

Zwischenbericht Green Hospital Lichtenfels

Durchführung von Forschungsarbeiten zur wissenschaftlichen
Begleitung des Krankenhausneubaus



Gefördert durch den Landkreis Lichtenfels im Rahmen einer Kooperation der
Technologie Allianz Oberfranken (TAO)

Hof, 23. Juni 2021

Projektkoordination:

Prof. Dr. Thomas Schlosser

Verantwortlich:

Prof. Dr.-Ing. Manfred Casties
Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann
Prof. Dr. Thomas Schlosser

Projektpartner / Kontakt:

Hochschule Hof

Alfons-Goppel-Platz-1
95028 Hof
E-Mail:



**Hochschule
Hof**

thomas.schlosser@hof-university.de
matthias.kreuzer.2@hof-university.de

Hochschule Coburg

Friedrich-Streib-Straße 2
96406 Coburg
E-Mail:



HOCHSCHULE COBURG

manfred.casties@hs-coburg.de
alexander.pabst@hs-coburg.de

Universität Bayreuth

Universitätsstraße 30
95447 Bayreuth
E-Mail:



**UNIVERSITÄT
BAYREUTH**

brueggemann@uni-bayreuth.de
marco.griesbach@uni-bayreuth.de

Mitwirkende / Autoren:

Institut für Wasser- und Energiemanagement der Hochschule Hof (iwe)



iwe

Institut für Wasser-
und Energiemanagement
der Hochschule Hof

- Prof. Dr. Thomas Schlosser
 - Michael Dölz, M.Eng.
 - Andreas Kätzel, M.Eng. (bis 2020)
 - Matthias Kreuzer, B.Eng.
-

Hochschule Coburg – Fakultät Design – Bauingeni- eurwesen – Energieeffizientes Gebäudedesign



HOCHSCHULE COBURG

- Prof. Dr.-Ing. Manfred Casties
 - Alexander Pabst, Dipl.-Ing. (FH)
-

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT)

**LEHRSTUHL FÜR
TECHNISCHE
THERMODYNAMIK UND
TRANSPORTPROZESSE**
PROF. DR.-ING. D. BRÜGGEMANN



- Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann
- Dr.-Ing. Andreas Obermeier
- Marco Griesbach, M.Sc.
- Michael Käser, M.Sc.
- Kevin Pytlakowski, M.Sc.
- Jan-Eric Müller, B.Sc.
- Joshua Klein, B.Sc.
- Halil Karademir, B.Sc.

Kurzfassung

Für das Helmut-G.-Walther Klinikum in Lichtenfels wurde beschlossen, einen Ersatzneubau zu erstellen. Dieser Bau sollte als Leuchtturmprojekt „Green Hospital Lichtenfels“ (GHL) mit fortschrittlichen Technologien und Konzepten geplant und gebaut werden, welche in ökonomischer und ökologischer Hinsicht weit über die üblichen Baustandards im Klinikneubau hinausgehen und damit die Kriterien eines „Green Hospital“ erfüllen. Dafür wurden zusätzliche Fördergelder u. a. für die wissenschaftliche Begleitung des Projekts bereitgestellt.

Mit den Hochschulen Hof, Coburg und der Universität Bayreuth wurde dazu ein Forschungsauftrag vereinbart, der den Bereich der Energieversorgung des Krankenhauses in Form eines Energie- und Anlagenmonitorings umfasst. Weitere Kategorien eines „Green Hospitals“ werden z. B. im Rahmen der DGNB Zertifizierung des Gebäudes begutachtet.

Durch die wissenschaftliche Begleitung sollen die im GHL eingesetzten Energie-Technologien und -Konzepte dokumentiert und Möglichkeiten für Optimierungen erarbeitet werden. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse sollen in Zukunft für die Errichtung oder Sanierung von anderen Kliniken genutzt werden können.

Im Rahmen des Forschungsauftrages sollte die Planung, der Bau, die Inbetriebnahme sowie die beiden ersten Betriebsjahre begleitet werden. Basierend auf dem Energieversorgungskonzept der Planer wurde zunächst ein Mess- und Monitoring Konzept mit 1.200 Datenpunkten erarbeitet. Im Rahmen der Bauausführung wurde daran mitgewirkt, dieses Konzept umzusetzen und in Betrieb zu nehmen. Für die Phase des Intensivmonitorings wurden die Datenpunkte auf das Energiemanagement-System des Gebäudeautomations-Herstellers, hier Fa. Siemens, aufgeschaltet. Die Energie-Daten werden zyklisch erfasst und in einem zentralen Cloud-System bei Siemens gespeichert. Die dort gespeicherten Daten werden exportiert und den Hochschulen als csv-Datei zur Verfügung gestellt. Die Auswertung der Daten erfolgt u. a. über die Software Monisoft. Die Anlagenmesswerte dienen zusätzlich der Kalibrierung der Simulationsmodelle der Universität Bayreuth zur Bewertung der Betriebsweise der eingebauten Energieversorgungsanlagen. Zur Validierung erhielten die Hochschulen auch Zugriff auf das Energiemanagement-System der Fa. Siemens, das nach der wissenschaftlichen Begleitung vom Krankenhaus mit ca. 300 Datenpunkten allein weiter benutzt werden kann (Langzeitmonitoring).

Für den Schwerpunkt Energiemonitoring, der von den Hochschulen Hof und Coburg bearbeitet wird, war ein Intensivmonitoring mit 1.200 Datenpunkten für mindestens 2 Jahre bzw. zwei Messperioden geplant (jeweils für Heizung und Kühlung). In diesem Zeitraum sollten durch Energie- und Anlagenmonitoring Messungen und Auswertungen erfolgen, um u. a. Aussagen zum Betrieb der Erzeugungsanlagen bzw. im Rahmen von Simulationen Vorschläge für Optimierungsmaßnahmen zu machen.

Nachdem das neue „Green Hospital Lichtenfels“ im Sommer 2018 in Betrieb ging, konnten den Hochschulen aus technischen Gründen zunächst noch keine Messdaten für das geplante Monitoring zur Verfügung gestellt werden. Die Werte aller 1.200 Datenpunkte wurden erst ab März 2020 korrekt übertragen, sodass die geplanten Messungen (Intensivmonitoring) mit über einem Jahr Verzögerung starteten.

Um ein vollständiges und aussagekräftiges Intensivmonitoring durchzuführen, soll der Forschungsauftrag deshalb bis September 2022 verlängert werden.

Im vorliegenden Bericht wurden Messdaten vom Frühjahr 2020 bis zum Frühjahr 2021 ausgewertet und u. a. erste Vergleiche mit energetischen Kennwerten vorgenommen. Zum einen wurde der Energieverbrauch des neuen Krankenhauses mit dem Energieverbrauch des alten Krankenhauses sowie mit empirischen Kennwerten aus der VDI 3807 verglichen (Abbildung 1). Hier zeigte sich, dass der Verbrauchskennwert Wärme des GHL um 18,5 % unter dem Richtwert der VDI 3807 liegt und 46 % unter dem Wert des alten Krankenhauses. Beim Kennwert Strom wird allerdings der Richtwert der VDI 3807 um 244 % und der Wert des alten Krankenhauses um 25 % überschritten. Der niedrigere Verbrauch an Heizenergie des GHL ist u. a. auf die im Vergleich zum alten Gebäude bzw. entsprechender Vergleichsgebäude der VDI 3807 besseren Dämmwerte der Gebäudehülle zurückzuführen. Beim höheren Stromverbrauch des GHL ist u. a. die im Verhältnis zum alten Gebäude umfangreichere technische Ausstattung (RLT, MRT, etc.) zu beachten. Entsprechendes kann auch für die Mittel-/Richtwerte der VDI 3807 gelten, da die Werte der verwendeten Vergleichsgebäude schon vor längerer Zeit erhoben wurden. Die Gründe für den hohen Stromverbrauch des GHL sollten aber auf alle Fälle noch genauer analysiert werden. Der Wasserverbrauch des GHL liegt deutlich unter den Vergleichskennwerten. Dies könnte aber u. a. auch auf die veränderte Nutzung bedingt durch die Coronapandemie zurückzuführen sein.

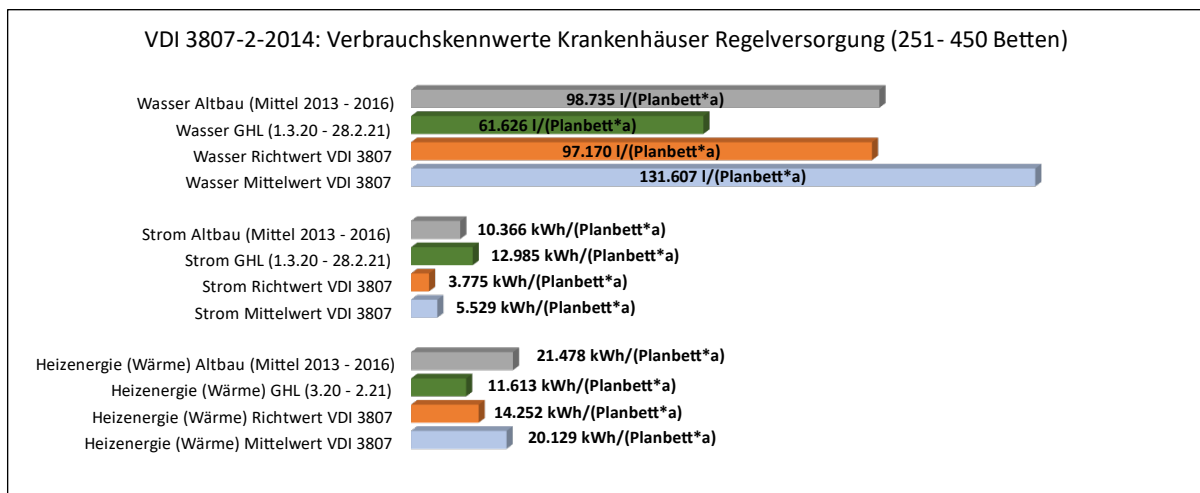


Abbildung 1: Vergleich von Verbrauchskennwerten

Auch wenn ein direkter Vergleich zwischen gemessenen Verbrauchswerten und nach DIN V 18599 berechneten Werten (Energieausweis) u. a. aufgrund der angenommenen Randbedingungen methodisch nicht sinnvoll und aussagekräftig ist, wurden hier entsprechende Betrachtungen (unter Beachtung der eingeschränkten Interpretationsmöglichkeiten der Ergebnisse) durchgeführt. Es zeigte sich bei der gesamten Nutzenergie ein um 28 % höherer gemessener Verbrauch gegenüber dem berechneten Wert des Energieausweises und bei der Endenergie eine Abweichung von 43 %. Die Bewertung der ökologischen Effizienz erfolgt im Energieausweis mithilfe der Primärenergie und hängt u. a. von den verwendeten (z. T. auch von energie-

politischen Vorgaben beeinflussten und sich ändernden) Primärenergie-Faktoren (PE-Faktoren) der jeweiligen Energieträger ab. So wird z. B. die Verwendung von Erdgas zur Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung ungünstiger bewertet als z. B. die Verwendung eines Biomasse-Kessels in Kombination mit einer PV-Anlage. Der Vergleich des im Energieausweis des GHL angegebenen (berechneten) gesamten Primärenergiebedarfs ergab für die entsprechend gemessene Jahres-Endenergie, die mit unterschiedlichen PE-Faktor-Ansätzen auf Primärenergie umgerechnet wurde, je nach Ansatz um 22 %, 64 % bzw. 88 % höhere Werte als im Energieausweis.

Mit den bis Februar 2021 zur Verfügung stehenden Messwerten wurden dann noch Betrachtungen zu ausgewählten Erzeugern und Verbrauchern (Wärme, Kälte, elektrische Energie, RLT, Musterräume) und zum Gesamtenergieverbrauch durchgeführt.

Abbildung 2 zeigt die Energieflüsse und den Jahresenergieverbrauch für den Zeitraum 01.03.2020 bis 01.03.2021 im GHL. Es ist zu erkennen, dass der Großteil des gesamten Endenergieverbrauchs vom Energieträger Gas gedeckt wird, während Hackschnitzel und der Energiebezug aus dem Stromnetz einen deutlich geringeren Anteil liefern. Ein Teil des Gasverbrauchs wird zur Eigenstromerzeugung in BHKWs genutzt. Das restliche Gas und die Hackschnitzel dienen der Wärmeerzeugung. Die für die Absorptionskältemaschine verbrauchte Wärmeenergie ist im Verhältnis zum Verbrauch für Heiz- und Warmwasserzwecke deutlich geringer. Im folgenden zweiten Betriebsjahr sollen die Energieflüsse detailliert untersucht werden. Dabei steht z. B. auch der gleichzeitige Bedarf von Heizwärme und Kälteenergie im Krankenhaus im Fokus. Evtl. ist eine Nutzung der Abwärme aus der Kälteerzeugung zur Beheizung mit Niedertemperaturwärme sinnvoll. Für Neubauten bzw. Sanierungen ergeben sich für Krankenhäuser mit vergleichbarer Nutzung aufgrund der gewonnenen Messwerte im GHL Ansätze für veränderte Versorgungskonzepte, die auch die Abwärmenutzung konsequent berücksichtigen.

Für den zweiten Schwerpunkt Anlagenmonitoring bildeten die Daten und gewonnenen Erkenntnisse des Energiemonitorings eine wertvolle Grundlage. Ein Ziel des Anlagenmonitorings ist, den Betrieb der Energieversorgung des GHL hinsichtlich verschiedener Kriterien zu optimieren. Dafür wurde ein modulares Modell für die Simulation der Wärme- und Kälteversorgung entwickelt, mit dem die Auswirkungen von unterschiedlichen Anlagenfahrweisen miteinander verglichen, analysiert und energetisch optimiert werden können.

Aus den Simulationsergebnissen der Universität Bayreuth lassen sich unter Berücksichtigung von ausführlich beschriebenen Einschränkungen bestimmte Tendenzen erkennen. Es wurden die Auswirkungen verschiedener Regelstrategien am eingebauten Versorgungssystem des GHL berechnet. Dabei zeigte sich, dass eine Erzeugung der Kälte über die Absorptionskältemaschine nur dann sinnvoll ist, wenn die Antriebsenergie dafür aus der Abwärme der BHKW's stammt. Bei der Betrachtung einer Sommerwoche kann gezeigt werden, dass eine kontinuierliche Versorgung über ein BHKW und teilweise über einen Gaskessel zu einer erheblichen Steigerung der Betriebskosten führt. Verglichen mit einem Szenario, in welchem die Versorgung ausschließlich über die beiden BHKWs erfolgt, ist in der betrachteten Woche mit nahezu einer Verdreifachung der Betriebskosten zu rechnen. Sollte die benötigte Antriebsenergie durch die

beiden BHKWs nicht zur Verfügung stehen, ist eine Kälteerzeugung über die Kompressionskälteanlage ökonomisch und ökologisch vorteilhafter.

Energieverbrauch Green Hospital

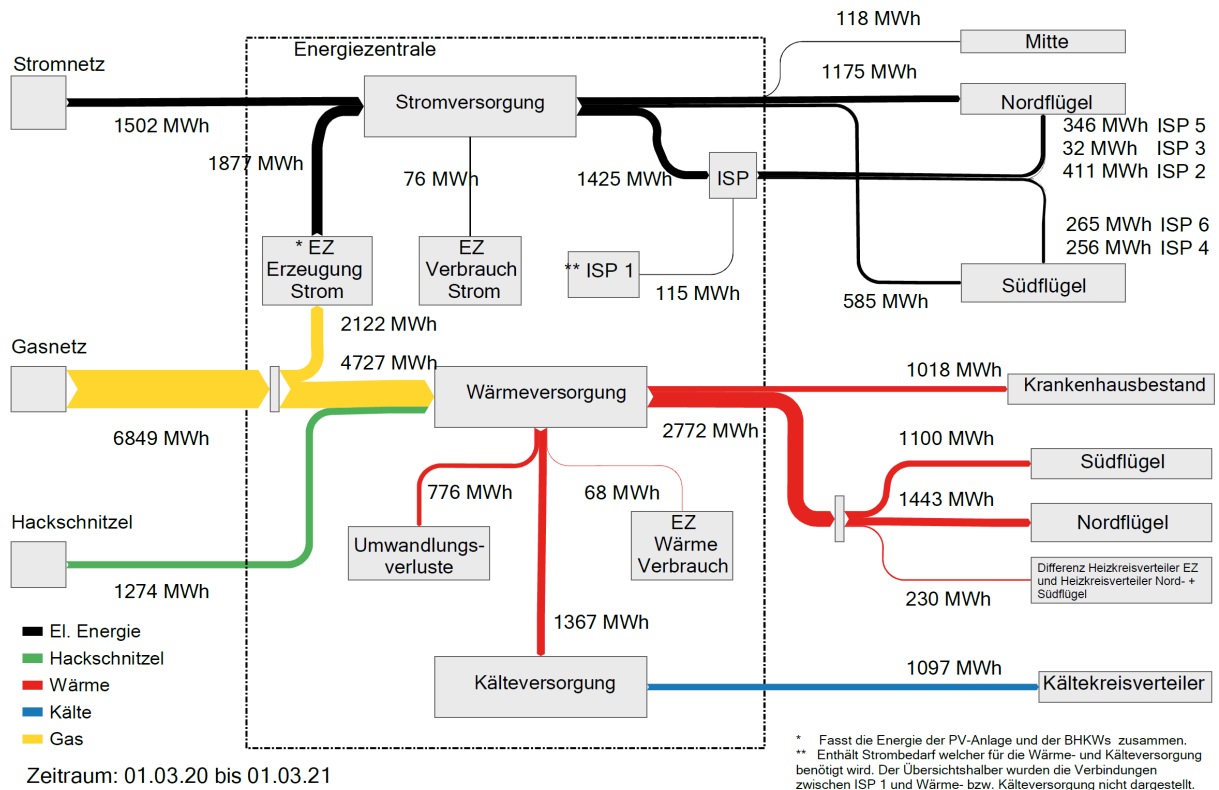


Abbildung 2: Jahres-Energieverbrauch GHL in vereinfachter Darstellung als Sankey Diagramm

Aus ökonomischer Sicht führt eine Erhöhung des BHKW-Einsatzes zu einem finanziellen Vorteil. Dies wird jedoch durch eine Reduzierung des Anlageneinsatzes des Biomassekessels erkauft und es muss eine Erhöhung des CO₂-Ausstoßes hingenommen werden. Bei einem kompletten Verzicht auf den Einsatz des Biomassekessels können beispielsweise die jährlichen Betriebskosten um ca. 12,6 % gegenüber dem Referenzzustand, in welchem dieser ca. ein Viertel des jährlichen Wärmebedarfs deckt, reduziert werden. Gleichzeitig erhöht sich jedoch der CO₂-Ausstoß um ca. 37,7 %.

Die Simulationsergebnisse der betrachteten Szenarien zeigen, dass der gewählte Anlageneinsatz einen erheblichen Einfluss auf sämtliche Bewertungsparameter hat. Gleichwohl gibt es keine generelle Betriebsstrategie, welche unabhängig von den Randbedingungen zu einem universellen Optimum führt. Daher sollen in der Projektverlängerung u. a. die Auswirkungen einer an den jeweiligen Lastfall und die Jahreszeit angepassten variablen Anlageneinsatzplanung untersucht werden.

Die Photovoltaik-Anlage liefert nur einen geringen Beitrag zur Deckung des Strombedarfs.

In der Verlängerung des Projekts soll das Intensivmonitoring vertieft werden und einen Vergleich zweier kompletter Jahre ermöglichen. Dabei werden auch die Energieflüsse im GHL noch genauer analysiert und auf Einsparpotentiale hin untersucht. Die erfassten Verbrauchs-

werte geben außerdem Aufschluss zum Betrieb moderner Krankenhäuser und bilden den Verbrauch an Wärme, Kälte und Strom im Jahresverlauf ab. Aus diesen Lastgängen lassen sich Rückschlüsse auf die Planung gebäudetechnischer Anlagen in Krankenhäusern ziehen. Auf dieser Basis können Vorschläge für alternative Versorgungskonzepte erarbeitet werden.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	VI
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	X
1 Einleitung	1
2 Projektbeschreibung.....	3
3 Allgemeine und technische Daten zum Gebäude	5
3.1 Gebäudebeschreibung.....	5
3.2 Gebäudetechnik.....	7
3.2.1 Wärmeversorgung.....	9
3.2.2 Kälteversorgung.....	11
3.2.3 Elektrische Versorgung	13
3.2.4 Wasserversorgung	15
3.2.5 RLT-Anlagen und WRG.....	15
3.2.6 MSR-Technik.....	19
3.2.7 Musterräume.....	19
4 Energiemonitoring.....	20
4.1 Definitionen Monitoring	20
4.2 Zähler/ Datenpunkte.....	23
4.3 Datenerfassung und -übermittlung	25
4.4 Datenpunktbezeichnung.....	28
4.5 Mess- und Monitoringkonzept	34
4.5.1 Bezug vom Energieversorgungsunternehmen (EVU)/Endenergie	36
4.5.2 Umwandlung (Erzeuger)/ Nutzenergie	38
4.5.3 Verbraucher/ Nutzenergie.....	38
4.6 Datenauswertungsprogramme	40
4.6.1 Siemens Navigator	40
4.6.1.1 Strukturen/ Knoten	41
4.6.1.2 Zähler/ Datenpunkte/ Medien	45
4.6.1.3 Erfassung von Datenpunkten	51
4.6.1.4 Berichte	58
4.6.1.4.1 Haupterzeugung Übersicht	65
4.6.1.4.2 Hauptverbrauch (HGT).....	67
4.6.1.4.3 Elektro-Lastprofile (Jahr, Monat, Woche, Tag)	74

4.6.1.4.4	Detailverbrauch	77
4.6.1.4.5	Wertebericht / Werte mehrerer Datenpunkte	79
4.6.1.4.6	Wertebericht Vergleich	81
4.6.1.4.7	Engineering- und Statusbericht.....	82
4.6.1.4.8	Struktur-Setup	82
4.6.1.4.9	Klimadaten.....	82
4.6.1.4.10	Problem Zeitumstellung	83
4.6.1.5	Dashboard	85
4.6.2	MoniSoft	89
4.6.2.1	Die MoniSoft-Datenbank	89
4.6.2.2	Struktur einer MoniSoft-Datenbank	90
4.6.2.3	Messpunktdefinition	91
4.6.2.4	Messpunktname und Messpunktschlüssel	92
4.6.2.5	Messpunktparameter	92
4.6.2.6	Virtuelle Messpunkte	93
4.6.2.7	Einheitensystem.....	94
4.6.2.8	Auswertungen	94
4.6.2.9	Bezugsgrößen	98
4.6.2.10	Klimabereinigung	98
4.6.3	Datenübermittlung	99
4.7	Plausibilitätsprüfungen	101
4.7.1	Grobe Plausibilitätsbetrachtungen	101
4.7.2	Endenergie.....	106
4.7.2.1	Gas	106
4.7.2.2	Hackschnitzel	111
4.7.2.3	Elektrische Energie.....	119
4.7.2.4	Wasser.....	125
4.7.3	Nutzenergie Wärmeerzeuger	125
4.7.3.1	Gaskessel	125
4.7.3.2	Hackschnitzel-/Biomassekessel	128
4.7.3.3	Blockheizkraftwerk (BHKW)	131
4.7.3.4	Wärmepumpe	133
4.7.4	Nutzenergie Kälteerzeuger	133
4.7.4.1	Kompressionskältemaschine (KKM).....	134
4.7.4.2	Absorptionskältemaschine (AKM)	135

4.7.5 Nutzenergie Elektroenergieerzeuger	136
4.7.5.1 Photovoltaikanlage (PV)	136
4.7.5.2 Notstromaggregat (NSA).....	140
4.7.6 Nutzenergie Wärmeverbraucher	141
4.7.7 Nutzenergie Kälteverbraucher.....	142
4.7.8 Nutzenergie Elektroenergieverbraucher	146
4.7.9 Wasserverbraucher	150
4.8 Ergebnisse.....	155
4.8.1 Energieeffizienz von Krankenhäusern.....	155
4.8.1.1 Wärme im Krankenhaus.....	155
4.8.1.2 Kälte im Krankenhaus	158
4.8.1.3 Elektrische Energie im Krankenhaus.....	159
4.8.1.4 Wasser im Krankenhaus.....	160
4.8.2 Vergleich mit empirischen Kennwerten.....	163
4.8.2.1 VDI 3807 für Krankenhaus alt	166
4.8.2.2 VDI 3807 für GHL	168
4.8.2.3 Vergleich mit Energieverbrauchsausweis-Vergleichswerten.....	172
4.8.3 Vergleich mit berechneten (Kenn)werten	177
4.8.4 Wärme- und Kälteversorgung.....	191
4.8.4.1 Wärmeenergie Verbrauch.....	191
4.8.4.2 Kälteenergieverbrauch	196
4.8.5 Elektrischer Energieverbrauch.....	200
4.8.6 Analyse RLT-Anlagen.....	208
4.8.7 Musterräume.....	212
4.8.7.1 Musterräume „Patientenzimmer“	216
4.8.7.2 Musterraum Funktionsraum „MRT“	226
4.8.7.3 Musterraum Funktionsraum „OP septisch“	230
4.8.8 Gesamtenergieverbrauch	235
4.8.8.1 Nutzenergie	236
4.8.8.2 Endenergie.....	237
4.8.8.3 Primärenergie	238
4.8.9 Langzeitmonitoring.....	240
5 Anlagenmonitoring.....	246
5.1 Grundlagen der Modellierung	246
5.1.1 Verteilung und Speicherung	247

5.1.2 Gasbrennwertkessel	250
5.1.3 Blockheizkraftwerk	251
5.1.4 Kompressionskältemaschine	252
5.1.5 Absorptionskältemaschine.....	253
5.1.6 Trockenkühler	254
5.1.7 Hybridkühler	255
5.1.8 MATLAB Simulink und die CARNOT-Toolbox	256
5.2 Kriterien zur Bewertung der Anlagenfahrweise.....	259
5.2.1 Ökonomie	259
5.2.2 Ökologie.....	260
5.3 Struktur und Ablauf der Simulation	261
5.3.1 Einbindung externer Daten.....	262
5.3.2 Realisierung in Simulink	263
5.3.3 Verifizierung der Modellierung.....	264
5.3.4 Verbundsteuerung und Übersicht der Szenarien	265
5.4 Ergebnisse der Anlagensimulation.....	268
5.4.1 Szenario I: Referenz	268
5.4.2 Szenario II: Variation der Rangreihenfolgen: Priorisierung AbKM	273
5.4.3 Szenario III: Variation der Rangreihenfolgen: Priorisierung KKM.....	276
5.4.4 Zusammenfassung und Bewertung der Simulationsergebnisse	279
6 Zusammenfassung.....	287
Anhang	291

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzungen:

Abkürzung	Bedeutung
AbKM	Absorptionskältemaschine
AV	Allgemeinversorgung (Strom)
BACnet	Building Automation and Control Networks
BHKW	Blockheizkraftwerk
BioMK	Biomassekessel
BTA	Thermische Bauteilaktivierung/Betonkernaktivierung
CARNOT	Conventional and Renewable eNergy systems Optimization
CO ₂ -Trend	Datenpunkt Kohlendioxidgehalt
CSV-Format	Comma-separated values (Datenformat)
ELZ	Elektrozähler
EZ	Energiezentrale
FBH	Fußbodenheizung
FenK_KNX_Trend	Datenpunkt Fensterkontakt
FK	Freie Kühlung
GasK_1600kW	Gaskessel mit 1600 kW Nennleistung
GasK_560kW	Gaskessel mit 560 kW Nennleistung
GHL	Green Hospital Lichtenfels
HK	Hybridkühler
KKM	Kompressionskältemaschine
KMZ	Kältemengenzähler
KNX	Standard zur Gebäudeautomation
KVB	Kälteverbundsteuerung
LP	Landeplatz
Mbus	Meter-Bus
Modbus	Kommunikationsprotokoll
MRT	Magnetresonanztomografie
OP	Operationssaal
P	Leistung (Elektrozähler - Einheit kW)
Q	Arbeit (Wärme/Kältezähler – Einheit kWh/MWh)
Qpunkt	Leistung (Wärme/Kältezähler – Einheit kW/MW)
relF_Trend	Datenpunkt relative Feuchte

RLT	Raumluftechnik
SV	Sicherheitsversorgung (Strom)
T_Trend	Datenpunkt Temperatur
THB	Thermo Hydraulic Bus
TK	Trockenkühler
UMK	Umluftkühlgerät
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
W	Arbeit (Elektrozähler – Einheit: kWh)
WMZ	Wärmemengenzähler
WP	Wärmepumpe
WVB	Wärmeverbundsteuerung
WWB	Warmwasserbereiter
WZ	Wasserzähler
ZWRG/ZWRG	Zentrale Wärmerückgewinnung

Symbole und Konstanten:

Lateinische Formelzeichen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
A	Matrix zur Parameterberechnung der KKM	–
A_E	Erlöse	€
A_{loss}	Oberfläche für Verluste pro Knoten (Speicher)	m^2
A_{hx}	Oberfläche des Wärmetauschers pro Knoten (Speicher)	m^2
A_{CO_2}	CO ₂ -Emission	kg CO ₂
$a_{CO_2,el}$	Spezifische CO ₂ -Emission Strom	kg CO ₂ /kWh
c	Wärmekapazität des Gaskessels	J/(kg·K)
c_{CO_2}	Spezifische CO ₂ -Emission Gas	kg CO ₂ /kg
$c_{CO_2,BHKW}$	Spezifische CO ₂ -Emission Gas BHKW	kg CO ₂ /kg
c_f	Wärmekapazität des Fluids (Gaskessel)	J/(kg·K)
$COND_ITC$	Wärmeübertragung durch „inversed thermocline“ (Speicher)	W·m ³ /kg
cp	Wärmekapazität (Speicher)	J/kg·K
$ctrl$	Steuerungssignal [0 ...1]	–
d_h	Abstand zwischen den Knoten (Speicher)	m
E_{GHL}	Gesamtkosten des Systemverbunds	€
E_S	Rückflüsse produzierter Strom	€
$E_{W/K}$	Rückflüsse produzierte Wärme/Kälte	€
E_Z	Rückflüsse Vergütungen	€
f_{Q_th}	Thermischer Leistungsfaktor	–
f_{P_el}	Elektrischer Leistungsfaktor	–
k_1 bis k_9	Parameter zur Leistungsberechnung (KKM)	W/°C
K_b	Betriebsgebundene Kosten	€
K_E	Kosten Energieträger	€
K_I	Kosten Instandhaltung	€
K_{PK}	Kosten Personal	€
K_S	Kosten Stromverbrauch	€
K_{SK}	Sonstige Kosten	€
K_v	Bedarfsgebundene Kosten	€
K_w	Kosten Wartung	€
m	Masse des Gaskessels	kg
$\dot{m}$	Massenstrom (Gaskessel/BHKW)	kg/s

Symbol	Bezeichnung	Einheit
m_{dot}	Massenstrom (Speicher)	kg/s
N	Anzahl der Knoten Gaskessel	–
P_{act}	Tatsächliche Leistung Gaskessel	W
P_{el}	Elektrische Leistung (KKM/BHKW)	W
P_{gas}	Zugeführte Leistung (Gaskessel)	W
P_{th}	Thermische Leistung	W
R	Faktor der Isosteren für $H_2O/LiBr$	–
$\dot{Q}_E$	Kühlleistung (AbKM)	W
$\dot{Q}_G$	Wärmeleistung Kühlwasser (AbKM)	W
Q_{heat}	Wärmeleistung Kühlwasser (KKM)	W
Q_{source}	Kühlleistung (KKM)	W
$\dot{Q}_{th}$	Thermischer Leistung (BHKW/AbKM)	W
r_E	Parameter zur Berechnung Kälteleistung (AbKM)	W
r_G	Parameter zur Berechnung Heizleistung (AbKM)	W
s_E	Parameter zur Berechnung Kälteleistung (AbKM)	$W/^\circ C$
s_G	Parameter zur Berechnung Heizleistung (AbKM)	$W/^\circ C$
t_A	Mittlere Temperatur Absorber (AbKM)	$^\circ C$
t_{AC}	Mittlere Temperatur zwischen Absorber und Kondensator	$^\circ C$
T_{amb}	Umgebungstemperatur	$^\circ C$
t_C	Mittlere Temperatur Kondensator (AbKM)	$^\circ C$
$t_{cold, in}$	Rücklauftemperatur Kaltwasser (KKM)	$^\circ C$
t_E	Mittlere Temperatur Verdampfer (AbKM)	$^\circ C$
t_G	Mittlere Temperatur Generator (AbKM)	$^\circ C$
$t_{hot, out}$	Vorlauftemperatur Kühlwasser (KKM)	$^\circ C$
T	Temperatur (Speicher)	K
T_{amb}	Umgebungstemperatur (Gaskessel)	K
T_{Node}	Knotentemperatur (Gaskessel)	K
T_{in}	Knoteneingangstemperatur des Fluids (Gaskessel)	K
T_{RL}	Rücklauftemperatur	$^\circ C$
T_{VL}	Vorlauftemperatur	$^\circ C$
U_1	Wärmeverlustkoeffizient (Gaskessel)	W/K
U_{loss}	Wärmeverlustkoeffizient (Speicher)	$W/m^2 \cdot K$
U_{hx}	Wärmeübergangskoeffizient (Speicher)	$W/m^2 \cdot K$
V_{node}	Knotenvolumen (Speicher)	m^3

V_g	Brennstoff Volumen	m^3/srm
-------	--------------------	-------------------------

Griechische Formelzeichen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$\Delta\Delta t$	Charakteristische Temperaturfunktion	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta\Delta t'$	Charakteristische Temperaturfunktion	$^{\circ}\text{C}$
η	Wirkungsgrad	—
λ	Effektive axiale Wärmeleitfähigkeit (Speicher)	$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$
ρ	Dichte (Speicher)	kg/m^3

1 Einleitung

Im Rahmen der Energiewende und der Klimaschutzanstrengungen rücken auch Krankenhäuser mit ihrem hohen Energiebedarf in den Fokus zum Einsatz entsprechender Energie- und CO₂-Einsparmaßnahmen. In Bayern wird der Green Hospital-Gedanke bisher durch die zwei Ansätze „Green Hospital Initiative Bayern“ und das Leuchtturmprojekt „Green Hospital Lichtenfels“ verwirklicht.¹

Durch die 2011 gegründete „Green Hospital Initiative Bayern“ wird neben einer „Best-Practice-Datenbank“ u. a. ein umfangreicher Maßnahmenkatalog mit praktischen Lösungsansätzen zur Umsetzung ökologischer, ökonomischer und sozialer Belange eines Krankenhauses hin zu einer umfassenden Nachhaltigkeit als Onlineangebot zur Verfügung gestellt.¹

Der Ersatzneubau für das Helmut-G.-Walter-Klinikums in Lichtenfels (Green Hospital Lichtenfels, im Folgenden abgekürzt GHL) soll als Leuchtturmprojekt ein Best-Practice Beispiel für entsprechende nachhaltige „grüne“ Krankenhäuser sein und erhielt aus diesem Grund Fördergelder des Freistaats Bayern, wovon ein Teil für die wissenschaftliche Begleitung des Projektes vorgesehen war. Diese erfolgte seit 2012 durch die Hochschule Hof, die Hochschule Coburg und die Universität Bayreuth im Rahmen der Technologie Allianz Oberfranken (TAO) und hat die Gewinnung neuer Erkenntnisse zum Konzept „Green Hospital“ zur Aufgabe.²

Die Schwerpunkte liegen dabei im Gebäude(energie)monitoring, welches von den Hochschulen Hof und Coburg durchgeführt wird, und im Anlagenmonitoring durch die Universität Bayreuth. Durch das Energie- und Anlagenmonitoring soll untersucht werden, ob sich entsprechende geplante Maßnahmen für das grüne Krankenhaus im Betrieb als sinnvoll erweisen und z. B. in zukünftigen Krankenhaus-Neubauten bzw. Sanierungen eingesetzt werden sollten.

Bei der Bearbeitung des Projektes GHL werden vier Phasen unterschieden (s.a. Abbildung 3):

- Konzeption des Mess- und Auswertungskonzeptes (in der Planungsphase)
- Umsetzung der Mess- und Auswertungstechnik (in der Ausführungsphase)
- Intensivmonitoring (in der Betriebsphase durch die Hochschulen, geplante Dauer 2 Jahre)
- Langzeitmonitoring (in der Betriebsphase durch das Krankenhaus)

Projektphasen Monitoring Green Hospital Lichtenfels



Abbildung 3: Projektphasen GHL

Im Laufe des Projektes wurde ein entsprechendes Messkonzept erstellt und Zwischenergebnisse in Statusberichten dokumentiert (siehe 0_Anhang_Statusberichte).

Gegenüber dem geplanten Zeitablauf kam es bei der technischen Umsetzung des Messkonzeptes und bei der Inbetriebnahme des Krankenhauses zu erheblichen Verzögerungen, sodass die geplanten Messungen (Intensivmonitoring) mit über einem Jahr Verzögerung starteten. In dieser Arbeit sind deshalb nur Messergebnisse aus 12 Monaten ausgewertet worden, die allerdings wegen Corona bedingten Auswirkungen auf die Betriebsweise des Krankenhauses u.U. nur bedingt repräsentativ für einen „normalen“ Krankenhausbetrieb sind. Um wie geplant auch Messdaten aus 2 Jahren miteinander vergleichen und wissenschaftlich bewerten zu können, wurde deshalb eine Projektverlängerung bis Herbst 2022 beantragt. Entsprechende Ergebnisse werden dann in einem weiteren Bericht dargestellt werden.

Quellenverzeichnis zu Kapitel 1

¹ Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege (a). Green Hospital Initiative Bayern. [Online] o. J. <https://www.stmgp.bayern.de/meine-themen/fuer-krankenhausbetreiber/green-hospital/...>

² Helmut-G.-Walter-Klinikum Lichtenfels GmbH. Vertrag über Forschungsleistungen für das Projekt "Green Hospital Lichtenfels". Hof: unveröffentlicht, 2015.

