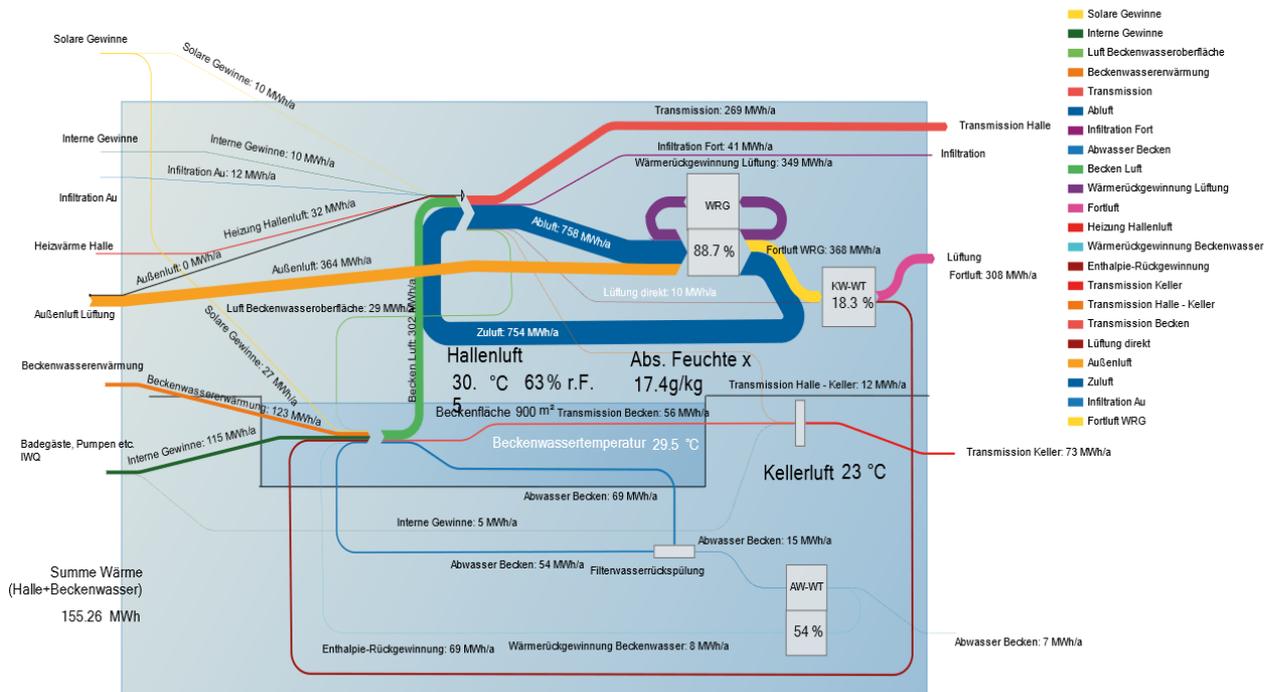


Abbildung 18: Gesamtenergiebilanz im Bereich der Schwimmhalle unter Berücksichtigung aller relevanten Einsparmaßnahmen.

3.3.10 Duschwasser-Wärmerückgewinnung

Neben der Beckenwassererwärmung spielt der Duschwasser-Wärmebedarf eine große Rolle, welcher mit Hilfe einer Nachrüstung von Duschwasser-Wärmerückgewinnung weitgehend reduziert werden kann. Durch das stets zeitgleiche Auftreten von Wärmebedarf und Abwasseranfall kann mittels Gegenstromwärmeübertragern eine Vorerwärmung des zugeführten Kaltwassers ohne aktive Komponenten erreicht werden. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die vorhandenen Duschen sowie die Annahme der Personenzahl (aus der Eintrittsstatistik).

