

# TECHNISCHER BERICHT

## Energieeinsparungspotenzial

für das EnOB-Verbundvorhaben

### **BUILD.DIGITIZED**

IoT und BIM für die Inbetriebnahme und den Betrieb  
von netzdienlichen Niedrigstenergiegebäuden

1.7.2020 – 30.6.2023

#### **MONITORING.digital**

FKZ: 03EN1021A

Hochschule Offenburg | Institut für Energiesystemtechnik  
Badstraße 24 | 77652 Offenburg

#### **INBETRIEBNAHME.digital**

FKZ: 03EN1021B

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstraße 2 | 79110 Freiburg

#### **EVALUATION.digital**

FKZ: 03EN1021D

Mondas GmbH  
Emmy-Noether-Str. 2 | 79110 Freiburg

#### **Luftqualität**

FKZ: 03EN1021F

Testo SE & Co. KGaA  
Celsiusstraße 2 | 79822 Titisee-Neustadt

#### **Anlagenplanung mit BIM**

FKZ: 03EN1021C

Konzmann Gebäudetechnik GmbH  
Niederwiesenstraße 34 | 78050 VS-Villingen

#### **Betriebsführung mit BIM**

FKZ: 03EN1021E

Maurer Energie- und Ingenieurleistungen GmbH & Co. KG  
Dr.-Kurt-Steim-Strasse 7 | 78713 Schramberg-Sulgen

#### Autor dieses Berichtes:

B.Eng. Sascha Reißmann

Hochschule Offenburg | Institut für Energiesystemtechnik  
Badstraße 24 | 77652 Offenburg

sascha.rissmann@hs-offenburg.de

Offenburg, 22. Juni 2021

## Kurzfassung

Reale historische Messdaten aus dem Gebäude können verwendet werden, um Einsparpotenziale in der Betriebsstrategie zu ermitteln. Dafür wird ein statisches Modell (BIM Modell) zur Parametrisierung eines dynamischen Modells (digitaler Zwilling) verwendet. Als Eingangsgrößen dienen historische Messdaten aus dem digitalen Monitoring des Gebäudes.

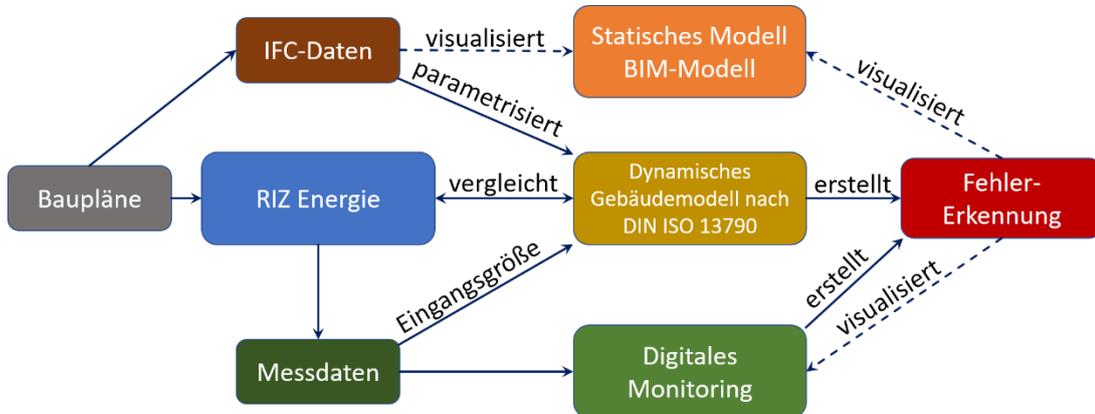


Abbildung 1: Aufbau der Messdatenkaskade

Dies ist eine ingenieurmäßige Abschätzung verschiedener Energieeinsparpotenziale im Anlagenbetrieb, nach ihrem Nutzen und Kosten.

## 1 Prinzip

Für die Grundlage zur Ermittlung des Einsparpotenzials bestehender Gebäudetechnik oder deren Erweiterung werden drei Methoden verwendet:

- **Digitales Monitoring** (Im technischen Bericht zur *Inbetriebnahme und digitales Monitoring von Gebäude gemäß Regelwerk* wird die digitale Datenauswertung beschrieben)
  - o In der Gebäudeplanung oder im Nachhinein werden ausreichend Sensoren für die Ermittlung des Einsparpotenzials erfasst.
  - o Die Messdaten werden auf einem Server mit passendem Zeitschritt gespeichert. Dieser kann variieren, je nach zu messenden Datenpunkt. So können Temperaturen in trägen Systemen einen längeren Zeitschritt tolerieren, während zum Beispiel schnell laufende Ventile einen kurzen Zeitschritt benötigen, um schnelle Zustandsänderungen zu erfassen. Daraus entstehen historische Messdaten, die unabhängig zum momentanen Gebäudebetrieb Musterszenarien darstellen.
  - o Die Messdaten können in einem verwendbaren Format (z.B. \*.csv) weiterverarbeitet werden.
- **Statisches Modell**
  - o Aus offenen IFC-Dateien (**I**ndustry **F**oundation **C**lasses) des Architektenmodells und der technischen Gebäudeausrüstung wird ein BIM-Modell (**B**uilding **I**nformation **M**odeling) erstellt.
  - o Die komponentenspezifischen Kenndaten werden als Parametrisierung für das dynamische Modell verwendet.
- **Dynamisches Modell** (Im technischen Bericht Gebäudemodellierung wird das dynamische Modell beschrieben)
  - o Das Gebäude wird gemäß DIN EN ISO 13790 in ein 5R1C-Modell überführt.
  - o Darin sind die gebäudespezifischen bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle, die Geometrie des Gebäudes, die verbaute Gebäudetechnik und das Nutzerverhalten in algorithmischer Form hinterlegt.

## 2 Fehlererkennung

Ein ausführliches digitales Monitoring gekoppelt mit einem digitalen Zwilling ermöglicht die Fehlererkennung von ungewollten oder suboptimalen Zuständen in der Gebäudetechnik. Dazu wird der aktuelle Zustand des Gebäudes anhand der eingebauten Sensoren ermittelt und mit einer Simulation des digitalen Zwillings verglichen. Dabei wird die Simulation über ein BIM Modell aus einer IFC-Datei parametrisiert. Weicht der reale Betrieb zu stark von den simulierten Werten ab, kann ein Zustand außerhalb des Normalbetriebs ermittelt und dessen Ursache eingegrenzt werden. Die Algorithmen zur automatisierten Fehlererkennung werden in einem weiteren Bericht (*Technischer Bericht Fehlererkennung*) festgehalten werden.

## 3 Potenzialanalyse

Durch historische Monitoring-Daten, gepaart mit dem digitalen Zwilling, kann das Energieeinsparpotenzial durch veränderte Randbedingungen analysiert werden. Hierzu wird der Algorithmus des digitalen Zwillings verändert und erweitert, um das Potenzial der Maßnahme quantifizieren zu können.