2 Projektbeschreibung

Beim „Green Hospital“ Lichtenfels (GHL) handelt es sich um den Ersatzneubau des Helmut-G.-Walther Klinikums in Lichtenfels. Beim Bau dieses Klinikums wurden fortschrittliche Technologien und Konzepte eingesetzt, welche in ökologischer und ökonomischer Hinsicht weit über die üblichen Baustandards im Klinikneubau hinausgehen und damit die Kriterien eines „Green Hospital“ erfüllen sollen. Durch eine wissenschaftliche Begleitung sollen die im GHL eingesetzten Technologien und Konzepte dokumentiert und optimiert werden. Außerdem sind die Erfolge dieser Maßnahmen zu überprüfen. Die hieraus gewonnenen Ergebnisse sollen z. B. in Zukunft für die Errichtung oder Sanierung von anderen Kliniken genutzt werden. Für die wissenschaftliche Begleitung wurde ein Forschungsauftrag mit den Hochschulen Hof, Coburg und der Universität Bayreuth vereinbart.

Die Kooperation der Hochschulen Hof, Coburg und der Universität Bayreuth erfolgt im Rahmen der „Technologie Allianz Oberfranken¹“, welche die Aufgabe hat, den Standort Oberfranken demografisch und wirtschaftlich zu verbessern sowie die regionalen Hochschulen und Universitäten zusammenzuführen.

Die Hochschulen und die Universität haben bei diesem Projekt unterschiedliche Aufgaben bzw. Schwerpunkte:

Das Gebäude- bzw. Energiemonitoring wird von den Hochschulen Hof und Coburg übernommen. Neben einer Erstellung und Umsetzung des Mess- und Monitoringkonzeptes sollen anhand der gemessenen Werte Einschätzungen zur energetischen und ökologischen Bewertung des GHL vorgenommen werden. Die Universität Bayreuth behandelt vor allem das Anlagenmonitoring sowie die Simulation und Optimierung der Anlagen des Krankenhauses.

Eine Übersicht über die Zusammenarbeit der Beteiligten befindet sich in Abbildung 4.

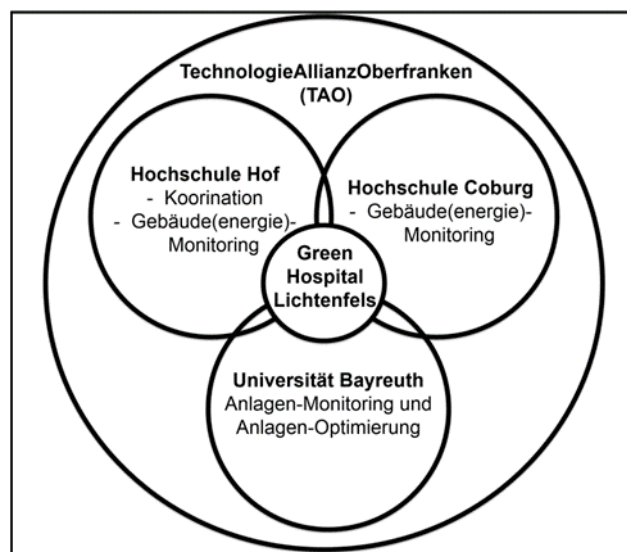


Abbildung 4: Zusammenarbeit der Hochschulen Hof, Coburg und der Universität Bayreuth

Insgesamt besteht das Projekt GHL aus vier Phasen. Diese sind in Abbildung 5 dargestellt:

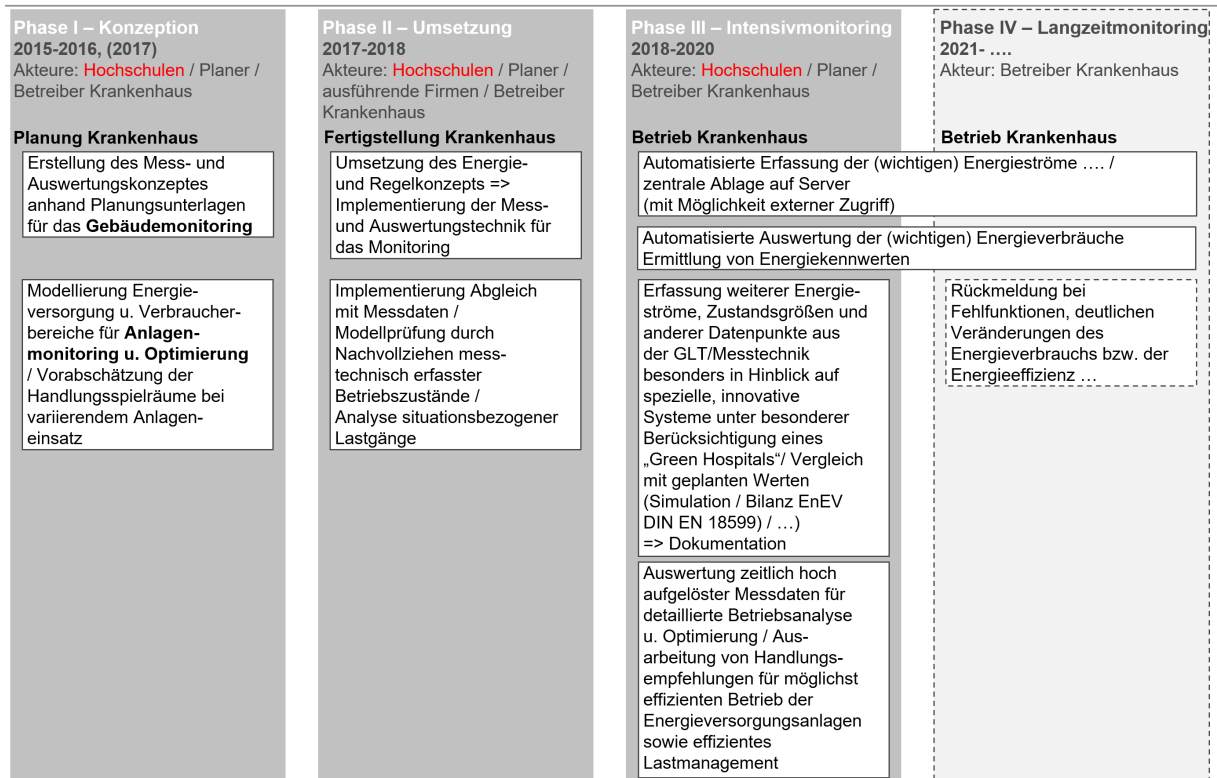


Abbildung 5: Green Hospital Lichtenfels; detaillierte Darstellung der vier Projektphasen

Gegenüber dem geplanten Zeitablauf kam es bei der technischen Umsetzung des Messkonzeptes und bei der Inbetriebnahme des Krankenhauses zu erheblichen zeitlichen Verzögerungen, so dass die geplanten Messungen (Intensivmonitoring) erst mit über einem Jahr Verspätung starten konnten. Zum offiziellen Projektende 31.12.20 (bzw. Ende Februar 2021) konnten deshalb nur Messergebnisse aus 12 Monaten ausgewertet werden. Eine gewisse Problematik bzgl. repräsentativer „normaler Daten“ ergibt sich aufgrund Corona bedingter Anpassungen des Krankenhausbetriebs. Um wie geplant auch Messdaten aus 2 Jahren miteinander vergleichen und wissenschaftlich bewerten zu können, wurde eine Projektverlängerung bis Herbst 2022 beantragt. Entsprechende Ergebnisse werden dann in einem weiteren Bericht dargestellt werden.

Quellenverzeichnis zu Kapitel 2

¹ Technologie Allianz Oberfranken. Abgerufen: 12. Februar 2020, 15:30 UTC + 1, URL: <https://www.tao-oberfranken.de/>

3 Allgemeine und technische Daten zum Gebäude

In diesem Kapitel erfolgt zunächst eine kurze Gebäudebeschreibung des GHL mit den grundlegenden Gebäude-Kennndaten. Im Anschluss wird die geplante bzw. installierte Gebäudetechnik beschrieben.

3.1 Gebäudebeschreibung

Im Folgenden sind wichtige Daten des GHL dargestellt.

Allgemeine Daten: ¹

- Bauherr: REGIOMED-Klinikum Lichtenfels
- Architekt: Schuster Pechtold Schmidt Architekten
- Baubeginn: 2014
- Fertigstellung: 2017
- Inbetriebnahme: 2018
- Baukosten: 117 Mio. EUR (Stand 2014)²
- Nutzfläche: 14.510 m²
- beheizbare Nettogrundfläche: 24.502 m² (aus Energiebedarfsausweis):
(siehe 15_Anhang_E_Ausweis)
- Brutto-Grundfläche: 30.200 m²
- Brutto-Rauminhalt: 129.800 m³
- Betten: 276 (einschließlich 10 Betten für die Intensivstation)

Funktionen: ³

- Notfallaufnahme
- Röntgendiagnostik
- MRT
- 5 OP-Säle
- Intensivmedizin mit 10 Betten
- Funktionsdiagnostik
- Herzkathetermessplatz
- Endoskopie
- Nuklearmedizinische Diagnostik
- Chirurgie
- Innere Medizin
- Gynäkologie und Geburtshilfe
- Physiotherapie
- 8 Pflegestationen mit 266 Betten
- Labor
- Zentralsterilisation
- Serviceeinrichtungen

- Ver- und Entsorgung
- Hubschrauberlandeplatz
- Energiezentrale

Fachbereiche: ¹

- Allgemein- und Viszeralchirurgie
- Allg. Innere Medizin und Nephrologie
- Anästhesie
- Gastroenterologie
- Geburtshilfe
- Gynäkologie
- HNO (Beleger)
- Kardiologie
- Neurochirurgie
- Neuroradiologie
- Orthopädie und Unfallchirurgie
- Palliativmedizin
- Radiologie und Nuklearmedizin
- Zentrale Notaufnahme
- Zentrum für Schmerzmedizin

Zur Gebäude- und Gebäudetechnikbeschreibung gab es eine Vielzahl von entsprechenden technischen Plänen der Gewerke in Papier- und digitaler Form. Aus diesem Grund wurde ein Tool zur schnellen Verwaltung bzw. zum schnellen Zugriff auf Excel-Basis entwickelt (siehe 1_Anhang_Pläne_Raumbuch/Pläne).

Außerdem wurde ein Raumbuch erstellt u. a. mit Raumnummern (alt und neu), Flächen und Zuordnungen von Elektrounterverteilungsbereichen (UV-Bereiche) (siehe 1_Anhang_Pläne_Raumbuch /Raumbuch).

3.2 Gebäudetechnik

In Abbildung 6 ist eine Übersicht über die Wärme- und Kälteerzeugung, Verteilung und Speicherung sowie den Wärme- und Kälteverbrauch im GHL dargestellt.

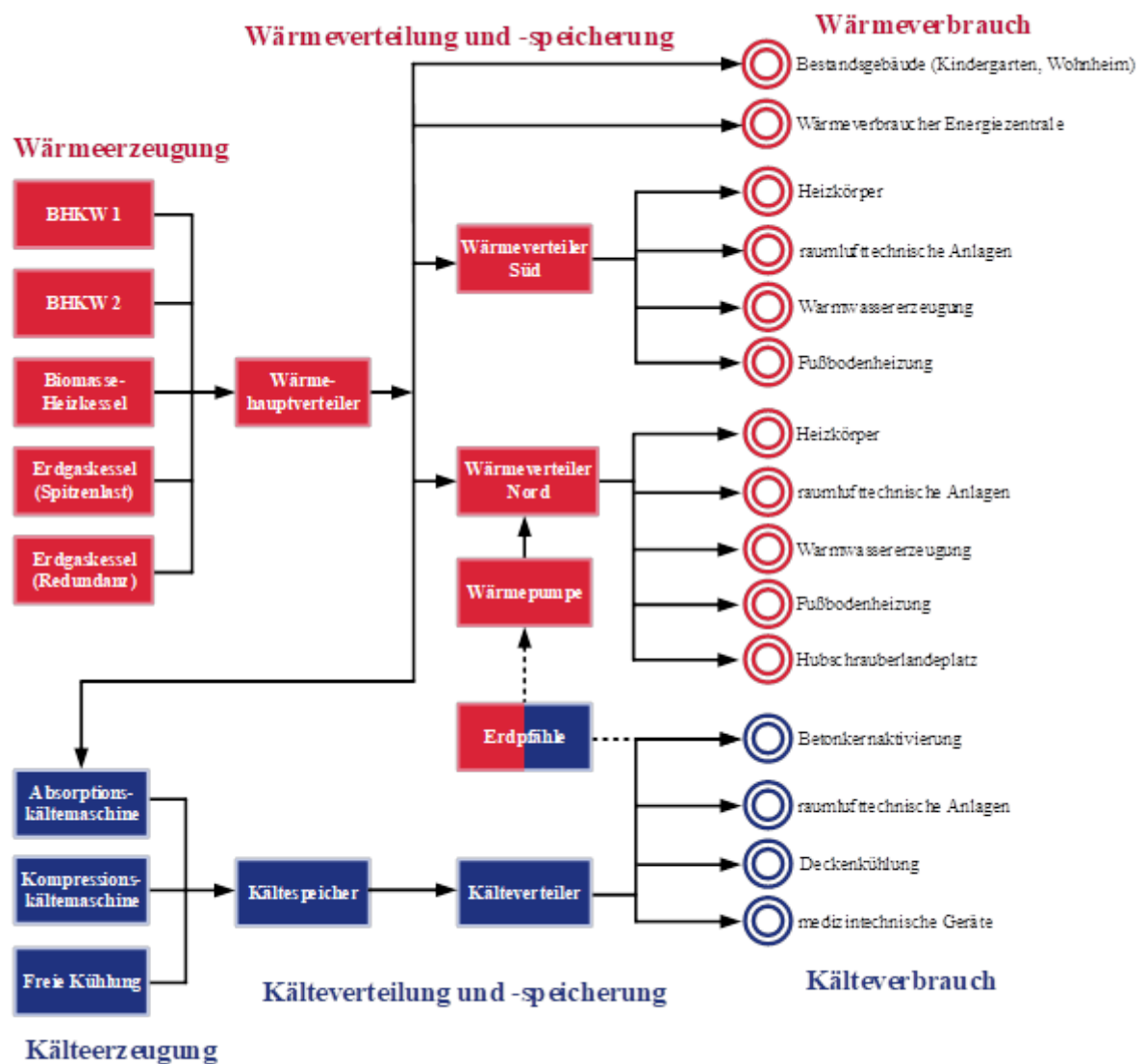


Abbildung 6: Wärme- und Kälteerzeugung sowie entsprechende Verbraucher im GHL

Die dem GHL zugeführten Endenergieströme werden mithilfe von Wärme-, Kälte- und Stromerzeugungsanlagen bzw. Energieumwandlungssystemen in verschiedene Formen der Nutzenergie umgewandelt. Die Anlagen zur Wärme- und Kälteerzeugung sowie der Wärme- und der Kältehauptverteiler sind in der Energiezentrale, die sich außerhalb des GHL-Hauptgebäudes befindet, untergebracht. Von der Energiezentrale werden Wärme und Kälte in einem Technikkanal in das GHL-Hauptgebäude gefördert. Die Wärmeverteilung im Hauptgebäude erfolgt in den Wärmeunterverteilern Nord (Technikraum, 1. UG Mitte Nordflügel) und Süd (Technikraum 2. UG Südflügel) und die Kälteverteilung im Kälteunterverteiler Nord.

Der Bedarf an Kälte wird durch eine Absorptionskältemaschine (AbKM) und eine Kompressionskältemaschine (KKM) sowie durch die Möglichkeit der Freien Kühlung (FK) bereitgestellt. Die AbKM wird mit Wärme angetrieben, wodurch sie die überschüssige Wärmebereitstellung

der BHKWs im Sommer nutzt und damit die Auslastung dieser erhöhen kann. Die erzeugte Kälte wird in einem Pufferspeicher mit einem Volumen von 5.000 l gesammelt.

Zur Wärmeerzeugung werden zwei Erdgas-Blockheizkraftwerke (BHKW1 und BHKW2) und ein Biomasse-Heizkessel (BioMK) eingesetzt. Der verwendete Biomasse-Heizkessel wird mit Holzhackschnitzeln betrieben. Zur Spitzenlastabdeckung und aus Redundanzgründen stehen zusätzlich zwei Erdgas-Heizkessel (Gask_560kW und Gask_1600kW) zur Verfügung. Die erzeugten Nutzenergien werden anschließend über die Verteilungssysteme zu den Verbrauchern geführt oder bei Bedarf zwischengespeichert.

So wird die erzeugte Wärme in einem Vorlaufverteiler/Rücklaufsammler gesammelt, der mit einem Inhalt von 15.000 l gleichzeitig als Pufferspeicher fungiert. Dadurch ist es möglich, die Laufzeiten der Wärmeerzeuger zu erhöhen und Lastspitzen zu glätten, was die Effizienz der gesamten Energieversorgungsanlage erhöhen kann. Der Vorlaufverteiler/ Rücklaufsammler ist vierstufig aufgebaut. Dies bedeutet, dass Wärme bei unterschiedlichen Temperaturniveaus zu- und abgeführt werden kann. Dadurch kann der Bedarf an unterschiedlichen Vorlauftemperaturen effizient gedeckt und können energetische Verluste durch Beimischung verringert werden. In der Energiezentrale sind außerdem zwei Wärmeverbraucher-Heizkreise direkt am Hauptwärmeverteiler angeschlossen. Es handelt sich hierbei um einen Verbraucherkreis für die in der Energiezentrale installierten Heizkörper und einen Verbraucherkreis für die Anbindung der Nahwärmeversorgung umliegender Gebäude (u. a. Schule, Kindergarten).

Der Wärmeunterverteiler Süd ist wie der Wärmehauptverteiler in der Energiezentrale vierstufig ausgelegt und versorgt die vier Heizkreise Heizregister der raumlufttechnischen Anlagen (RLT), Heizkörper, Fußbodenheizung und Warmwasserbereitung (jeweils für den Südflügel).

Bei der Wärmeunterverteilung Nord ist zusätzlich zu den Heizkreisen noch eine aus oberflächennaher Geothermie gespeiste Wärmepumpe (WP) angeschlossen. Zur Geothermienutzung befinden sich in unmittelbarer Umgebung des GHL zehn Erdpfähle (Erdsonden) mit einer Tiefe von je 99 m. In der Winter- und Übergangszeit kann die Wärme des Erdreichs mit der WP auf ein mittleres Temperaturniveau erhöht und somit nutzbar gemacht werden.

Die Nutzung der Geothermie ist jahreszeiten- und außentemperaturabhängig. Bei höheren Außentemperaturen ohne Heizbedarf kann die durch das Erdreich temperierte Sole zur Kühlung direkt durch in die Betondecken im 2. und 3. Obergeschoss eingegossenen, mäanderförmig verlegten Leitungen (Betonkernaktivierung (BTA)) geleitet werden. Dadurch kann die Deckung des sommerlichen Kühlbedarfs des Gebäudes mit Kältemaschinen gezielt gesenkt und Lastspitzen bei der Kühlung minimiert sowie das Erdsondenfeld für die nächste Heizperiode aufgeheizt werden.

Ebenfalls in der Technikzentrale Nord befindet sich die Kälteunterverteilung. Der Vorlaufverteiler/Rücklaufsammler ist zweistufig ausgelegt und hat ein Volumen von 5.000 l. Von diesem werden die Kühlregister der RLT-Anlagen und der medizintechnischen Geräte versorgt. Zusätzlich kann die BTA durch die Kälteunterverteilung versorgt werden.

Es folgt eine kurze Zusammenstellung der gebäudetechnischen Daten unterteilt nach

- Wärmeversorgung
- Kälteversorgung
- Elektrische Versorgung
- Wasserversorgung
- RLT-Anlagen und WRG
- MSR-Technik
- Musterräume

die, soweit sinnvoll bzw. möglich, in Erzeuger und Verbraucher aufgeteilt sind.

Eine technische Dokumentation der im GHl verwendeten Anlagentechnik (allg. Komponenten, Kälteanlagen, RLT+WRG, Wärmeerzeuger) findet sich in 2_Anhang_Anlagentechnik.

3.2.1 Wärmeversorgung

Wärmeerzeuger:

Im GHl gibt es folgende Wärmeerzeuger:

- 2 Gasbrennwertkessel
 - Erdgas Spitzenlastkessel mit 560 kW thermische Leistung (Viessmann VITOPLEX 200 Serie)
 - Erdgas Redundanzkessel mit 1600 kW thermische Leistung (Viessmann VITOPLEX 200 Serie)
- 2 Blockheizkraftwerke (VITOBLOC 200)
 - Elektrische Leistung: 2 x 140 kW
 - Thermische Leistung: 2 x 207 kW
- 1 Biomassekessel Viessmann VITOFLEX 300-VF mit 850 kW thermische Leistung
- 1 Wärmepumpe Viessmann VITOCAL 350-G PRO mit 56,1 kW Wärmeleistung / 43,4 kW Kälteleistung

→ **Summe Wärmeerzeugung: 3480 kW**

Wärmeverbraucher:

Im GHl gibt es folgende Wärmeverbraucher (Angaben z. T. aus Vorplanung „IB gleich“, „WSP“ etc., siehe 3_Anhang_Vorplanung\WSP_Simulationsbericht):

- **Heizkörper**
vorgesehene Systemtemperaturen: VL 55 °C, RL 45 °C
Volumenstrom: Nord 9,4 m³/h, Süd 9,3 m³/h, Energiezentrale 1 m³/h
Leistung: 110 kW+109 kW +12 kW=230kW

- **Fußbodenheizung (FBH)**

vorgesehene Systemtemperaturen: VL 35 °C, RL 30 °C

Volumenstrom: Nord 9,4 m³/h, Süd 6,6 m³/h

Leistung: 55 kW+39 kW=94 kW

(Lt. Simulation besteht ein geringer Wärmebedarf der Patientenzimmer von 6 kWh/m²a, während sich für die anderen Zonen mit Fußbodenheizung ein Jahreswärmeenergiebedarf von ca. 34 kWh/m²a ergibt.)

Folgende Flächen sind für die FBH vorgesehen (siehe Abbildung 7):

- **3. OG:**

Bauteil Süd FBH ca. 590 m² (Patientenzimmer)

Bauteil Nord FBH ca. 590 m² (Patientenzimmer)

Foyer FBH ca. 90 m²

- **2. OG:**

Bauteil Süd FBH ca. 590 m² (Patientenzimmer)

Bauteil Nord FBH ca. 590 m² (Patientenzimmer)

Foyer FBH ca. 105 m²

- **1.OG**

FBH ca. 249 m²

- **EG**

FBH ca. 1069 m²

- **Hubschrauberlandeplatz**

Freiflächenheizung zur Eis- und Schneefreihaltung im Außenbereich: 715 m²

vorgesehene Systemtemperaturen: VL 32 °C, RL 17 °C

Volumenstrom: 18 m³/h

Leistung: 315 kW bzw. 440 W/m²

Die Freiflächenheizung soll z. B. bei Außentemperaturen unter 3 °C in Betrieb gehen. (Lt. ⁴ beträgt die spezifische Auslegungsleistung bei -16 °C 200W/m² mit 550 Vollbenutzungsstunden. Der spezifische Leistungsbedarf ist von der Außentemperatur abhängig und beträgt theoretisch bei 3 °C 35 W/m². So ergibt sich eine theoretische Heizleistung von 715 m² * 200 W/m² = 143 kW).

- **RLT-Geräte**

Außenluftmenge 125.000 m³/h, mittlere Rückwärmzahl WRG 75 %

vorgesehene Systemtemperaturen: VL 60 °C, RL 40°C

Volumenstrom: Nord 13 m³/h, Süd 7,6 m³/h

Leistung: 303 kW+177 kW=480 kW

- **Warmwasserbereitung**

Lade-Durchfluss-Prinzip 2 x 210 kW

vorgesehene Systemtemperaturen: VL 80 °C, RL 50 °C

6 m³/h => 210 kW

- **Beheizung Bestandsgebäude**

vorgesehene Systemtemperaturen VL 85 °C, RL 65 °C

Volumenstrom: 33,8 m³/h

Leistung: 789 kW

- **Absorptionskältemaschine**

Kälteleistung ca. 200 kW

vorgesehene Systemtemperaturen Heizwasser: VL 90 °C, RL 70 °C

Volumenstrom: 16,2 m³/h

Leistung: 378 kW

→ **Summe Wärmebedarf: 2528 kW**

Die Heizlastberechnung für den Neubau ergab einen Raumwärmebedarf von 362 kW (siehe 12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger\Nutzenergie_Wärme\Heizlast DIN EN 12831.pdf).

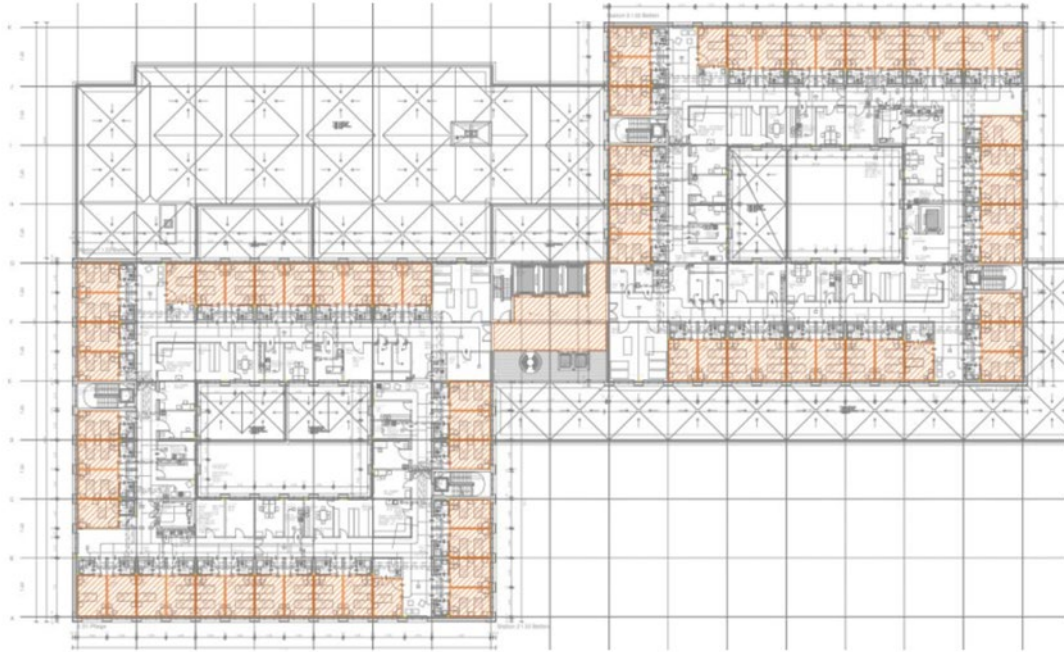


Abbildung 7: Grundrissplan mit Festlegung der Niedertemperatursysteme

3.2.2 Kälteversorgung

Kälteerzeuger:

Die benötigte Kälte wird im GHG durch folgende Kälteerzeuger produziert (vgl. Abbildung 6):

- Absorptionskältemaschine mit Hybridkühlturm 209 kW Kälte
vorgesehene Systemtemperaturen: VL 6 °C, RL 12 °C
- Kompressionskältemaschine mit Rückkühler trocken 269 kW Kälte
vorgesehene Systemtemperaturen: VL 6 °C, RL 12 °C
- freie Kühlung (über Rückkühler trocken)
- Erdsonden für Bauteilaktivierung (BTA) 34 kW
vorgesehene Systemtemperaturen: VL 15 °C, RL 18 °C
- RLT zentrale Wärme- (bzw. Kälte-) Rückgewinnung (ZWRG) 150 kW

→ **Summe Kälteerzeugung: 662 kW**

Kälteverbraucher:

In der Vorplanung wurden vom „IB Gleich“ bzw. „WSP“ folgende große Kälteenergieverbraucher für das GHL genannt (vgl. 3_Anhang_Vorplanung\WSP_Simulationsbericht):

- Umluftkühlung: 152 kW
- Wasserkühlung: 158 kW
davon für die Versorgung von
 - CT – Untersuchungsraum: ~ 15 kW
 - CT – Technikraum: ~ 13 kW
 - Herzkatheter – Technikraum: ~ 3 kW
 - MRT – Technikraum: 1 ~ 60 kW
 - MRT – Technikraum: 2 ~ 65 kW
- Kältebedarf durch Sonneneinstrahlung inkl. Sterilgutflur: 70 kW
- EDV-/ Serverräume: 2x30 kW

→ Summe Kältebedarf: 440 kW → Auslegungsleistung Kälte: 400 kW

Im GHL gibt es jetzt tatsächlich folgende Kälteverbraucher mit i. d. R. vorgesehenen Systemtemperaturen VL 7 °C, RL 12 °C:

- Umluftkühlgeräte: 232 kW
- Wasserkühlung Kühlregister medizintechnische Geräte: 168 kW
- Kühlregister RLT-Anlagen: 424 kW
- EDV-Kühlung/ Serverräume: 2x12 kW
- Bauteilaktivierung (BTA) 106 kW
vorgesehene Systemtemperaturen: VL 16 °C, RL 19,5 °C
Die Bauteilaktivierung kommt ausschließlich in den Bettenzimmern im 2. und 3. OG (siehe Abbildung 8) mit folgenden Flächen zum Einsatz:

OG3:

- Bauteil Süd BTA ca. 590 m²
- Bauteil Nord BTA ca. 590 m²

OG2:

- Bauteil Süd BTA ca. 590 m²
- Bauteil Nord BTA ca. 590 m²

→ Summe Kältebedarf: 954 kW



Abbildung 8: Grundriss mit Festlegung der BTA-Flächen

Die Summe des tatsächlichen Kältebedarfs (954 kW) ist deutlich höher, als die Summe des zuvor geschätzten Kältebedarfs (440 kW). Die Differenz beider Summen ist jedoch plausibel, da nicht alle Verbraucher zur gleichen Zeit laufen, sondern zeitlich versetzt zueinander.

3.2.3 Elektrische Versorgung

Im GHL gibt es neben dem Bezug vom EVU folgende Erzeuger von elektrischer Energie:

- 2 Blockheizkraftwerke (Elektrische Leistung 2 x 140 kW)
- Photovoltaikanlage (ca. 120 kWp)
- Notstromaggregat (NSA) (ca. 200 kW)

Photovoltaik

Beim GHL befinden sich die PV-Module auf dem Dach des Hauptgebäudes, dem Vordach des Haupteingangs und den Fassadenflächen.

Die auf dem Flachdach aufgeständerte PV-Anlage besteht aus insgesamt 368 polykristallinen 60-zelligen Solarmodulen des Typs Talesun TP660P 260W. Die Fassadenanlage bestehen aus 90 goldgefärbten polykristallinen Spezialmodulen des Typs Solarnova SOL236K diamond gold. Zusätzlich sind auf dem Vordach des Haupteingangs noch 6 semitransparente monokristalline Spezialmodule des Typs Schüco 440,37 Wp montiert.

Es ergibt sich folgende Zusammenstellung (siehe auch Tabelle 1):

- 368 x Talesun TP660P 260W $P_{DC} = 95,68 \text{ kWp}$
- 90 x Solarnova SOL236K diamond gold $P_{DC} = 21,24 \text{ kWp}$
- 6 x Schüco 440,37 Wp $P_{DC} = 2,642 \text{ kWp}$

Die Spitzenleistung der PV-Anlage beträgt ca. 120 kWp.

Tabelle 1: Zusammenstellung Daten PV-Anlage GHl

Technische Daten PV-Anlage								
Anbringart	Anbringort	Anzahl Module gesamt	Bezeich.	Ausrichtung	Unterteilung Anzahl Module	PV- Flächen gesamt in m ²	kWp-Anteil	kWp-Faktor
Dachmodul		368	Talesun TP660P 260W			551,03	95,68	0,8
Dachmodul	Süd-Gebäude:				258	386	67,08	
Dachmodul	Energiezentrale				110	165	28,6	
Fassadenmodule	Süd-Gebäude:	90	Solarnova SOL236K diamand gold			155,61	21,24	0,18
Fassadenmodule	Fassade BT Süd		Solarnova SOL236K diamand gold		48	83	11,33	0,09
				Ausrichtung "Ost"	26	45	6,14	0,05
				Ausrichtung "West"	16	28	3,78	0,03
Fassadenmodule	Fassade BT Nord		Solarnova SOL236K diamand gold		42	73	9,91	0,08
				Ausrichtung "Ost"	26	45	6,14	0,05
				Ausrichtung "West"	22	38	5,19	0,04
Halbtransparentes Modul	Vordach Haupteingang	6	Schüco 440Wp			14,14	2,642	0,02

Notstromaggregat (NSA)

Für einen Stromausfall wird zudem ein Notstromaggregat mit einem 6 000 Liter-Dieseltank vorgehalten, das rund 200 kW Spitzenleistung besitzt.

Elektrische Verbraucher

Die größten elektrischen Einzelverbraucher im GHl sind die Raumluftechnik, die medizinischen Großgeräte und die Kompressionskältemaschine. Daneben gibt es eine Vielzahl von weiteren Verbrauchern (vgl. Kapitel 4.8.5).

3.2.4 Wasserversorgung

Die Haupteinspeisung befindet sich an der nordöstlichen Seite der Technikzentrale des 1. Untergeschosses. Aufgrund der erhöhten Lage des Klinikums sowie der Gebäudehöhe ist eine Druckerhöhungsanlage vorhanden, da der öffentliche Versorgungsdruck nicht ausreichend ist. Anschließend wird das Kaltwasser auf den Nord- und Südflügel, sowie den dazugehörigen Warmwasserbereiter verteilt. Um einer Stagnation im Trinkwassernetz entgegenzuwirken, erfolgt die Verteilung auf den Stockwerken über horizontale Ringleitungen, im 2. und 3. Obergeschoss kommen für den Anschluss der Patientennasszellen Strömungsteiler zum Einsatz.

Die Warmwasserbereitung erfolgt über ein Speicherladesystem mit der Möglichkeit zur Legionellenabtötung durch thermische Desinfektion. Der Verzug der Warmwasserleitungen sowie der Zirkulationsleitungen erfolgt parallel zu den Kaltwasserleitungen. Die Zirkulationsleitung wird hierbei bis an die jeweilige Mischarmatur herangeführt, um eine einwandfreie thermische Desinfektion durchführen zu können. Gleichzeitig sichert die Zirkulationsleitung den stagnationsfreien Betrieb des Warmwassernetzes.

Neben der Bereitstellung von Trinkwarmwasser wird im GHL Kaltwasser u. a. für folgende Verbraucher benötigt:

- Zufluss Nord- und Südflügel (+ Warmwasserbereitung Nord und Süd)
- Löschwasser Nachfüllung
- Küche
- Technikzentrale
- Reinigungs- und Desinfektionsgeräte (Sterilisation)
- Umkehrosmose Anlagen.

Ein Schema der Wasserverteilung etc. befindet sich in 1_Anhang_Pläne_Raumbuch\Schemas_Technik\Wasserzähler bzw. 1_Anhang_Pläne_Raumbuch\Pläne (Gesamtschema Wasser LIF_K_A_SA_SC_XX_765_06_F.pdf).

3.2.5 RLT-Anlagen und WRG

Im Klinikum sind zwanzig RLT-Anlagen installiert. Diese sind an drei zentrale Wärmerückgewinnungsgeräte angeschlossen.

Die RLT-Anlagen 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15 und 20 sind nur mit einem Zentralgerät ausgestattet, während die RLT-Anlagen 4, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18 und 19 über zusätzliche Geräte verfügen. Diese „Zusatzgeräte“ als Erweiterung der Zentralgeräte dienen als Verstärkung bei der Versorgung der einzelnen Zonen mit Zuluft. Die RLT-Geräte sind entweder mit einem Heizregister, Kühlregister oder mit beidem ausgestattet. Auf der Zuluftseite sind Filter mit der Filterklasse F9 und auf der Abluftseite mit der Klasse F7 installiert. Ein Mischluftklappensystem befindet sich in den RLT-Zentralgeräten 5, 6, 7, 8 und 9.

In Abbildung 9 sind die Versorgungszonen der RLT-Anlagen dargestellt. Die roten, gelben und grünen Symbole kennzeichnen die Ausstattung eines RLT-Zentralgerätes mit einem Heiz- und/oder Kühlregister (z.B. versorgt die Anlage 3 das 1.OG des Nordflügels und ist mit einem Heiz- und Kühlregister ausgestattet).

Eine Dokumentation und Aufstellung der einzelnen RLT-Anlagen findet sich in 2_Anhang_Anlagentechnik\RLT+WRG.

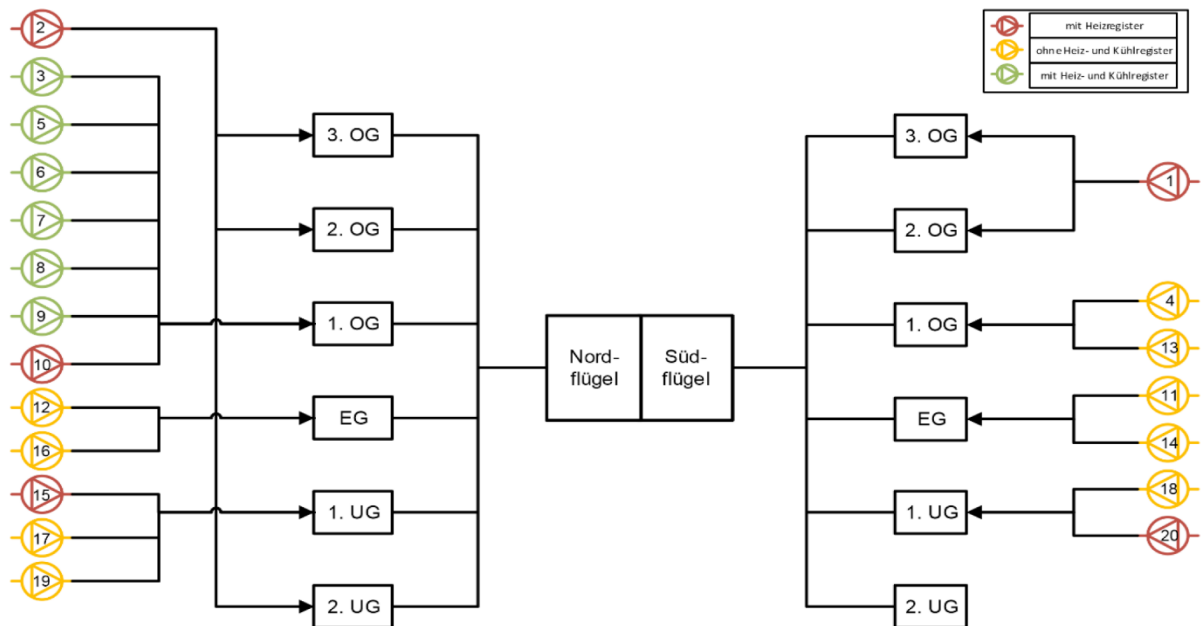


Abbildung 9: Versorgungszonen der RLT-Anlagen

In Abbildung 10 ist als Beispiel die RLT-Anlage 2 des GHG dargestellt. Es sind die wichtigsten Komponenten wie Zu- und Abluftventilatoren, Volumenstromregler, Schalldämpfer, Filteranlagen, Heiz- und Kühlregister sowie die dazugehörige Sensorik dargestellt.