Tabelle 4: Überblick über die vorhandenen Duschen sowie die Annahme der Personenzahl.

| Bereich | Anzahl Duschen | Temperatur in °C | Betriebstage/Jahr | Personen/a |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|------------|
| Schwimmhalle | 11 | 40 | 330 | 81.516 |
| Saunawelt | 11 | 40 | 330 | 26.402 |
| Personal | 2 | 40 | 365 | 1.460 |

Das Hallenbad hat insgesamt 11 Duschen (6 x Damen, 5 x Herren)

Die Sauna hat insgesamt ebenso 11 Duschen (alle „gemischt“, 6 x „Vorreinigung“, 5 x „bei den Anwendungen – Dampfbäder, Saunen usw.). Der Tennisbereich verfügt über insgesamt 4 Duschen (2 x Damen, 2 x Herren), die Kunsteisbahn ebenso (4 x „gemischt“).

Unter der Annahme einer mittleren Duschkdauer von 5 min und einer Durchflussrate von 16 l/min und einem Wärmerückgewinnungsgrad von 65% ergibt sich für die Jährliche Einsparung im Dusch-Bereich Halle, Sauna und Personal von 198 MWh/a

3.3.11 Tages- und Kunstlicht

Effiziente LED-Kunstlichtausstattung (Empfehlung für installierte Leistung, Zielwert 5,3 W/m²) und deren effiziente intelligente Steuerung könnte weitere Einsparungen im Stromverbrauch der Halle und Nebenträume erzielen.

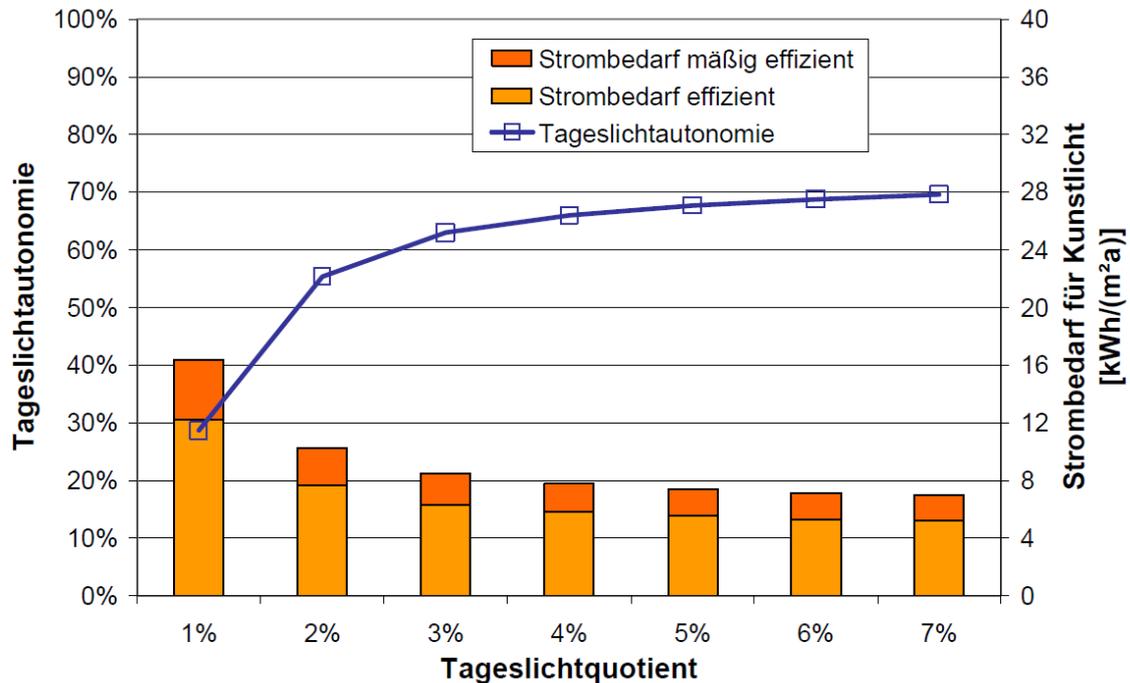


Abbildung 19 Strombedarf für Beleuchtung (erforderliche Beleuchtungsstärke 200 lx) bei Hallenbadnutzungszeiten (8-22 Uhr) in Abhängigkeit von der Tageslichtnutzung (Quelle [Schulz 2009]).