Durch die Analyse der technischen Gebäudeausrüstung, des Mess- und Regelungssystems können potenzielle Verbesserungen erdacht werden. Dabei gibt es drei Kriterien nach denen mögliche Potenziale eingruppiert werden:

- *Nutzen*
  - Nach ingenieurmäßigen Methoden wird eine Vorabschätzung gemacht, wieviel Einsparpotenzial eine Maßnahme haben kann.
  - Welche Auswirkungen können diese auf den Gebäudebetrieb oder andere technische Komponenten, sowie das Mess- und Regelungssystem haben?
  - Gibt es weitere positive Effekte abseits der Energieersparnisse (Einsparung von Grundwasser, Steigerung der Nutzerzufriedenheit und der thermischen Behaglichkeit)
- *Aufwand*
  - Wie hoch sind die Kosten?
  - Wären für die Maßnahme Umbauten an der technischen Gebäudeausrüstung nötig?
  - Ist eine Implementierung in den Algorithmus des digitalen Zwillings möglich?
- *Priorität*
  - Welche Maßnahmen wären am wichtigsten, da sie aus der Erfahrung des bisherigen Gebäudebetriebs Verbesserungen bedürfen?
  - Würden sich die Kosten mit dem Nutzen aufwiegen?

## 4 Energieeinsparmaßnahmen

Unter Anbetracht der oben genannten Kriterien wurde eine Liste möglicher Energiesparmaßnahmen erstellt. Hierbei ist zu beachten, dass bestmögliche Annahmen auf Basis von sowohl Messdaten, als auch Planungsdaten verwendet wurden.

### 4.1 Arbeitsplatzleuchten

In allen Büros sind LED Arbeitsleuchten, die mit Helligkeitssensor und Bewegungsmelder ausgestattet sind. Eine Reduzierung der Beleuchtungsstärke (im Rahmen der normativen Vorschriften), der Laufzeit und einer Helligkeitsgeführten Beleuchtung bei genügend solarer Beleuchtungsstärke kann den Strombedarf massiv senken.

*Nutzen:* Eine Arbeitsplatzleuchte bei 100 % verbraucht 111 W. Es sind 30 Stück in den Büros des RIZ Energie aufgestellt. Bei der Annahme, dass Vollausslastung bei 6 Stunden Arbeitszeit (und dadurch auch leuchtende Arbeitsplatzleuchten) liegt, ergibt es einen Energieverbrauch von 4,8 GWh pro Jahr. Das entspricht (bei 0,35 €/kWh) 1.580 €.

Durch die Reduzierung der Beleuchtungsstärke auf 50 % erreicht, nach Herstellerangaben die Leuchte die gesetzlich geforderten 500 Lux am Arbeitsplatz. Dies würde den Energieverbrauch

um die Hälfte senken. Die Reduzierung der Haltezeit, die verursacht, dass nach dem Verlassen des Arbeitsplatzes die Arbeitsleuchte weiterleuchtet kann von 15 min auf 6 min gesenkt werden. Eine weitere starke Senkung ist nicht wünschenswert, da sonst befürchtet werden muss, dass sich während der Arbeit die Arbeitsleuchten andauernd ausschalten. Eine weitere Leuchtzeitverringerung kann durch das Einschalten der Ausschaltautomatik bei solarer Helligkeitsüberschreitung erreicht werden. Diese Maßnahmen verringern die Laufzeiten um etwa die Hälfte.

Dadurch ergeben sich bei einer Arbeitsleuchte mit 50% einen Verbrauch von 55,5 W. Bei 30 Stück und 3 Stunden Laufzeit bei Vollaustattung, ergibt sich ein Jahresverbrauch von 1,2 GWh. Das entspricht (bei 0,35 €/kWh) 384,22 €. Daraus resultiert eine Gesamtersparnis von 3,6 GWh bzw. 1.195,78 € pro Jahr. Hier nicht aufgeführt ist, dass dies zu höheren Schaltzyklen führt und dadurch die Lebensdauer der Arbeitsleuchten sich verringern.

*Aufwand:* Die Konfigurationen werden über die App mit NFC heruntergeladen, konfiguriert und per Infrarot wieder „hochgeladen“. Die Aufnahme der Arbeitsleuchten in die Konfigurierung-App und die Umprogrammierung dauert etwa ein paar Stunden. Die App (Phillips field App) ist kostenlos. Der Infrarot-Übertrager kostet ca. 50 €.

*Priorität:* Bei geringem finanziellen und Arbeitsaufwand und relativ hohem Benefit, ist die Priorität recht hoch.

#### **4.2 Externe Regelung der Anzahl der Stufen der Wärmepumpe**

Die Wärmepumpe besitzt zwei Leistungsstufen. Durch eine externe Regelung wäre es möglich die Stufen automatisiert über einen externen Algorithmus zu bestimmen.

*Nutzen:* Da die Wärmepumpe keine zwei komplett separaten Kreise besitzt, sondern lediglich einen geteilten Zwischenkreislauf, der zugeschaltet werden kann, wird die Energieeinsparung der Wärmepumpe gering ausfallen. Der gemeinsam verwendete Verdampfer und Kondensator verbrauchen einen Großteil der aufgenommenen elektrischen Energie. Lediglich Pumpenlaufzeiten können damit verringert werden. Dies führt zu keinen hohen Energieeinsparungen, allerdings kann dadurch Umweltenergie in Form von Grundwasser eingespart werden.

*Aufwand:* Die externe Regelung würde auch eine externe Bedienung von GLT-Variablen voraussetzen. Dies hat den Vorteil, dass bei ausgewählten Maßnahmen externe Algorithmen für die Schaltung der GLT verwendet werden können. Auf der anderen Seite muss aufgepasst werden, dass keine unerwünschten Zustände entstehen, welche die Anlagensicherheit gefährden könnte.

*Priorität:* Eine externe Regelung zu realisieren wäre generell wünschenswert, aber durch die geringe Energieeinsparung hier nur bedingt Prioritär.

#### **4.3 Nutzung der Sekundärkälte der Wärmepumpe zur Serverkühlung**

Im Winterbetrieb könnte das kalte Wasser auf der Sekundärseite der Wärmepumpe verwendet werden, um die Server zu kühlen. Da die Serverkühlung nur geringe Volumenströme und Temperaturspreizungen benötigt würde dies für die Kühlung der Serverräume mit einer Temperatur von ca. 10 °C absolut ausreichen. Dies würde die Temperatur des Wassers im Schluckbrunnen erhöhen, um so die Temperaturspreizung gegenüber der Grundwassertemperatur zu verringern. Darüber hinaus würde dies die sicherheitsrelevante Maßnahme der Bypass Schaltung bei Serverkühlung (Siehe [6.2](#)) hinfällig machen.