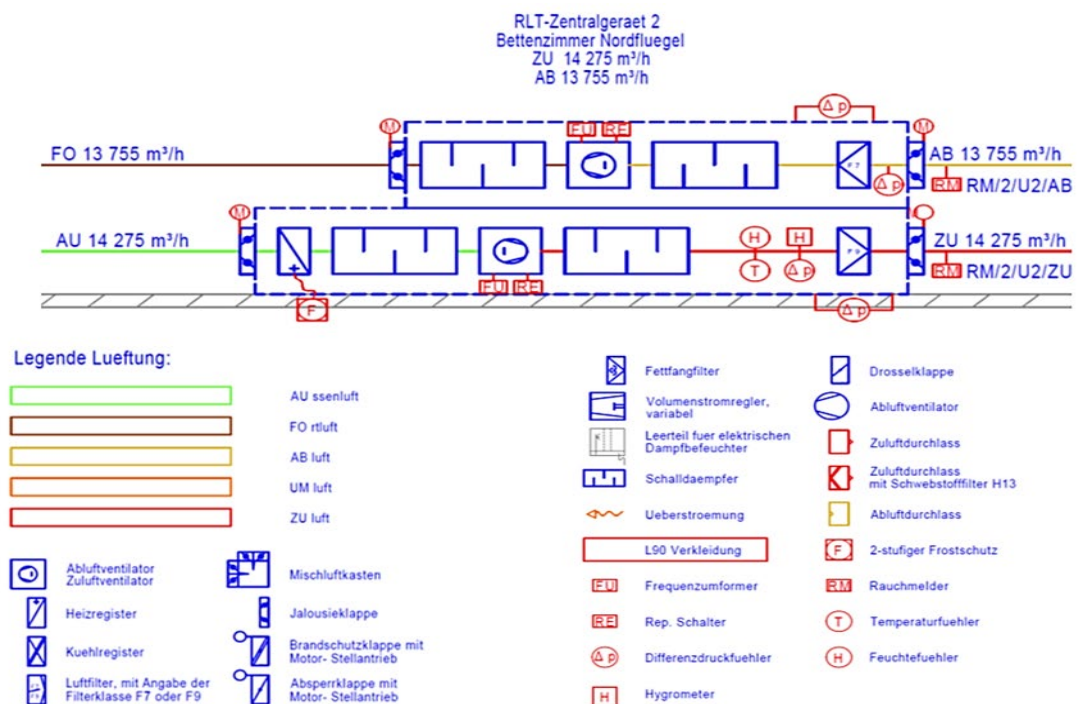


Abbildung 10: GHG - RLT-Anlage 2

Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung (WRG) bei den RLT-Anlagen erfolgt durch drei zentrale Kreislaufverbundsysteme. Diese verfügen über eine zweistufige adiabate Verdunstungskühlung und besitzen einen Wirkungsgrad von 75 %. Es sind Filter der Filterklasse F7 installiert. Die Wärmetauscher besitzen eine Leistung von jeweils 177 kW und werden zur indirekten Nacherwärmung genutzt.

Das WRG-System, das sich im ersten Untergeschoss des Nordflügels befindet, verfügt einen zusätzlichen Wärmetauscher, der eine Leistung von 160 kW besitzt. Der Wärmetauscher wird zur Auskopplung der Kälteleistung verwendet.

In Tabelle 2 ist die Zuordnung der RLT-Anlagen an die jeweiligen zentralen Wärmerückgewinnungssysteme dargestellt. Z.B. bezieht das zentrale WRG-System im 2. UG des Südflügels (ZWRG SUG2) die Abwärme des Abluftstroms von den RLT-Anlagen 1, 18 und 20 und bereitet eine vorgewärmte Zuluft für die RLT-Anlagen 1, 18 und 20.

Tabelle 2: Zuordnung der WRG-Anlagen zu den RLT-Anlagen

WRG - Anlage	Zuordnung an die RLT - Anlagen
ZWRG NUG1	2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 16, 17, 19
ZWRG SUG1	4, 9, 11, 13, 14
ZWRG SUG2	1, 18, 20

Abbildung 11 zeigt das Schema einer der drei zentralen Wärmerückgewinnungsanlagen, die im GHL installiert sind (Howatherm HP-WRG System Hydroplus).

In einem Kreislaufverbundsystem ist auf der Ab- und Zuluftseite jeweils ein Luft-Sole-Wärmeübertrager eingebaut. Die Kopplung der Wärmeübertrager erfolgt durch fluidführende Rohre. Die in der Abluft enthaltene Wärmeenergie wird an die Sole übertragen. Die erwärmte Sole wird mithilfe einer Pumpe zum Wärmeübertrager auf der Zuluftseite gefördert. Dabei wird der kalte Außenluftstrom beim Durchströmen des Wärmetauschers vorgewärmt. Die abgekühlte Sole fließt wieder zum abluftseitigen Wärmeübertrager und der Vorgang wiederholt sich (vgl. Abbildung 11).⁵

Zur Erweiterung der Funktionen der zentralen Wärmerückgewinnungssysteme sind diese mit adiabaten Verdunstungskühlungen ausgestattet. Bei diesem Verfahren wird die Abluft mit Wassertröpfchen adiabatisch befeuchtet. Die Tröpfchen verdunsten und die dafür benötigte Energie wird der Luft entzogen. Dies führt zur Temperaturabnahme und Zunahme der absoluten Feuchte der Fortluft. Wird eine niedrigere Fortlufttemperatur als die Außenlufttemperatur erreicht, wird die Außenluft durch die Wärmerückgewinnung abgekühlt.⁵

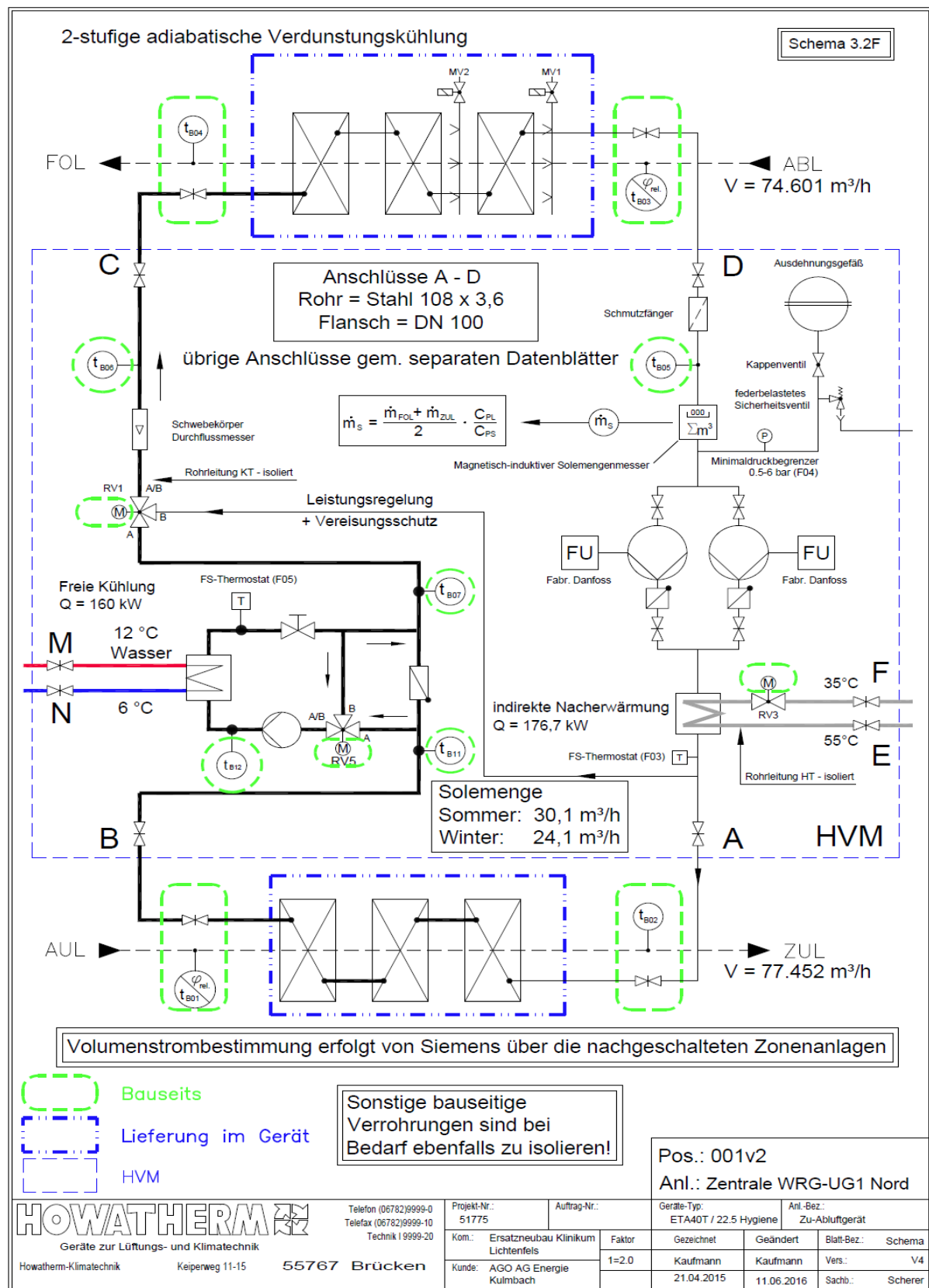


Abbildung 11: Schema Wärmerückgewinnung mit Kreislaufverbundsystem (Howatherm) mit Heiz- und Kühlregister (Vgl. 2_Anhang_Anlagentechnik/RLT+WRG/1.68 51775_101_HVM.pdf)

3.2.6 MSR-Technik

Genauere Informationen zur MSR-Technik sind in 4_Anhang_MSR zu finden:

- **A** MSR Funktionsbeschreibung Wärmeerzeuger (ISP1AS01_Entwurf.pdf (Siemens))
- **B** MSR Funktionsbeschreibung RLT-Anlagen U1 Nord Wärmeerzeuger (ISP02AS03.pdf (Siemens))
- **C** Abgleich Hochschulen mit Fa. Siemens für Simulation UNI Bayreuth etc. (Regelungskonzept GHK (Siemens).pdf) ()

3.2.7 Musterräume

Im Rahmen des Monitoring-Projektes wurden 2 Patientenzimmerbereiche mit je 2 Räumen und 2 Funktionsräume als „Musterräume“ mit Sensoren zur Messung der Raumluftqualität und zur Erfassung des Energieverbrauches ausgestattet. Hinsichtlich der Raumluftqualität werden die Raumtemperatur, die relative Feuchte, der Kohlendioxidgehalt und das Fensteröffnungsverhalten (Patientenzimmer) erfasst. Die Beheizung erfolgt in Abhängigkeit des Raumes über eine Fußbodenheizung oder über die Raumlufttechnik. Auch eine Kombination beider Technologien ist möglich. Der Kühlbedarf wird zum größten Teil über die Raumlufttechnik abgedeckt. Die Musterräume sind im Nordflügel des Klinikums lokalisiert:

- Musterräume „Patientenzimmer Nord-Süd“ (2x2 Betten); Raumnummer: 41.6.12 und 41.6.20; 2. OG (MustR_NS)
- Musterräume „Patientenzimmer Nord-Nord“ (2x2 Betten); Raumnummer: 41.6.58 und 41.6.62; 2. OG (MustR_NN)
- Musterraum Funktionsraum „MRT“ Raumnummer: 21.6.80; Erdgeschoss Nord (MustR_MRT)
- Musterraum Funktionsraum „OP septisch“ Raumnummer: 31.6.80; 1. Obergeschoss Nord (MustR_OPSt)

Kapitel 4.8.7 beschreibt detailliert die Wärme-, Kälte- und die elektrische Versorgung der oben aufgeführten Musterräume. In diesem Kapitel befinden sich außerdem entsprechende Grundriss- und Lagepläne.

Quellenverzeichnis für Kapitel 3

¹ <https://www.sps-architekten.de/projekte/krankenhaeuser/klinikum-lichtenfels.html>

² https://www.lkr-lif.de/media/www.lkr-lif.de/org/med_236/7858_269_-_kosten_klinikum.pdf

³ <https://www.regiomed-kliniken.de/fachbereiche-Klinikum-lichtenfels.aspx>

⁴ WSP. (2012). Neubau Helmut-G.-Walther-Klinikum GmbH Lichtenfels - Thermische Gebäudesimulation (siehe auch 3_Anhang_Vorplanung\WSP_Simulationsbericht)

⁵ VDI 3803-Blatt 5, Raumlufttechnik. Geräteanforderungen. Wärmerückgewinnungssysteme (VDI-Lüftungsregeln), Berlin: Beuth Verlag GmbH, 04.2013.

4 Energiemonitoring

Ein umweltschonender und wirtschaftlicher Betrieb technischer Anlagen in Gebäuden setzt voraus, dass überhaupt die Energie- und Medienströme (elektrische Energie, thermische Energie, Frisch- oder auch Warmwasser) messtechnisch erfasst und ausgewertet werden. Ein entsprechendes Mess- und Monitoringkonzept kann dafür sorgen, dass sich betriebs- und verbrauchsrelevante technische Anlagen nach Inbetriebnahme des Gebäudes sinnvoll einregulieren und überwachen lassen und dadurch z. B. die Überprüfung von Garantiewerten bei der Gebäudeabnahme oder die (langfristige) Optimierung des Energie- und Wasserverbrauchs ermöglicht wird. Ein Energiemonitoring lässt sich auch in ein Energiedatenmanagement nach DIN EN ISO 50001* integrieren.¹

Weiterhin kann ein umfangreiches Monitoring z. B. dazu dienen, Projekte wie das „Green Hospital Lichtenfels“, die sich durch neue, innovative und zukunftsfähige Strategien, Konzepte und Technologien auszeichnen, im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitforschung zu dokumentieren und optimieren.²

Entsprechend wird im Rahmen einer Zertifizierung nach DGNB im Rahmen des Kriteriums „Geordnete Inbetriebnahme“ u. a. ein Monitoringkonzept gefordert, um „das fertiggestellte Gebäude kurzfristig in einen geordneten Betrieb zu überführen, um somit die geplanten Eigenschaften des Gebäudebetriebs ... und ... eines sparsamen Umgangs mit Energieträgern“ sicherzustellen.³

Im Folgenden werden kurz einige grundlegende Definitionen für das Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen vorgestellt. Dann folgt ein allgemeiner Überblick über Mess- und Monitoringkonzept, Datenerfassung und Datenübermittlung sowie Verarbeitung und Analyse der Messdaten und die Anwendung auf das hier vorgestellte Projekt „Green Hospital Lichtenfels“.

4.1 Definitionen Monitoring

Monitoring befasst sich mit der Beobachtung und Überwachung von Systemen und Abläufen. Bei Gebäuden kann zwischen technischem, kaufmännischem und infrastrukturellem Monitoring unterschieden werden. Eine gute Zusammenfassung zum Thema Technisches Monitoring findet sich z. B. in ¹ bzw. ⁴.

Beim technischen Monitoring in Gebäuden besteht das Ziel darin, entsprechende technische Anlagen zu überwachen, Abweichungen vom Regelbetrieb bzw. Fehler festzustellen sowie Optimierungsmöglichkeiten der Anlagen, aber auch des Nutzerverhaltens, zu erkennen.

* Durch das Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen (EDL-G) wurden Nicht-KMU verpflichtet, bis zum 5. Dezember 2015 periodische Energieaudits bzw. ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 oder ein validiertes Umweltmanagementsystem nach EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) durch- bzw. einzuführen.

Für ein effizientes und sinnvolles technisches Monitoring ist dessen Berücksichtigung bereits in der Planungsphase des Gebäudes notwendig, da der nachträgliche Einbau eines entsprechenden (Mess-)Systems häufig sehr aufwendig ist. Das technische Monitoring kann weiterhin unterschieden werden in Energiemonitoring, Anlagenmonitoring sowie Gebäude- und Behaglichkeitsmonitoring.⁴

Das Energiemonitoring (siehe Abbildung 12) überwacht die Energie- und Medienverbräuche sowie u. a. Leistungen und Volumenströme eines Gebäudes mit entsprechenden Zählern. Eine grobe Erfassung dieser Daten findet in jedem Gebäude bereits mit den Abrechnungen des Versorgungsunternehmens statt. Sollen im Rahmen des Energiemonitorings eingebaute Zähler auch für Abrechnungszwecke verwendet werden, müssen diese regelmäßig geeicht und ausgetauscht werden.⁴

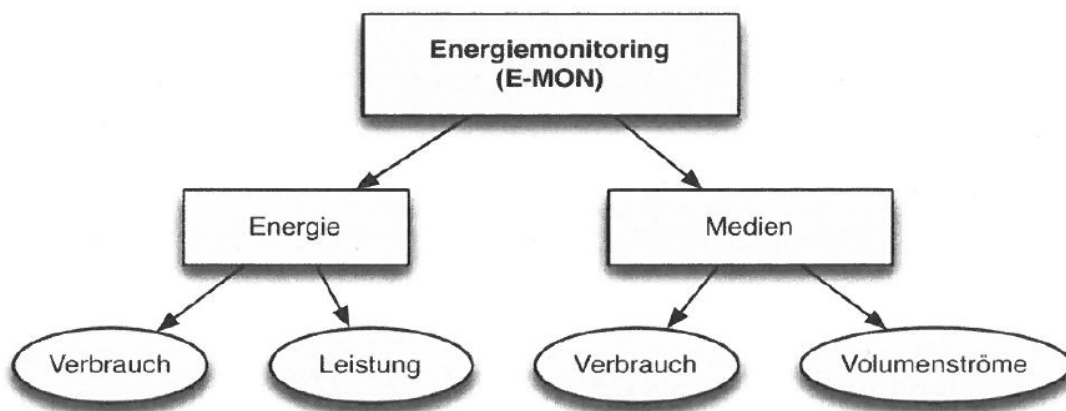


Abbildung 12: Bestandteile des Energiemonitorings nach ⁴

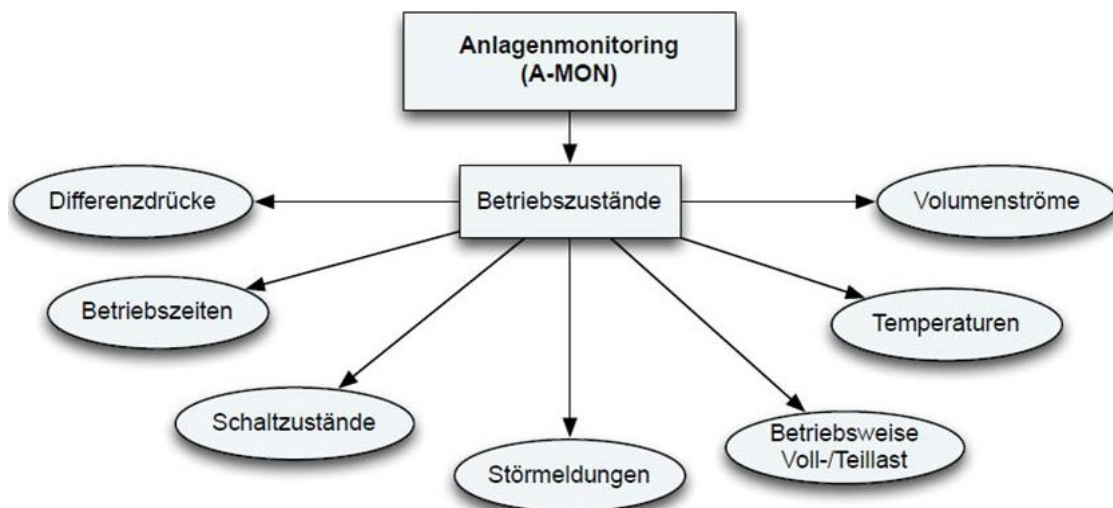


Abbildung 13: Bestandteile des Anlagenmonitorings nach ⁴

Im Gegensatz zum Energiemonitoring werden beim Anlagenmonitoring (siehe Abbildung 13) einzelne Komponenten einer technischen Anlage und deren Betriebszustände beobachtet. Hierbei könnte es sich beispielsweise um die Temperaturen eines Heizregisters oder den Vo-

lumenstrom einer Lüftungsanlage handeln. Mit diesen detaillierten Daten wird eine Funktionskontrolle, Analyse von Fehlzuständen, bedarfsgerechte Wartung sowie Betriebsoptimierung ermöglicht.⁴

Beim Gebäude- und Behaglichkeitsmonitoring werden Raumparameter wie Temperatur, Luftfeuchte, CO₂-Gehalt, aber auch z. B. Fensterkontakte betrachtet, um eine behagliche Raumkonditionierung und das Nutzerverhalten zu erfassen.

Im Zeitraum der ersten zwei Betriebsjahre spricht die VDI-Richtlinie 6041¹ von einem sogenannten Einregulierungsmonitoring (ERM). Nach¹ wird im Rahmen des ERM's die Anlage in ihren SOLL-Zustand überführt. Das ERM ist notwendig, um die gesamte Anlage unter dem Einfluss des Gebäudes, des Nutzerverhaltens und der Regelung betrachten zu können und dadurch unter Realbedingungen Optimierungsmaßnahmen abzuleiten. Neben der Erfassung unterschiedlicher Energieverbräuche müssen für ein ERM-Betriebsparameter wie z. B. Schaltzeiten, Volumenströme, aber auch Temperaturen und Drücke von der Gebäudeleittechnik zur Verfügung gestellt werden können.¹

Bei der Durchführung eines ERM's werden Kennwerte oder sogenannte KPI (Key Performance Indicators) ermittelt, wie z.B.

- Nutzungs-, Aufwands- und/oder Leistungszahlen der einzelnen Wärme- bzw. Kälteerzeuger
- Gesamtnutzungsgrade und/oder Aufwandszahlen der Gesamtheit an Wärme- bzw. Kälteerzeugern
- Kennwerte für die Energieverteilung
- Kennwerte für den Endenergieverbrauch
- Kennwerte für den Wasserverbrauch

und diese auf ihre Plausibilität hin überprüft.

Ein ERM sollte anschließend in ein Langzeitmonitoring (LZM) überführt werden. Das LZM wird dann idealerweise über die gesamte Nutzungsphase des Gebäudes durchgeführt. Ziel des LZM ist, das Betriebsoptimum, welches durch das ERM eingestellt wurde, zu erhalten. Hierzu sollen die Kenn- und Sollwerte aus dem ERM durch ständige SOLL- IST-Vergleiche abgeglichen und im Notfall entsprechende Maßnahmen veranlasst werden. Denkbar wäre hier die Instandhaltung, die Behebung von Fehlern oder auch die Nachregulierung der Anlage.¹

Durch den ständigen Vergleich, der im ERM ermittelten Kennwerte mit dem IST-Zustand, soll es möglich sein den Anlagenzustand effizient zu bewerten und Veränderungen frühzeitig zu erkennen. Bei umfangreicheren Veränderungen in der Anlagentechnik kann es auch notwendig sein, ein weiteres ERM durchzuführen.¹

4.2 Zähler/ Datenpunkte

Für ein Energiemonitoring werden Zähler (z. B. für Wärme- oder Strom) und Sensoren für Zustandsgrößen (z. B. Temperaturen, Luftfeuchte, Stellsignale) benötigt. Zähler und Sensoren werden allgemein als Datenpunkte bezeichnet. Nur wenn es sich eindeutig um einen Energie- oder Wasserzähler handelt, wird zusätzlich der Begriff Zähler verwendet.

Weiterhin kann zwischen physikalischen Datenpunkten und virtuellen Punkten unterschieden werden. Physikalische Datenpunkte sind real installierte Zähler/Sensoren, die tatsächlich Werte messen. Virtuelle Punkte sind fiktive Datenpunkte, bei denen z.B. entsprechende Sensorwerte in einem Auswertungsprogramm z. B. zur Berechnung der Wärmemenge verknüpft werden. Die Wärmemenge wäre dann ein berechneter, virtueller Datenpunkt. Entsprechende virtuelle Datenpunkte könnten z.B. auch zum Umrechnen von Einheiten, zur Berechnung eines physikalisch fehlenden Zählers (z.B. Gesamtzähler minus Zähler 1 ergibt Wert eines physikalisch nicht vorhandenen virtuellen Zähler 2) oder zu einer besseren Übersicht (z.B. Verdopplung eines Zählers) verwendet werden.

Ebenso ist es möglich, mit einem „Messgerät“ mehrere Datenpunkte zu erzeugen. So kommunizieren beispielsweise moderne Umwälzpumpen mit einem Kommunikationsmodul z. B. über BACnet* mit der Gebäudeleittechnik. Von den Pumpen können so u. a. die Leistungsaufnahme, die Medientemperatur, die Betriebsstunden oder auch die Bereitschaftszeit (inkl. Betrieb) direkt ausgelesen werden. In diesem Fall werden aus einem Messgerät z.B. vier Datenpunkte generiert.

Aus wissenschaftlichen Gründen sollten für ein Monitoringprojekt idealerweise möglichst viele Zähler und Sensoren installiert sein. Dies ist allerdings i. d. R. auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich. Auf der anderen Seite sollte aber zumindest eine Mindestausstattung von Zählern für relevante Energie- und Medienverbräuche bei Anlagen und technischen Einrichtungen berücksichtigt werden, wie sie beispielsweise vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltung (AMEV)^{5,9} (siehe Tabelle 3) oder vom Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW⁶ empfohlen werden.

* BACnet (Building Automation and Control Networks) ist ein Netzwerkprotokoll für die Gebäudeautomation. „Das Ziel von BACnet ist es, offene, interoperable Gebäudeautomation im Zweckbau zu ermöglichen. BACnet ist die Beschreibung einer Methode, Daten zwischen Systemen der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK-Technik) auszutauschen. Der Begriff System schließt dabei Geräte der Feldebene – also Fühler und Antriebe – ebenso ein, wie die Automations- (DDC-Geräte, Controller) und Managementebene (Gebäudeleittechnik).“ [<https://www.ta.hu-berlin.de/res/co.php?id=14081>]

Tabelle 3: Empfohlene Zählerausstattung nach EnMess⁵

<i>Messgröße</i>	<i>Zähler vorsehen ab</i>
Wärme	
Gebäudeanschluss	je Gebäude
Kesselanlagen	500 kW
Wärmeverbraucher	50 kW
Betriebsstundenzähler für Pumpen mit Anschlusswert	1 kW
Dampfbefeuchtung	10 kW
Kälte	
Je Anlage	50 kW
Betriebsstundenzähler	je Aggregat
Kälteverbraucher	je Gebäude
Betriebsstundenzähler für Pumpen mit Anschlusswert	1 kW
Elektrische Energie	
Gebäudeanschluss	je Gebäude
Besondere Verbrauchsgruppen (z. B. Küche, Wäscherei)	immer
RLT-Anlagen	10.000 m³/h
Betriebsstundenzähler je Zuluftgerät	1.000 m³/h
Zentrale, elektrisch beheizte Warmwasserbereitung	50 kW
Kälteanlagen	10 kW
BHKW (Strom- und Betriebsstundenzähler)	je Aggregat
Wasser	
Gebäudeanschluss	je Gebäude
Besondere Verbrauchsgruppen (z. B. Küche, Wäscherei)	immer
Warmwasserbereitung	je Anlage
Rückkühlwerk	je Anlage
Brennstoffe (Gas, Öl, ...)	
Gebäudeanschluss	je Gebäude
Regenerative Energien	
Weitere Zähler zur Beurteilung der Effizienz der Anlagen	

Im Rahmen des Projektes wurde begleitend zur Planung der Gebäudetechnik von den Hochschulen ein „Wunsch“-Messkonzept zum Energie- und Anlagenmonitoring mit ca. 700 Zählern u. ca. 2000 Datenpunkten entwickelt (siehe Abbildung 14 und 0_Anhang_Statusberichte\2015_Dez_Messkonzept), das entsprechend in der Ausschreibungsphase bei der Vergabe MSR zu größeren Teilen (ca. 630 Zähler und ca. 570 Datenpunkte) berücksichtigt werden konnte.

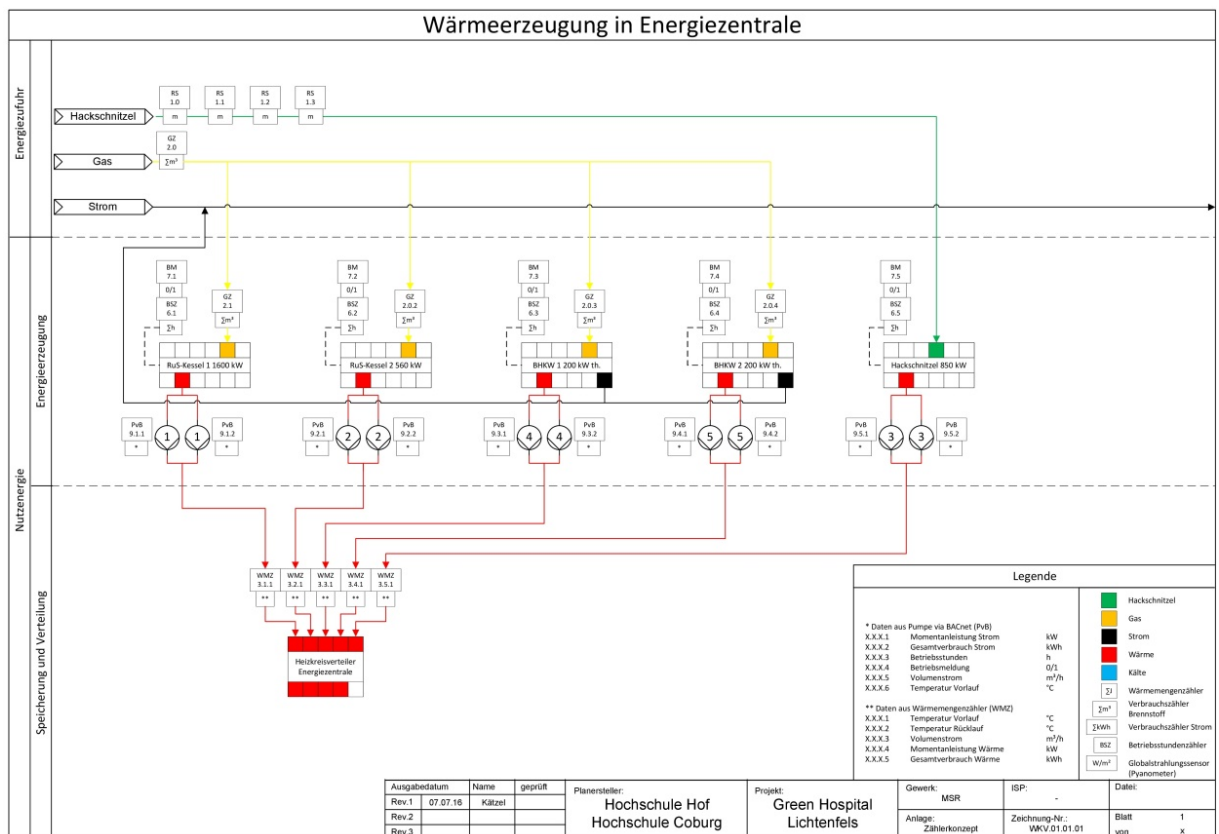


Abbildung 14: Beispiel Schema Messkonzept Wärmeerzeugung Energiezentrale

Um ein Messkonzept mit vielen Datenpunkten in eine entsprechende Auswertungssoftware umsetzen zu können, ist der Aufbau einer entsprechenden Datenpunktstruktur (Topologie) notwendig. Die Strukturierung der Datenpunkte in verschiedene Ebenen und Unterebenen (ähnlich einer Windows-Ordnerstruktur) kann unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen, z. B. nach dem Ort der Zähler/Sensoren (z. B. alle Zähler/Sensoren im Raum A) oder nach der Art der Zähler/Sensoren (z. B. alle Wärmemengenzähler). Entsprechende Topologien/Strukturen für dieses Projekt finden sich im Kapitel 4.5 und z. B. im 0_Anhang_Statusberichte\2019_Dez_Statusbericht oder 5_Anhang_Strukturen.

4.3 Datenerfassung und -übermittlung

Die für das Energiemonitoring benötigten Daten des Gebäudes bzw. der Gebäudetechnik kommen entweder aus extra für das Monitoring eingebauten messtechnischen Systemen/Zählern (z. B. Wärmemengenzähler) oder z. B. direkt aus Sensoren der Gebäudeautomation (GA) (z. B. Temperatursensoren). Für Wärmemengen-, Wasser-, Gas- und Stromzähler sollten grundsätzlich M-Bus* fähige Zähler vorgesehen werden (keine Impulszähler), um eine bewährte Schnittstelle zum GA-System nutzen zu können.

* Der M-Bus (Meter-Bus) ist ein kostenoptimierter Feldbus zur Übertragung von Energieverbrauchsdaten. Ein zentraler Master kommuniziert über eine Zweidrahtbusleitung mit den Busteilnehmern (pro Segment bis max. 250 Slaves), wie Wärme-, Wasser-, Elektro-, Gaszähler etc. sowie mit Sensoren und Aktoren jeglicher Art [<https://www.wago.com/de/m-bus>]

Für die schon für Regelungszwecke auf der Feldebene vorhandenen Sensoren, die üblicherweise nur einen Momentanwert anzeigen, muss zur historischen Aufzeichnung (Speicherung) der Messwerte ein sogenanntes Trendlog-Objekt in der Automationsebene (in Abbildung 15 z. B. Fabrikat Siemens Desigo PX) angelegt werden („getrendeter“ Sensor). Die detaillierte technische Umsetzung bzw. Einbindung der Sensoren und Zähler hängt im Wesentlichen vom verwendeten GA-Fabrikat ab.

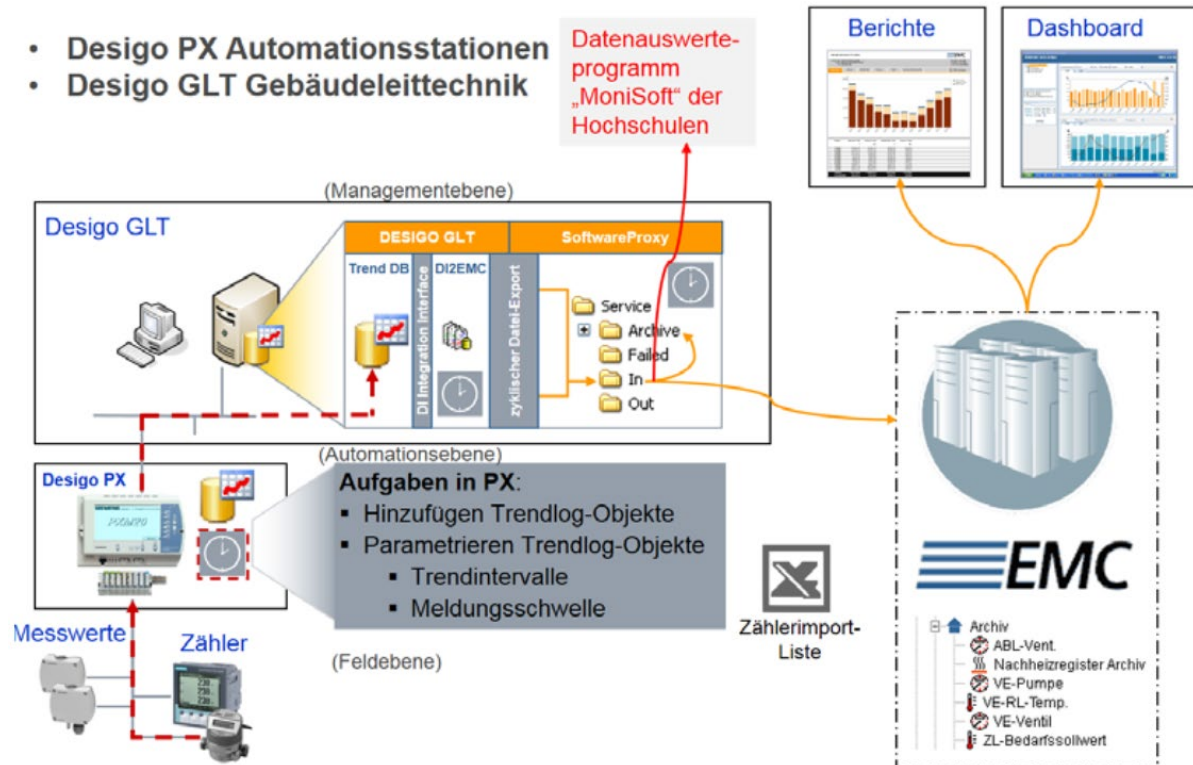


Abbildung 15: Datenfluss der Messwerte von der Feldebene bis zur Datenauswertung nach Siemens ⁷

Die Werte der Energiezähler, Temperaturfühler etc. werden über die GA mindestens im Viertelstundentakt abgefragt (im Einzelfall sind auch höhere Auflösungen z. B. 5 min oder 1 min sinnvoll bzw. notwendig) und als „Rohdaten“ in einer Datenbank der GA gespeichert. Der komplette Datenabruf innerhalb des M-BUS-Systems sollte innerhalb der Viertelstundenintervalle nicht länger als 1 Minute andauern. Das ist bei der Auslegung und Anzahl der Pegelwandler und der Netzauslastung zu berücksichtigen.

In den Zählern oder auf der Automationsebene eventuell enthaltene Wandlerfaktoren* sind vor der Datenspeicherung und dem Export von der GA in die „echten“ Werte umzuwandeln.