Durch den Einsatz effizienter Kunstlichtanlagen lassen sich im Hallenbadbereich ca. 5 % des Strombedarfs einsparen.

DANKSAGUNG

Die Studientätigkeiten im FuE-Dienstleistungsprojekt „EnerPHit-for-2040“² wird von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG im Rahmen des Programms „Leuchttürme für resiliente Städte 2040“ unter der FFG-Fördervertragsnummer 899852 durchgeführt. „Leuchttürme für resiliente Städte 2040“ ist ein Programm des Klima- und Energiefonds und wird von der FFG abgewickelt.



² <https://smartcities.at/projects/klimaresilientes-st-johann/>, 05.2024

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Ausschwimmbekken mit Beckenwasserabdeckung. | 7 |
| Abbildung 2: Dachaufsicht 500 Photovoltaikmodule (800 m ² , 170 kWp, Ertrag 150000 kWh, Vordergrund) und Solarthermie (Hintergrund). | 7 |
| Abbildung 3: Luftbild Panorama Badewelt St. Johann (Goolge Earth, 9/2019). | 8 |
| Abbildung 4: Eignungsflächen Solarenergienutzung (Solarpotenziale in Tirol – Datenstand 2013, Amt der Tiroler Landesregierung – Sg. Landesstatistik und TIRIS) | 9 |
| Abbildung 5: VarioCAM HDx 645 | 10 |
| Abbildung 6: Innenaufnahme der Schwimmhalle (25 m -Becken, oben bzw. Kleinkindbecken, unten). .. | 11 |
| Abbildung 7: Innenaufnahme der Schwimmhalle mit Blick auf Pfosten-Riegel-Fassade (25 m -Becken links, bzw. Kleinkindbeckenrechts). | 12 |
| Abbildung 8: Innenaufnahme der Schwimmhalle mit Blick auf die rückseitige Außenwand (25 m -Becken, Schiebetür zum. Kleinkindbecken links). | 12 |
| Abbildung 9: Oberflächentemperatur-Randbedingungen im Messzeitraum von 10:00Uhr bis 11:45Uhr am 16.05.2023 (Messwerterhebung über Bosch GTC 1000C Professional), beginnend mit der Messung im Gebäude, anschließend Datenerhebung im Außenbereich, durchschnittliche Höhe der Aufnahme der Oberflächentemperatur: 1.5m (oder 0.5m explizit ausgewiesen), Materialänderungen wurden berücksichtigt. | 13 |
| Abbildung 10: IR-Aufnahme der Pfosten-Riegel-Fassade von außen (oben) und innen (unten, mitte). | 14 |
| Abbildung 11: Algenwachstum im Fenster-Eckbereich des Rutschenturms (oberste Etage). | 15 |
| Abbildung 12: Fenstereck Rutschenturms (oberste Etage). | 15 |
| Abbildung 13: Außenwand Halle (Beton-Sandwich-Teil). | 16 |
| Abbildung 14: Maximale tauwasserfreie Raumluftechten einer Standardfassade (Aluminium-Tragsystem, 2-fach Verglasung, Aluminium-Randverbund) und der geplanten Fassade in Abhängigkeit von der Außentemperatur Quelle: [DBU 2011]. | 19 |
| Abbildung 15: Bestandslüftungsgeräte (Nebenräume oben, Schwimmhalle unten). | 23 |
| Abbildung 16: Erweiterung des Bestandslüftungsgerätes mit KVS-System und Kaltwasservorerwärmung der Beckenwassernachspeisung. | 24 |
| Abbildung 17: Hocheffiziente Filterpumpen vor der Montage. | 25 |
| Abbildung 18: Gesamtenergiebilanz im Bereich der Schwimmhalle unter Berücksichtigung aller relevanten Einsparmaßnahmen. | 28 |
| Abbildung 19 Strombedarf für Beleuchtung (erforderliche Beleuchtungsstärke 200 lx) bei Hallenbadnutzungszeiten (8-22 Uhr) in Abhängigkeit von der Tageslichtnutzung (Quelle [Schulz 2009]). | 29 |