*Nutzen:* Die Energieeinsparung ist schwer abzuschätzen, da sich auf der einen Seite Pumpenlaufzeit, sowohl in den Saugbrunnen und der Serverkühlung, durch eine höhere Temperaturspreizung reduzieren sollte, auf der anderen Seite aber weitere Komponenten eingebaut werden müssten. Zudem würde diese Maßnahme lediglich im Winterbetrieb zum Einsatz kommen können, da nur dort die Wärmepumpe zur Heizung verwendet wird.

*Aufwand:* Für diese Maßnahme müsste die Sekundärseite der Wärmepumpe mit dem Wärmetauscher 1 (für die Serverkühlung) mit allen Regeleinheiten, Sensoren und hydraulischen Komponenten umgebaut werden. Zusätzlich würden durch die notwendige Verwendung von Edelstahlrohren und Kälte­dämmung hohe Kosten entstehen. Es müsste die Regelung der MSR auf die neuen Gegebenheiten angepasst und erweitert werden. Diese Maßnahme könnte mit [Kapitel 4.6](#) verbunden werden, da dort ähnliche Umbauten nötig wären.

*Priorität:* Die Maßnahme besitzt einen schlechten Kosten-Nutzen-Faktor und kann regelungstechnisch aufwendig sein, ohne Garantie auf hohe Energieersparnisse.

#### **4.4 Versandung des Schluckbrunnens**

Die Lebenszeit des Schluckbrunnens kann erhöht werden durch die Überwachung des Schluckvermögens des Schluckbrunnens. Dazu muss die Stauhöhe im Schacht in Abhängigkeit des Brunnenvolumenstroms und das momentane Grundwasserniveau nach mindestens 30 bis 60 Minuten Stillstand festgestellt werden. Daraufhin wird der Anstieg der Wasserhöhe und mit dem Volumenstrom verglichen. Es ist zu erwarten, dass mit jedem Betriebsjahr das Schluckvermögen abnimmt und ein höherer Wasserstand gebraucht wird, um das Brunnenwasser ins Grundwasser zu "drücken". Der Grund dafür ist die sogenannte Verockerung. Bei deutlichem Druckabfall in der Brunnenleitung fallen Mineralien sowie Eisen aus. Dieser setzt sich auf den Oberflächen ab und muss mechanisch entfernt werden.

*Nutzen:* Da im Gebäude komplett mit Umweltenergie geheizt und gekühlt wird ist der Schluckbrunnen für den Betrieb essenziell notwendig. Ein Indikator für eine Reinigung der Schluckwasserpumpe, bevor diese einen irreparablen Zustand erreicht bedeutet eine hohe Betriebssicherheit und Kostenersparnis von mehreren tausend Euro.

*Aufwand:* Die Kontrolle der zu messenden Werte und deren Gegenüberstellung ist im Konzept der MSR nicht vorgesehen. Eine Erweiterung wäre somit Zusatzkosten verbunden. Durch die detaillierte digitale Messdatenauswertung über die Mondas Plattform ist eine externe Auswertung möglich. Darüber hinaus sollte die Datenauswertung mit einer Alarmfunktion ausgestattet werden, damit frühzeitig gewarnt wird und man reagieren kann.

*Priorität:* Obwohl erst nach einigen Jahren Betrieb mit einer Verockerung zu rechnen ist, sollten frühzeitig die notwendigen Datenpunkte analysiert werden. Diese können als Vergleichswerte dienen und im Zuge der Dokumentation zum Betrieb durch die wasserrechtliche Erlaubnis des Landratsamts Offenburg (Untere Wasserbehörde) erfolgen.

#### **4.5 Optimierung der Regelstrategie von thermischen Verbrauchern**

Beim Einsatz von thermischer Bauteilaktivierung muss darauf geachtet werden, dass die Verbraucher an das Temperaturniveau weiterer Verbraucher, dem der thermischen Bauteilaktivierung angepasst sind. Dadurch ist es möglich die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe auf die Temperatur der thermischen Bauteilaktivierung anzupassen.

*Nutzen:* Die Leistungszahl einer Wärmepumpe verbessert sich bei niedrigeren benötigten Ausgangstemperaturen und höheren Eintrittstemperaturen. Hier wird für zwei exemplarische Ausgangstemperaturen ( $T_{vl}$ ) die Leistungszahl bei verschiedenen Eintrittstemperaturen verglichen. Dabei ist der Planungswert aus der Dokumentation der Bauphase 11 °C und gemittelte Messwerte für das Grundwasser 12 °C.

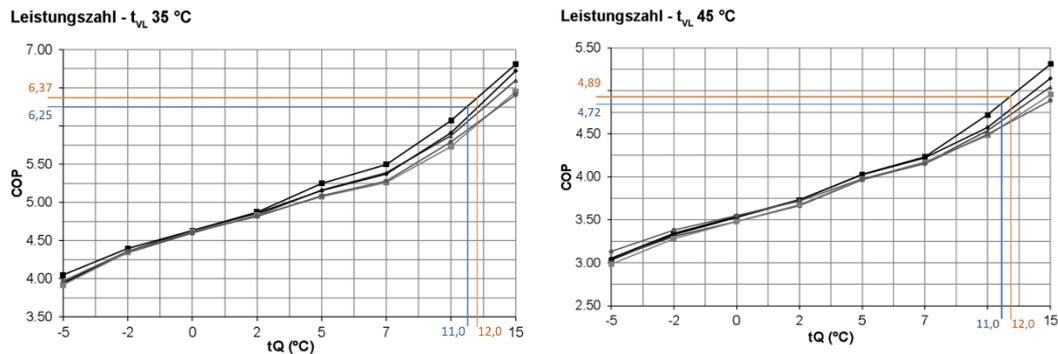


Abbildung 2: Leistungszahl (COP) gegen Eintrittstemperatur ( $t_Q$ ) bei den Ausgangstemperaturen ( $t_{VL}$ ) 35 °C (links) und 45 °C (rechts) für den Planungswert der Eintrittstemperatur (blau) und die durchschnittlich Gemessene Eintrittstemperatur (orange)

Die Leistungszahl (COP) gibt das Verhältnis von Strombedarf zur Wärmeproduktion an. Für die gemessenen Eintrittstemperaturen bedeutet dies, dass der benötigte Strom zur Wärmeproduktion um fast 5 % von 20,45 (bei  $T_{VL}=45\text{ °C}$  und  $COP=4,89$ ) auf 15,70 (bei  $T_{VL}=35\text{ °C}$  und  $COP=6,37$ ) senken lässt. Diese Verbesserung der Leistungszahl würde sich bei niedrigeren Ausgangstemperaturen weiter fortsetzen.