* Die Zählwerksanzeige eines Messwandlerzählers multipliziert mit dem Wandlerfaktor ergibt die tatsächlich geflossene Energiemenge.

Die Genauigkeit (Nachkommastellen) der gemessenen physikalischen Werte sollte z. B. betragen:

- Arbeit (x,xx kWh)
- Leistung (x,xx kW)
- Temperatur (x,x °C)
- Durchfluss (x,xx m³/h)

Beim Zugriff einer Energiemonitoring-Software auf Daten der Gebäudeautomation ist generell zwischen einem Echtzeitzugriff auf Momentanwerte von Datenpunkten und einem Datenzugriff auf historisierte Datensätze zu unterscheiden. Dies ist je nach Fabrikat unterschiedlich.

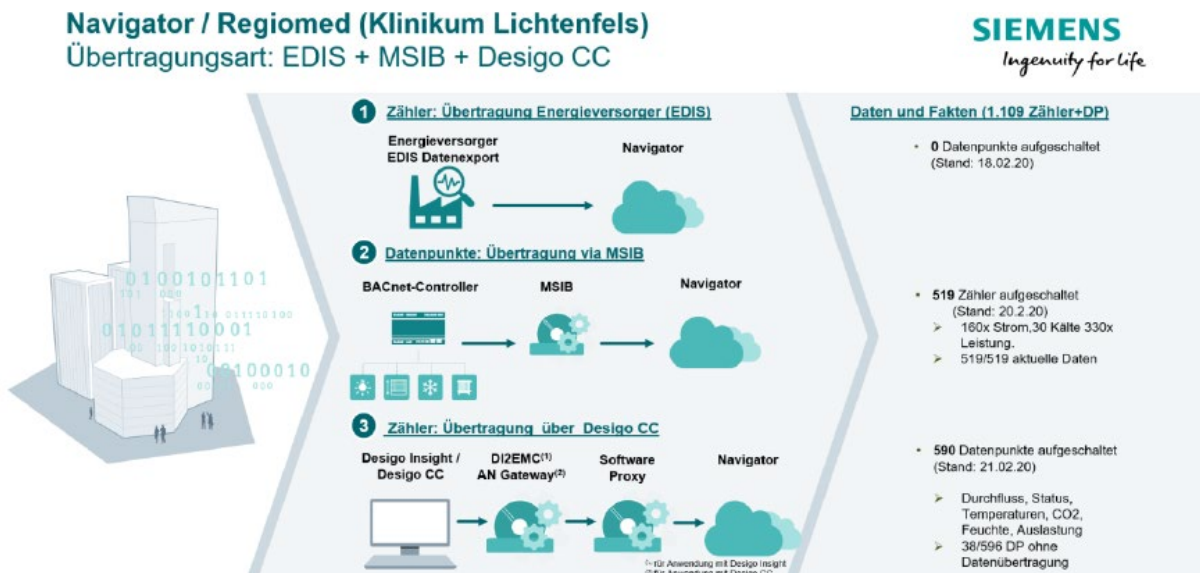
Im Projekt wurde u. a. die Cloud-basierte Plattform Siemens Navigator* (frühere Bezeichnung EMC) verwendet. Die Messwerte der entsprechenden Zähler/Datenpunkte werden hier aus der Gebäudeautomation heraus in eine Datenbank übertragen und können dann mit der Auswertesoftware betrachtet und analysiert werden.

Für die Datenübertragung in die Datenbank wurde mit zwei Übertragungsarten gearbeitet (siehe auch Abbildung 16): Für die Zählerdaten aus dem BACnet-Controller wurde die Softwarelösung „MSIB“** und für die „getrennten Sensoren“ die Desigo CC verwendet. Eine grundsätzlich mögliche Übertragung von Daten des Energieversorgers (EDIS) fand in diesem Projekt nicht statt.

Um die Monitoringdaten auch mit anderen Programmen (z. B. „Monisoft“) auswerten und z. B. auch als Randbedingungsdaten für MATLAB-Simulationen der Universität Bayreuth verwenden zu können, werden die Messdaten in Form von CSV-Dateien an die Hochschulen exportiert. Hierzu wurde von Siemens eine „App“ entwickelt, die ohne den Umweg über den Siemens Navigator direkt auf die Datenbank zugreift und eine gewünschte CSV-Datei erstellt, die von den Hochschulen regelmäßig abgerufen werden kann.

* Die Cloud-basierte „Advantage-Navigator“-Softwareplattform von Siemens ermöglicht „dem Benutzer die Überwachung und Analyse der gesamten Gebäudeleistung, basierend auf Kennzahlen für Energieverbrauch, Energiebeschaffung und Nachhaltigkeit. Die Advantage-Navigator-Plattform geht aus der "Energy Management and Controlling"-Lösung (EMC) von Siemens hervor, die Energiedaten erfasst, in einen Zusammenhang bringt und analysiert.“ [<https://w1.siemens.ch/buildingtechnologies/ch/de/news/news2014/seiten/advantage%20navigator.aspx?istablet=true>]

** „MSIB ist ein von Siemens entwickelter BACnet Leser, der es ermöglicht, mehrere BACnet Devices auszulesen. MSIB verwendet die Polling Art, um Daten des Gebäudecontrollers auszulesen. Polling bedeutet, dass die Daten nach einem variablen Zeitintervall von MSIB aktiv abgefragt werden.“ [Blatter, Sandro; Daniels, Benjamin. Cloud based BIM with real time visualisation. Bachelorarbeit, Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil, 2019].

Abbildung 16: Übertragungsarten in den Siemens-Navigator⁸

4.4 Datenpunktbezeichnung

Grundsätzlich sollte für die Datenpunkte ein einheitliches Adressierungs- und Bezeichnungssystem zwischen allen Beteiligten festgelegt/abgestimmt werden. Leider war dies in diesem Projekt in der Planungs- und Ausführungsphase nicht immer möglich.

Für die Datenpunkte aus dem BACnet gibt es eine sogenannte Informationspunktliste (EDE-Liste). „EDE-Listen (Engineering Data Exchange) werden benötigt, um den Austausch von projektspezifischen BACnet-Informationen zwischen den Projektpartnern in standardisierter Form zu dokumentieren.“ ... „Sie bestehen aus einer Tabellenkalkulation mit der EDE-Liste als Übersicht und ergänzenden Tabellen für standardisierte Eingaben. In einer EDE-Liste müssen alle Ein- und Ausgabeobjekte mit ihren in der Liste vorgegebenen Properties vollständig dokumentiert werden, d. h. Einheit, Beschreibungstext, Grenzwerte usw. müssen sinnvoll eingetragen sein. Alle BACnet-Objekte in EDE-Listen müssen auch in den Automationsschemata eingetragen sein, damit bei den zugehörigen Grafikbildern in der Bedienoberfläche der Zusammenhang zwischen BACnet-Objekten und GA-Funktionen erkennbar wird.“⁹

Beispielhaft ist in Tabelle 4 und Tabelle 5 ein Ausschnitt einer EDE-Liste gezeigt (siehe z.B. auch 0_Anhang_Statusberichte\2018_Dez_Statusbericht), die entsprechende Informationen zu jedem BACnet-Objekt enthält. Dabei wird unterschieden zwischen:

- **Pflichtfeldern (mandatory):**
 - Benutzeradresse (keyname)
 - Technische Objektnamen, -adressen und -typen

Tabelle 4: EDE-Liste Pflichtfelder

#mandatory	mandatory	mandatory	mandatory	mandatory
# keyname	device obj.- instance	object-name	object-type	object- instance
EZ'3p01'MtrHCE'MtrH09'HCap	2098177	EZ'3p01'MtrHCE'MtrH09'HCap	0	105
EZ'3p01'MtrHCE'MtrH09'FI	2098177	EZ'3p01'MtrHCE'MtrH09'FI	0	104
EZ'3p01'MtrHCE'MtrH10'HCap	2098177	EZ'3p01'MtrHCE'MtrH10'HCap	0	108
EZ'3p01'MtrHCE'MtrH10'FI	2098177	EZ'3p01'MtrHCE'MtrH10'FI	0	107

■ **Freiwilligen Feldern (optional):**

- Klartext zum Objekt (description)
- Bereichsgrenzen, Wertebereich (max./min., present value)
- Obere und untere Alarmgrenzen (high limit, low limit)
- Zustandstexte (state text)
- Physikalische Einheit (unit)
- Lese-/Schreibrecht auf das Objekt (settable)
- Ursprüngliche Adresse im Automationssystem (vendor specific address)

Tabelle 5: EDE-Liste optionale Felder

optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
description	present- value- default	min- present- value	max- present- value	settable	supports COV	hi-limit	low-limit	state-text- reference	unit-code	vendor- specific- address	object- tag	object- tag-text
Wärmeleistung		-3,403E+44	3,4028E+44	N					48		1	
Durchfluss		-3,403E+44	3,4028E+44	N					135		1	
Wärmeleistung		-3,403E+44	3,4028E+44	N					48		1	
Durchfluss		-3,403E+44	3,4028E+44	N					135		1	

Als ein Beispiel für eine BACnet-Bezeichnung aus dem Projekt GHL sei hier genannt:

BACnet-name: EZ'3p01'MtrHCE'MtrH09'HCap

Dies bezeichnet einen Wärmemengenzähler (Mtr = Meter, HCap = HeatCapacity bzw. Wärmeleistung) in der Energiezentrale (EZ) beim Heizkreisverteiler, für die Einspeisung des 1600 kW-Gaskessels*.

Um z. B. im Auswertungsprogramm Siemens-Navigator eine Zuordnung zu einem bestimmten Zähler/Datenpunkt herzustellen, muss dort (bei „Datenpunkt bearbeiten“) der BACnet-Name als „Datenquelle“ angegeben werden.

* Eine „Kopplungsliste“ von Siemens mit Zählerbeschriftungen findet sich in 4_Anhang_MSR\MSR_Funktionsbeschreibung\Prechtel\2021_Kopplungsliste

Da die BACnet-Bezeichnung eines Datenpunktes schwer zu lesen ist, wurde im Projekt ein eigenes Bezeichnungssystem entwickelt, bei dem der Datenpunkt „EZ'3p01'MtrHCE'M-trH09'HCap“ jetzt folgendermaßen bezeichnet wird:

Datenpunktname: WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_Gask_1600kW

mit

WMZ = Wärmemengenzähler

Qpkt = Wärmeleistung

EZ = Energiezentrale

HKV = Heizkreisverteiler

Einsp_Gask_1600kW = Einspeisung des 1600kW-Gaskessels.

Die Datenpunktnamen sind aus maximal 8 Ebenen zusammengesetzt. Eine entsprechende „Übersetzungstabelle“ für die Abkürzungen befindet sich im 6_Anhang_div_Tabellen\Uebersetzungstabellen_Abk_Legende.xls.

Grundsätzlich ermöglicht so der Datenpunktname, die Art des Zählers und dessen zugehörigen ungefähren Ort im Krankenhaus zu ermitteln.

Zusätzlich wurde von den Hochschulen für jeden Datenpunkt eine eindeutige Nummer vergeben, die in entsprechenden anderen Auswerteprogrammen (z. B. Programm MoniSoft, siehe Kapitel 4.6.2) zur Identifikation verwendet wird („MoniSoft-Nummer“). Im Auswerteprogramm Siemens-Navigator wird zur eindeutigen Identifikation eines Datenpunktes eine 7-stellige Datenpunkt-ID verwendet, was leider erst zu spät kommuniziert wurde, sodass jetzt zwei parallele Nummernsysteme existieren.

Bei den „getrendeten Sensoren“ aus der Desigo CC konnten die zugehörigen BACnet-Namen nicht als „Datenquelle“ verwendet werden, sondern es wurde eine spezielle Adresse z. B. in folgender Form benötigt:

System1: GmsDevice_1_2098189_83886108.general.Data:_offline._value

Ein anderes Problem stellte die Zuordnung eines (BACnet-)Datenpunktes zu entsprechenden Bezeichnungslisten bzw. Plänen und Strangschemata mit entsprechenden Unterverteilungen (Feldbezeichnungen), Informationsschwerpunkten etc. dar.

Zur Arbeit mit den entsprechenden Datenpunkten sind zwei Vorgehensweisen denkbar:

Eine mögliche Situation besteht darin, dass einer Person der genaue Datenpunktname bekannt ist und der entsprechende Zähler im Plan (und somit auch dessen tatsächlicher physischer Standort im Gebäude) gesucht wird.

Zum anderen ist es möglich, dass eine Person zwar den Zähler im Gebäude bzw. Plan kennt, jedoch nicht dessen Datenpunktnamen, welcher für eine eindeutige Identifizierung nötig ist.

Es wurde deshalb eine Dokumentation erstellt (siehe auch 7_Anhang_Doku_Datenpunkte), um jeden Zähler/Sensor in beide Richtungen genau identifizieren zu können. Dazu wurden die Zähler/Sensoren in Anlehnung an die Gewerke in verschiedene Gruppen unterteilt:

- Datenpunkte bei Raumluftheizungsanlagen
- Wärmemengenzähler
- Kältemengenzähler
- Sonstige Zähler/Datenpunkte (z. B. Musterräume, Wetterdaten, Wasser).
- Strom-/Elektrozähler

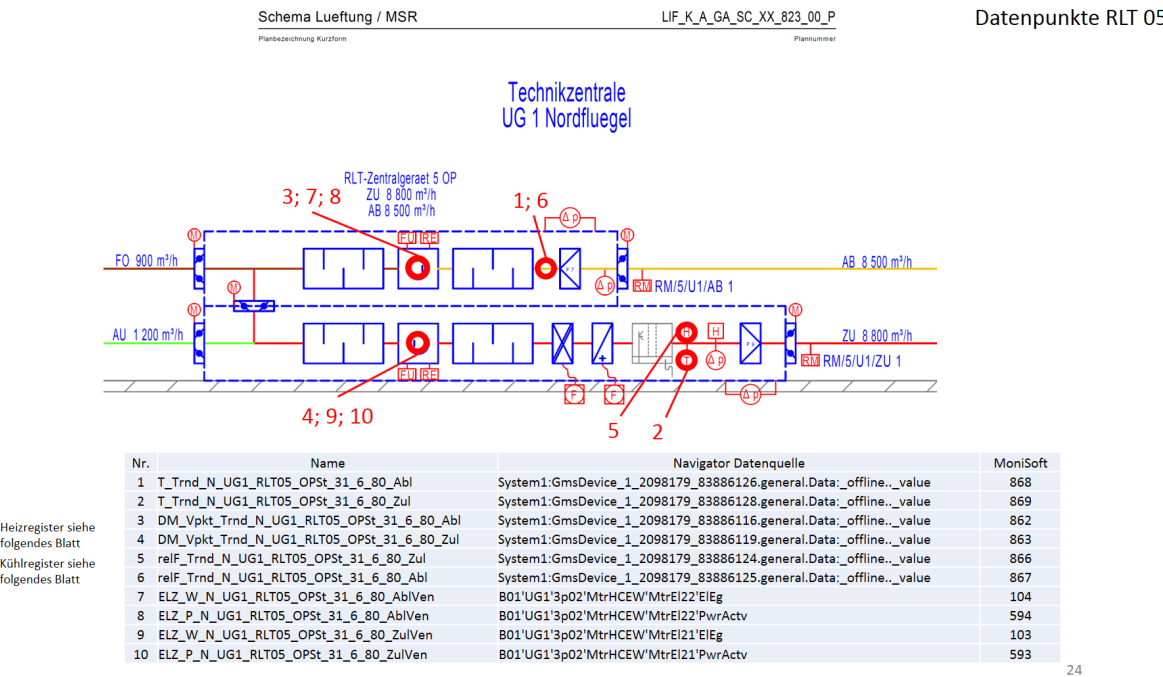


Abbildung 17: Beispielhafte Darstellung des Identifizierungssystems der Datenpunkte

Beispielhaft ist hier in Abbildung 17 für eine Raumluftheizungsanlage ein Ausschnitt der Dokumentation zum Auffinden der Zähler/Datenpunkte dargestellt.

Im Planausschnitt sind entsprechende Zähler/Sensoren markiert und in einer Liste die Datenpunktnamen, Navigator Datenquelle und die MoniSoft-Nummer zu finden. (Eine Zuordnung der System1_GMSDevice ...-Namen zu BACnet-Namen aus der Desigo CC ist über die Datei ...Div_Daten_GHL.xlsx möglich (siehe auch 6_Anhang_div_Tabellen)).

Für die Elektrozähler und die von ihnen gemessenen Raumbereiche (UV-Bereiche) etc. liegen verschiedene Pläne/Schemen/Listen vor:

- Grundrisse, auf denen die zu einer Unterverteilung gehörenden Raumbereiche markiert sind (Papierpläne und z.T. digitale Pläne, siehe 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\Plaene_mit_UVs) (Diese Informationen finden sich z. T. auch im Raumbuch (1_Anhang_Pläne_Raumbuch\Raumbuch) als Liste).
- Strangschema Fa. AAB mit örtlicher Zuordnung der Unterverteilungen (siehe 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\Strang_EV_AAB)
- Stromlaufpläne/Artikelstücklisten (Revisionsunterlagen) und Felder/Sicherungen Fa. AAB/Krömer (siehe 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\Listen_AAB)
- Schema Zählerkonzept Elektro (Visio-Datei) (siehe 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\ELT_Visio)

Ausgehend von den Revisionsunterlagen

- NSHV AV_Revision__04.02.2019.pdf (Stromlaufplan und Artikelstückliste)*

- NSHV SV_Revision__04.02.2019.pdf (Stromlaufplan und Artikelstückliste)*

können über die Bezeichnungen (siehe beispielhaft Abbildung 18: NSHV SV N04; BMK (Betriebsmittelkennzeichnung) P7; Zielbezeichnung Abgang UV 01.1.2 SV 2.UG Technik) entsprechende Zähler lokalisiert werden.

Projekt: Klinikum Lichtenfels		=NSHV SV +N04	
Projekt-Nr.: PR1606146	Revisionszeichnung		Blatt 40
Zeichnungs-Nr.: 00024808			von 109 Bl.
12	13	14	15
			16

BMK	Ident.-Nr.
-P7	2601/3967

Zielbezeichnung		Abgang UV 01.1.2 SV 2.UG Technik	
F		Datum	12.04.2017
		Gezeichnet	Leukwa, D.
	Revision	Inbetriebnahme	01.10.2016
		Gepr.	Leukwa, D.
Zustand	Änderung	Datum	Name
1	2	3	4

Abbildung 18: Beispiel Bezeichnungen in Stromlaufplan

* 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\Listen_AAB\aktuell\NSHV_Revision

Entsprechendes ist möglich bei den Plänen Felder/Sicherungen

- REV_NSHV_AV.pdf*

- REV_NSHV_SV.pdf*

über die Feldbezeichnungen (z. B. Feld N04) und die Sicherung (z. B. F7, UV 01.1.2 SV 2.UG). Eine örtliche Zuordnung ist über die Strangschemen möglich**.

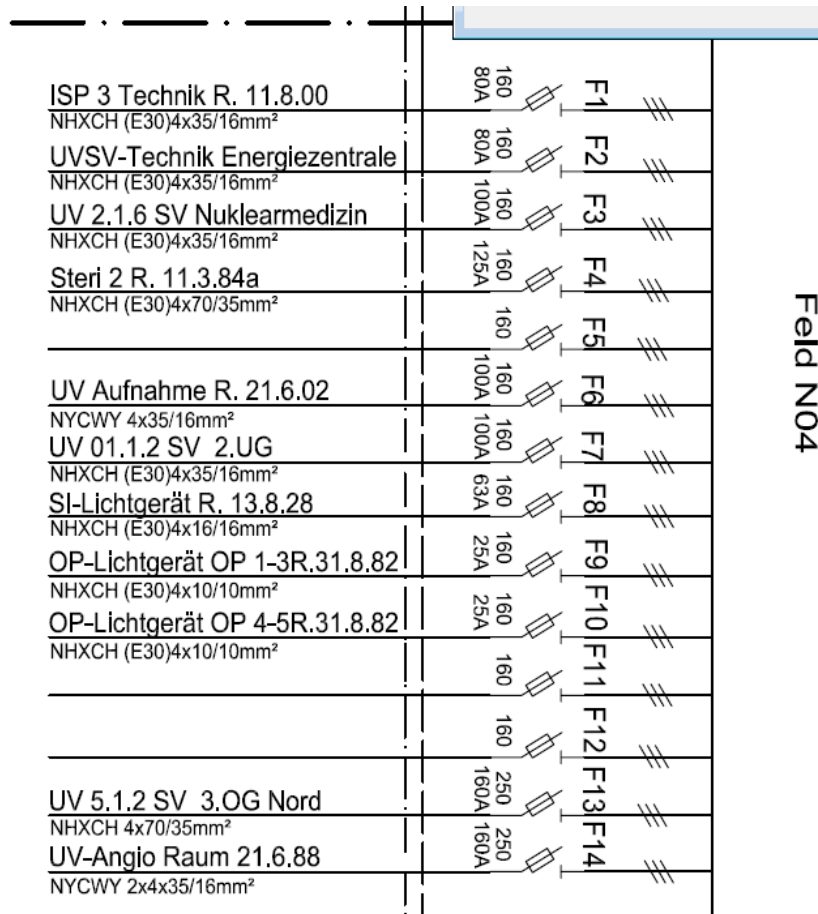


Abbildung 19: Beispiel Bezeichnungen Felder/Sicherungen

Da die Unterlagen mit z. T. unterschiedlichen Inhalten von verschiedenen Planern, die z. T. unterschiedliche Bezeichnungssysteme/Bezeichnungen verwendet haben, stammen, wurden diese verschiedenen Angaben in einer Liste zusammengefasst (AAB_NSHV_AV_SV.xls)***. Diese Inhalte wurden in die allgemeine Datenpunktliste Div_Daten_GHL.xlsx**** übernommen (siehe Abbildung 20)

* 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\Listen_AAB\aktuell\AAB_Felder

** 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\Strang_EV_AAB

*** 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\Listen_AAB\aktuell\AAB_Felder (In der Datei AAB_NSHV_AV_SV.xls wurden unterschiedliche Listen zum „Vergleich“ eingearbeitet: AAB_NSHV_AV, AAB_NSHV_SV, Liste Zähler ELT, ELT Belegung ISPO4, ...)

**** 6_Anhang_div_Tabellen\....Div_Daten_GHL.xlsx Blatt: Übersetzungstabelle

Navigator Name		Name im Plan "2.UG"	Name im Plan "1. UG Energiezentrale"	Name im Plan "Strangschema"	"Schöffmann" Spalte: Name Zähler	"Schöffmann" Spalte: physikalischer Standort	"Krömerliste" Spalte: Feld/Ort	"Krömerliste" Spalte: Vergleich Spalte 1 mit NSHV SV, ... Zeilbezeichnung: Blatt XXX E/F 3/4
2		30	32	33	34	35	36	
ELZ_W_SV_M_UG2_Flur_01_9_00_UV_01_1_2		01.9.00 Flur	2.UG Flur 01.9.00	UV 01.1.2 SV	2.UG Technik	Feld N04 P7	Abgang UV 01.1.2 SV 2.UG Technik	
ELZ_P_SV_M_UG2_Flur_01_9_00_UV_01_1_2		01.9.00 Flur	2.UG Flur 01.9.00	UV 01.1.2 SV	2.UG Technik	Feld N04 P7	Abgang UV 01.1.2 SV 2.UG Technik	

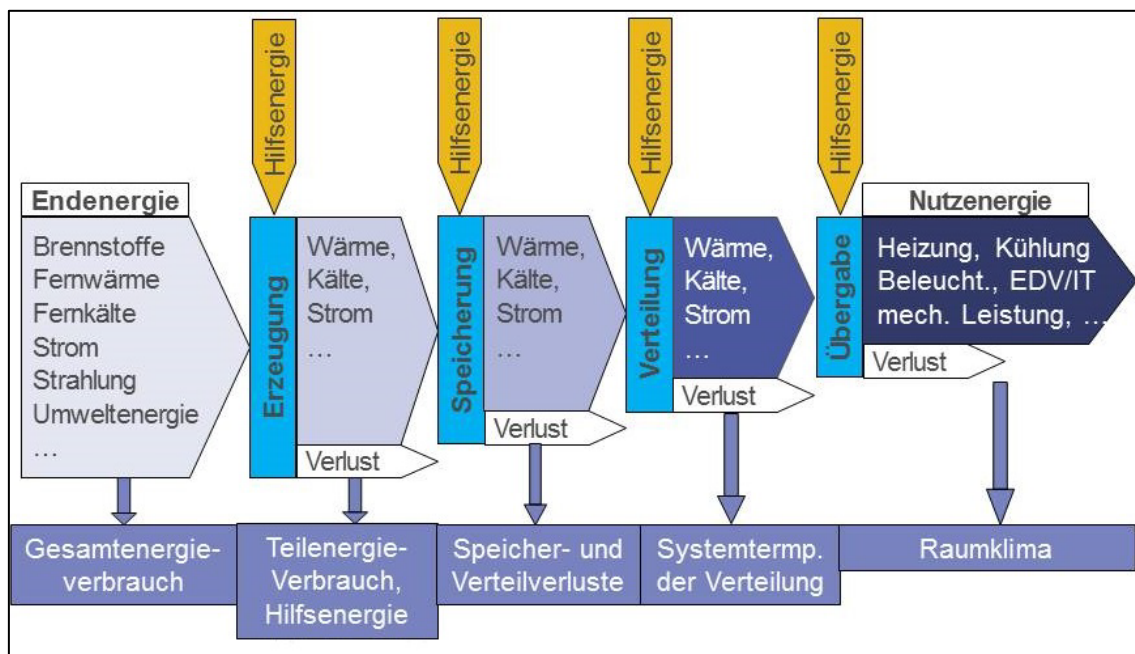
Abbildung 20: Ausschnitt Datenpunktliste ...Div_Daten_GHL.xlsx

Dadurch ist jetzt eine Zuweisung von Plan nach Datenpunktbezeichnung und von Datenpunktbezeichnung nach Plan möglich.

In Schemas der Datei ...Visio_ELT.pdf* ist das elektrische Zählerkonzept mit entsprechenden Datenpunktnamen dargestellt.

4.5 Mess- und Monitoringkonzept

Grundlagen eines Mess- und Monitoringkonzeptes in Gebäuden und entsprechende Beispiele findet man z. B. in 1, 2, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14 Ausgangspunkt eines Monitoringkonzeptes bildet i. d. R. die sog. Energieflussanalyse, wo idealerweise der Weg zwischen Endenergie und Nutzenergie (Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe) incl. Verlusten und Hilfsenergie für alle Systeme bilanziert wird. Abbildung 21 zeigt den Aufbau einer Energieflussanalyse von der Endenergie bis hin zur Nutzenergie.

Abbildung 21: Energieflussanalyse nach Fraunhofer ISE ⁴

* 7_Anhang_Doku_Datenpunkte\DP_Elektro\ELT_Visio

Endenergie ist die von einem Versorger bezogene beziehungsweise gekaufte Energie, welche beim Verbraucher direkt ankommt. Nutzenergie hingegen entsteht beim Endverbraucher häufig aus Endenergie durch eine Energieumwandlung (Erzeugung). Die Energieverluste der Erzeugungs-, Speicherungs- und Verteilungsprozesse entstehen durch Wärme-, Kälte- und Stromverluste. Der Energiebedarf, welcher benötigt wird, um die Endenergie in Nutzenergie umwandeln zu können (z. B. Pumpenenergie), wird auch als Hilfsenergie bezeichnet.

Je nachdem, wo beim Monitoring ein entsprechender Zähler verbaut ist, sind also entsprechende Verluste (und u.U. auch Hilfsenergien) zu berücksichtigen. Zusätzlich können auch externe Zähler eines Energieversorgers über entsprechende (Monats-) Abrechnungen berücksichtigt werden. So ergibt sich eine gewisse Hierarchie der Zähler bzw. ein Bilanzkonzept (siehe Abbildung 22, nach Siemens Navigator*).

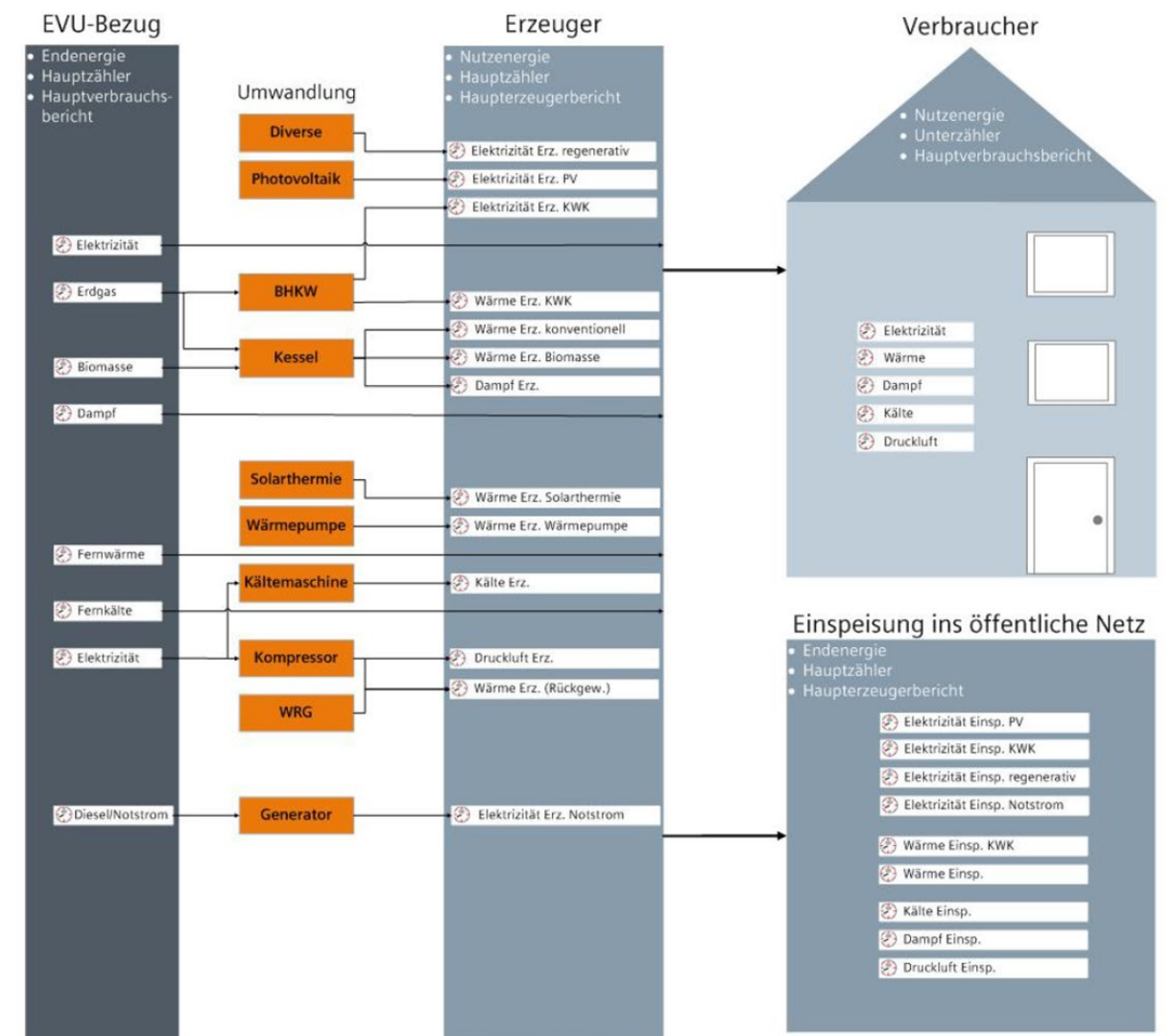


Abbildung 22: Aufbau eines allgemeinen Bilanzkonzepts ¹⁵

* Der Siemens Navigator ist ein webbasiertes Energiedatenmanagement-System zur Erfassung, Analyse und Überwachung von Energieverbrauchsdaten und wird im Projekt GHL verwendet.

Im Folgenden werden die einzelnen Stufen eines Bilanzkonzeptes in Anlehnung an den Siemens-Navigator¹⁵ genauer beschrieben (siehe auch Abbildung 23). Dabei wird unterschieden zwischen

- Bezug vom Energieversorgungsunternehmen (EVU)/Endenergie
- Umwandlung (Erzeuger)/Nutzenergie
- Verbraucher/Nutzenergie

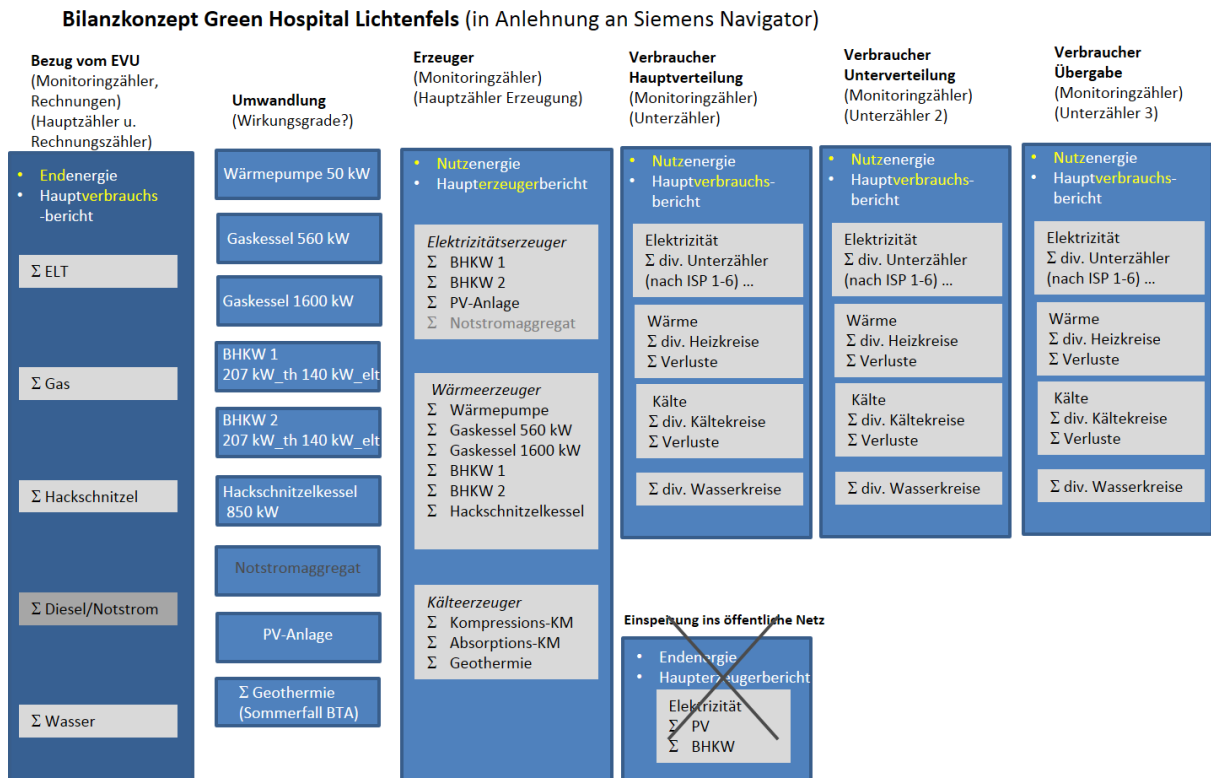


Abbildung 23: Aufbau Bilanzkonzept GHL

4.5.1 Bezug vom Energieversorgungsunternehmen (EVU)/Endenergie

Grundsätzlich stellen Verbrauchsabrechnungen eine erste Möglichkeit dar, auch ohne eigene Monitoringzähler einen Überblick über den Medien- und Energieverbrauch eines Gebäudes bzw. einer Liegenschaft zu bekommen. Üblich sind hier (monatliche) Rechnungen von Versorgern, wie z.B.

- Gas in kWh oder in m³_Norm
- „Strom“ in kWh bzw. Leistung in kW
- Hackschnitzel in SRm* oder produzierte (Nutz-) Energie in kWh
- Diesel in l
- Wasser in m³

* Ein Schüttraummeter (SRm) entspricht einer lose geschütteten Holzmenge von einem Kubikmeter.

Auf Anfrage erhält man zudem u.U. 15 Min Zählerwerte vom Versorger (Gas, „Strom“) für einen bestimmten Zeitraum. Oft können diese Werte der Versorger allerdings nicht (oder nur bei entsprechenden Gebühren) kontinuierlich in „Echtzeit“ in ein Monitoringkonzept übernommen werden. Mithilfe der Rechnungen und Zählerwerte der Versorger ist es grundsätzlich möglich, die bezogene Endenergie eines Objektes zu ermitteln. Im Monitoringfall sind i. d. R. zusätzlich zu den Rechnungszählern der Versorger eigene Monitoringzähler zur Erfassung der bezogenen Medien verbaut.

Leider sind die Zähler der Versorger oft auf einer anderen „Stufe“ (Versorger: Mittelspannungsseite „Strom“, Mitteldruck Gas) als die Monitoringzähler (Verbraucher: Niederspannungsseite „Strom“, Niederdruck Gas). So ergibt sich bei einem Vergleich der Zählerwerte vom Versorger zu den Monitoringwerten eine Differenz, die z. B. im Fall der elektrischen Energie die Verluste des Netz-Transformators (Mittelspannung /Niederspannung) darstellen (übliche Verluste ca. 1,5 %).

Üblicherweise wird die elektrische Spitzenlast (Leistung, Power) vom Versorger nicht über einen extra Zähler ermittelt, sondern aus den 15 Min Werten der Wirkarbeit (gemittelte) Leistungen berechnet ($1/4 \text{ h-Wert Wirkarbeit} \cdot 4$). Beim Vergleich dieser Werte mit den gemessenen Werten der Monitoringzähler kann ein zeitliches Problem auftreten, wenn nicht alle Messwerte exakt zum selben Zeitpunkt vorliegen.

Eine andere Problematik kann beim Vergleich der Gaszählerwerte entstehen. Gas ist druck- und temperaturabhängig. Wenn die Gasmessung vom Versorger in Mitteldruck und die Monitoringzähler in Niederdruck gemessen werden, muss für einen sinnvollen Vergleich jeweils eine Umrechnung in Norm- m^3 erfolgen.