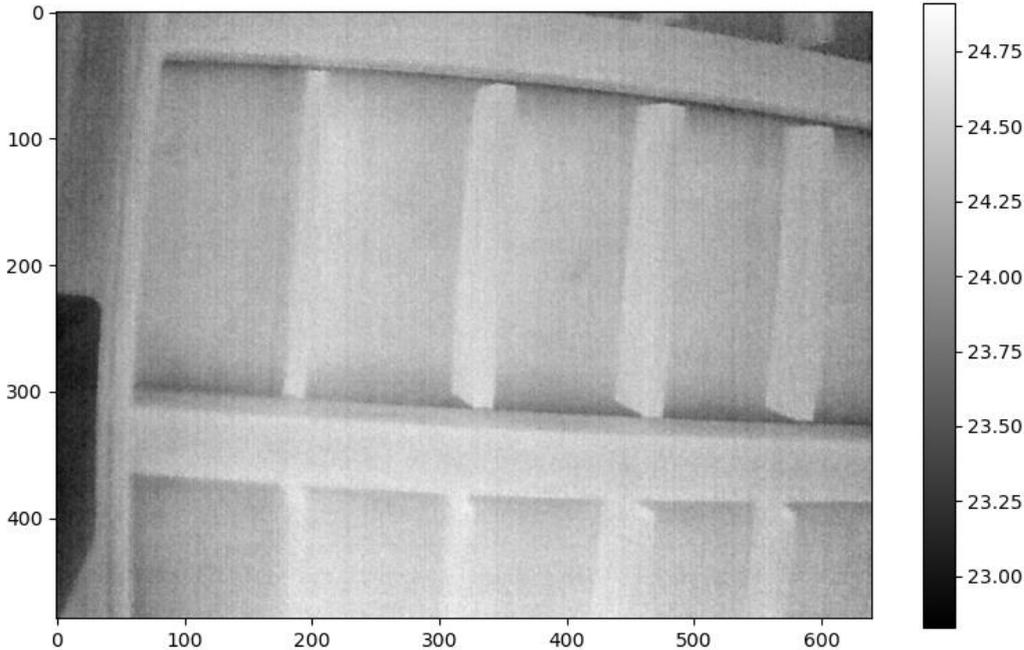
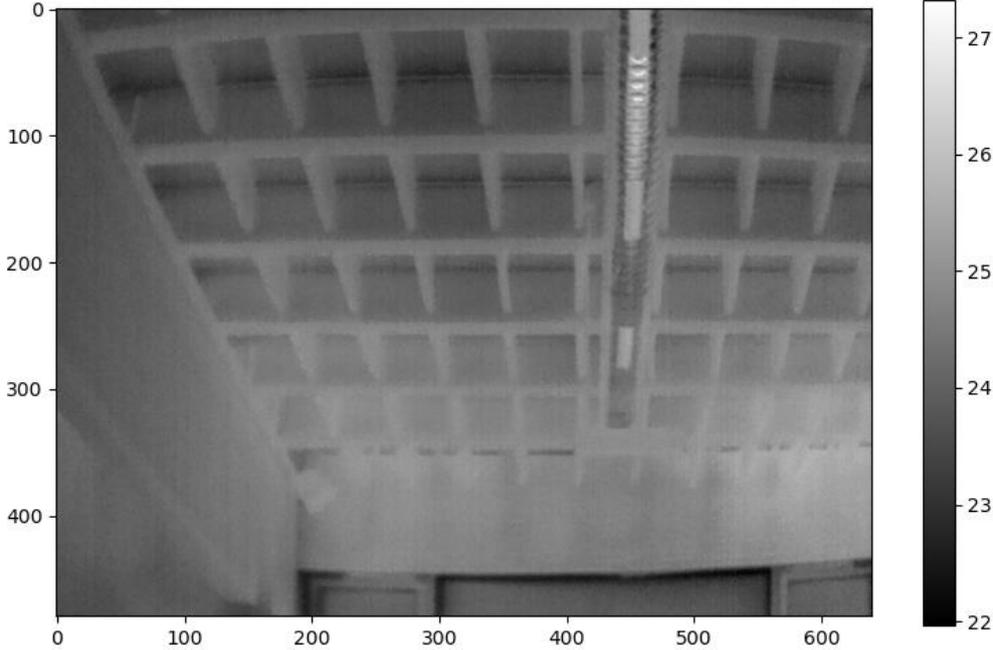
TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Eintrittsstatistik Hallenbad in den Jahren 2019 und 2022 sowie Monatsmittelwerte für die Abschätzung der hygienisch notwendigen Frischwassermenge..... | 9 |
| Tabelle 2: Randbedingungen der Infrarotaufnahmen im Messzeitraum von 10:00Uhr bis 11:45Uhr am 16.05.2023 (Messwertaufnahme mit Center-313 Datenlogger (Humidity and Temperature), Bosch GTC 1000C Professional, Humlog Datenlogger)..... | 12 |
| <i>Tabelle 3:</i> Nennluftmengen der Anlagen im Schwimmbad..... | 23 |
| <i>Tabelle 4:</i> Überblick über die vorhandenen Duschen sowie die Annahme der Personenzahl..... | 28 |