Bis gesicherte Jahreswerte durch das Monitoring zur Verfügung stehen, wird für eine ingenieurmäßige Abschätzung der Jahresverbrauch des Energieausweises verwendet. Aus dem Energieausweis des Gebäudes ergibt sich für die Heizung ein Jahresverbrauch von 111.733 kWh/a. Dadurch ergeben sich bei einem COP von 4,89 für 12 °C Eintrittstemperatur und 45 °C Ausgangstemperatur einen Stromverbrauch von 22.849,28 kWh<sub>el</sub>/a und Kosten bei 0,35 €/kWh von 7.997,25 €/a. Dagegen entspricht bei 12 °C Eintrittstemperatur und 35 °C Ausgangstemperatur der COP 6,37. Dadurch verbessert sich der Stromverbrauch auf 17.540,50 kWh<sub>el</sub>/a und Kosten von 6.139,18 €/a. Daraus resultiert eine Stromersparnis von 5.308,78 kWh<sub>el</sub>/a bzw. eine Kostenersparnis von 2.688,47 €/a. Wenn die benötigte Ausgangstemperatur weiter als 35 °C gesenkt werden kann, erhöhen sich die Ersparnisse weiter.

**Aufwand:** Für die Entwicklung der Regelstrategie muss die Regelkette zurückverfolgt und analysiert werden, welcher der Verbraucher eine zu hohe Temperatur anfordert. Dies kann wahrscheinlich an der GLT oder direkt am betroffenen Gerät verbessert werden. Falls dies nicht der Fall sein sollte, müsste die neue Regelstrategie in die GLT einprogrammiert werden.

**Priorität:** Systemanalysen werden zu verschiedenen Themen von uns regelmäßig durchgeführt. Durch das hohe Einsparpotenzial und den geringen Kosten, sollte diese Maßnahme zeitnahe umgesetzt werden.

#### 4.6 Nutzung der Abwärme von Serverkühlung und Prozesskälte zur Wärmepumpenvorlauerhöhung

Im RIZ Energie wird ausschließlich mit Umweltenergie geheizt und gekühlt. Das Gebäude, das Technikum und das Heizregister der Lüftungsanlage werden im Winter durch eine Wärmepumpe mit Warmwasserspeicher geheizt. Gleichzeitig werden die Serverräume und die Prozesskälte bei Bedarf ganzjährig gekühlt. Die Abwärme der Serverkühlung und der Prozesskälte könnte zur Erhöhung der Eintrittstemperatur der Wärmepumpe verwendet werden.

Schema Wärmepumpenvorlauferhöhung

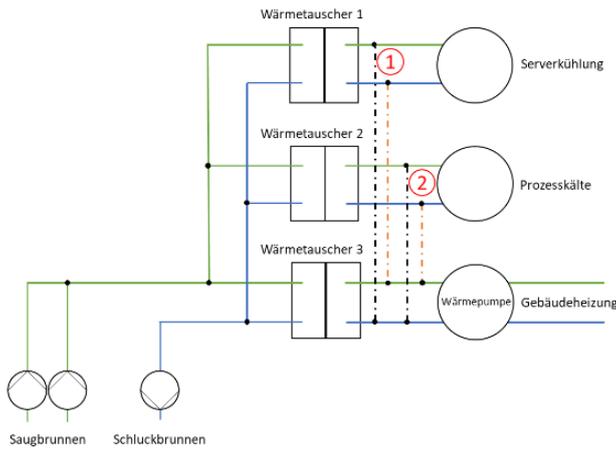


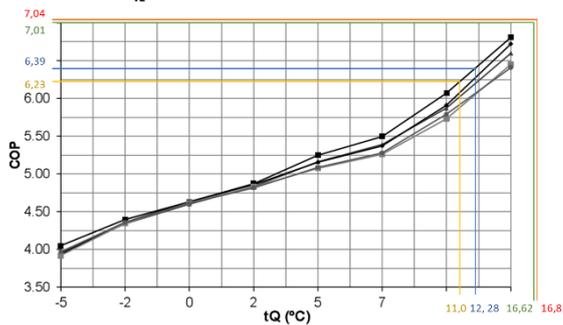
Abbildung 3: Schema zur Wärmepumpenvorlauferhöhung (1) über Serverkühlung; (2) über Prozesskälte; (1+2) Serverkühlung und Prozesskälte

Im Folgenden werden drei Szenarien betrachtet:

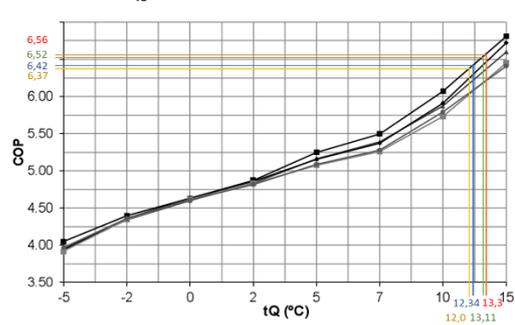
- Die Abwärme der Serverkühlung wird für die Vorlauferhöhung der Wärmepumpe verwendet (1).
- Lediglich die Abwärme der Prozesskühlung wird für die Vorlauferhöhung der Wärmepumpe verwendet (2).
- Sowohl die Abwärme der Serverkühlung und der Prozesskälte wird zur Vorlauferhöhung der Wärmepumpe verwendet (1+2).

**Nutzen:** Bei der maximalen Auslastung (Planungswert) der Prozesskälte könnte bei einer Eintrittstemperatur ( $t_Q$ ) von  $16,62\text{ °C}$  und einer Ausgangstemperatur ( $t_{VL}$ ) von  $35\text{ °C}$  ein COP von etwa 7 erreicht werden. Dadurch würde eine Stromersparnis gegenüber dem Planwert ( $11\text{ °C}$  Eintrittstemperatur) von  $1.995,85\text{ €/a}$  ergeben. Dies entspräche einer Kostenersparnis von etwa  $700\text{ €/a}$ .

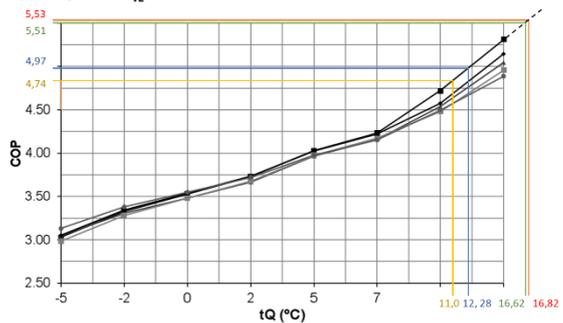
Leistungszahl -  $t_{VL}\ 35\text{ °C}$



Leistungszahl -  $t_{VL}\ 35\text{ °C}$



Leistungszahl -  $t_{VL}\ 45\text{ °C}$



Leistungszahl -  $t_{VL}\ 45\text{ °C}$

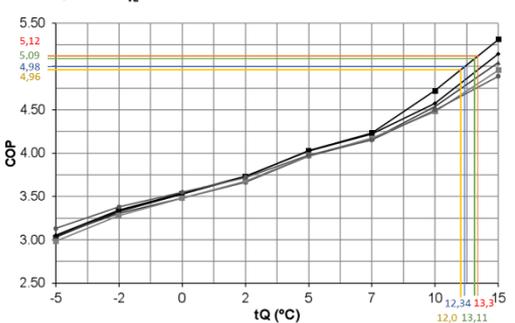


Abbildung 4; Leistungszahl (COP) gegen Eintrittstemperatur ( $t_Q$ ) bei den Ausgangstemperaturen ( $t_{VL}$ )  $35\text{ °C}$  (oben) und  $45\text{ °C}$  (unten) für die Planungswerte (links) und den durchschnittlich gemessene Werten (rechts) ohne Wärmepumpenvorlauferhöhung (gelb); Wärmepumpenvorlauferhöhung durch Serverkühlung (blau); Wärmepumpenvorlauferhöhung durch Prozesskälte (grün); Wärmepumpenvorlauferhöhung durch Serverkühlung und Prozesskälte (rot)