Bei Hackschnitzeln wird oft nicht die Liefermenge in SRm, sondern die produzierte Wärmeenergie für die Abrechnung verwendet. Die produzierte Wärmeenergie ist allerdings Nutzenergie und keine Endenergie. In dem Wert ist bereits der Wirkungsgrad des Kessels enthalten. Um eine saubere Bilanz der Endenergie zu erhalten, müsste eine Rückrechnung der Nutz- in Endenergie erfolgen.

Auf der Stufe der Endenergie gibt es somit u.U. zwei Ebenen, die etwas voneinander abweichen können:

- Versorgerdaten (Rechnungen, etc.)
- Werte eigener Monitoringzähler

Im Siemens Navigator besteht die Möglichkeit, hier zwischen sogenannten Rechnungszählern (für die händische Eingabe von Rechnungen) und Hauptzählern (Werte der Monitoringzähler) zu unterscheiden.

4.5.2 Umwandlung (Erzeuger)/ Nutzenergie

Die Umwandlung der Endenergie in Nutzenergie erfolgt in entsprechenden Erzeugern.

Wärmeerzeuger:

- Redundanz-, Spitzenlastkessel (z. B. Gasbrennwertkessel)
- Blockheizkraftwerk (BHKW)
- Biomassekessel
- Wärmepumpe
- ...

Kälteerzeuger:

- Absorptionskältemaschine
- Kompressionskältemaschine
- Freie Kühlung
- Erdsonde
- ...

Erzeuger elektrische Energie:

- Blockheizkraftwerke (BHKW)
- Photovoltaik (PV) für den Eigenbedarf
- Notstromaggregat
- ...

Ein Sonderfall entsteht bei der Rückeinspeisung erzeugter Energie ins öffentliche Netz (z. B. PV-Anlage, BHKW). Hierbei wird die Nutzenergie wieder zur Endenergie.

Mit den gemessenen Werten der Endenergie und der erzeugten Nutzenergie sind entsprechende Wirkungsgradbetrachtungen für die Erzeuger möglich.

Im Siemens Navigator wird für die Stufe Umwandlung/Erzeugung ebenfalls die Zählerart Hauptzähler verwendet. Eine Unterscheidung der Nutzenergie zur Endenergie ist durch die Wahl des Mediums möglich (Beispiel: Endenergie = Medium Erdgas; erzeugte Nutzenergie = Medium Kälte Erzeugung).

4.5.3 Verbraucher/ Nutzenergie

Zur Messung des Energieverbrauchs im Gebäude können entsprechende Monitoringzähler an verschiedenen Stufen (Verteilung, Speicherung, Übergabe bzw. Unterzähler Stufe 1, Unterzähler Stufe 2, usw.) untergebracht sein, z. B. ein Zähler vor einer Verteilung und mehrere Zähler nach der Verteilung. Hier können durch eine entsprechende Bilanz (Zähler vor Verteilung = Summe mehrere Zähler nach Verteilung) entsprechende Plausibilitäten geprüft bzw. Verteilverluste bestimmt werden. Hier ist zu beachten, dass bei einer Gesamtverbrauchsbilanz für das Gebäude entsprechende Zähler (Unterzähler Stufe 1, Unterzähler Stufe 2) nicht doppelt berücksichtigt werden, sondern nur Unterzähler einer „Stufe“ zusammengefasst werden dürfen (siehe Abbildung 24).

Im Siemens Navigator wird für die Stufen Verbraucher/Nutzenergie die Zählerart Unterzähler verwendet. Hier sind maximal 6 Unterzählerarten möglich.

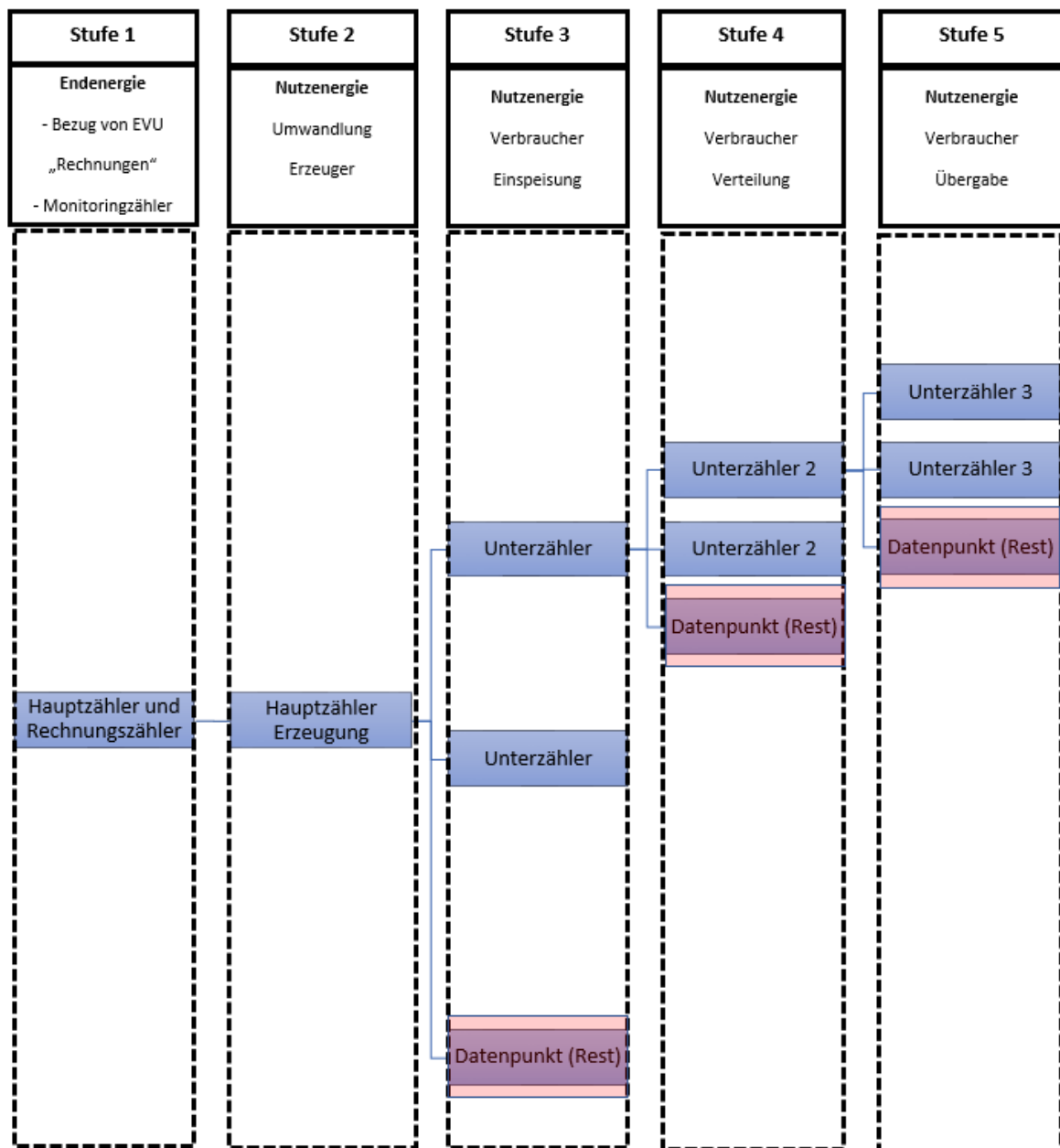


Abbildung 24: Darstellung Aufteilung der Zählerarten

Aus diesen Betrachtungen wurde ein entsprechendes Bilanzkonzept für das GHL entwickelt, wobei zwischen

- Endenergie (Bezug vom EVU)
- Erzeuger Nutzenergie
- Verbraucher Nutzenergie
- verschiedenen Zählerarten
- verschiedenen Medien
- örtlichen Zuordnungen (Knotenpunkten)

unterschieden wird. Entsprechende Auflistungen (Topologien, Zählerstrukturen ...) finden sich in 5_Anhang_Strukturen. Mit diesem Konzept wird im Folgenden an verschiedenen Stellen weitergearbeitet. Es ist anzumerken, dass ein entsprechendes Konzept während eines Projektes öfter geändert bzw. iterativ angepasst wird.

4.6 Datenauswertungsprogramme

Um für ein Monitoring die entsprechenden Datenpunkte/Messwerte verwalten und auswerten zu können, wird eine Datenbanklösung mit einer entsprechenden Auswertesoftware benötigt. Hier sind u.U. je nach Monitoringphase (Intensivmonitoring mit vielen Datenpunkten, Langzeitmonitoringphase mit weniger Datenpunkten) unterschiedliche Systeme denkbar bzw. sinnvoll. In diesem Projekt wurde einerseits das Programm „Siemens Navigator“ mit entsprechenden konfigurierbaren Auswertebereichen eingesetzt, das auch nach der Intensivmonitoringphase für ein Langzeitmonitoring weiter vom Krankenhausbetreiber verwendet werden kann. Andererseits wurde das Programm „MoniSoft“ verwendet, das mit seinen Funktionen eher für wissenschaftliche Auswertungen geeignet ist.

Da sich die Kosten für den Siemens Navigator pro Datenpunkt ergeben, wird für das Langzeitmonitoring eine möglichst geringe Anzahl Datenpunkte angestrebt. Im Folgenden werden beide Programme genauer beschrieben.

4.6.1 Siemens Navigator

Die folgenden Beschreibungen zitieren und stützen sich im Wesentlichen auf entsprechende Navigator-Handbücher* (siehe 8_Anhang_Navigator\Navigator_Handbücher).

Der Navigator dient „als webbasiertes Energiedatenmanagement-System zur Erfassung, Analyse und Überwachung von Energieverbrauchsdaten. Dies ist die Grundlage, um Optimierungen im Gebäude vorzunehmen.“¹⁵

Die Erfassung von Energieverbrauchsdaten erfolgt über entsprechende Zähler. Im Navigator wird zwischen klassischen Zählern (z. B. Wärme- oder Stromzählern) und Datenpunkten (z. B. Temperaturen oder Stellsignalen) unterschieden.

Die Navigator-Oberfläche (Abbildung 25) ist in bestimmte Bereiche eingeteilt**. Der Bereich *Meine Strukturen* bildet die Grundlage des Navigators. Hier werden die Nutzerstruktur (Knoten und Zähler/Datenpunkte) angelegt und bearbeitet, Zählerablesungen eingetragen, Medieneigenschaften eingegeben, Leseberechtigungen verwaltet sowie Berichte erstellt.

* Die Handbücher sind direkt im Siemens-Navigator enthalten. Um auf sie zugreifen zu können, muss in der Benutzeroberfläche auf das Fragezeichen in der oberen rechten Ecke geklickt werden. Durch ein Auswählen von „Handbücher“ stehen 13 Anleitungen und Informationsblätter als pdf-Download zur Verfügung.

** Auf die in Abbildung 25 zu sehende Hauptoberfläche lässt sich jederzeit durch ein Anklicken des „Haus“ Symbols zugreifen. Durch ein Anklicken und damit „Ausfüllen“ des „Stern“-Symbols einer beliebigen App (sobald diese unter „Dashboard“ angelegt wurde) oder einer Funktion (z. B. „Meine Berichte“) erscheint eine entsprechende „Verknüpfung“ in der oberen blauen Leiste. Des Weiteren steht auf der rechten Seite eine Suchfunktion zur Verfügung.

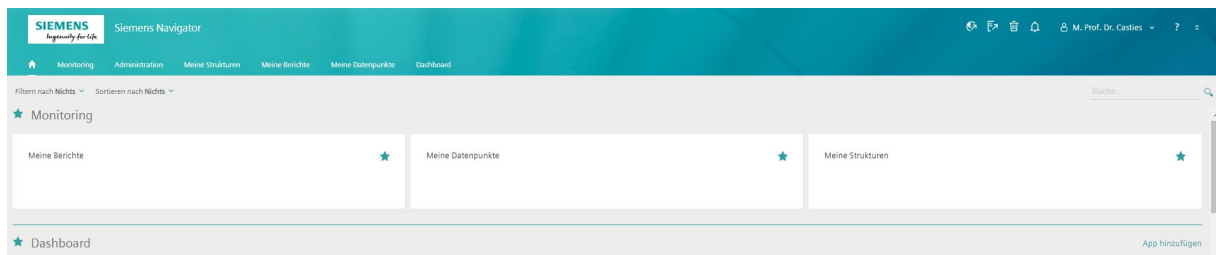


Abbildung 25: Benutzeroberfläche Siemens-Navigator

Das *Dashboard* „bietet die Möglichkeit, sich als Benutzer eine individuelle Oberfläche zu erstellen, sodass alle wichtigen und relevanten Informationen einfach und schnell vorhanden sind und dargestellt werden. Neben dem Berichtswesen können auch zusätzliche Bereiche wie Dokumente/Berichtsfavoriten oder Kartenansicht integriert werden. ... Die Analyse bietet als Bestandteil des Dashboards eine frei konfigurierbare Oberfläche, in der sämtliche Zähler und Datenpunkte ausgewertet werden können. Der Fokus liegt hierbei auf der Auswertung von Datenpunkten, mit deren Hilfe Anlagenzustände oder Betriebsweisen dargestellt und analysiert werden können.“¹⁵

Im Bereich *Administration* können die Nutzer allgemeine administrative Einstellungen (Mitarbeiter anlegen, Zugriffsrechte verwalten, Wetterdaten einsehen) anpassen.

Im Folgenden werden wichtige Begriffe und Inhalte des Navigators beschrieben und an entsprechenden Stellen auf Handhabbarkeit und Probleme der Software eingegangen.

4.6.1.1 Strukturen/ Knoten

Zur strukturierten Eingabe der Datenpunkte werden im Navigator im Standardfall örtliche Hierarchieebenen (Strukturen) verwendet (siehe Abbildung 26). Die Strukturelemente dieser Ebenen werden Knoten genannt.

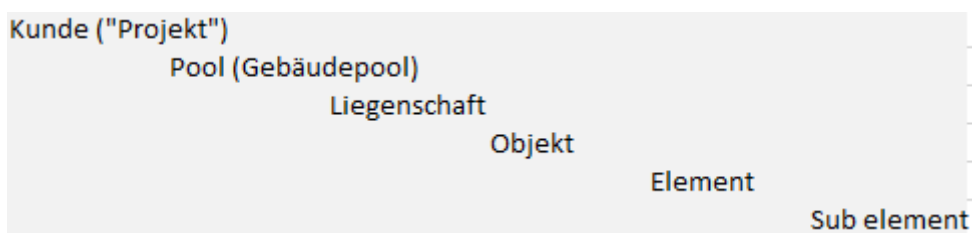


Abbildung 26: Einteilung der Knotenpunktebenen im Navigator

Unter einem bestimmten Knoten können entsprechende Zähler/Datenpunkte angelegt werden und sind diesem dann zugewiesen. Der Knoten „Kunde“ (Projekt) bildet dabei eine Ausnahme, da hier keine Zähler/Datenpunkte direkt angehängt werden können. Die Zähler/Datenpunkte gelten nicht als zusätzliche Hierarchieebene.

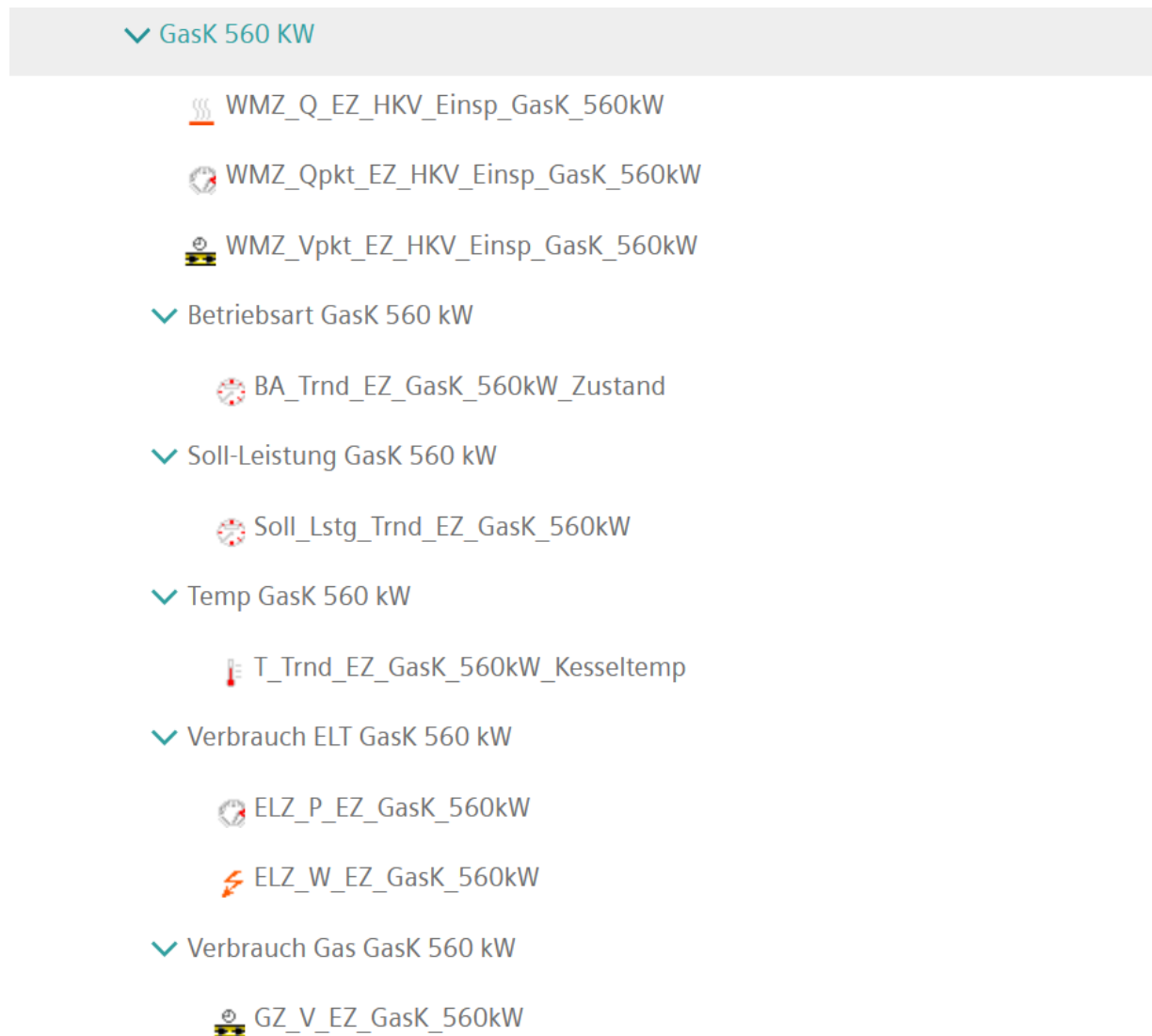


Abbildung 27: Ausschnitt Gewerkestruktur Siemens-Navigator

Unter „Ablesen und editieren“ (Abbildung 28) können sämtliche Ablesewerte eines Datenpunktes angezeigt werden. Außerdem bietet die Oberfläche Möglichkeiten, einzelne Messwerte manuell einzugeben oder zu löschen (Abbildung 29). Sollte ein Messwert nicht mehr vorhanden sein, wenn dieser beispielsweise gelöscht oder aufgrund eines Fehlers gar nicht erst aufgezeichnet wurde, so wird dieser in einer Grafik als interpolierter Wert angezeigt.

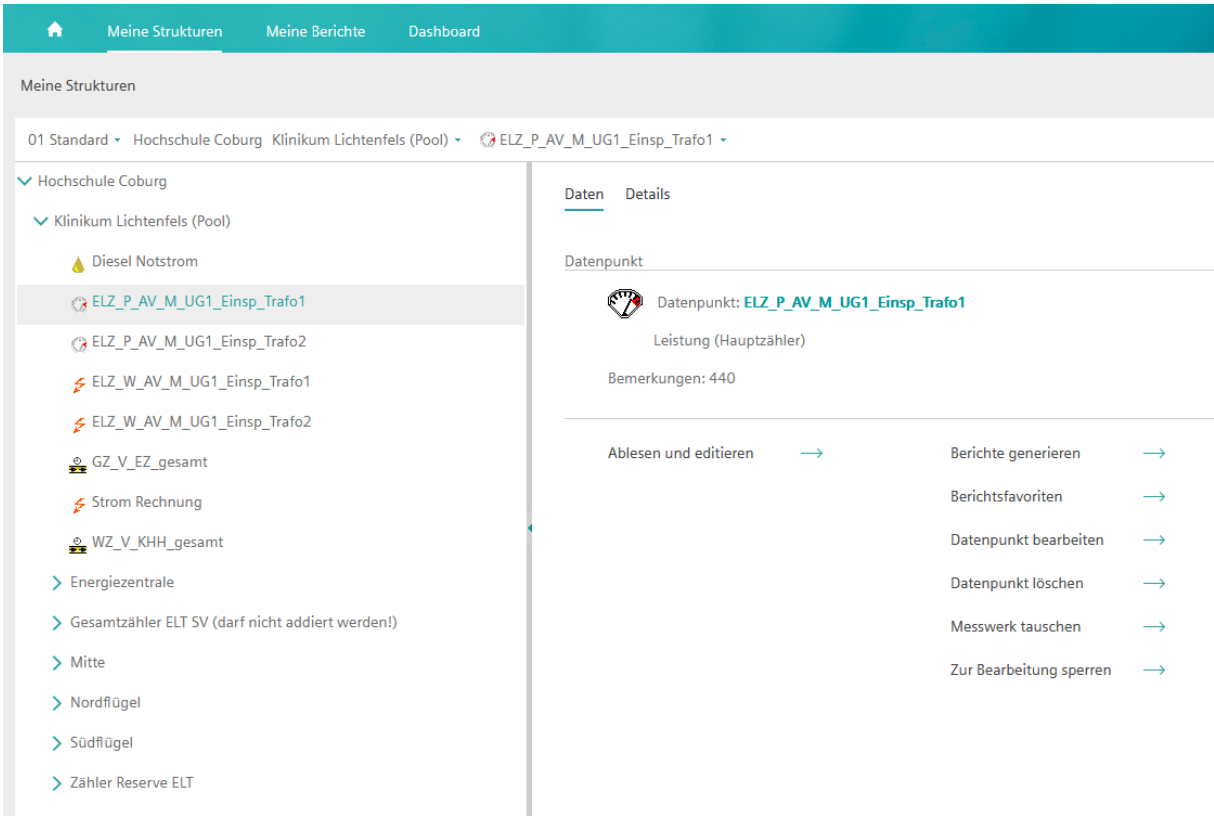


Abbildung 28: Datenpunkt in Meine Strukturen

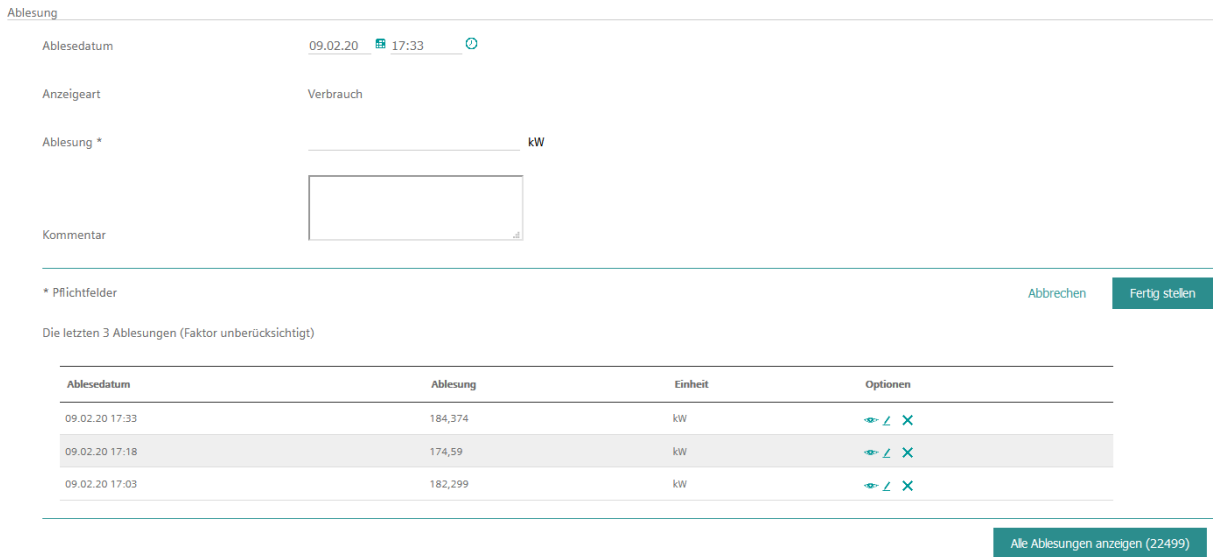


Abbildung 29: Ablesen und editieren

4.6.1.2 Zähler/ Datenpunkte/ Medien

Im Navigator können unter dem Menüpunkt *Datenpunkt anlegen* für die klassischen Zähler (z. B. Wärme- oder Strom) und die Sensoren (z. B. Temperaturen oder Stellsignale) Datenpunkte

- unter jedem Knoten angelegt werden
- entweder manuell oder automatisch erfasst werden
- nach dem Anlegen in der Navigationsstruktur per „Drag-and-drop“ verschoben werden.

Um entsprechende Zähler und Sensoren voneinander unterscheiden bzw. entsprechend zusammenzufassen und in Berichten auswerten zu können, gibt es beim Anlegen eines Datenpunktes im Navigator verschiedene Kriterien.

Jedem Zähler/Datenpunkt muss ein entsprechendes Medium (Darstellung aller Medien des Navigators, siehe Tabelle 8) zugeordnet werden. Hier ist zu beachten, dass bestimmte Medien für Datenpunkte vorgesehen sind (z. B. Außentemperatur) und andere für Zähler (z. B. Erdgas). Hier wird u. a. auch unterschieden, ob z. B. Elektrizität aus KWK eingespeist wird (Elektrizität Einsp. KWK) oder selbst aus KWK erzeugt wird (Elektrizität Erz. KWK) oder der Fall „Elektrizität Verbrauch aus Eigenerzeugung“ oder „Elektrizität Weiterleitung an Dritte“ etc. gilt.

Tabelle 8: alle Medien im Siemens Navigator

	alle Medien
1	Absolute Luftfeuchtigkeit
2	Abwasser
3	Ampere %
4	Arbeitsplatz
5	Auslastung %
6	Außentemperatur
7	Belegung
8	Beleuchtungsstärke
9	Benzin
10	Betriebskosten
11	Betriebsstunden
12	Biodiesel
13	Biogas
14	Biowärme
15	Biowärme, Wärmepumpe
16	Blindenergie
17	Blindenergie (induktiv)
18	Blindenergie (kapazitiv)
19	Brauchwarmwasser
20	Brauchwasser
21	Brennholz
22	Brunnenwasser
23	Butangas
24	CNG (Flotte)
25	CO2
26	Dampf

27	Dampf (Heizen)
28	Dampf (Prozessdampf)
29	Dampf Einsp.
30	Dampf Erz.
31	Dampffluss
32	Dienstleistungen
33	Diesel
34	Drehungen
35	Druck
36	Druckluft
37	Druckluft Einsp.
38	Druckluft Erz.
39	Durchfluss
40	Elektrische Leitfähigkeit
41	Elektrizität Anlage
42	Elektrizität Einsp. KWK
43	Elektrizität Einsp. Notstrom
44	Elektrizität Einsp. PV
45	Elektrizität Einsp. regenerativ
46	Elektrizität Eintarif
47	Elektrizität Erz. KWK
48	Elektrizität Erz. Notstrom
49	Elektrizität Erz. PV
50	Elektrizität Erz. regenerativ
51	Elektrizität HT
52	Elektrizität Mieter
53	Elektrizität NT
54	Elektrizität Spezialtarif
55	Elektrizität Verbrauch aus Eigenerzeugung
56	Elektrizität Weiterleitung an Dritte
57	Elektrizität Zeittarif
58	Elektrizität für Warmwasser
59	Elektrizität ohne Tarif
60	Elektrizität zum Heizen
61	Elektrizität zum Heizen, erneuerbar
62	Elektrizität zum Kühlen
63	Enthalpie
64	Erdgas
65	Erdgas, nicht zu bereinigen
66	Fernwärme
67	Fernwärme (Energie)
68	Fernwärme (Volumen)
69	Fernwärme (maximal 25 % fossile Energie)
70	Fernwärme (maximal 50 % fossile Energie)
71	Fernwärme (maximal 75 % fossile Energie)
72	Fernwärme (mehr als 75 % fossile Energie)
73	Fernwärme GL
74	Fernwärme KL

75	Flüssiggas
76	Füllstand
77	Gas zum Kühlen
78	Gesamtenergie
79	Geschwindigkeit
80	Hackschnitzel
81	Hackschnitzel (Gewicht)
82	Heizen (Energie)
83	Heizöl
84	Heizöl EL
85	Heizöl L
86	Heizöl schwer
87	Holz
88	Kaltwasser
89	Kohle
90	Kondensat
91	Kondensationsmasse
92	Kälte
93	Kälte Einsp.
94	Kälte Erz.
95	Leistung
96	Leitfähigkeit
97	Luftfluss
98	Massenstrom
99	Natural Gas Pipeline
100	Natural Gas Supply
101	Notstrom
102	Nächte
103	Oel
104	Pellets
105	Pellets (Gewicht)
106	Personen
107	Pflanzenöl
108	Photovoltaik
109	Position
110	Produktion Masse
111	Produktionseinheiten
112	Quellwasser
113	Raumtemperatur
114	Relative Luftfeuchtigkeit
115	Rückgekühlte Wärme KWK
116	Schaltstufe
117	Scheinenergie
118	Scheinleistung
119	Solarwärme
120	Sonneneinstrahlung
121	Specific Enthalpy
122	Sprengwasser

123	Status
124	Stellung
125	Strom
126	Strom für unterbrechungsfreie Stromversorgung
127	Temperatur
128	Umsatz
129	VOC Gase
130	Verschmutzungsgrad
131	Volt
132	Volumen
133	Warmwasser (Energie)
134	Wasser
135	Wasser gekühlt
136	Wirkungsgrad
137	Wärme
138	Wärme Einsp.
139	Wärme Einsp. KWK
140	Wärme Erz. (Rückgewinnung)
141	Wärme Erz. Biomasse
142	Wärme Erz. KWK
143	Wärme Erz. Solarthermie
144	Wärme Erz. Wärmepumpe
145	Wärme Erz. konventionell
146	Wärme, Wärmepumpe
147	Wärmeenergie Wasserkondensat
148	Übernachtungen

Einzelne „Zähler-Medien“ werden zu einer Mediengruppe zusammengefasst (siehe Tabelle 9), die in einem Auswertungsbericht gesammelt dargestellt werden kann. Wird z. B. ein Bericht mit der Mediengruppe „Gas“ ausgewählt, setzt sich das Ergebnis aus „Erdgas“ und „Flüssiggas“ zusammen. Die Zuordnung des Mediums zu einem Datenpunkt bzw. Zähler muss wegen der Auswirkung auf die Auswertemöglichkeit mit den vorgefertigten Berichten sehr sorgfältig erfolgen.

Tabelle 9: Übersicht über Medien, Mediengruppen und deren Darstellung (Unterschiede Fernwärme unklar)

Medium	Mediengruppe	Darstellung
		(Hauptverbrauch)
Biogas	Biomasse	Wärme
Biowärme		
Brennholz		
Hackschnitzel		
Pellets		
Pflanzenöl		
Solarwärme		
Elektrizität zum Heizen	Elektrizität zum Heizen	
Erdgas	Gas	
Flüssiggas		
Heizöl	Heizöl	
Heizöl EL		
Heizöl L		
Heizöl schwer		
Kohle	Kohle	
<i>Fernwärme</i>	<i>Wärme</i>	
Wärme		
<i>Fernwärme</i>	<i>Fernwärme</i>	
Dampf (Heizung)	Dampf (Heizung)	
Elektrizität Eintarif	Elektrizität Eintarif	Elektrizität
Elektrizität HT	Elektrizität HT	
Elektrizität NT	Elektrizität NT	
Elektrizität ohne Tarif	Elektrizität ohne Tarif	
Elektrizität Zeittarif	Elektrizität Zeittarif	
Elektrizität Spezialtarif	Elektrizität Spezialtarif	
Photovoltaik	Photovoltaik	
Elektrizität für Warmwasser	Elektrizität für Warmwasser	
Leistung	Leistung	
Abwasser	Abwasser	Abwasser
Brauchwarmwasser	Brauchwarmwasser	Wasser
Brunnenwasser	Brunnenwasser	
Quellwasser	Quellwasser	
Regenwasser	Regenwasser	
Wasser	Wasser	
Elektrizität zum Kühlen	Elektrizität zum Kühlen	Kälte
Kälte	Kälte	
Klimakälte	Klimakälte	
Dampf	Dampf	Dampf
Dampf (Prozess)	Dampf (Prozess)	
Diesel (Flotte)	Diesel (Flotte)	Mobilität
Benzin (Flotte)	Benzin (Flotte)	
Elektrizität Elektromobilität	Elektrizität Elektromobilität	

So werden z. B. im Hauptverbrauchsbericht (je nach Verfügbarkeit) verschiedene „Zähler-Medien“ dargestellt. Wie oben beschrieben, kann man aus der Tabelle 9 erkennen, wie die einzelnen Medien (z. B. Biogas und Pellets) zu Mediengruppen (in diesem Fall Biomasse) zusammenfasst werden. Diese Mediengruppen wiederum werden mit anderen Mediengruppen zusammengefasst und in einem Hauptverbrauchsbericht im Reiter „Übersicht“ z. B. als Wärme, Elektrizität, Abwasser, Wasser, Kälte, Dampf, Mobilität dargestellt. Springt man anschließend in den jeweiligen Teil („Reiter“) des Berichts (z. B. „Wärme“), ist erkennbar, aus welchen einzelnen Mediengruppen sich die Wärme zusammensetzt. Somit lässt sich in diesem Bericht die gesamte Wärme in die einzelnen Bestandteile „zerlegen“.

Unter Medieneigenschaften können bei Bedarf Umrechnungsfaktoren hinterlegt werden, die automatisch die Einheiten umrechnen. Da die Zähler in der tatsächlich gemessenen Einheit angelegt werden sollten (Gas wird z. B. in m^3 gemessen), ist so eine automatische Umrechnung in kWh möglich.

Pro kWh kann auch eine bestimmte Menge an kg CO_2 hinterlegt werden, um den CO_2 -Ausstoß automatisch zu errechnen. Diese Funktion war in der vorliegenden Navigatorversion allerdings nicht freigeschaltet.

Entsprechende Medieneigenschaften werden in der Struktur (Knotenpunkte) von „oben“ nach „unten“ vererbt.

Zähler werden in die Kategorien Hauptzähler, Unterzähler 1 bis 6, Rechnungszähler und Datenpunkt unterschieden. Die Zählerarten sind auf den ersten Blick nicht ersichtlich, umso wichtiger ist es, den Zähler entsprechend seines Medienflusses exakt in der Struktur abzubilden bzw. anzulegen. Die verschiedenen Medien sind am Symbol des Zählers erkennbar.¹⁵

Virtuelle Datenpunkte werden im Navigator angelegt, um Verbräuche zu erfassen, obwohl es keine physikalischen Datenpunkte vor Ort gibt. Es wird empfohlen, virtuelle Datenpunkte zu verwenden, wenn

- in dem Knoten (z. B. Gebäude) kein physikalischer Datenpunkt vorhanden ist
- sich Verbräuche prozentual auf mehrere Knoten aufteilen

Virtuelle Datenpunkte sollten eher nicht verwendet werden, wenn

- Summen aus mehreren Datenpunkten zu bilden sind (das geschieht im Navigator über entsprechende Berichte „automatisch“)
- Umrechnungen (z. B. m^3 auf kWh) erfolgen sollen (das kann im Navigator bei *Medieneigenschaften* eingestellt werden)
- Wandlerfaktoren einzurechnen sind (das kann im Navigator bei *Medieneigenschaften* eingestellt werden).

4.6.1.3 Erfassung von Datenpunkten

Für einen anzulegenden Datenpunkt im Navigator können bzw. müssen (Pflichtfeld gekennzeichnet mit *) folgende Felder unter „Datenpunkt bearbeiten“ angegeben werden (siehe Abbildung 30: Darstellung „Datenpunkt bearbeiten“ im Siemens Navigator):

Datenpunkt bearbeiten

Datenpunktname*	<u>ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1</u>
Datenpunktnummer	
Einbauort	
Gültig ab	27.02.19  21:06 
Medium	Elektrizität Zeittarif 
Einheit	kWh 
Mediengruppe	Elektrizität Zeittarif 
Kategorie	Hauptzähler 
Ablesefaktor*	1,00
Offset*	0,00
Automatische Erfassung	☒
Bemerkung	250

Abbildung 30: Darstellung „Datenpunkt bearbeiten“ im Siemens Navigator (1. Seite)

Datenpunktname (Pflichtfeld):

Jeder Datenpunkt besitzt einen eigenen, individuellen Namen, der in der Baumstruktur angezeigt wird. Die genaue Bedeutung des Namens hängt bei den im Projekt GHL vergebenen Namen u. a. vom Medium und Einbauort des Datenpunktes ab (siehe auch Kapitel 4.4 und 4.6.1.2).

Datenpunktnummer:

Informativ, zur besseren Identifikation

Einbauort:

Informativ, zur besseren Identifikation

Gültig ab:

In das Feld „Gültig ab“ muss das genaue Datum der Aufschaltung des Datenpunktes eingetragen werden. Bei falschen oder ungenauen Ergebnissen in Berichten kann es sein, dass das Gültigkeitsdatum des Datenpunktes falsch datiert wurde und entsprechende Messwerte vor dem „Gültig ab“-Datum fehlen. Zur Behebung des Fehlers muss das korrekte Datum manuell in das Feld eingetragen werden (wichtig bei „historischen“ Werten).

Medium/Einheit/Mediengruppe:

Das Medium des Datenpunktes kann hier mithilfe eines „Dropdown Menüs“ gewählt werden. Wird ein Medium gewählt, ändern sich aufgrund einer Grundeinstellung des Programms gleichzeitig auch die Felder Einheit und Mediengruppe. Sind die voreingestellten Werte nicht korrekt bzw. stimmen nicht mit dem Projekt überein, können diese wie schon im Feld Medium mithilfe eines „Dropdown Menüs“ umgestellt werden.