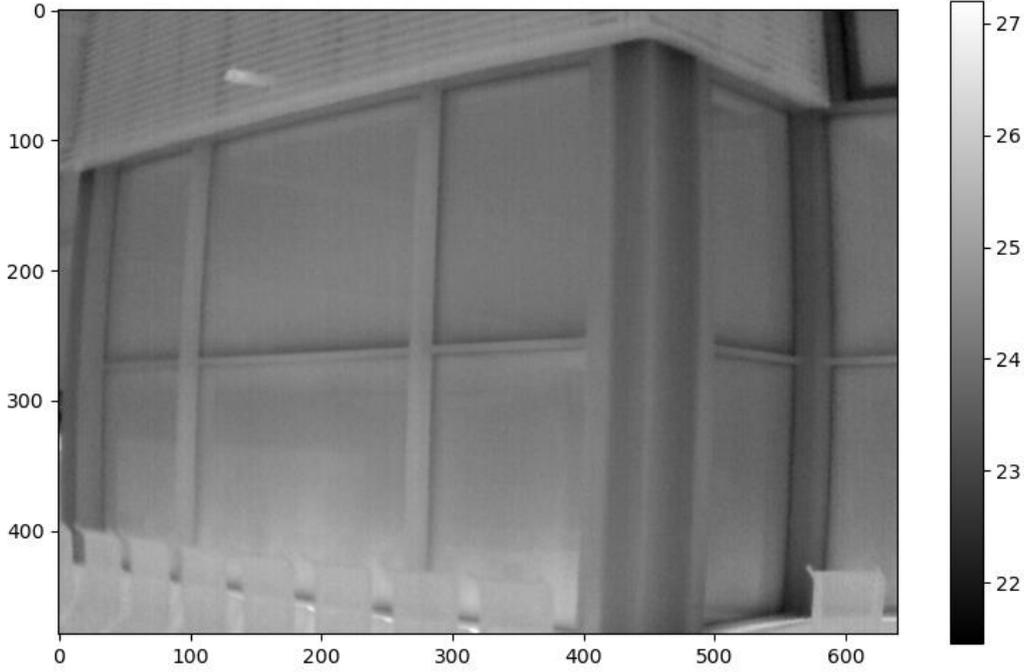
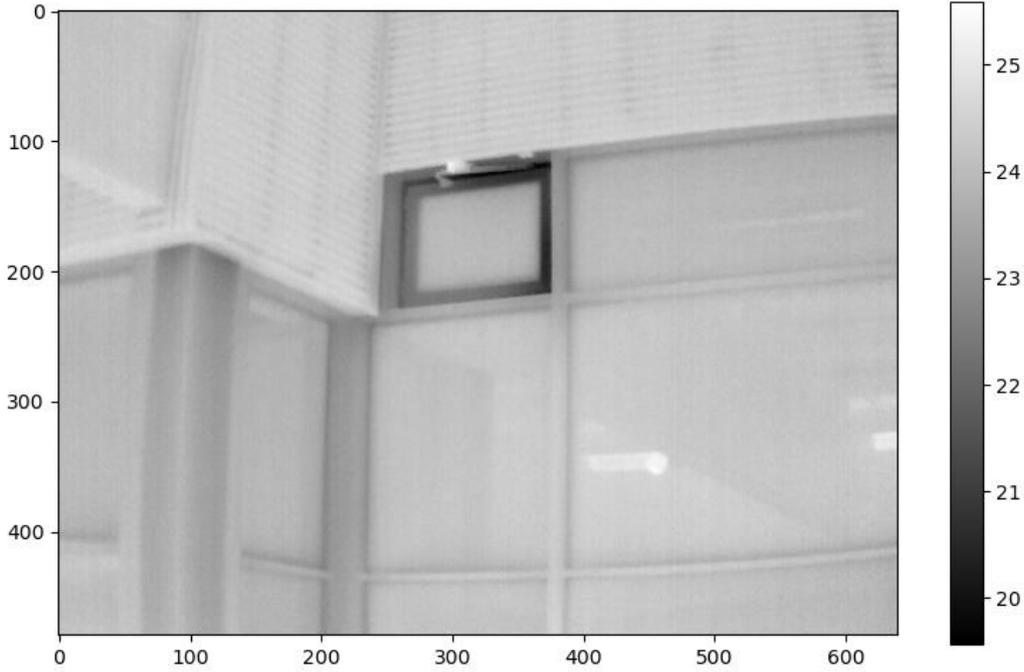
REFERENZEN