Die Ersparnis dieser Maßnahme hängt stark von der benötigten Kühleistung der Prozesskälte ab. Die Abwärmenutzung der Serverkühlung spielt dagegen nur eine untergeordnete COP-Erhöhung. Sowohl die Serverkühlung, als auch die Prozesskälte kühlen nur bei Bedarf und verringern so die Zeit in der die Abwärmenutzung verwendbar ist.

Momentan wird nur ein Bruchteil, der maximalen Kühlleistung der Prozesskälte benötigt und selbst wenn alle Labore, die Kühlwasser benötigen an das Netz angeschlossen sind, wird höchstens Kurzfristig der Maximalwert der Kühlleistung erreicht. Dadurch wird sich der COP im Normalbetrieb nicht diesen Maximalwert erreichen.

**Aufwand:** Die Umbauten an der bestehenden Anlage sind aufwendig und teuer. Eine überschlägige Kostenabschätzung geht von etwa 15.000 bis 17.000 € aus. Darin inbegriffen ist an Material die Verrohrung aus Edelstahl mit zwei Schichten Armaflex zur Isolierung, Sensoren und Aktoren, Pumpen und Absperrrichtungen, sowie ein Wärmetauscher zur hydraulischen Verbindung unterschiedlicher Druckniveaus. Zusätzlich wären Arbeitskosten für Handwerker, die Implementierung der zusätzlichen Variablen in die Gebäudeleittechnik (GLT) und der Regelung nötig.

**Priorität:** Während die Strom- und Kostenersparnis relativ hoch sind, stehen dem hohe Investitionskosten gegenüber. Darüber hinaus kann die maximale Ersparnis nicht durchgehend erzielt werden. Aber bei maximaler COP-Erhöhung würde es etwa 20 Jahre dauern die Investitionen zu amortisieren.

#### 4.7 Reduzierung der Ausschaltzeiten in Treppenhäuser mit Bewegungsmelder

Die Treppenhäuser werden mit Bewegungsmelder an- und zeitgesteuert ausgeschaltet. Durch die Veränderung der Ausschaltzeiten, von derzeit 5 Minuten kann Energie eingespart werden.

**Nutzen:** Da es keine Angaben darüber gibt, wie oft die Flurbeleuchtung am Tag ausgelöst wird (Trigger), wurde zur Analyse eine Kombination aus Trigger und Zeit gewählt. Hierbei würden 5 Minuten mit 95 Triggern in beiden Treppenhäusern einer Dauerbeleuchtung von knapp 8 Stunden entsprechen. Bei Angenommen 50 Mitarbeitern im Vollbetrieb, die einmal am Tag über eines der Treppenhäuser zum Arbeitsplatz gehen und wieder über ein Treppenhaus das Gebäude verlassen, wären es 100 Trigger in einem Treppenhaus also 50 Trigger auf dem Diagramm.

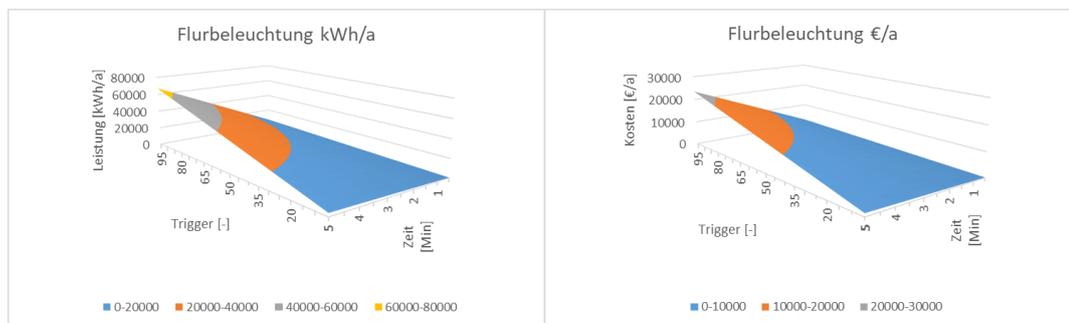


Abbildung 5: Benötigte Leistung (links) der Flurbeleuchtung und Kosten (rechts) gegen die Zeit der Ausschaltzeit und Anzahl Trigger für zwei Treppenhäuser

Bei einer Verringerung um zwei Minuten auf 3 Minuten kann beispielsweise bei den Angenommenen 50 Triggern knapp 15.000 kWh/a (beziehungsweise etwa 5.000 €/a) eingespart werden. Es muss darauf geachtet werden, dass die Zeit nicht zu gering gewählt wird, da ansonsten die Sicherheit nicht gewährleistet werden kann. Darüber hinaus muss betrachtet werden, inwieweit erhöhte Schaltzyklen die Lebensdauer der Leuchten verringern kann.

**Aufwand:** Durch die Implementierung der Ausschaltzeit in der GLT kann die Maßnahme zeitnahe und ohne größeren Aufwand umgesetzt werden.

**Priorität:** Durch das hohe Einsparpotenzial ist es sinnvoll und der einfachen Implementierung, muss die Maßnahme baldmöglichst umgesetzt werden.

#### 4.8 Licht im Containerdorf über Schalter

Im Containerdorf könnte ein KNX-Lichtschalter installiert werden, wodurch die Zeit in der die Leuchten im Containerdorf angesteuert sind verringert werden können.

*Nutzen:* Die Beleuchtung vom Containerdorf gehört zur Abendbeleuchtung (Siehe 6.2). Dadurch wird das Containerdorf Montag bis Sonntag Abhängig von der Beleuchtungsstärke von 06:00 bis 09:00 Uhr und von 16:00 bis 22:00 Uhr angesteuert. Dies war notwendig, da sonst Arbeiten im Containerdorf in diesen Zeiten, Mangels einer ausreichenden Beleuchtung nicht ausgeführt werden können. Die Beleuchtung der Verkehrswege würde ausreichen um die Sicherheit auf den öffentlichen Verkehrswegen zu gewährleisten. Leider ist nicht bekannt welche Leuchten genau im Containerdorf verbaut sind. Mit 12 Lampen á 20 W (Annahme) bei ausgeschalteter Beleuchtungsstärkeabhängigkeit werden jährlich 788,4 kWh/a verbraucht, was einer Kostenersparnis bei 0,35 €/kWh von 275,94 €/a ergeben würde. Die reale Ersparnis wird darunter liegen, da durch die Beleuchtungsstärkeabhängigkeit nicht ganzjährig das Containerdorf neun Stunden leuchtet.