Das Feld Einheit bezieht sich auf die Größenangabe des Mediums des Datenpunktes. Bei falschen Ergebnissen in Berichten kann es sein, dass die Einheit im Navigator nicht mit der tatsächlich gemessenen Einheit übereinstimmt (z. B. zählt der Zähler in MWh, der Datenpunkt im Programm ist aber auf kWh eingestellt).

Kategorie:

Die Zählerkategorie ist wichtig für die plausible Darstellung der Berichte. Es wird grundsätzlich zwischen Rechnungszählern, Hauptzählern, Unterzählern (UZ bis UZ6) und Datenpunkten unterschieden. Nach welchem System die Datenpunkte letztendlich unterschieden werden, ist nutzer- und projektspezifisch. Die Zählerstruktur des Projektes GHL findet sich in 5_Anhang_Strukturen. Die Zählerkategorien (Rechnungszähler, Hauptzähler, Unterzähler) werden in der Standard-Struktur verwendet. Bei der Gewerke-Struktur wird stattdessen als Kategorie Datenpunkt benutzt.

Ablesefaktor (Pflichtfeld):

i. d. R. 1,00; alternativ anderer Wert (z. B. Wandlerfaktor).

Offset (Pflichtfeld):

Fester Wertersatz in Berichtsausgabe, wird in der Regel nicht verwendet.

Bemerkung:

In der Bemerkung kann der Nutzer für das Projekt zusätzliche Informationen eintragen. In diesem Projekt wurde das Feld genutzt, um die „MoniSoft Nummer“ des Datenpunktes zu hinterlegen.

Automatische Erfassung:

Auswahl automatische oder manuelle Datenpunkterfassung; mit dem Haken bei Automatische Erfassung ergibt sich das nachfolgende Fenster (siehe Abbildung 31: Darstellung „Datenpunkt bearbeiten“ im Siemens Navigator) mit folgenden Parametern:

Datenpunkt bearbeiten

Erfassungsart	Zählerstand	▼
Erfassungsintervall	15 Minuten	▼
Verdichtung der Werte	Summe	▼
Verteilung der Werte	Linear	▼
Maximalwert		
Erster Ablesewert	1245539 kWh	
Erste Ablesung	27.02.19 21:06	
Startwert	1.245.539,00	
Datenquelle*	B01'UG1'3p04'MtrHCEW'MtrEI92'EIEg	
Device	MSIB Klinikum Lichtenfels	▼

Abweichungen benachrichtigen

Alarm bei*	0	%
Warnung bei*	0	%
Negativen Verbrauch melden	☐	
Null Verbrauch melden	☐	
Intervallabweichung melden	☒	

* Pflichtfelder

Abbildung 31: Darstellung „Datenpunkt bearbeiten“ im Siemens Navigator (2. Seite)

Erfassungsart:

Mithilfe der Erfassungsart kann abhängig vom Medium entweder der Verbrauch/Momentanwert oder der Zählerstand des Zählers (hochlaufender Wert) angezeigt werden. Dies ist vom Medium abhängig. Um die aktuelle Leistung darstellen zu können, wird z. B. bei Elektrozählern der Verbrauch/Momentanwert benötigt. Die Option Zählerstand wird bei Elektrozählern für die Arbeit und z. B. bei Medien wie Wasser oder Gas verwendet.

Erfassungsintervall:

Das Erfassungsintervall gibt an, in welchen Zeitabständen die Ablesungen des Zählers erfolgen sollen. Das Intervall der Datenerfassung am Datenpunkt muss gleich dem Versendeintervall des Zählers sein. Für einen Zähler kann immer nur ein Intervall gewählt werden. Folgende Zeitintervalle stehen zur Verfügung: 1 Minute, 5 Minuten, 15 Minuten, 30 Minuten, 1 Stunde, 1 Tag.

Verdichtung der Werte:

Die Verdichtung der erfassten Werte in der Datenbank wird bei der „Medienauswahl“ automatisch für jeden Datenpunkt gesetzt und i. d. R. nicht geändert. Die Verdichtung der Werte ermöglicht es, die Ablesewerte des Zählers in einem bestimmten Zeitraum unterschiedlich zusammenzufassen. Die Verdichtungsart ist abhängig vom Medium. Es gibt vier Arten der Verdichtung:

Maximum: Bei der Ablesung der Leistung z. B. bei einem Elektrozähler ist die maximale Leistung innerhalb eines Ablesezeitraumes (z. B. stündlich, z. B. zwischen 01:00 und 02:00, bei einem Erfassungsintervall von z. B. 15 Minuten) ausschlaggebend. Hier wird als Verdichtung aus allen Ablesungen innerhalb des gewählten Zeitraumes der maximale Wert gewählt (z. B. aus vier 1/4h Messwerten).

Durchschnitt: Für den Durchschnitt wird der Mittelwert aller abgelesenen Werte innerhalb des Ablesezeitraums gebildet. Diese Verdichtungsart wird z. B. bei Zählern mit einem Volumenstrom verwendet, um den durchschnittlichen Volumenstrom zu ermitteln.

Minimum: Das Minimum ist der kleinste Wert des Ablesezeitraumes. Im Projekt GHL wurde diese Verdichtungsart bei keinem Zähler verwendet.

Summe: Die Summe ergibt sich aus der Addition aller Werte des Ablesezeitraumes. Z. B. wird bei einem Wasser- oder Gaszähler der Gesamtverbrauch innerhalb des Ablesezeitraums mithilfe der Summenbildung ermittelt.

Die Verdichtung ist bei Auswertung der Werte eines Zählers mithilfe der Berichte entscheidend. (Beispiele zu Verdichtung finden sich im 8_Anhang_Navigator\Navigator_Verdichtung_Werte)

Verteilung der Werte:

Verteilung der Werte im Bericht (keine oder linear). Wird bei Medienauswahl automatisch gesetzt und i. d. R. nicht geändert

Erster Ablesewert:

Hier kann ein von Null abweichender Zählerstand (auch bei neu eingebauten Zählern ist dies oft der Fall) eingegeben werden, der dann bei der Darstellung der Messwerte so berücksichtigt wird, dass diese von Null hochzählen.

Erste Ablesung:

Datum der ersten Ablesung. Dieser Wert kann unterschiedlich zum Einbau-/Aufschaltdatum des Zählers sein.

Datenquelle (Pflichtfeld):

Adresse aus der GA (z. B. „BACNET-Name“ oder „System1:GMSDevice ...“). Die Adresse muss eindeutig sein.

Device:

„Gerät“ der GA, das die Daten liefert (z. B. „MSIB Klinikum Lichtenfels“; „SWP DDC Klinikum Lichtenfels“)

Abweichungen benachrichtigen:

Hier kann u. a. eingestellt werden, dass ein Fehlerbericht verschickt wird bei

- Abweichungen vom Ableseintervall
- Abweichung der Ablesewerte vom Durchschnittswert (die prozentuale zulässige Abweichung kann verändert werden)
- Negativen Ablesewerten (optional: kann beim Datenpunkt eingestellt werden)
- „Nullwerten“ (optional: kann beim Datenpunkt eingestellt werden)

Diese „Benachrichtigung“ kann automatisch in regelmäßigen Abständen z. B. per E-Mail versendet werden (optionale Einstellung). In Tabelle 10 ist beispielhaft ein Fehlerbericht dargestellt.

Tabelle 10: Beispiel Fehlerbericht (Benachrichtigung von Abweichungen)

Benachrichtigung von Abweichungen				SIEMENS Ingenuity for Life	
Übersicht					
Organisation	Hochschule Coburg			Startdatum	18.12.19 00:00
Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool) [Datenpunkt]			Enddatum	19.12.19 00:00
Pfad	Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool)				
Datenpunkt	Datenquelle	Device	Knoten		
1 ELZ_P_AV_N_EG_Durchl_Mammo_21_6_64	B01UG13p04MtrHCEW/MtrEI141PwrActv	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ AV N EG Durchl./ Mammo		
2 ELZ_W_AV_N_EG_Aufnahme_Roe_21_6_66	B01UG13p04MtrHCEW/MtrEI142EIEg	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ AV+SV N EG Aufnahme Röntgen		
3 WZ_V_N_OG2_KWV	B01UG13p02MtrHCEW/MtrW46VIm	MSIB Klinikum Lichtenfels	OG 2 Nord		
4 WZ_V_N_OG3_KWV	B01UG13p02MtrHCEW/MtrW47VIm	MSIB Klinikum Lichtenfels	OG 3 Nord		
5 ELZ_P_SV_N_UG1_UV_Archiv_Verwaltung	B01UG13p04MtrHCEW/MtrEI27PwrActv	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ AV+SV N UG1 Archiv/Verwaltung		
6 ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Archiv_Verwaltung	B01UG13p04MtrHCEW/MtrEI27EIEg	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ AV+SV N UG1 Archiv/Verwaltung		
7 ELZ_P_AV_N_UG1_UV_Physiotherapie	B01UG13p04MtrHCEW/MtrEI155PwrActv	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ AV+SV N UG1 Physio		
8 ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Physiotherapie	B01UG13p04MtrHCEW/MtrEI155EIEg	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ AV+SV N UG1 Physio		
9 KMZ_Q_N_UG1_RLT08_OPSt_31_6_86_Kuehreg	B01UG13p02MtrHCEW/MtrC42CEg	MSIB Klinikum Lichtenfels	KMZ RLT 5, 6, 7, 8, 11, 17 Kühlreg		
10 KMZ_Opkt_N_UG1_RLT08_OPSt_31_6_86_Kuehreg	B01UG13p02MtrHCEW/MtrC42CCap	MSIB Klinikum Lichtenfels	KMZ RLT 5, 6, 7, 8, 11, 17 Kühlreg		
11 ELZ_P_AV_S_UG1_UV_Allgemein	B01UG13p04MtrHCEW/MtrEI133PwrActv	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ AV+SV S UG1 Allg.		
12 ELZ_W_AV_S_UG1_UV_Allgemein	B01UG13p04MtrHCEW/MtrEI133EIEg	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ AV+SV S UG1 Allg.		
13 ELZ_P_S_UG1_HK_WWB_Pu12	B01UG23p05MtrHCEW/MtrEI5PwrActv	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ Pumpen WWB		
14 ELZ_W_S_UG1_HK_WWB_Pu12	B01UG23p05MtrHCEW/MtrEI5EIEg	MSIB Klinikum Lichtenfels	ELZ Pumpen WWB		

Organisation	Hochschule Coburg			Startdatum	18.12.19 00:00			
Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool) [Datenpunkt]			Enddatum	19.12.19 00:00			
Pfad	Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool)							
Datenpunkt	Mediengruppe	Aktuell	5-Wochen Durchschnitt	Differenz	DiffRel %	Alarmgrenze	Warngrenze	Alarm
1 ELZ_P_AV_N_EG_Durchl_Mammo_21_6_64	Leistung	14,59	21,44	-6,85	-31,94	0,00	0,00	0,00
2 ELZ_W_AV_N_EG_Aufnahme_Roe_21_6_66	Elektrizität Zeittarif	6,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 WZ_V_N_OG2_KWV	Volumen	8,11	8,80	-0,69	-7,86	0,00	0,00	0,00
4 WZ_V_N_OG3_KWV	Volumen	4,32	4,67	-0,35	-7,58	0,00	0,00	0,00
5 ELZ_P_SV_N_UG1_UV_Archiv_Verwaltung	Leistung	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
6 ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Archiv_Verwaltung	Elektrizität Zeittarif	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
7 ELZ_P_AV_N_UG1_UV_Physiotherapie	Leistung	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
8 ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Physiotherapie	Elektrizität Zeittarif	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
9 KMZ_Q_N_UG1_RLT08_OPSt_31_6_86_Kuehreg	Kälte	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
10 KMZ_Opkt_N_UG1_RLT08_OPSt_31_6_86_Kuehreg	Chiller Refrigeration Power	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
11 ELZ_P_AV_S_UG1_UV_Allgemein	Leistung	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
12 ELZ_W_AV_S_UG1_UV_Allgemein	Elektrizität Zeittarif	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
13 ELZ_P_S_UG1_HK_WWB_Pu12	Leistung	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
14 ELZ_W_S_UG1_HK_WWB_Pu12	Elektrizität Zeittarif	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00

Organisation	Hochschule Coburg			Startdatum	18.12.19 00:00
Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool) [Datenpunkt]			Enddatum	19.12.19 00:00
Pfad	Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool)				
Datenpunkt	Warnung	Intervallabweichungen			
1 ELZ_P_AV_N_EG_Durchl_Mammo_21_6_64	0,00	1,00			
2 ELZ_W_AV_N_EG_Aufnahme_Roe_21_6_66	0,00	4,00			
3 WZ_V_N_OG2_KWV	0,00	2,00			
4 WZ_V_N_OG3_KWV	0,00	2,00			
5 ELZ_P_SV_N_UG1_UV_Archiv_Verwaltung	0,00	96,00			
6 ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Archiv_Verwaltung	0,00	96,00			
7 ELZ_P_AV_N_UG1_UV_Physiotherapie	0,00	96,00			
8 ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Physiotherapie	0,00	96,00			
9 KMZ_Q_N_UG1_RLT08_OPSt_31_6_86_Kuehreg	0,00	96,00			
10 KMZ_Opkt_N_UG1_RLT08_OPSt_31_6_86_Kuehreg	0,00	96,00			
11 ELZ_P_AV_S_UG1_UV_Allgemein	0,00	96,00			
12 ELZ_W_AV_S_UG1_UV_Allgemein	0,00	96,00			
13 ELZ_P_S_UG1_HK_WWB_Pu12	0,00	96,00			
14 ELZ_W_S_UG1_HK_WWB_Pu12	0,00	96,00			

Die Erstellung ist bei einem beliebigen Datenknoten (für alle Datenpunkte einer Struktur den „obersten“ Datenknoten auswählen) als *Berichtsfavorit* möglich (siehe Abbildung 32). So ist eine langfristige Überwachung der Datenpunkte in einer reinen Messphase mit einem programminternen Fehlerbericht sichergestellt. Bei einem Zählerausfall können entsprechende Mitarbeiter benachrichtigt werden und können einen Reparaturauftrag auslösen.

Monitoring > Meine Strukturen

01 Standard Hochschule Coburg Klinikum Lichtenfels (Pool)

Hochschule Coburg

Klinikum Lichtenfels (Pool)

1. 2.

Berichtsfavoriten

Benachrichtigung von Abweichungen

Darstellung von Abweichungen (Verbrauchsüberwachung mit Warnung/Alarm und Überwachung der Datenqualität)

Eigene Bezeichnung

Senden an Meyer, Maximilian (Stellvertreter)

Kategorie*

Erstellungsintervall täglich

Auflösung bei Ablesungen

Offset 0

Versenden als Email ☒

Ausgabeformat* PDF

Erzstellung 06.03.20 00:00

Zusätzliche Empfänger

Hinzufügen Löschen

Mails

* Pflichtfelder

Abbildung 32: Berichtsfavorit / Benachrichtigung bei Ablesung

Beim **Löschen eines Datenpunktes** ist zu beachten, dass dieser lediglich in den Papierkorb verschoben und jederzeit wiederhergestellt werden kann, solange der Papierkorb nicht gelöscht wird (Abbildung 33).

Papierkorb

Datenpunkte

Wiederherstellen Löschen Alle löschen

Suchwert eingeben

ID	Symbol	Name	Knoten	Pfad	Dimension	Kunde	Gelöscht von	Gelöscht am
3405882		WM2_Q_N_UG1_WP_prim_Sole	Quelle (Erdsonde, Sonde) für WP	Regiomed - Kliniken>Klinikum Lichtenfels (Pool)>Nordflügel>Erzeuger/ Verteiler (Pro...	01 Standard	Regiomed - Kliniken	Alexander, Pabst	28.11.19 19:30
3537326		Soll_Lstg_Trm_EZ_BHKW1	Soll-Leistung BHKW 1	Regiomed - Kliniken>Klinikum Lichtenfels (Pool)>Erzeugung>WärmeELT>BHKW 1>S...	03 Gewerke	Regiomed - Kliniken	Alexander, Pabst	22.01.20 10:03

<< Seite 1 von 1 >>

Zeige 1 - 2 von 2

Abbildung 33: Meine Strukturen – Gelöschte Datenpunkte

Beim **Wechsel/Messwerktausch** eines Zählers müssen entsprechende Eingaben unter „Messwerk tauschen“ vorgenommen werden.

4.6.1.4 Berichte

Der Siemens Navigator bietet die Möglichkeit, unter „Berichte generieren“ bereits vorgefertigte Auswertungsberichte zu nutzen. Sollten Berichte öfters benötigt werden, können diese auch unter Berichtsfavoriten generiert werden. Der Vorteil besteht dabei darin, dass darauf jederzeit über die Schaltfläche *Meine Berichte* zugegriffen werden kann, ohne dass sie noch einmal erstellt werden müssen. Neben diesen vorgefertigten Berichten besteht auch die Möglichkeit, über das Dashboard individuelle Berichte bzw. Analysen zu erstellen (siehe Kapitel Dashboard).

Insgesamt kann zwischen ca. 30 verschiedenen vorgefertigten Berichten im Navigator gewählt werden (siehe Tabelle 11 und 8_Anhang_Navigator\Navigator_Berichte).

Tabelle 11: vorgefertigte Berichte im Navigator (markierte Berichte werden noch genauer besprochen; neu = neue Berichte seit 2021)

neu	Bandtacho Kälte, Strom, Wasser, Wärme	Darstellung Bandtacho (wie bei EnEV-Energieausweis) mit Bezugsgröße ($\text{m}^2 \text{ a}$); (zeigt den gegenwärtigen Leistungsindikator im Vergleich zu einer Referenzzahl)
1	Benachrichtigung von Abweichungen	Darstellung von Abweichungen (Verbrauchsüberwachung mit Warnung/Alarm und Überwachung der Datenqualität)
2	Carpet Plot & Dauerlinie	Carpet Plot & Duration Line
3	Dauerlinie [kW]	Duration Line in kW
4	Detailverbrauch	Gegenüberstellung der detaillierten Verbräuche pro Berichtsgruppen / Medium (bis zu max. 25 gleichzeitig selektierbar)
5	Detailverbrauch	Detailed Consumption
neu	Detailverbrauch Bestandsübersicht Kennwert	Darstellung von Flächenkennwerten gegenüber dem Verbrauch eines individuell ausgewählten Mediums
neu	Detailverbrauch Kennwerte	Verbrauch pro Fläche und Berichtsgruppe / Medium (z. B. kWh/m^2)
neu	Detailverbrauch Kennwerte Knotenvgl.	Vergleich des Verbrauchs pro Fläche und Berichtsgruppe / Medium (z.B. kWh/m^2) zwischen den einzelnen Knoten
6	Detailverbrauch Knotenvergleich	Vergleich der Verbräuche pro Berichtsgruppe / Medium zwischen einzelnen Knoten
7	Detailverbrauch Vorjahresvergleich	Vergleich der Verbräuche pro Berichtsgruppe / Medium mit 5 Vorjahren
8	Detailverbrauch Wochenprofil	Darstellung der Tagesprofile einer Woche
9	Elektro Gestapeltes Lastprofil	Zeigt die Lastverhältnisse für Elektrizität der Datenpunkte des aktuellen Knoten und der unterliegenden Knoten
10	Elektro Lastprofil Jahr	Darstellung des Lastprofiles für Elektrizität eines Jahres
11	Elektrolastprofil Monat	Darstellung des Lastprofiles für Elektrizität eines Monats
12	Elektrolastprofil Tag	Darstellung des Lastprofiles für Elektrizität eines Tages
13	Elektrolastprofil Woche	Darstellung des Lastprofiles für Elektrizität einer Woche
14	Energiesignatur mit Budget	Brennstoff-Verbräuche in Abhängigkeit von der Außentemperatur und Darstellung der Budgetkurve (inkl. Limits)
15	Engineering + Statusbericht	Zeigt das Engineering und den Statusbericht
16	Haupterzeugung Vergütung	
17	Haupterzeugung Übersicht	
18	Hauptverbrauch (HGT)	Übersicht über alle Brennstoffe (Wärme) heizgradtagbereinigt/unbereinigt (inkl. Fernwärme), Elektrizitäts- und Wasserverbräuche, Kälte, Mobilität,

		Dampf, Druckluft inklusive Verbrauchskennwerten
neu	Hauptverbrauch Bestandsübersicht Kennwert	Darstellung von Flächenkennwert gegenüber dem Verbrauch
19	Hauptverbrauch Knotenvergleich (HGT)	Übersicht über alle Brennstoffe (Wärme) heizgradtagbereinigt/unbereinigt (inkl. Fernwärme), Elektrizität und Kälte inklusive Verbrauchskennwerten
20	Hauptverbrauch Kälte	Bericht zeigt Kälteverbrauch (Kühlung) im Vergleich zur Außentemperatur (inkl. Kältegradtage)
21	Hauptverbrauch Vorjahresvgl. (HGT)	Vergleich der Brennstoffe (Wärme) heizgradtagbereinigt/unbereinigt (inkl. Fernwärme), Kälte, Elektrizitäts- und Wasserverbräuche mit 3 Vorjahren.
22	Hauptverbrauch Vorjahresvgl. kum. (HGT)	Vergleich der Brennstoffe heizgradtagbereinigt (inkl. Fernwärme), Kälte, Elektrizitäts- und Wasserverbräuche mit 3 Vorjahren (kumuliert)
23	Klimadaten	Darstellung der aktuellen Temperaturen und Heizgradtage sowie der Referenzwerte.
24	Kostenkennwert	Dashboard Bericht zu den Energiekosten
25	Struktur Setup	Der Struktur Setup Bericht zeigt Ihnen die relevanten Knoteninformation wie Gebäudetyp, kundenspezifisches Filterkriterium, HGT Quellen, HGT Grenzen usw.
26	Verbrauchskennwert	Dashboard Bericht zum Energieverbrauch
27	Verteilung der Energienutzung	Zeigt die Verteilung der Energienutzung
28	Werte mehrerer Datenpunkte	Verbräuche pro Datenpunkt für eine auswählbare Mediengruppe
29	Wertebericht Abrechnung	Auflistung aller Datenpunkte mit dem Anfangswert und -datum sowie Endwert und -datum, welche am nächsten an den Daten zum Berichtsanfang, bzw. -ende stehen
30	Wertebericht letzte Ablesung	Zeigt die letzten Werte
31	Wertebericht Vergleich	Vergleich von Datenpunkten einer Mediengruppe
32	Wertebericht Vorjahresvergleich	Vergleich der Verbräuche pro Datenpunkt mit 5 Vorjahren
33	Wertebericht	Ablesungen und/oder Verbräuche eines einzelnen Datenpunktes

„Grundsätzlich ist zwischen Werte- und Knotenberichten zu unterscheiden. ... Knotenberichte beinhalten i. d. R. mehrere Medien und Datenpunkte. Werteberichte stellen die Daten des einzelnen Datenpunktes im gewählten Zeitraum und Intervall dar. Je nach Inhalt enthalten Berichte mehrere Tabs/Reiter, in denen weitere oder detailliertere Informationen dargestellt werden. Jeder Bericht kann individuell im Zeitraum, Intervall und Ausgabeformat angepasst bzw. erstellt werden.“¹⁵ (siehe Abbildung 34)

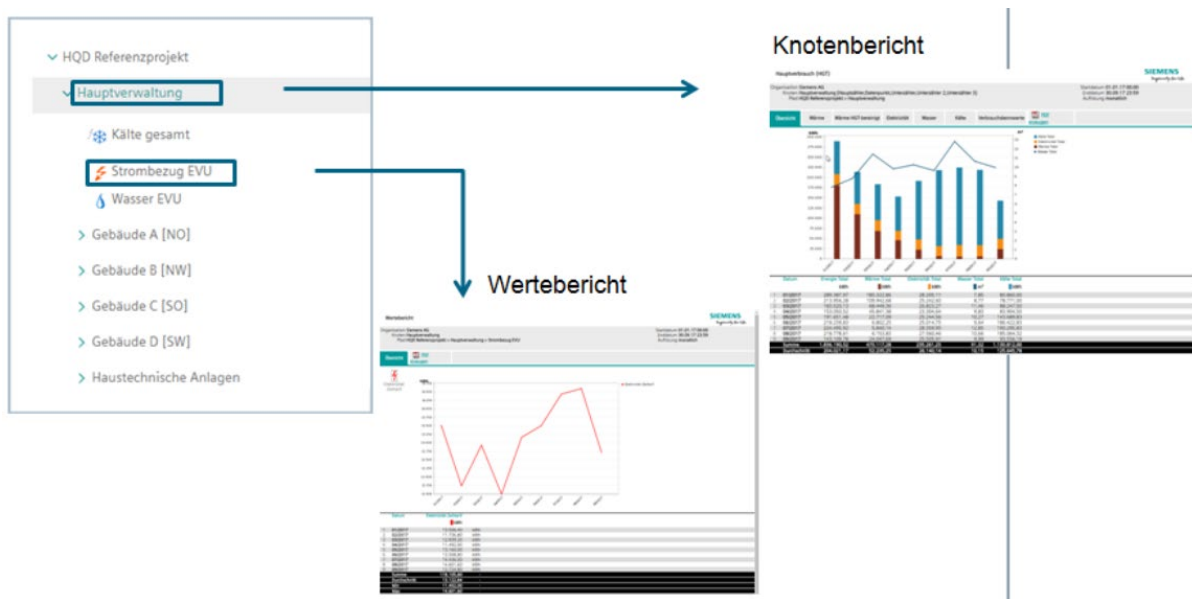


Abbildung 34: Darstellung der Berichtarten im Siemens Navigator ¹⁵

In einem Navigator-Bericht (Ausnahme: Werteberichte) werden stets alle Zähler aufsummiert, die

- sich am oder unterhalb des entsprechenden Knotens befinden und
- die gleiche Zählerart besitzen und
- derselben Mediengruppe angehören

Insofern ist für die Auswahl eines Berichts entscheidend, unter welchem Knotenpunkt dieser aufgerufen wird. Diese Auswahl hängt davon ab, welche Information man abrufen möchte. Möchte man z. B. die Ablesewerte eines einzelnen Zählers wissen, muss lediglich dieser Zähler in der Struktur gesucht werden. Benötigt man jedoch Informationen zu einem bestimmten Bereich oder für das gesamte Krankenhaus, muss der entsprechende Knotenpunkt gewählt werden (z. B. Klinikum Lichtenfels (Pool)). Je tiefer der Knotenpunkt in der Struktur liegt, desto individueller wird der anschließende Bericht dargestellt.

Um sich aus einem vorgefertigten Bericht individuelle Informationen darstellen lassen zu können, gibt es unter *Berichte generieren* einige Voreinstellungen. Diese Voreinstellungen sind i. d. R. für alle Berichte gleich (siehe Abbildung 35).

Monitoring > Meine Strukturen

01 Standard ▾ Hochschule Coburg Klinikum Lichtenfels (Pool) ▾

▼ Hochschule Coburg

> Klinikum Lichtenfels (Pool)

Daten Details
archive archive

AnsprechpartnerIn

Email: [Advantage Operation Center](#) ✉

Telefon: 069 797 -81484

Fällige Ablesungen → Berichte generieren →

Knotenberechtigung → Berichtsfavoriten →

Dokumente →

Budgets → Gebäudepool bearbeiten →

Medienpreise → Gebäudepool löschen →

Medieneigenschaften → Datenpunkt anlegen →

Liegenschaft anlegen →

Mehrtarifzähler anlegen →

Virtuellen Punkt anlegen →

Datenpunkte zuordnen →

1.

Berichte generieren

Haupterzeugung Übersicht ▾

Startdatum* 01.06.19 00:00 ⓘ

Enddatum* 31.05.20 00:00 ⓘ

Auflösung* monatlich ▾

Kategorie* **Datenpunkt**
Hauptzähler
Rechnungszähler
Unterzähler
Unterzähler 2
Unterzähler 3
Unterzähler 4
Unterzähler 5
Unterzähler 6

Ausgabeformat* HTML ▾

* Pflichtfelder

Abbrechen Fertig stellen

Abbildung 35: Darstellung „Berichte generieren“ im Siemens Navigator

Als Erstes kann die Berichtsart aus einem „Dropdown Menü“ ausgewählt werden. Während bei einem Knotenpunkt aus ca. 30 Berichten gewählt werden kann, ist die Anzahl möglicher Berichte bei einem einzelnen Datenpunkt deutlich geringer.

Folgende Berichte können bei **einzelnen Datenpunkten** gewählt werden:

- Benachrichtigung von Abweichungen
- Carpet Plot & Dauerlinie
- Detailverbrauch Wochenprofil
- Wertebericht
- Wertebericht Vorjahresvergleich

Bei Elektrozählern können zusätzlich zu den Berichten für einzelne Datenpunkte noch folgende Berichte gewählt werden:

- Elektrolastprofil Jahr
- Elektrolastprofil Monat
- Elektrolastprofil Tag
- Elektrolastprofil Woche

(hier wird die gemessene elektrische Arbeit auch zur Ermittlung der Leistung verwendet).

Um den Zeitraum der Ablesung zu bestimmen, muss das *Start- und Enddatum* festgelegt werden. Hier müssen auch die genauen Uhrzeiten angegeben werden.

Die *Auflösung* gibt an, in welchen Zeitabständen der Bericht seine Ergebnisse darstellen soll (z. B. alle 60 Minuten). Die Auswahl der Auflösung kann zwischen den Berichten variieren. Beim „Detailverbrauch“ kann z. B. zwischen acht Auflösungsintervallen gewählt werden, bei der „Haupterzeugung Übersicht“ lediglich aus zwei Auflösungsintervallen. Die Ergebnisse hängen wiederum von der voreingestellten *Verdichtung* der Datenpunkte ab.

Die Auswahl der *Kategorie* bzw. Zählerarten (Datenpunkt, Hauptzähler, etc.) ist aufgrund des erstellten Bilanzkonzeptes (siehe 5_Anhang_Strukturen...) und der daraus resultierenden Zählerstruktur sehr wichtig. Grundsätzlich kann hier eine Zählerart markiert oder mehrere mithilfe des gedrückten Tabulators oder der gedrückten Steuerungstaste gewählt werden. In den folgenden Unterpunkten/Kapiteln erfolgen weitere Hinweise zu entsprechenden Zählerstrukturen und Zuweisungen der Zählerart zu einem Datenpunkt.

Eine weitere Einstellmöglichkeit ist das *Ausgabeformat*. Hier kann zwischen sechs Ausgabeformaten gewählt werden:

- HTML
- PDF
- CSV
- XLS
- XLSX
- PPT

Z. B. wird beim Ausgabeformat HTML der Bericht mit den Ergebnissen und den dazugehörigen Diagrammen direkt in einem Browserfenster dargestellt. Im XLS/XLSX-Format wird eine Excel Tabelle mit allen tabellarischen Ergebniswerten des Berichts erstellt. Je nach gewählter Auflösung und gewähltem Zeitraum ist hier abhängig vom Berichtsformat mit etwas längeren Zeiten zu rechnen, bis die Ausgabe erfolgt. Standardmäßig ist das Format HTML eingestellt.

Neben den oben genannten Voreinstellungen besitzen einige Berichte zusätzliche Einstellungen und Individualisierungsmöglichkeiten, wie z.B. die Eingabe eines Flächenbezugs oder die Auswahl einzelner Medien. So arbeiten z.B. der Hauptverbrauch- (HGT) und Verbrauchskennwertbericht neben der Ausgabe von reinen Werten der Datenpunkte (Ausgabe z.B. kWh) zusätzlich mit Bezugsgrößen, wie z.B. entsprechenden Flächen oder Volumen* eines Raumes oder Raumbereiches („Ebenen“, Knotenpunkte) (Ausgabe dann z.B. kWh/m²). Die Eingabe der Bezugsflächen erfolgt im Navigator unter „Gebäudepool bearbeiten“ etc. bei „Gebäudeeigenschaften“ (siehe Abbildung 36).

* Entsprechende Bezugsflächen (und das Volumen) finden sich in „Topo_Navigator.xlsx“ (5_Anhang_Strukturen). Im ...Raumbuch_pab.xlsx (6_Anhang_div_Tabellen) finden sich die aus den vorhandenen Plänen herausgelesenen Flächenwerte der einzelnen Räume.

The screenshot shows the Navigator software interface for configuring an 'Energiezentrale' (Energy Center). The sidebar on the left contains navigation options, with 'Energiezentrale' and 'Berichtsfavoriten' highlighted. The main area displays the 'Liegenschaft : Energiezentrale' details, including 'Baujahr *' (2019), 'Bezugsfläche' (963.92 m²), and 'Volumen' (4819.6 m³). A 'Bezugsfläche' modal window is open, showing the 'Gültig seit' (Valid from) date (01.01.19), the 'Wert' (Value) (963.92), and the 'Einheit' (Unit) (m²). The modal also has 'Speichern' (Save) and 'Abbrechen' (Cancel) buttons.

Abbildung 36: Eingabe der Bezugsfläche im Navigator

Bei der Eingabe der Bezugsgrößen ist Folgendes zu beachten. Da die Flächen von den Knotenpunkten vom Subelement bis zur Liegenschaft addiert werden, darf eine Fläche nur einmal auf der jeweils untersten Ebene eingegeben werden. Das heißt, jede Bezugsfläche darf nur einmal direkt am zugehörigen Knotenpunkt eingetragen werden und nicht zusätzlich in einem in der Struktur höheren Knotenpunkt (addiert) enthalten sein.

Außerdem ist die einheitliche und richtige Eingabe des Datums bei "Gültig seit" (und Baujahr) bei Eingabe der Bezugsflächen zu beachten. Der Navigator gibt bei der Eingabe der Fläche automatisch ein Gültigkeitsdatum vor. Bei einer Eingabe im Jahr 2020 ist dies dann automatisch 01.01.2020. Falls die Eingabe der Flächen nachträglich im Jahr 2020 erfolgt ist, aber schon Messwerte aus 2019 vorliegen, würden bei einem Bericht über das Jahr 2019 die entsprechenden Bezugsflächen nicht berücksichtigt, sondern erst ab Berichten nach dem 1.1.20 (siehe Tabelle 12)*.

* Leider werden im Navigator im Bericht „Struktur Setup“ (Strukturübersicht über die Knoteninformationen) im Gegensatz zum „Baujahr“ die „gültig seit“-Werte nicht angezeigt, sodass eine einfache Überprüfung des Datums bei einer komplexen Gebäude-/Liegenschaftsstruktur nicht möglich ist.

Tabelle 12: Falsches Gültigkeitsdatum in der Bezugsfläche

Hauptverbrauch (HGT)				
Organisation	Hochschule Coburg	Startdatum	01.01.19 00:00	
Knoten	EG Nord [Unterzählung]	Enddatum	22.05.20 10:15	
Pfad	Regiomed - Klinik	Auflösung	monatlich	
Datum	Bezugsfläche m ²	Energie Total kWh/m ²	Elektrizität Total kWh/m ²	Kälte kWh/m ²
01/2019				
02/2019	888,60	397,90	397,90	
03/2019	888,60	104,88	35,79	69,09
04/2019	888,60	39,58	34,69	4,90
05/2019	888,60	41,60	35,92	5,69
06/2019	888,60	41,94	33,81	8,13
07/2019	888,60	44,04	36,44	7,60
08/2019	888,60	43,65	35,45	8,19
09/2019	888,60	39,91	34,33	5,58
10/2019	888,60	40,99	35,90	5,09
11/2019	888,60	40,46	34,73	5,73
12/2019	888,60	43,14	37,21	5,94
01/2020	2703,60	14,59	12,74	1,85
02/2020	2703,60	13,62	11,89	1,73
03/2020	2703,60	12,85	10,83	2,02
04/2020	2703,60	12,71	10,47	2,24
05/2020	2703,60	10,02	8,41	1,60
Summe				
Durchschnitt	1.455,79	41,86	35,82	6,44

Um ein anderes Kriterium (z. B. Bettenanzahl statt m²) in bestimmten Berichten (z. B. Hauptverbrauch (HGT)) als Bezugsgröße verwenden zu können, muss hierfür zunächst ein eigener virtueller Datenpunkt im Navigator angelegt werden. Da Bettenanzahl als Medium direkt nicht zur Verfügung steht, sind folgende Parameter einzustellen:

- Medium: Arbeitsplatz
- Einheit: Einheit
- Berichtsgruppe: Arbeitsplatz
- Verdichtung der Werte: Durchschnitt
- Kategorie: Hauptzähler
- Erfassungsintervall: 1Tag
- Formel: 276 (Angabe der Bettenzahl)

Bei der Berichtserstellung kann dann „Arbeitsplatz“ mit der Einheit „Einheit“ als Bezugsgröße ausgewählt werden und entsprechende Kennwerte des Berichts sind dann auf die eingegebene „Bettenzahl“ bezogen (Abbildung 37).

1. ✓ 2. ⊕

Berichte generieren

Auswahl der Bezugsgrösse

Wählen Sie die gewünschte Bezugsgrösse für die Kennwertberechnung aus der Liste aus.

Bericht zu

Arbeitsplatz

Einheit

Einheit

Abbildung 37: Bezugsgröße Arbeitsplatz (=Bettenanzahl)

Im Folgenden werden einige wichtige Berichte näher beschrieben.

4.6.1.4.1 Haupterzeugung Übersicht

Die Haupterzeuger von Wärme, Elektrizität und Kühlung werden in diesem Bericht anhand der einzelnen Ergebnisse und eines gestapelten Säulendiagramms miteinander verglichen (siehe Abbildung 38: Ausgabe der Ergebnisse „Haupterzeugung Übersicht“ Übersicht).

In den Reitern werden die Medien (z. B. Wärme) untergliedert in die einzelnen Erzeuger dargestellt (siehe Abbildung 39). Dabei wird hier monatlich veranschaulicht, wie viel Energie ein Erzeuger im Verhältnis zur gesamt erzeugten Energie bereitgestellt hat.