- [Schulz 2009]: Schulz T., Pfluger R., Grove-Smith J., Kah O., Krick B.: Grundlagenuntersuchung der bauphysikalischen und technischen Bedingungen zur Umsetzung des Passivhauskonzepts im Öffentlichen Hallenbad. Darmstadt: Passivhaus-Institut, 2009
- [VDI 2089, 2010] VDI 2089 Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Hallenbäder, 2010-01
- [VDI 2089 Entwurf 2023] VDI 2089, Blatt 1 Entwurf Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Hallenbäder, januar 2023
- [DBU 2011] Ahrens O, Beckert S., Franke T, Grove-Smith J., Hitz A., Horstmann W., Kah O, Koch G., Krick B., Ostermann U., Peper S., Pöter M., Schulz T., Bramey F.: Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie, DBU-Endbericht, Lünen Dezember 2011
- [Rojas 2018] Rojas G., Grove-Smith J.: Improving Ventilation Efficiency for a Higly Energy Efficient Indoor Swimming Pool Using CFD Simulations, Fluids 2018
- [Lünen 2011] Ahrens O., Beckert S., Franke T., Grove-Smith J., Hitz A., Horstmann W., Kah Ol., Koch G., Krick B., Ostermann U., Peper S., Pöter M., Schulz T., Bramey F.: Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie, Endbericht, Lünen, 2011