*Aufwand:* Der KNX-Schalter müsste von einem Elektriker angebracht werden und als Variable auf die GLT gebracht werden. Diese Maßnahme würde für Material und Arbeitszeit etwa 500 € kosten. Eine günstigere Möglichkeit, die aber erst erörtert werden müsste, wäre nicht über einen KNX-Schalter, sondern stromseitig das Licht schaltbar zu machen. Dadurch würden geringere Kosten bei der Installation entstehen, aber es könnten ungünstige Zustände auf der Gebäudeleittechnik entstehen.

*Priorität:* Die Maßnahme amortisiert sich, je nach gewählter Installationsmethode nach 1-2 Jahren. Dadurch ist es sinnvoll die Maßnahme durchzuführen.

#### 4.9 Wasserverbrauch beim Händewaschen durch zeitgeregelte Wasserhähne

Durch die geschickte Einstellung der zeitgeregelten Wasserhähne kann viel Wasser gespart werden. Dies verursacht durch den geringen Preis des Trinkwassers keine hohen Kosten, aber spart eine große Menge Trinkwasser und schärft das Bewusstsein für, die uns gegebenen Ressourcen.

*Nutzen:* An einem durchschnittlichen Arbeitstag in Vollbesetzung werden etwa 50 Mitarbeitende anwesend sein. Jeder Mitarbeitende geht während eines durchschnittlichen Arbeitstages (8 h/Tag) etwa 2,7 Mal auf die Toilette. Daraus resultiert, dass pro Tag alle Mitarbeitenden etwa 133 Toilettengänge machen. An jedem der durchschnittlich 230 Arbeitstage pro Jahr.

Die verbauten Armaturen in den Toiletten haben einen Verbrauch von 5 l/Minute. Die einstellbare Zeitspanne reicht von 2 bis 15 Sekunden. Dadurch entstehen ein Wasserverbrauch pro Jahr von etwa 5.111 l/a bei zwei Sekunden bis 38.333 l/a bei 15 Sekunden.

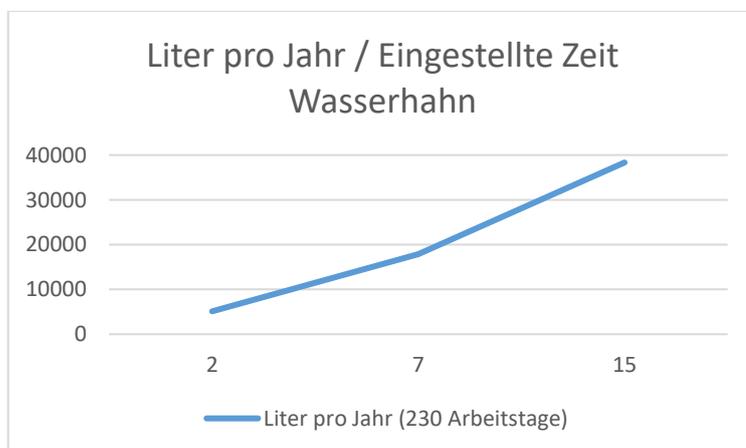


Abbildung 6: Wasserverbrauch beim Händewaschen mit Liter pro Jahr gegen eingestellte Zeitspanne (in Sekunden) der Wasserhähne

Mit angenommenen 0,2 ct/a Wasserkosten und 0,2 ct/a Abwasserkosten ergeben sich bis zu 153 €/a. Um ein hygienisches Händewaschen zu ermöglichen sollte das Wasser zumindest 7 Sekunden laufen. Dadurch ergibt sich mit etwa 71 €/a eine Kostenersparnis gegenüber der Maximaleinstellung von etwa 82 €/a.

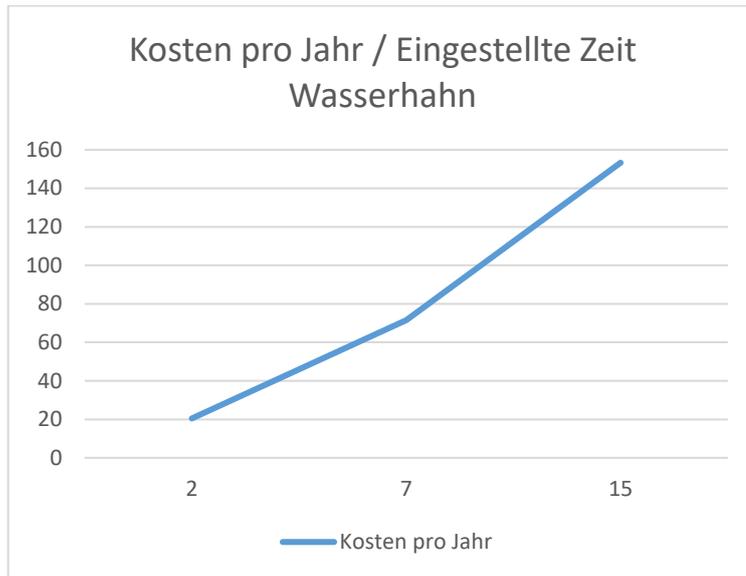


Abbildung 7: Kosten durch Händewaschen mit Euro pro Jahr gegen eingestellte Zeitspanne (in Sekunden) der Wasserhähne

**Aufwand:** Die Zeitspanne lässt sich nach Bedienungsanleitung schnell realisieren.

**Priorität:** Durch die leichte Umsetzung und der demgegenüber hohen Energie- und Kostenersparnis sollte die Maßnahme zeitnah umgesetzt werden.

#### 4.10 Nutzerverhalten

Der Nutzer hat erfahrungsgemäß einen Einfluss auf den Energieverbrauch von Gebäuden. In Bürogebäuden ist das konsequente Ausschalten von Geräten beim Verlassen des Arbeitsplatzes eine Möglichkeit Energie zu sparen.

**Nutzen:** Bei einem morgendlichen Durchzählen bevor die Mitarbeitenden zu arbeiten angefangen haben wurden 33 Monitore im Standby-Betrieb entdeckt. Ein moderner Monitor hat einen Standby-Verbrauch von etwa 1 W. Das bedeutet, dass alleine diese nicht ausgeschalteten Monitore eine Leistung von etwa 121 kWh verbrauchen. Dies entspricht bei einem Strompreis von 0,35 €/kWh Mehrkosten von ca. 43 €/a.