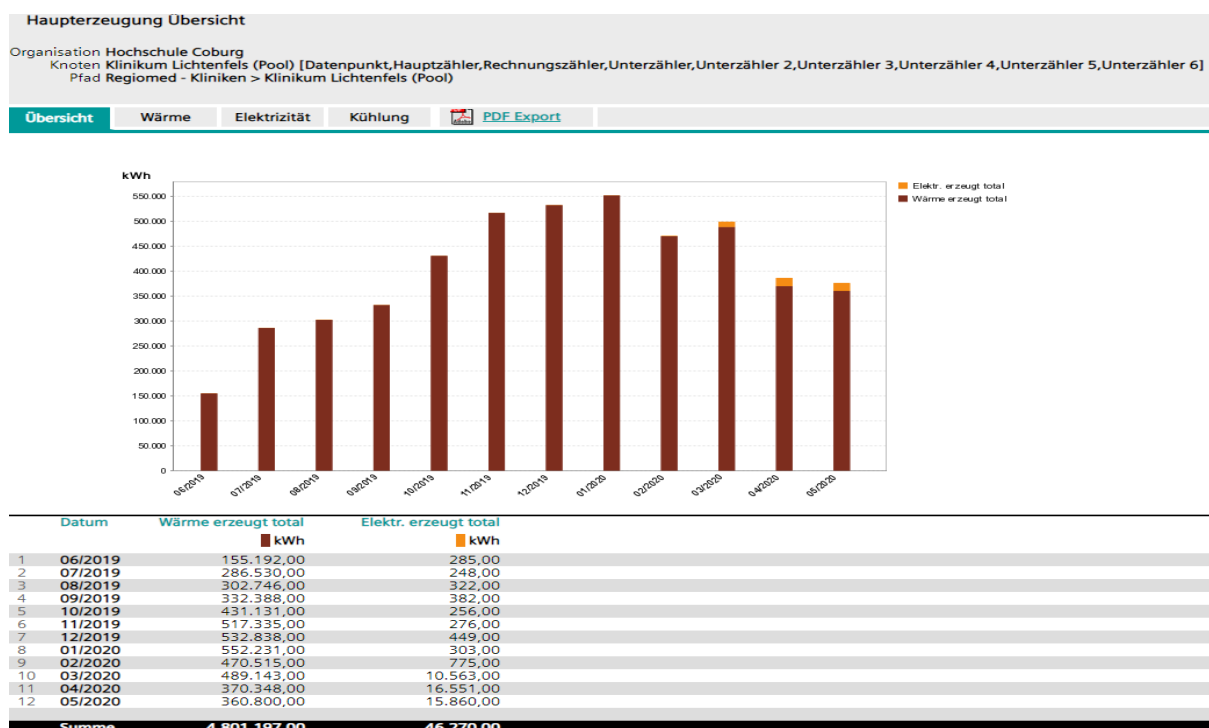


Abbildung 38: Ausgabe der Ergebnisse „Haupterzeugung Übersicht“ Übersicht

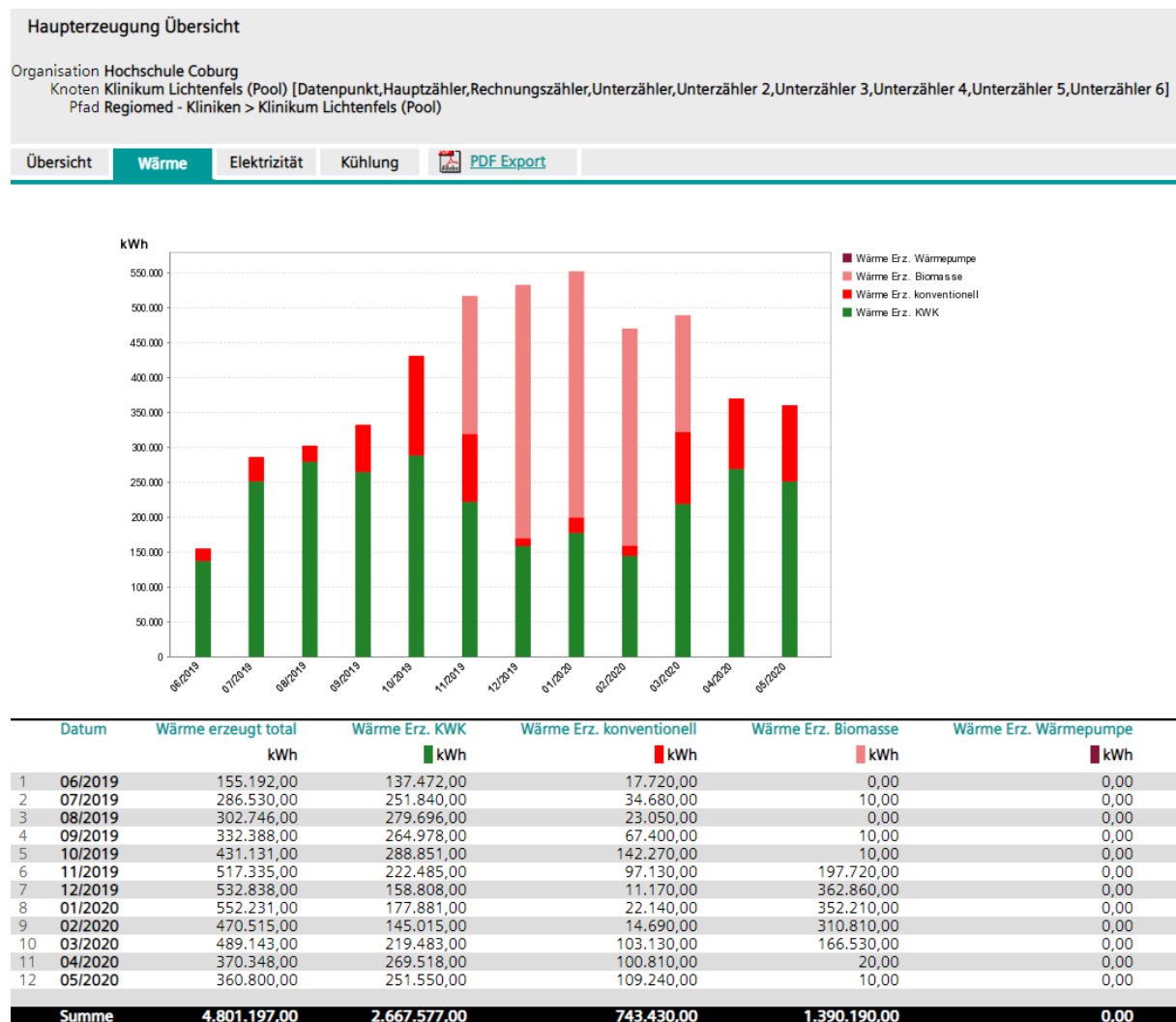


Abbildung 39: Ausgabe der Ergebnisse „Haupterzeugung Übersicht“ einzelner Erzeuger

„In dem Bericht „Haupterzeugung Übersicht“ kann die erzeugte Energie angezeigt werden und in Relation dazu, wie viel von dieser erzeugten Energie ins öffentliche Netz eingespeist wurde. Zusätzlich kann man den Bericht nach den einzelnen Medien wie „Wärme“ oder „Elektrizität“ filtern.“¹⁶

Bei diesem Bericht ist es wichtig, dass die im Bericht angezeigten Werte nur von den Datenpunkten mit den Kategorien bzw. Zählerarten (Datenpunkt, Hauptzähler, usw.) stammen, die laut Bilanzkonzept tatsächlich in der Erzeugerebene liegen (siehe auch 5_Anhang_Strukturen\Zählerstruktur.xlsx).

4.6.1.4.2 Hauptverbrauch (HGT)

Dieser Bericht gibt innerhalb des gewählten Knotenpunktes eine Übersicht über die Medien

- Wärme: alle Brennstoffe, mit oder ohne Heizgradtagbereinigung (HGT) bzw. Witterungsbereinigung (inkl. Fernwärme)
- Elektrizität
- Wasserverbrauch
- Kälte
- Mobilität
- Dampf
- Druckluft

Im Bericht können die Ergebnisse u. a. auch unter Bezugnahme auf entsprechende Bezugsgrößen als „Verbrauchskennwerte“ ausgewertet werden. Ausgewählt werden kann zwischen Bezugsfläche (m^2), Volumen (m^3) oder Arbeitsplatz (=Bettenanzahl) des Knotenpunktes (siehe Abbildung 40).

1. ✓ 2. 

Berichte generieren

Auswahl der Bezugsgröße

Wählen Sie die gewünschte Bezugsgröße für die Kennwertberechnung aus der Liste aus.

Bericht zu	Bezugsfläche 
Einheit	m^2 

Abbildung 40: Auswahl Bezugsfläche (m^2) oder Volumen (m^3)

Die Hauptverbraucher von Wärme, Elektrizität, Wasser und Kühlung werden in diesem Bericht in der „Übersicht“ anhand der einzelnen Ergebnisse und eines gestapelten Säulendiagramms (bzw. einer Liniendarstellung für den Wasserverbrauch) miteinander verglichen (siehe Abbildung 41).

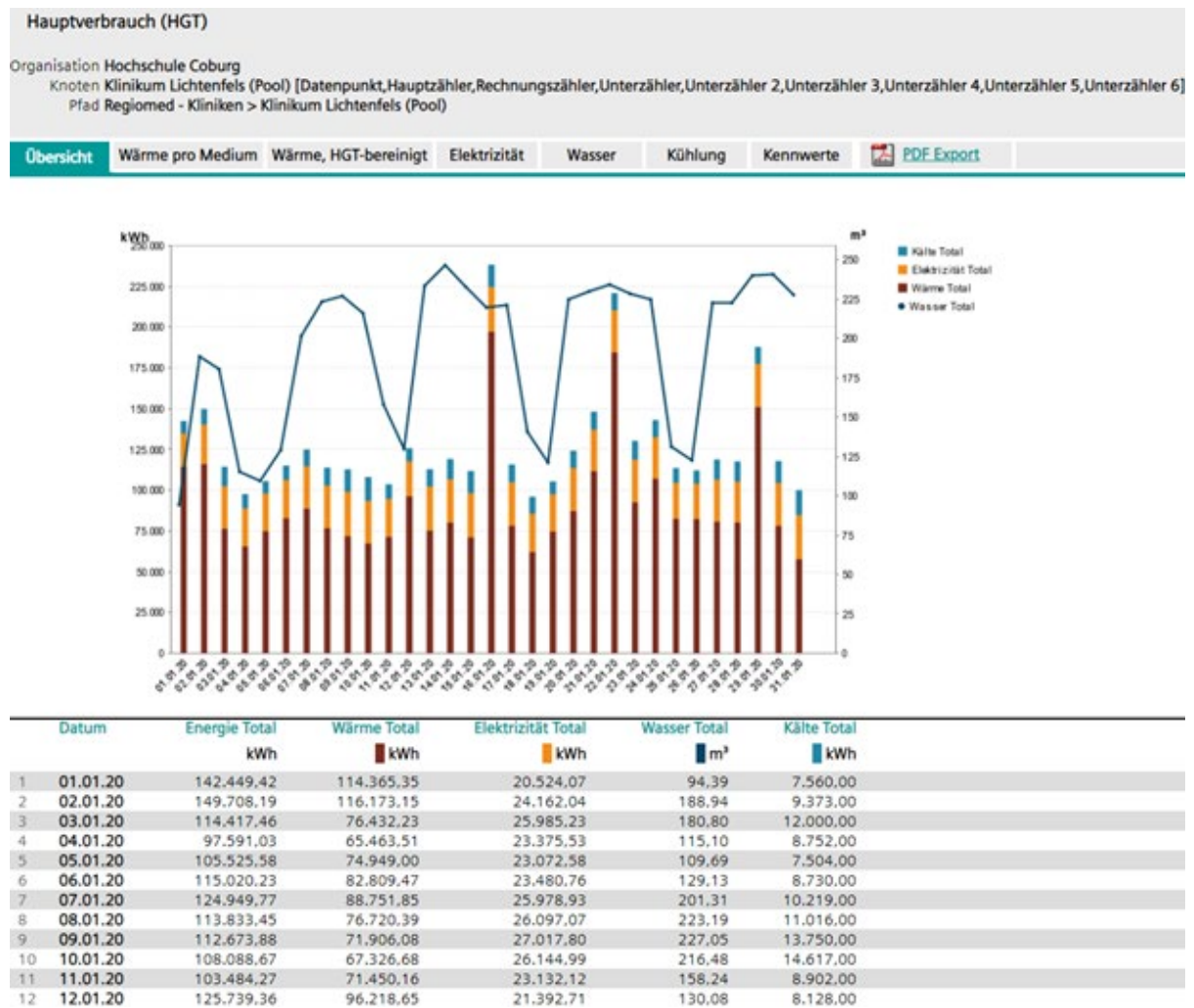


Abbildung 41: Ausgabe der Ergebnisse „Hauptverbrauch (HGT)“ Übersicht

In den Reitern werden die Medien individuell betrachtet und als Diagramm und Tabelle dargestellt. Der Wärmeverbrauch wird pro Medium dargestellt (siehe Abbildung 42).

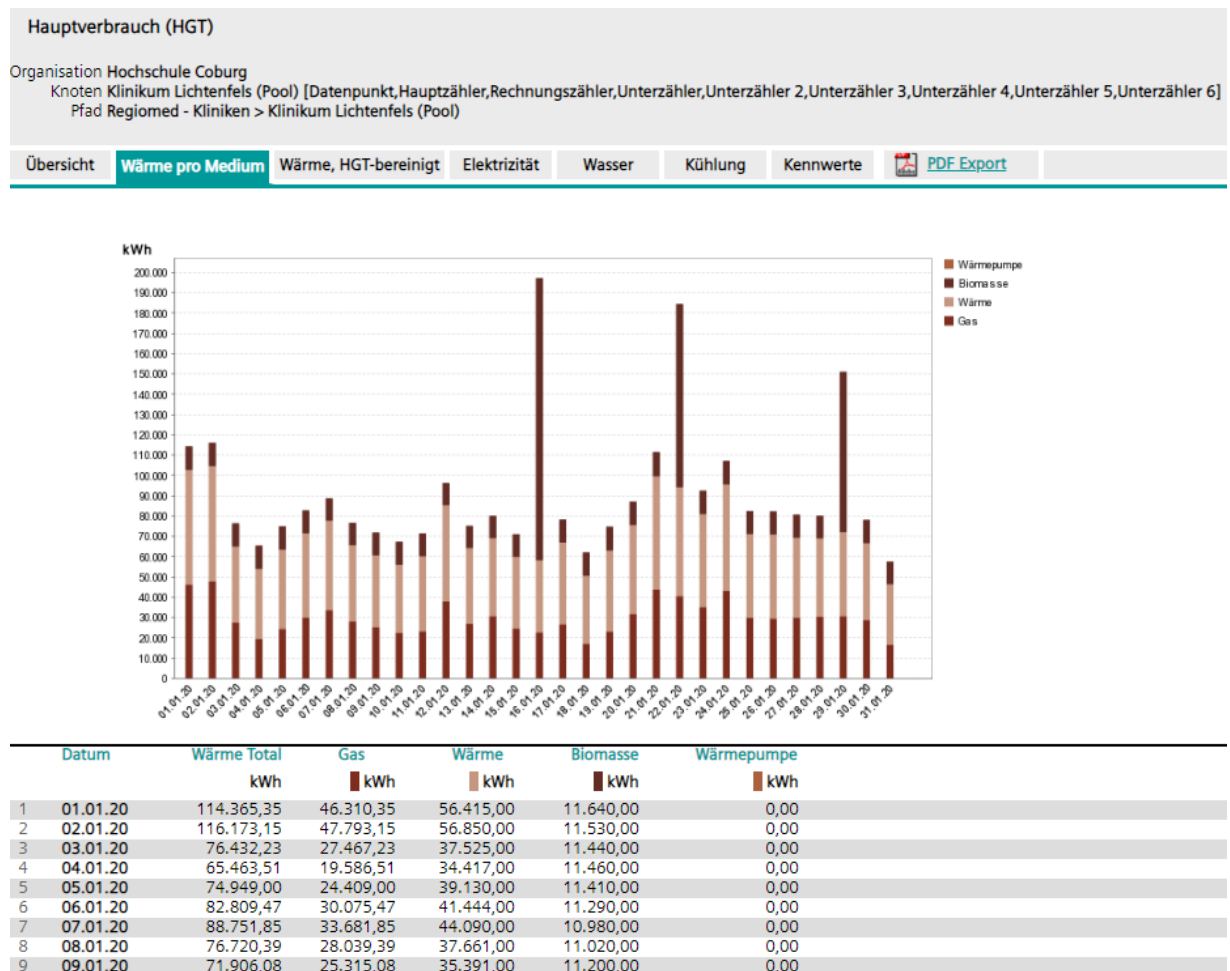


Abbildung 42: Ausgabe der Ergebnisse „Hauptverbrauch (HGT)“ Wärme pro Medium

Der Reiter „Wärme HGT-bereinigt“ stellt den Wärmeverbrauch des gewählten Knotenpunktes unter gleichen Bedingungen dar. Der Wärmeverbrauch fürs Heizen ist in jedem Jahr aufgrund unterschiedlicher klimatischer Bedingungen unterschiedlich. Um z. B. den Energieverbrauch mehrerer Jahre miteinander vergleichen zu können, wird eine Witterungsbereinigung bzw. Heizgradtagbereinigung verwendet (siehe Abbildung 43).

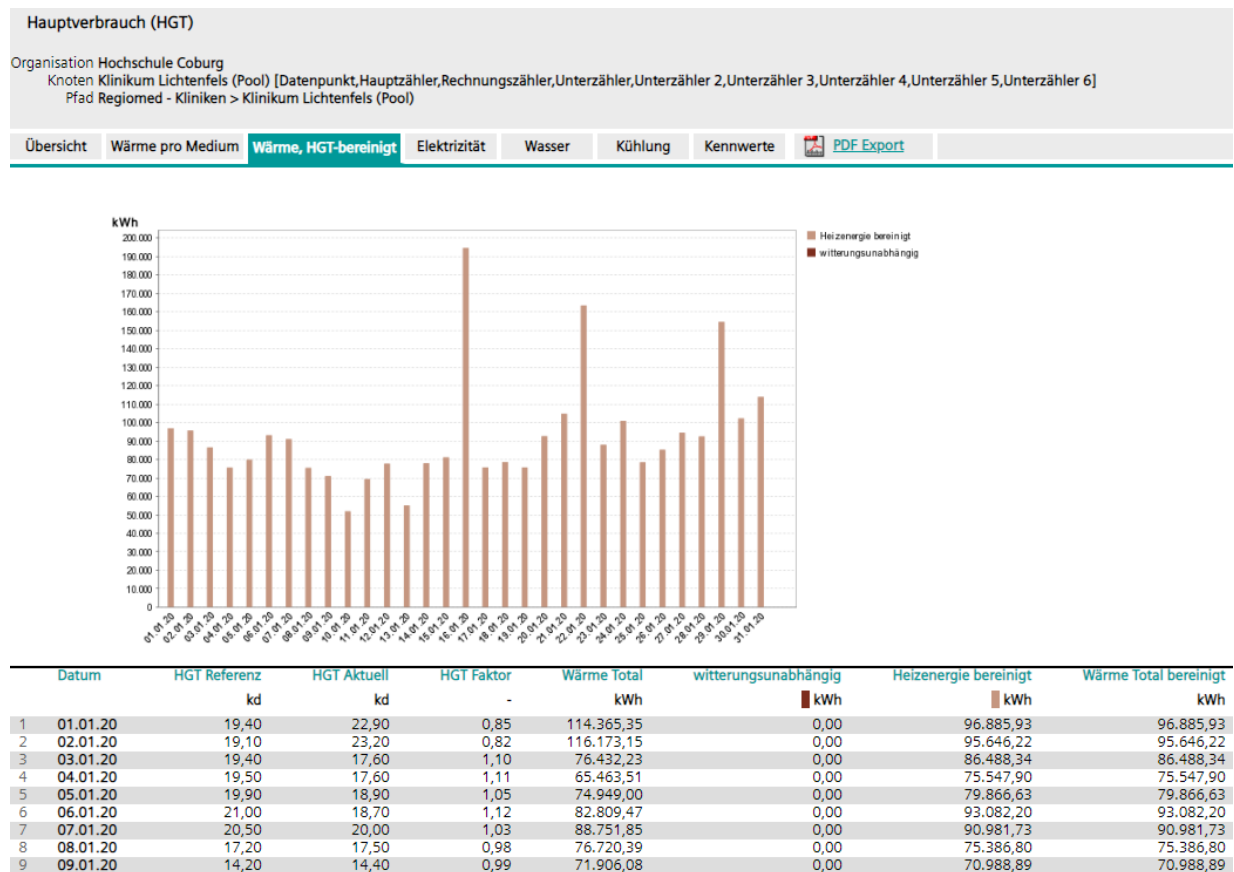


Abbildung 43: Ausgabe der Ergebnisse „Hauptverbrauch (HGT)“ Wärme, HGT-bereinigt

„Die Heizgradtage (HGT) sind ein Maß für die mittlere Außentemperatur. Je größer der HGT-Wert ist, desto kälter ist es und desto größer ist der Heizenergiebedarf. Soll der Heizenergieverbrauch verschiedener Jahre untereinander verglichen werden, müssen diese Verbräuche auf die gleiche Referenz bereinigt werden. Wärmeverbräuche, die von der Außentemperatur unbeeinflusst sind, dürfen bei der Bereinigung nicht einbezogen werden. Beispiele für solche Verbräuche sind die Erwärmung von Brauchwarmwasser, Prozesswärme, etc. Die Referenz-HGT und die gemessenen HGT müssen nach der gleichen Definition berechnet werden.“¹⁷

Nach VDI 3807 Blatt 1 Verbrauchskennwerte für Gebäude ¹⁸ ist „ein auf einen Tag bezogener Gradtag G die Differenz zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20 °C und dem Tagesmittel der Außentemperatur. In Anrechnung kommen nur die Tage mit einer Tagesmitteltemperatur unter 15 °C.

$$G = (20 \text{ °C} - t_m) \cdot 1 \text{ d für } t_m < 15 \text{ °C} \quad (1)$$

Dabei ist

G Gradtage in K·d

t_m Tagesmittel der Außentemperatur eines Heiztages ($t_m < 15 \text{ °C}$)

Für einen Auswertezeitraum sind die Gradtage für die in Betracht kommenden Tage aufzuzählen.

$$G_z = \sum_{n=1}^z (20 - t_{m,n}) \quad (2)$$

Dabei ist

z Zahl der Tage mit $t_m < 15 \text{ °C}$ im Auswertezeitraum“

Das Verhältnis der Gradtagzahl* des aktuellen Jahres eines Standorts zum langjährigen Mittel des gleichen Standorts kennzeichnet, ob die Außentemperaturen im ausgewählten Jahr niedriger oder höher als das langjährige Mittel an diesem Standort war. Um einen klimabereinigten Verbrauch zu erhalten, muss der Heizenergieverbrauch des aktuellen Jahres durch die Verhältniszahl geteilt werden.

Im Bericht Klimadaten werden sowohl kumulierte Heizgradtage, als auch die periodische Anzahl (basierend auf der gewählten Auflösung, z. B. monatlich) angezeigt. Sind Temperaturen verfügbar, werden diese im zweiten Reiter dargestellt.

Je nach gewählter Auflösung (jährlich, monatlich) kann es im Hauptverbrauchsbericht (HGT) z. B. bei monatlicher Darstellung aufgrund der Gradtagsdefinition zu negativen Verbräuchen kommen (über das gesamte Jahr betrachtet ist der Wert korrekt).

Neben dem Bericht Hauptverbrauch (HGT) werden entsprechende Betrachtungen mit HGT-bereinigten Daten auch in den Berichten

- Hauptverbrauch Knotenvergleich (HGT)
- Hauptverbrauch Vorjahresvergleich (kum.)

verwendet.

In ¹⁷ finden sich die im Navigator verwendeten Berechnungsschritte zur Gradtagsbereinigung. Der Reiter „Elektrizität“ gliedert den Totalverbrauch in Elektrizität Niedertarif (NT), Elektrizität Hochtarif (HT), Elektrizität Eintarif und Leistung. Es kann im gewählten Zeitraum dargestellt werden, wann entsprechende Tarife genutzt wurden und wie die einzelnen Tarife zum Gesamtverbrauch beitragen (siehe Abbildung 44)

* Entsprechende aktuelle Daten zu Gradtagszahlen (jeweils im Januar und im Mai aktualisiert) finden sich z. B. bei <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/#c205>. (Die Datei "Gradtagszahlen Deutschland.xls" ist ein Gratis-Service des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU). Es besteht kein Anspruch auf regelmäßige Aktualisierung der Daten.)

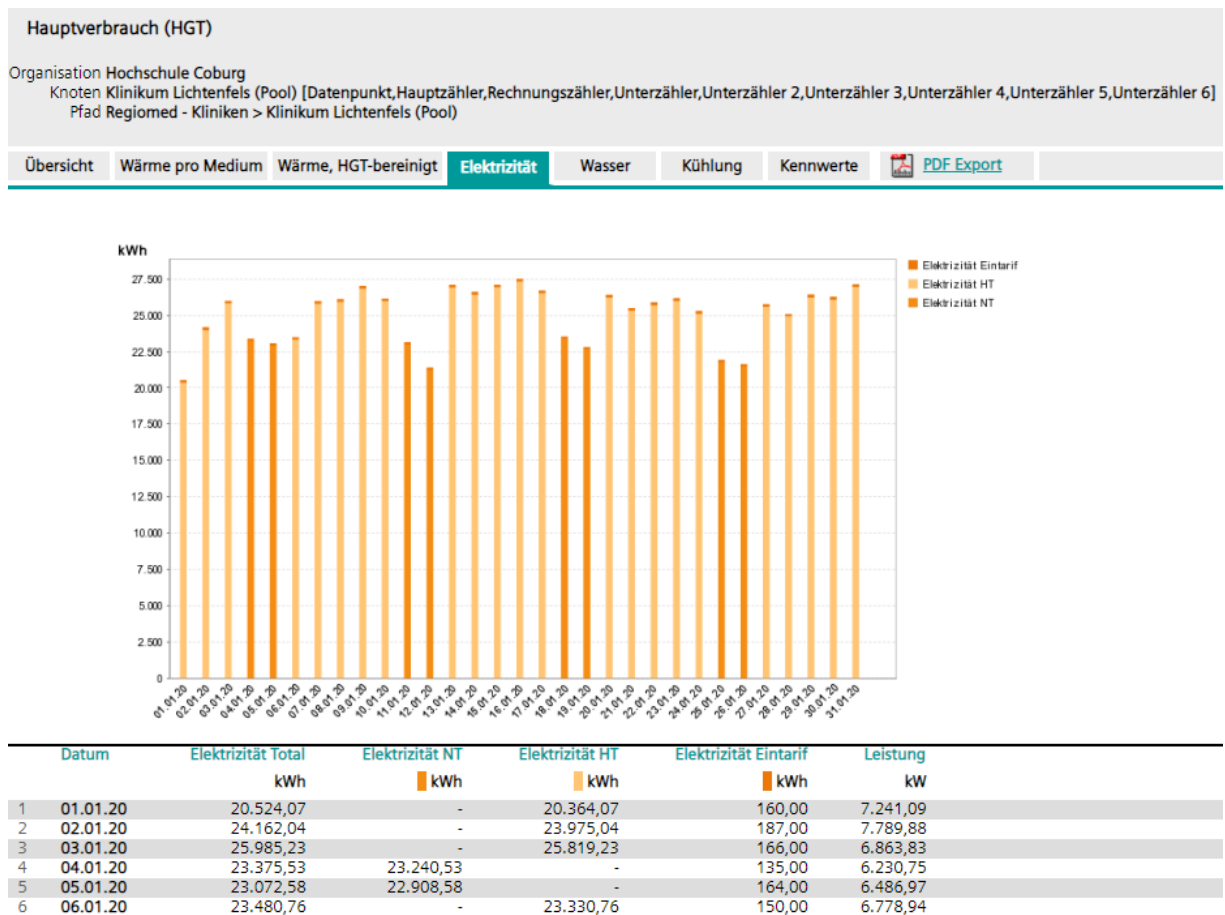


Abbildung 44: Ausgabe der Ergebnisse „Hauptverbrauch (HGT) Elektrizität“

Eine Besonderheit stellt die Darstellung der Leistung dar. Während in entsprechenden Berichten „Elektro Lastprofile (Jahr, Monat, Woche, Tag)“ mit Leistungswerten gearbeitet wird, die aus der elektrischen Arbeit berechnet sind (und extra Leistungszähler nicht berücksichtigt werden), werden im Bericht „Hauptverbrauch (HGT) Elektrizität“ **nur dann** Leistungen dargestellt, wenn Werte von „extra“ elektrischen Leistungszählern vorhanden sind.

Bei der Auflösung „stündlich“ erfolgt die Darstellung der Leistung aus den über eine Stunde **gemittelten** Leistungswerten (z. B. 1/4h-Werte). Üblicherweise interessieren allerdings die Lastspitzen, sodass eine Mittelung nicht sinnvoll erscheint.

Bei der Auflösung „täglich“ erfolgt die Darstellung der Leistung aus den über einen Tag **gemittelten** Leistungswerten (z. B. 1/4h-Werte). Üblicherweise interessieren allerdings die Lastspitzen, sodass eine Mittelung nicht sinnvoll erscheint (siehe 8_Anhang_Navigator\Navigator_Berichte\Navi_HV_Elt_Last).

Im Reiter „Wasser“ wird der Wasserverbrauch im gewählten Zeitraum dargestellt (siehe Abbildung 45).

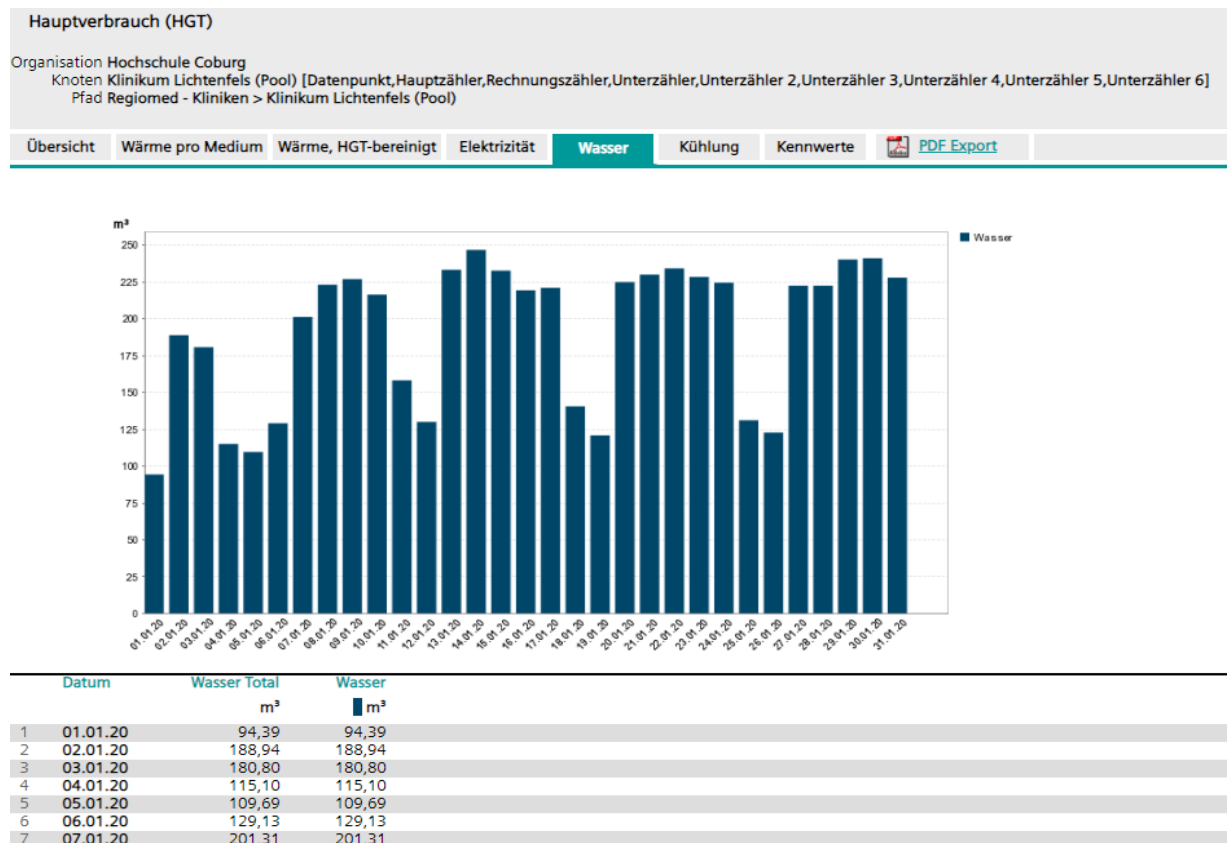


Abbildung 45: Ausgabe der Ergebnisse „Hauptverbrauch (HGT)“ Wasser

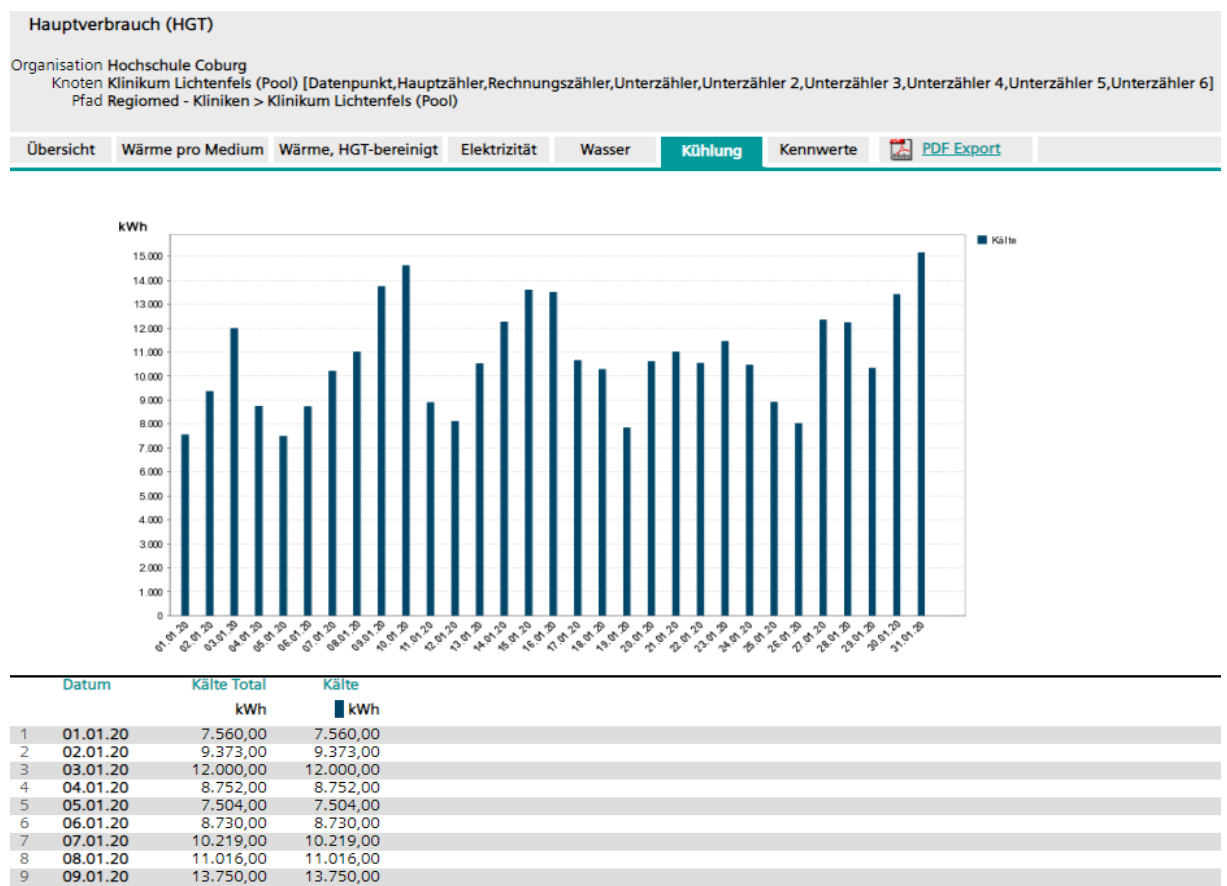


Abbildung 46: Ausgabe der Ergebnisse „Hauptverbrauch (HGT)“ Kühlung

Im Reiter „Kühlung“ wird der Energieverbrauch für die Kälte im gewählten Zeitraum dargestellt (siehe Abbildung 46).

Der Reiter „Kennwerte“ gibt nochmal eine Übersicht über den Hauptverbrauch, aber jetzt mit den auf die Bezugsgröße (z. B. m^2) bezogenen Kennwerten (siehe Abbildung 47).