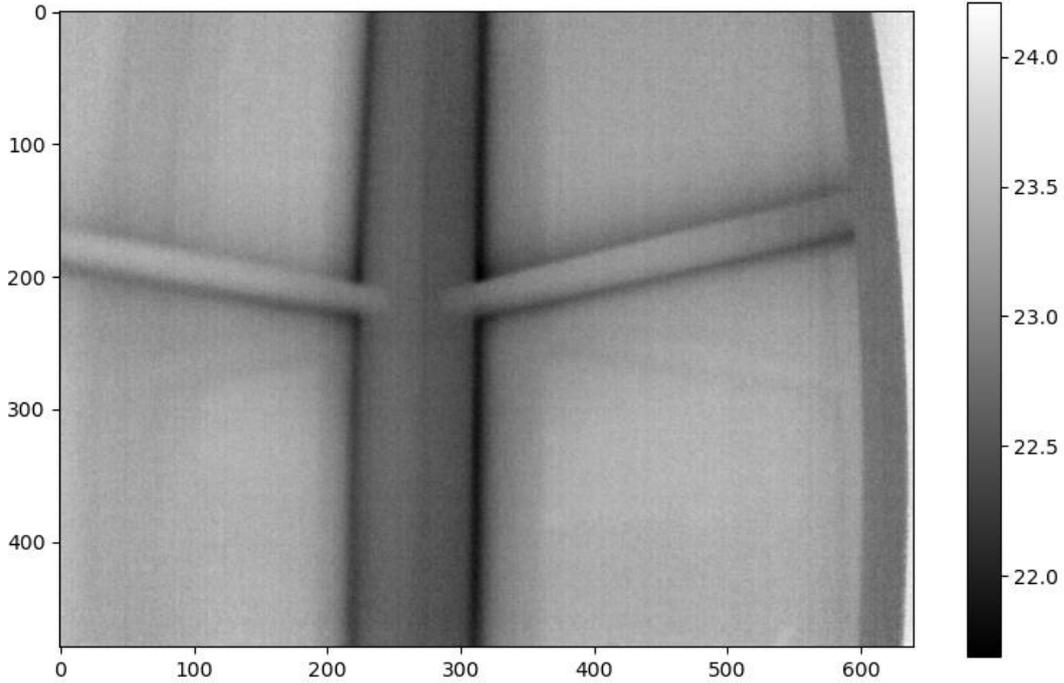
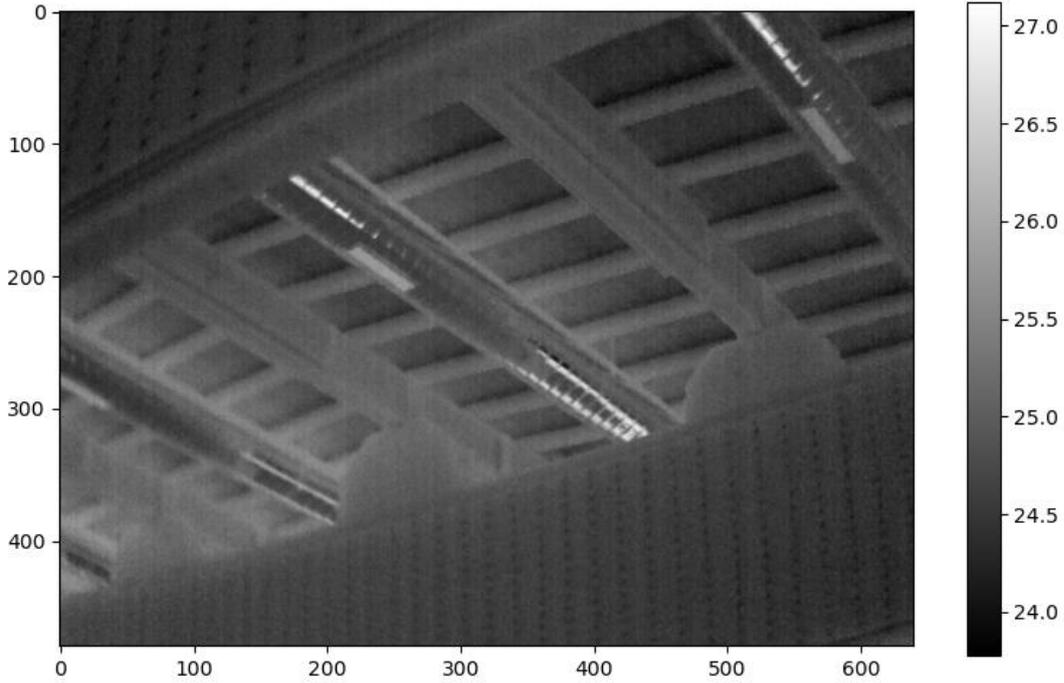
ANHANG A – INFRAROTMESSUNGEN HALLENBAD



DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN



DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN



DELIVERABLE 3-2: UMSETZUNGSSTRATEGIEN FÜR SOFORTMAßNAHMEN