**Aufwand:** Verhaltensweisen können durch Vernunft mal schnell, mal weniger schnell geändert werden.

**Priorität:** Die Energieersparnis bei dieser Maßnahme ist nicht besonders hoch, allerdings ist es immer wünschenswert das Bewusstsein der Mitarbeitenden im Bezug auf Energieeinsparung und -verbrauch zu schärfen. Daher wird dies ein Schritt sein das Nutzerverhalten nachhaltig zum positiven zu beeinflussen.

#### 4.11 Überprüfung Funktionsbeschreibung

Die in der Funktionsbeschreibung aufgeführten Parameter und Werte müssen nach mehreren Revisionen und zusätzlich eingeführten Anlagensicherheitssystemen aktualisiert werden. Darüber hinaus müssen die angegebenen Werte kritisch durchdacht werden, um eventuelle Energiesparmaßnahmen in Anbetracht des Gebäude- und Anlagenschutzes, sowie dem Arbeitsplatzkomfort zu erarbeiten.

**Nutzen:** Die Energieersparnis kann nur schwer abgeschätzt werden.

*Aufwand:* Die Funktionsbeschreibung ist umfangreich. Es muss kritisch Betrachtet werden wo Änderungen sinnvoll sind und welche Änderungen sicherheitsrelevant sein könnten.

*Priorität:* Dies ist eine Maßnahme, die garantiert in Zukunft umgesetzt wird, aber da der Nutzen und Aufwand nicht abzuschätzen ist, wird die Umsetzung nicht mit höchster Priorität nachgegangen.

## **5 Bereits umgesetzte Maßnahmen**

Im Zuge der Inbetriebnahme und der Auseinandersetzung der dadurch bearbeiteten offenen Punkte konnte das Regelsystem besser begriffen und optimiert werden. Folgend sind Energieeinsparungsmaßnahmen, die nach ingenieurmäßiger Einschätzung zur Verbesserung der Energiebilanz für elektrische Energie und Umweltenergie beitragen. Eine bilanzielle Einordnung ist aufgrund der geringen Datenmenge leider nicht umsetzbar.

### **5.1 Reduzierung der Grundwasserbrunnenpumpenlaufzeiten**

Für das RIZ Energie gilt durch die Wasserrechtliche Behörden Auflagen zum Betrieb der Grundwasserpumpen und der Entnahme von Umweltenergie. In Anbetracht dieser Auflagen wurden Maßnahmen ergriffen die Grundwassermenge zu reduzieren.

Folgende Maßnahmen wurden umgesetzt:

- Verringerung des Solldifferenzdrucks unter Anbetracht der Sicherstellung des Gebäudebetriebs.
- Einstellung der Sequenzen, der Brunnenbetriebsstrategie unter Anbetracht der Vermeidung von hydraulischen Kurzschlüssen durch den unterschiedlichen Vordruck der unterschiedlich großen Grundwasserpumpen.
- Reduzierung der Ventilstellung vor den Wärmetauschern zur Erhöhung des Anlagendrucks unter Anbetracht der Sicherstellung eines ausreichenden Volumenstroms zum Betrieb der Wärmepumpe und der Kühlkreisläufe.

Durch die kurze Zeit seit der Implementierung und Änderungen im Anlagenablauf können bisher keine qualitativen Zahlen zu diesen Maßnahmen geliefert werden.

### **5.2 Anpassung der Strahlungswerte für automatisierte Sonnenschutzeinrichtung**

Die außenliegende automatisierte Sonnenschutzeinrichtung fährt bei zu hoher Bestrahlungsstärke automatisiert herunter. Entgegen der Funktionsbeschreibung wurde dieser Wert aus Erfahrungswerten auf  $550 \text{ W/m}^2$  in der Anwesenheitszeit und  $350 \text{ W/m}^2$  in der Abwesenheitszeit gesenkt, um eine Überhitzung zu vermeiden.

### **5.3 Saisonbedingte Sonnenschutzeinrichtung**

Gemäß der Funktionsbeschreibung wurde die versäumte saisonbedingte Sonnenschutzeinrichtung implementiert. Diese fährt den außenliegenden Sonnenschutz abhängig von der Beleuchtungsstärke gemessen an der Wetterstation am RIZ Energie. Zusätzlich wird alle zwei Stunden kontrolliert ob der Sonnenschutz bei hoher Beleuchtungsstärke geschlossen ist und wird automatisiert wieder heruntergefahren. Dadurch ergeben sich drei Betriebsmodi (Heizen, Kühlen, Übergang).

Im Kühlbetrieb das Gebäude gekühlt wird und der Sonnenschutz automatisiert, um die zusätzliche Erwärmung im Gebäude durch solare Wärmestrahlung zu verhindern.

Im Heizbetrieb wird das Gebäude geheizt, der automatisierte Sonnenschutz ist deaktiviert, damit die solaren Wärmegewinne die Heizung des Gebäudes unterstützt. Blendung durch tiefstehende Sonne wird über innenliegende Vorhänge verhindert.

Im Übergangsbetrieb wird das Gebäude geheizt, der automatische Sonnenschutz ist aktiviert. Gerade im Frühling und im Herbst, in denen die Temperaturunterschiede zwischen Tag und

Nacht groß ist, würde es ohne den automatischen Sonnenschutz zur Überhitzung kommen. Dieser Betrieb ist essenziell für den Arbeitsplatzkomfort und Energieeinsparungen.

## 6 Gebäude-, Anlagenschutz und Servicemaßnahmen

Es mussten manche Maßnahmen zum Gebäude- und Anlagenschutz ergriffen werden, die gegenüber der Funktionsbeschreibung konträr zu Energieeinsparpotenzialen geführt haben. Darüber hinaus wurden Servicemaßnahmen ergriffen, um den Arbeitsplatzkomfort und die Außendarstellung zu verbessern.

### 6.1 Bypass Schaltung bei Serverkühlung

Um die Mindestwassermenge der Grundwasserpumpe zu gewährleisten musste bei lediglicher Serverkühlung (ohne Prozesskälte oder Gebäudeheizung/-Kühlung) entgegen der Funktionsbeschreibung eine Bypass Schaltung in die GLT implementiert werden. Wenn nur die Serverkühlung angefordert ist, öffnet sich zu einem (einstellbaren) Prozentsatz das Ventil des Wärmetauschers 2 (Prozesskühlung). Durch diese Maßnahme wird die Pumpenlaufzeit (vor allem der kleinen Grundwasserpumpe) erhöht. Dies kommt nur vor, wenn:

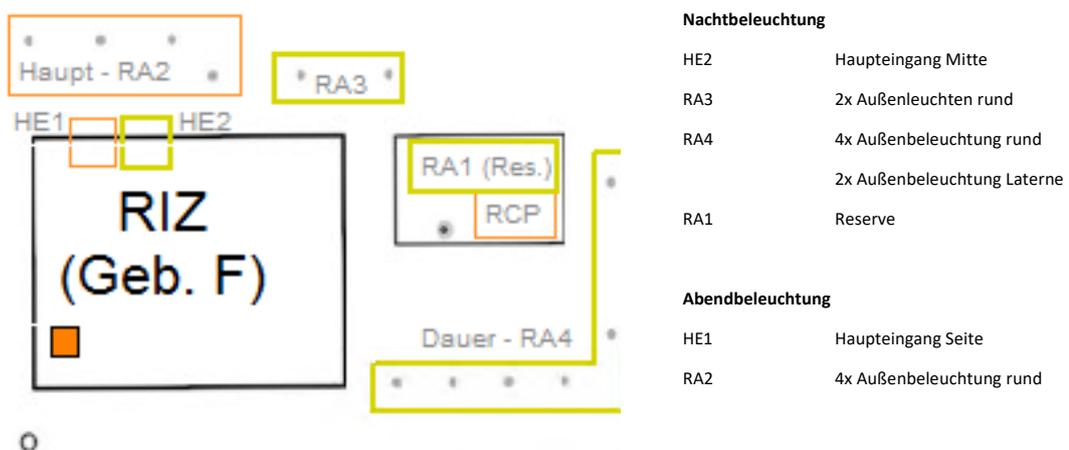
- keine Gebäudeheizung/-Kühlung stattfindet,
- keine Versuche im Technikum durchgeführt werden, die Prozesskälte benötigen und
- ein tatsächlicher Kühlbedarf in den Serverräumen anliegt.

Dadurch hält sich der elektrische Verbrauch und die Belastung durch verbrauchte Umweltenergie in einem niedrigen Bereich, aber erhöht auf der anderen Seite die Lebensdauer der Grundwasserpumpen und dient der Zuverlässigkeit und dem Anlagenschutz.

### 6.2 Nachtbeleuchtung der Verkehrswege

Da das Außengelände des RIZ Energie öffentlich Begehrbar ist, ist es notwendig die Verkehrswege auch nachts zu Beleuchten. Daraus ergibt sich gegenüber der Funktionsbeschreibung eine erhöhte Leuchtdauer einiger Lampen im Außenbereich.

Dadurch ergibt sich eine Abendbeleuchtung und eine Nachtbeleuchtung. Während die Abendbeleuchtung abhängig der Beleuchtungsstärke (590 lx) von 16:00 bis 22:00 Uhr und von 06:00 und 09:00 Uhr angesteuert werden, wird die Nachtbeleuchtung abhängig von der Beleuchtungsstärke durchgängig von 16:00 bis 09:00 Uhr angesteuert.



Um einen sicheren Durchgang der Verkehrswege zu gewährleisten wurde die Nachtbeleuchtung bestehend aus zwei Leuchten mittig am Haupteingang (HE2), zwei Säulenleuchten bei der Sickergrube (RA3), 4 Säulenleuchten am Parkplatz und 2 LED Laternen bei der Einfahrt auf den Parkplatz (RA4) ausgewählt. Um zukünftig die benötigte Leistung zu

verringern wurde darüber hinaus ein Kanal für nachträglich installierbare Leuchten reserviert (RA1).

Die Säulenleuchten haben zwei Lampe á 16 W, die Haupteingangsleuchte hat zwei Lampe á 16 W und die Laternen 142 W. Bei der Annahme, dass sie ganzjährig (365 Tage) jeweils 8 Stunden pro Tag (22:00 bis 06:00 Uhr) angesteuert werden, erhalten wir einen Jahresverbrauch von 1.576,8 kWh/a. Dies bedeutet bei einem angenommenen Strompreis von 0,35 €/kWh Mehrkosten von 551,88 €/a.

Mit der Installation von Flutern auf den Reservekanal im Containerdorf (RA1) könnte der Stromverbrauch und dadurch die Kosten gesenkt werden. Dies würde allerdings ein Invest in die Beschaffung der Fluter, wie auch die elektrische Installation nach sich ziehen.

### 6.3 PC und Monitor Foyer

Im Foyer wurden ein Mini-PC und ein Monitor installiert, um Informationen für die Mitarbeiter und repräsentative Einblendungen für Gäste realisieren zu können. Der PC und der Monitor sind automatisiert 12 Stunden pro Tag (von 06:00 bis 18:00 Uhr) an allen durchschnittlich 230 Arbeitstage pro Jahr eingeschaltet.

Die Leistung des Monitors beträgt 16,2 W und der Verbrauch des PCs 65 W. Dadurch ergibt sich ein Gesamtverbrauch von 224,11 kWh/a. Dies bedeutet bei einem angenommenen Strompreis von 0,35 €/kWh Mehrkosten von 78,44 €/a.

## 7 Fazit

Viele der Maßnahmen sind selbst, zeitnah und ohne nennenswerte Kosten durchführbar. Die Einsparungen durch die Arbeitsplatzleuchten (Siehe [4.1](#)), die Regelstrategie der Wärmepumpe (Siehe [4.5](#)), die Reduzierung der Ausschaltzeiten in den Treppenhäusern (Siehe [4.7](#)), den Wasserverbrauch beim Händewaschen (Siehe [4.9](#)) und dem Nutzerverhalten (Siehe [4.10](#)) ergeben ein Energieeinsparungspotenzial von 24.029,78 kWh/a und 17.888 Liter Trinkwasser pro Jahr. Das würde zu einer Kosteneinsparung von 9.009,23 €/a führen.

Die Maßnahmen, die entgegen der Energiesparmaßnahmen umgesetzt werden mussten (Nachtbeleuchtung (Siehe [6.2](#)) und PC und Monitore im Foyer (Siehe [6.3](#))), haben einen Mehrverbrauch von 1.800 kWh/a und Mehrkosten von 630,32 €/a.

Maßnahmen, die mit etwas Aufwand und Kosten umsetzbar sind, aber mehrere Jahre benötigen um sich zu amortisieren (Lichtschalter im Containerdorf (Siehe [4.8](#)) können bis zu 788,4 kWh/a einsparen. Die Kostenersparnis nach zwei Jahren ergäben 275,94 €/a.

Lediglich die Maßnahmen mit großem Aufwand und Kosten (Sekundärkälte der Wärmepumpe zur Serverkühlung (Siehe [4.3](#)) und Abwärmenutzung der Server und Prozesskühlung (Siehe [4.6](#))) sind unrealistisch umzusetzen. Durch die hohen Investitionskosten ist die Amortisationszeit etwa 20 Jahre bei einer anschließenden Einsparung von 700 €/a -800 €/a.

Dadurch ergeben sich mit den aufgeführten Energieeinsparpotenzialen gegenüber den Mehrverbräuchen eine jährliche Energieersparnis von etwa 22.229 kWh/a, 17.888 l/a Trinkwasser und einer Kostenersparnis von etwa 8.379 €/a in Anbetracht der aufgeführten ingenieurmäßigen Annahmen.