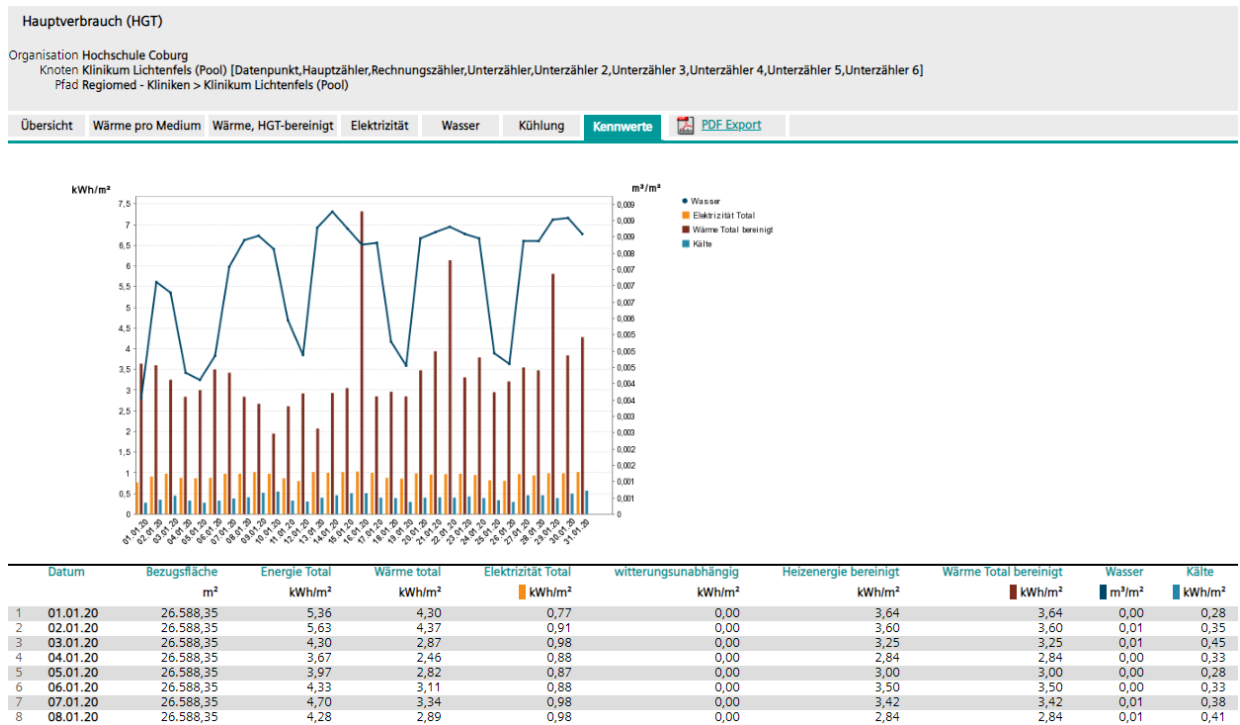


Abbildung 47: Ausgabe der Ergebnisse „Hauptverbrauch (HGT)“ Kennwerte

4.6.1.4.3 Elektro-Lastprofile (Jahr, Monat, Woche, Tag)

Der Bericht zeigt das Lastprofil und den Verbrauch vom Medium *Elektrizität Zeittarif* inkl. der Unterscheidung von Hoch- und Niedertarif mit gleichzeitiger Darstellung der maximalen Leistung. Dieser Bericht ist nur beim Medium *Elektrizität Zeittarif* möglich.

Bei der Anwendung dieses Berichts zeigten sich verschiedene Probleme (siehe 8_Anhang_Navigator\Navigator_Berichte\Navi_HV_Elt_Last). Es ist zu beachten, dass bei Elektro-Lastprofilberichten immer mit Leistungswerten gearbeitet wird, die aus der elektrischen Arbeit berechnet sind. Extra Leistungszähler werden nicht berücksichtigt (Aussage Siemens: „Die Medien-Gruppe Leistung (engl: Demand), falls vorhanden wird in diesem Bericht nicht ausgewertet.“).

Die Berechnung der Leistung erfolgt mit dem Messwert des Mediums Elektrizität (Arbeit) auf 15-min Basis, indem die 1/4 h-Werte der Arbeit mit 4 multipliziert werden. Das Maximum für ein entsprechendes Berichtsintervall (Lastspitze, max. Leistung, Tagesspitze) wird im Bericht angezeigt. Weiterhin taucht in den Berichten eine sogenannte *Belastungszahl* auf.

Im *Elektro-Lastprofil Tag* wird in der Übersicht eine *Belastungszahl* genannt, die aber mit keinem Wert belegt ist (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Elektro-Lastprofil Tag, Belastungszahl ohne Werte (dargestellter Auflösung täglich)

Elektro Lastprofil Tag				
		Auflösung	täglich	
Organisation	Hochschule Coburg	Startdatum	09.02.20 00:00	
Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool) [Hauptzähler]	Enddatum	10.02.20 00:00	
Pfad	Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool)			
Datum	Verbrauch Total kWh	Leistung kW	Verbrauch NT kWh	
Verbrauch Total	2799,00	kWh	Tagesspitze	212,00
Verbrauch HT		kWh	Max Leistung	
Verbrauch NT	2799,00	kWh	Min Leistung	32,00
Belastungszahl				

Im *Elektro-Lastprofil Woche* werden zwei Darstellungen angegeben:

- *Belastungszahl (Auflösung täglich)* (siehe Tabelle 14), wird gebildet aus Tagesverbrauch Total (kWh) / Tagesspitze (kW) * 4, wobei sich die Tagesspitze als maximaler 1/4 h-Leistungswert (berechnet) am Tag ergibt. (Beispiel: 2799 kWh/212 kW*4 = 52,81)
- *Belastungszahl (angegeben Auflösung täglich, tatsächlich dargestellte Auflösung ist stündlich)* (siehe Tabelle 15), wird gebildet aus Stundenverbrauch Total (kWh) / Tagesspitze24 (kW), wobei bei der Tagesspitze24 (kW) der max. 1/4 h-Arbeitswert (kWh) einer Stunde verwendet wird. (Beispiel: 100 kWh/35 kW = 2,86)

Tabelle 14: Elektro-Lastprofil Woche, Belastungszahl mit dargestellter Auflösung täglich

Elektro Lastprofil Woche							
Organisation	Hochschule Coburg			Startdatum	09.02.20 00:00		
Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool) [Hauptzähler]			Enddatum	16.02.20 00:00		
Pfad	Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool)			Auflösung	täglich		
Datum		09.02.20	10.02.20	11.02.20	12.02.20	13.02.20	14.02.20
Tag		Sonntag	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
Tagestyp		Wochenende	Wochentag	Wochentag	Wochentag	Wochentag	Wochentag
Verbrauch Total	kWh	2799,00	3904,00	3602,00	3642,00	3599,00	3599,00
Verbrauch HT	kWh		3904,00	3602,00	3642,00	3599,00	3599,00
Verbrauch NT	kWh	2799,00					
Belastungszahl		52,81	49,42	50,73	44,96	53,72	46,96
Max Leistung	kW		316,00	284,00	324,00	268,00	308,00
Tagesspitze	kW	212,00	316,00	284,00	324,00	268,00	308,00
Tageshöchstwert		17:18	09:18	14:33	09:33	12:18	09:33

Tabelle 15: Elektrolastprofil Woche, Belastungszahl tatsächliche Auflösung stündlich

Elektro Lastprofil Woche						
Organisation	Hochschule Coburg	Startdatum	09.02.20 00:00	Max 1/4 h- Arbeitswert (kWh) innerhalb einer h		
Knoten	Klinikum Lichtenfels (P)	Enddatum	16.02.20 00:00			
Pfad	Regiomed - Kliniken > K	Auflösung	täglich			
Datum	Verbrauch Total kWh	Verbrauch HT kWh	Verbrauch NT kWh	Belastungszahl	Leistung kW	Tagesspitze24 kW
09.02.20 01:00	100,00	100,00		2,86	35,00	00:18
09.02.20 02:00	92,00	92,00		2,79	33,00	01:18
09.02.20 03:00	90,00	90,00		2,65	34,00	02:33
09.02.20 04:00	62,00	62,00		2,14	29,00	03:03

Die Navigator-Bezeichnungen sind hier verwirrend und die *Belastungszahl* lässt sich nicht eindeutig interpretieren.

Im *Elektro-Lastprofil Monat* wird keine *Belastungszahl* angegeben, sondern nur die max. *Leistung* bzw. *Tagesspitze* (Auflösung täglich), die aus den max. 1/4 h-Leistungswerten ermittelt wird.

Im *Elektro-Lastprofil Jahr* wird keine *Belastungszahl* angegeben, sondern nur die max. *Leistung* (Auflösung monatlich), die aus den max. 1/4 h-Leistungswerten ermittelt wird.

Eine weitere Problematik ergibt sich aus folgender Tatsache:

Bei einem entsprechenden Arbeits-Zähler wird z. B. alle 15 min der Zählerstand ausgelesen („Erfassungsintervall“, z. B. Ableszeitpunkt 00:03, 00:18, usw.). Aus der Differenz zweier Ablesungen wird dann die im Erfassungszeitraum geleistete Arbeit gebildet (kWh/15 min). Diese Werte können im Navigator unter der Auflösung „bei Ablesung“ beim tatsächlichen Ableszeitpunkt dargestellt werden.

Wird im Navigator die Auflösung „15 minütlich“ gewählt, wird dem Messwert von 00:03 (bzw. der Differenz zweier Ablesungen) die Zeit 00:15 zugewiesen, also die Ableszeit um 12 Min. nach vorn verschoben. Im ungünstigen Fall kann ein Wert deshalb um knapp 15 min verschoben sein (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Zeitverschiebung der Messwerte

Zeitverschiebung:

(Siehe Exceldatei div_Elektrolastprofile_Ca.xlsx)

Ein entsprechender Wert „bei Ablesung“ zwischen 00:01 u. 00:15 wird bei „15 minütlich“ auf 00:15 gesetzt.
Z.B. 00:03 => 00:15 => der „15 minütlich“-Wert ist um 12 Minuten zeitlich nach vorne verschoben!

Eigene Berechnung (nicht im Navigator dargestellt):
Hier wird der **Leistungswert** ermittelt aus den 1/4 h-Werten der Arbeit * 4

Wertebericht				bei Ablesungen => 15 minütlich				Werte mehrerer Datenpunkte (oder Wertebericht)			
Organisation	Hochschule Coburg	Startdatum	09.02.20 00:00	Organisation	Hochschule Coburg	Startdatum	09.02.20 00:00	Organisation	Hochschule Coburg	Startdatum	09.02.20 00:00
Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool)	Enddatum	15.02.20 00:00	Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool)	Enddatum	15.02.20 00:00	Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool)	Enddatum	15.02.20 00:00
Pfad	Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool) > ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1	Auflösung	bei Ablesungen	Pfad	Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool) > ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1	Auflösung	15 minütlich	Pfad	Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool) > ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1	Auflösung	15 minütlich
Datum				Datum				Datum			
Ablesung				Ablesung				Ablesung			
Faktor				Faktor				Faktor			
Elektrizität Zeittarif kWh				Elektrizität Zeittarif kWh				Elektrizität Zeittarif kWh			
09.02.20 00:03	2174488,00	kWh	1,00	23,00	kWh			09.02.20 00:15	23,00	23,00	92
09.02.20 00:18	2174523,00	kWh	1,00	35,00	kWh			09.02.20 00:30	35,00	35,00	140
09.02.20 00:33	2174543,00	kWh	1,00	20,00	kWh			09.02.20 00:45	20,00	20,00	80
09.02.20 00:48	2174565,00	kWh	1,00	22,00	kWh			09.02.20 01:00	22,00	22,00	88
09.02.20 01:03	2174580,00	kWh	1,00	15,00	kWh			09.02.20 01:15	15,00	15,00	60
09.02.20 01:18	2174613,00	kWh	1,00	33,00	kWh			09.02.20 01:30	33,00	33,00	132
09.02.20 01:33	2174631,00	kWh	1,00	18,00	kWh			09.02.20 01:45	18,00	18,00	72
09.02.20 01:48	2174657,00	kWh	1,00	26,00	kWh			09.02.20 02:00	26,00	26,00	104
09.02.20 02:03	2174672,00	kWh	1,00	15,00	kWh			09.02.20 02:15	15,00	15,00	60
09.02.20 02:18	2174691,00	kWh	1,00	19,00	kWh			09.02.20 02:30	19,00	19,00	76
09.02.20 02:33	2174725,00	kWh	1,00	34,00	kWh			09.02.20 02:45	34,00	34,00	136
09.02.20 02:48	2174747,00	kWh	1,00	22,00	kWh			09.02.20 03:00	22,00	22,00	88
09.02.20 03:03	2174776,00	kWh	1,00	29,00	kWh			09.02.20 03:15	29,00	29,00	116
09.02.20 03:18	2174786,00	kWh	1,00	10,00	kWh			09.02.20 03:30	10,00	10,00	40
09.02.20 03:33	2174800,00	kWh	1,00	14,00	kWh			09.02.20 03:45	14,00	14,00	56

Zudem wird beim *Elektro-Lastprofil Woche* die *Tagesspitze* bzw. der *Tageshöchstwert* beim tatsächlichen Ablesezeitpunkt dargestellt (siehe Tabelle 16). Dieser Effekt muss bei der Bestimmung des Zeitpunktes von Lastspitzen bzw. z. B. beim Vergleich mit Messdaten des Versorgers berücksichtigt werden.

Entsprechend ergeben sich bei anderen Auflösungen (z. B. „60 minütlich“) und entsprechenden Verdichtungen (z. B. Summe oder Maximum) u.U. leichte zeitliche Verschiebungen z. B. beim Vergleich mit Messdaten des Versorgers.

4.6.1.4.4 Detailverbrauch

Beim Bericht *Detailverbrauch* werden für „ein ausgewähltes Medium ... alle Verbräuche addiert und geben den Gesamtverbrauch einer Mediengruppe (z. B. Erdgas, Biomasse, Elektrizität Zeittarif) wieder. Es können auch mehrere Medien ausgewählt werden (bis zu maximal 25 gleichzeitig selektierbar), die anschließend in separaten Reitern im Bericht dargestellt werden. Im Detailverbrauchsbericht können alle Medien dargestellt werden.“¹⁶

Zur Auswahl der Medien, die später im Bericht dargestellt werden sollen, muss eine Einheit mithilfe des Dropdown Menüs gewählt werden (siehe Abbildung 48) und dann „Fertigstellen“.

1. ✓ 2. ⚙

Berichte generieren

Biomasse	kWh	▼
Elektrizität Erz. KWK	nicht berücksichtigt	▼
Elektrizität Erz. Notstrom	nicht berücksichtigt	▼
Elektrizität Erz. PV	nicht berücksichtigt	▼
Elektrizität Zeittarif	nicht berücksichtigt	▼
Gas	kWh	▼
Kälte Erz.	nicht berücksichtigt	▼
Leistung	nicht berücksichtigt	▼
Wasser	m³	▼
Wärme Erz. Biomasse	nicht berücksichtigt	▼
Wärme Erz. KWK	nicht berücksichtigt	▼
Wärme Erz. Wärmepumpe	nicht berücksichtigt	▼
Wärme Erz. konventionell	nicht berücksichtigt	▼

* Pflichtfelder

Abbrechen Zurück Fertig stellen

Abbildung 48: Einstellung der Medien für den Detailverbrauch

Im Bericht wird dann zum einen eine tabellarische Übersicht aller gewählten Medien angezeigt (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Ausgabe der Ergebnisse „Detailverbrauch“ Übersicht

Detailverbrauch							
Organisation Hochschule Coburg Knoten Klinikum Lichtenfels (Pool) [Datenpunkt,Hauptzähler,Rechnungszähler,Unterzähler,Unterzähler 2,Unterzähler 3,Unterzähler 4,Unterzähler 5,Unterzähler 6] Pfad Regiomed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool)							
Übersicht	Leistung	Wasser	Wärme Erz. Biomasse	Wärme Erz. KWK	Wärme Erz. Wärmepumpe	Wärme Erz. konventionell	PDF Export
Datum	Leistung kW	Wasser m³	Wärme Erz. Biomasse kWh	Wärme Erz. KWK kWh	Wärme Erz. Wärmepumpe kWh	Wärme Erz. konventionell kWh	
1 06/2019	19.473,25	9.598,04	0,00	137.472,00	0,00	17.720,00	
2 07/2019	22.381,20	10.529,13	10,00	251.840,00	0,00	34.680,00	
3 08/2019	22.681,70	9.922,59	0,00	279.696,00	0,00	23.050,00	
4 09/2019	21.685,20	8.543,59	10,00	264.978,00	0,00	67.400,00	
5 10/2019	25.029,46	8.328,93	10,00	288.851,00	0,00	142.270,00	
6 11/2019	25.395,61	7.810,56	197.720,00	222.485,00	0,00	97.130,00	
7 12/2019	25.957,20	7.049,93	362.860,00	158.808,00	0,00	11.170,00	
8 01/2020	25.541,02	5.940,86	352.210,00	177.881,00	0,00	22.140,00	
9 02/2020	31.137,46	5.691,20	310.810,00	145.015,00	0,00	14.690,00	
10 03/2020	14.623,40	4.983,05	166.530,00	219.483,00	0,00	103.130,00	
11 04/2020	12.343,42	4.356,99	20,00	269.518,00	0,00	100.810,00	
12 05/2020	11.091,01	5.266,70	10,00	251.550,00	0,00	109.240,00	
Summe	-	88.021,57	1.390.190,00	2.667.577,00	0,00	743.430,00	
Durchschnitt	21.444,99	7.335,13	115.849,17	222.298,08	0,00	61.952,50	
Min	11.091,01	4.356,99	0,00	137.472,00	0,00	11.170,00	
Max	31.137,46	10.529,13	362.860,00	288.851,00	0,00	142.270,00	

Zum anderen werden die Ergebnisse der einzelnen Medien durch das Auswählen der neben der *Übersicht* stehenden entsprechenden Reiter erreicht. Dort wird neben den im gewählten Zeitraum abgelesenen Werten des einzelnen Mediums zusätzlich ein Liniendiagramm mit dem zeitlichen Verlauf des Mediums dargestellt (siehe Abbildung 49).

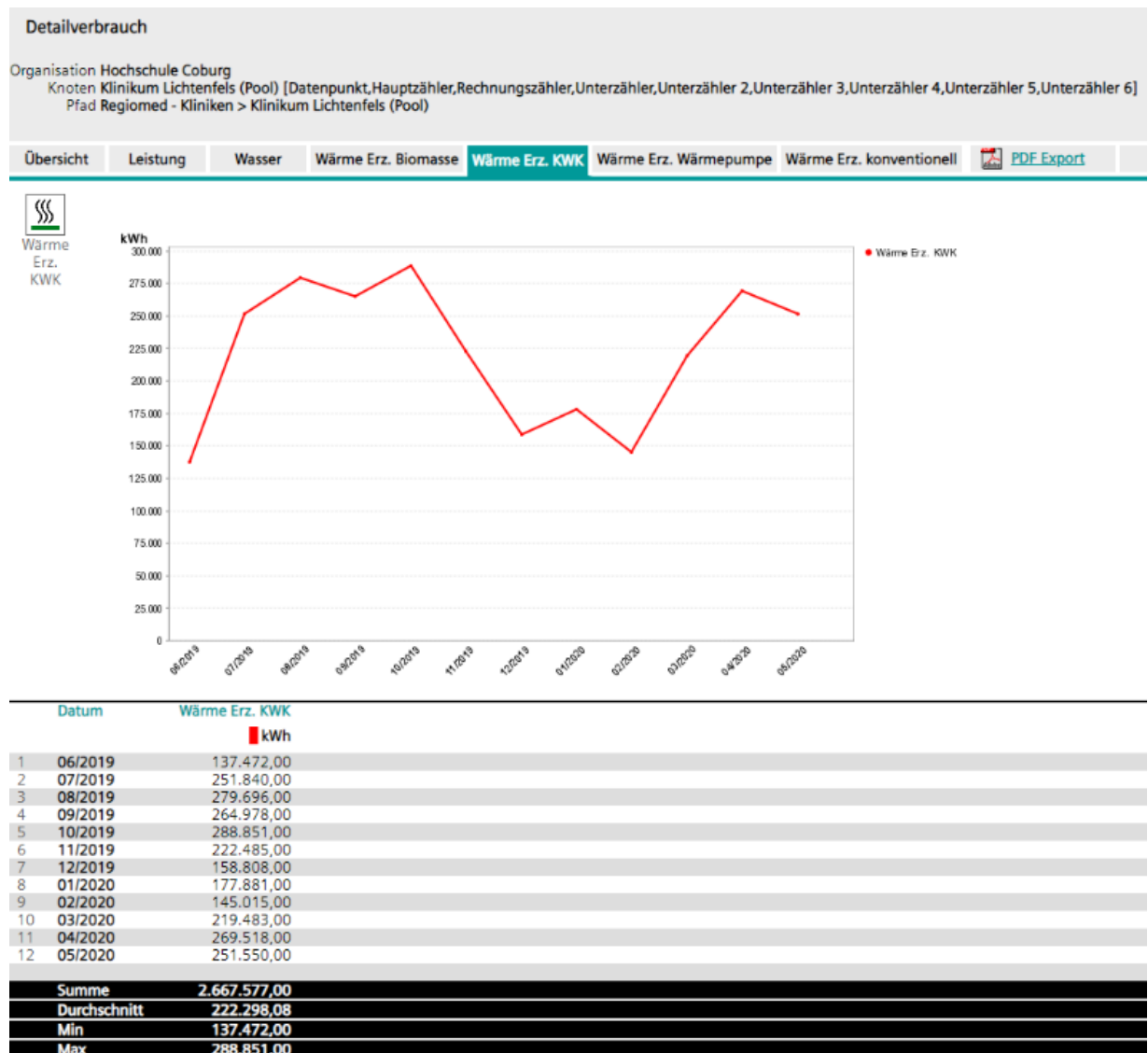


Abbildung 49: Ausgabe der Ergebnisse „Detailverbrauch“ Wärme Erz. KWK

4.6.1.4.5 Wertebericht / Werte mehrerer Datenpunkte

Im *Wertebericht* erfolgt die Darstellung von Werten **eines einzelnen Datenpunkts** im gewählten Zeitfenster und in gewählter Auflösung. Dazu wird das Medium und die dazugehörige Einheit ausgewählt (siehe Abbildung 50).

1. ☒ 2. ☐

Berichte generieren

Bericht zu

Einheit

* Pflichtfelder

Abbrechen Zurück Fertig stellen

Abbildung 50: Einstellung der Medien für den *Wertebericht* und den Bericht *Werte mehrerer Datenpunkte*

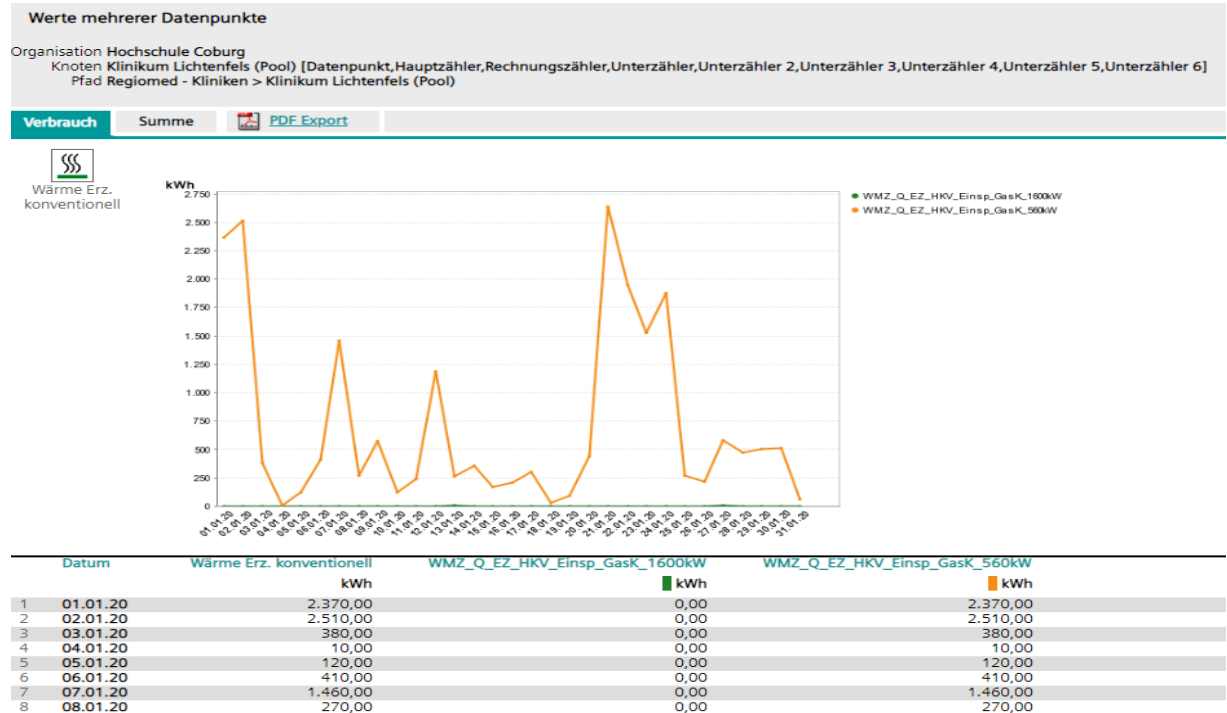


Abbildung 51: Ausgabe der Ergebnisse Werte mehrerer Datenpunkte Verbrauch

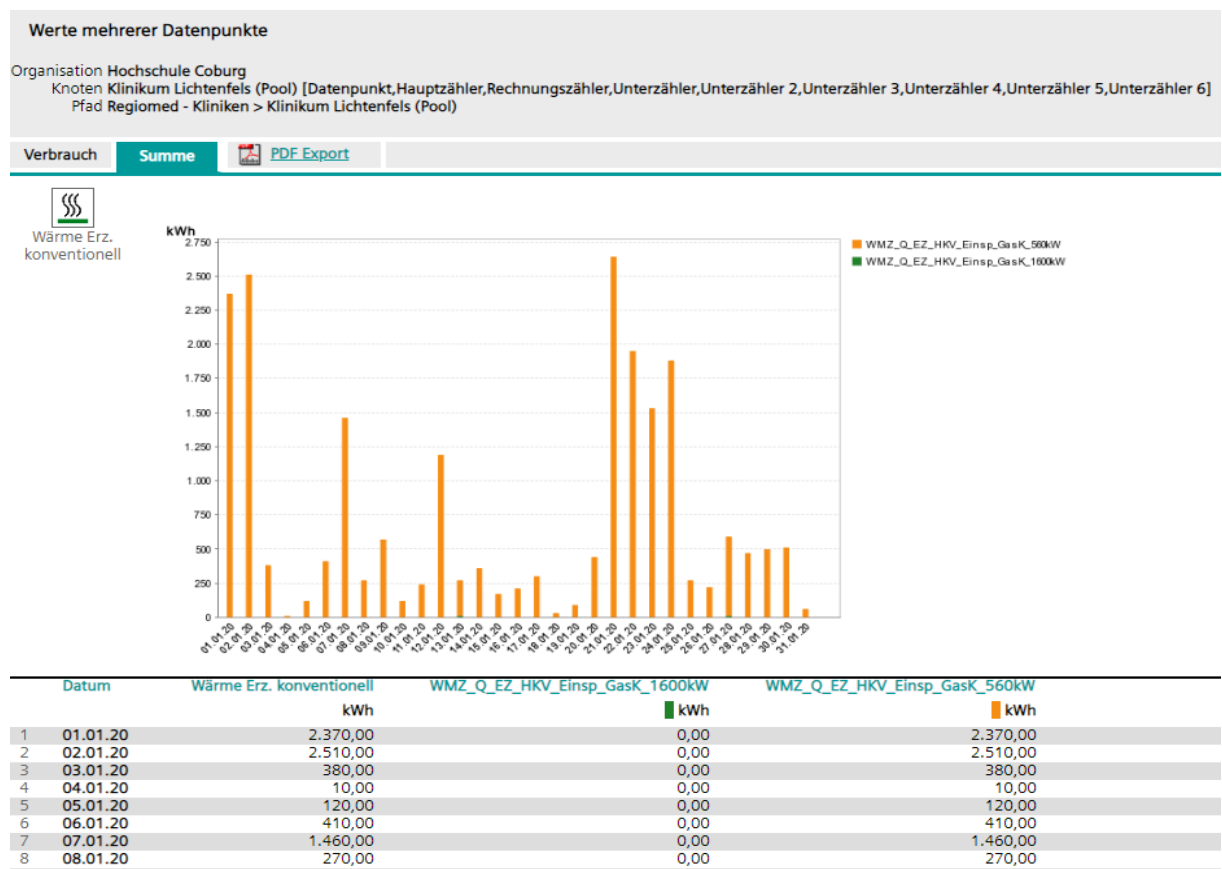


Abbildung 52: Ausgabe der Ergebnisse Werte mehrerer Datenpunkte Summe

Der Bericht *Werte mehrerer Datenpunkte* „zeigt für ein ausgewähltes Medium die Verbräuche der einzelnen Datenpunkte in einer Grafik an.“ (siehe Abbildung 51: Ausgabe der Ergebnisse Werte mehrerer Datenpunkte Verbrauch) „Zusätzlich lässt sich die Summe der Datenpunkte pro ausgewählten Zeitraum in einem gestapelten Säulendiagramm darstellen“¹⁶ (siehe Abbildung 52).

4.6.1.4.6 Wertebericht Vergleich

Der *Wertebericht Vergleich* „zeigt den Verbrauch mehrerer Datenpunkte des gleichen Mediums im direkten Vergleich über einen gewählten Zeitraum.“¹⁶ Zunächst wird das Medium und die dazugehörige Einheit ausgewählt (siehe Abbildung 53).

1. ✓ 2. ○

Berichte generieren

Bericht zu: Wärme Erz. konventionell

Einheit: kWh

* Pflichtfelder

Abbrechen Zurück Fertig stellen

Abbildung 53: Einstellung der Medien für den *Wertebericht Vergleich*

Der Bericht stellt anschließend das gewählte Medium im gewählten Zeitraum mithilfe der Ergebniswerte und eines Balkendiagramms dar (siehe Abbildung 54).



Abbildung 54: Ausgabe der Ergebnisse *Wertebericht Vergleich*

4.6.1.4.7 Engineering- und Statusbericht

Eine gute Übersicht aller Datenpunkte erhält man über den *Engineering- und Statusbericht*. Dieser Bericht beinhaltet alle Datenpunkte mit ihren entsprechenden Parametern (z. B. Name, Kategorie, Ort, letzte Ablesungen, Messwerktausch, etc.), jedoch nicht die laufenden Messwerte (Ausschnitt* siehe Tabelle 18). Der Bericht befindet sich im 8_Anhang_Navigator\Navigator_Engineering_u_Statusbericht.

Tabelle 18: *Engineering und Statusbericht*

Datenpunkt ID	Kunde	Knotenplatz	Knoten ID	Datenpunktname	Gültig ab	Medium	Mediengruppe	Einheit	Kategorie
2871853	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1609005	WZ_V_KHH_gesamt	27.03.2019 01:00	Volumen	Volumen	m³	Datenpunkt
2822636	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682754	ELZ_P_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1	27.02.2019 01:00	Leistung	Leistung	kW	Datenpunkt
2822443	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682754	ELZ_P_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2	27.02.2019 01:00	Leistung	Leistung	kW	Datenpunkt
2822622	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682754	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1	27.02.2019 01:00	Elektrizität Zeitarif	Elektrizität Zeitarif	kWh	Datenpunkt
2822480	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682754	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2	27.02.2019 01:00	Elektrizität Zeitarif	Elektrizität Zeitarif	kWh	Datenpunkt
2822600	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682755	ELZ_P_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA	27.02.2019 01:00	Leistung	Leistung	kW	Datenpunkt
2822574	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682755	ELZ_W_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA	27.02.2019 01:00	Elektrizität Zeitarif	Elektrizität Zeitarif	kWh	Datenpunkt
2822379	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682756	ELZ_P_AV_M_UG1_Einsp_PV	27.02.2019 01:00	Leistung	Leistung	kW	Datenpunkt
2822369	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682756	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_PV	27.02.2019 01:00	Elektrizität Zeitarif	Elektrizität Zeitarif	kWh	Datenpunkt
3008320	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682763	KMZ_Q_EZ_AKM	12.06.2019 00:00	Kälte	Kälte	MWh	Datenpunkt
5008319	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1682763	KMZ_Q_EZ_AKM	12.06.2019 00:00	Leistung	Leistung	kW	Datenpunkt
5537208	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683306	BA_Trnd_EZ_AKM_Freigabe_Zustand	02.12.2019 00:00	Status	Status	-	Datenpunkt
5537325	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683309	BA_Trnd_EZ_HybrK_Freigabe_Zustand	02.12.2019 00:00	Status	Status	-	Datenpunkt
5537273	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683310	T_Trnd_EZ_AKM_KuehW_Austr	02.12.2019 00:00	Temperatur	Temperatur	°C	Datenpunkt
5537279	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683310	T_Trnd_EZ_AKM_KuehW_Eintr	02.12.2019 00:00	Temperatur	Temperatur	°C	Datenpunkt
5537263	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683310	T_Trnd_EZ_HybrK_Austr	02.12.2019 00:00	Temperatur	Temperatur	°C	Datenpunkt
5537268	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683310	T_Trnd_EZ_HybrK_Eintr	02.12.2019 00:00	Temperatur	Temperatur	°C	Datenpunkt
5537285	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683311	DM_Vpkt_Trnd_EZ_HybrK_KPu02_1_KaltW_VL	02.12.2019 00:00	Durchfluss	Durchfluss	m³/h	Datenpunkt
5537291	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683311	DM_Vpkt_Trnd_EZ_HybrK_KPu02_2_KaltW_VL	02.12.2019 00:00	Durchfluss	Durchfluss	m³/h	Datenpunkt
5537297	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683311	p_H_Trnd_EZ_HybrK_KPu02_1_KaltW_VL	02.12.2019 00:00	Position	Position	m	Datenpunkt
5537303	Regimed - Kliniken	Klinikum Lichtenfel	1683311	p_H_Trnd_EZ_HybrK_KPu02_2_KaltW_VL	02.12.2019 00:00	Position	Position	m	Datenpunkt

Identifikator	Offset	Automatische Erfassung	Ablesart	Wertwert	Datenquelle	Device	Anzahl Messwertwechsel	Erfassungintervall	Anzahl der Ablesungen	Letzte Ablesung	Letzter Wert	Letzter Ableswert	Datenpunktstandard	Datenpunktnummer	Bemerkungen	Aktiv	Null Verbrauch melden	Negativen Verbrauch melden	Intervallabweichung melden	Warnwert	Alarmwert	Verlängerung	Verdichtung
1.0	0.00	X	Zählerstand	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	18472	05.01.2020 00:00:00	38694,54	38694,54	249	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	Linear	Sum	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	19133	05.01.2020 00:03:00	-55,54	-55,54	240	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Max	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	19133	05.01.2020 00:01:00	-29,36	-29,36	260	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Max	
1.0	0.00	X	Zählerstand	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	19133	05.01.2020 00:03:00	2053261,00	2053261,00	250	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	Linear	Sum	
1.0	0.00	X	Zählerstand	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	19132	05.01.2020 00:01:00	1960892,00	1960892,00	213	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	Linear	Sum	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	19133	05.01.2020 00:03:00	-0,65	-0,65	239	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Max	
1.0	0.00	X	Zählerstand	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	19133	05.01.2020 00:02:00	5595,00	5595,00	248	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	Linear	Sum	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	19133	05.01.2020 00:00:00	0,48	0,48	215	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Max	
1.0	0.00	X	Zählerstand	0.00	801'UG1'3p0MSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	19133	05.01.2020 00:00:00	136,00	136,00	162	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	Linear	Sum	
1.0	0.00	X	Zählerstand	0.00	E2'3p01'MtrrMSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	17188	05.01.2020 00:00:00	1026,27	1026,27	71	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	Linear	Sum	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	E2'3p01'MtrrMSIB Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	17188	05.01.2020 00:00:00	53,36	53,36	494	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Max	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	System1-GmsSWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	27410	05.01.2020 00:00:00	1,00	1,00	538	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	System1-GmsSWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	27410	05.01.2020 00:00:00	1,00	1,00	527	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	System1-GmsSWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	27410	05.01.2020 00:00:00	27,10	27,10	535	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	System1-GmsSWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	27410	05.01.2020 00:00:00	29,10	29,10	534	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	System1-GmsSWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	27412	05.01.2020 00:00:00	29,10	29,10	529	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	System1-GmsSWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	27407	05.01.2020 00:00:00	23,48	23,48	528	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	458 SWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	0	05.01.2020 00:00:00	0	0	558	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	460 SWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	0	05.01.2020 00:00:00	0	0	560	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	459 SWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	0	05.01.2020 00:00:00	0	0	559	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	
1.0	0.00	X	Verbrauch/Momentanwert	0.00	461 SWP DCC Klinikum Lichtenfels	0	15 Minuten	0	05.01.2020 00:00:00	0	0	561	X	X	X	X	0%	0%	0%	0%	None	Average	

4.6.1.4.8 Struktur-Setup

Das *Struktur Setup* zeigt alle eingestellten Eigenschaften zu den Knoten (Knotenart, hinterlegte Wetterstation, hinterlegte Fläche, etc.) an.

4.6.1.4.9 Klimadaten

Der Bericht *Klimadaten* zeigt die Heizgradtage, die Temperatur in der gewählten Auflösung für die Referenzstation (HGT Referenz) und die aktuell am Knoten hinterlegte Wetterstation (HGT Aktuell) an. Diese Daten sind Grundlage für die Witterungsbereinigung der Wärmeverbräuche in Berichten.

* *Datenpunkte, welche auffällig wenige Ablesungen, eine falsche Datenquelle etc. hatten, wurden hier markiert.*

4.6.1.4.10 Problem Zeitumstellung

An dieser Stelle sei auf die Problematik der Zeitumstellung* hingewiesen. Die Sommerzeit dauert immer von 2:00 Uhr des genannten ersten Datums des Jahres bis 3:00 Uhr des letztgenannten Datums des jeweiligen Jahres.

Sommerzeitbeginn Sommerzeitende

26.03.2017	29.10.2017
25.03.2018	28.10.2018
31.03.2019	27.10.2019
29.03.2020	25.10.2020
28.03.2021	31.10.2021
27.03.2022	30.10.2022

Die Sommerzeit wird am ersten genannten Datum von 02:00 auf 03:00 Uhr vorgestellt. Man verliert eine Stunde. Bei der Winterzeit (letztgenanntes Datum) wird von 03:00 auf 02:00 Uhr zurückgestellt. Man gewinnt eine Stunde. Am Sommerzeitbeginn führt dies bei der Datenaufzeichnung zu fehlenden Zählerwerten zwischen 2:00 und 3:00 Uhr (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: fehlende Werte bei Umstellung Sommerzeitbeginn

	A		B		C		D		E		
1	Wertebericht										
2											
3	Organisation	Hochschule Coburg			Startdatum		17.02.20 12:00				
4	Knoten	Klinikum Lichtenfels (Pool)			Enddatum		12.05.20 00:00				
5	Pfad	Regimed - Kliniken > Klinikum Lichtenfels (Pool) > FSH_Przt_Trnd_EZ_BioMK_Mess_01			Auflösung		60 minütlich				
6											
7	Datum		Füllstand								
8			%								
75	28.03.20 19:00	55,97									
76	28.03.20 20:00	55,99									
77	28.03.20 21:00	56,01									
78	28.03.20 22:00	56,04									
79	28.03.20 23:00	56,05									
80	29.03.20 00:00	56,09									
81	29.03.20 01:00	56,03									
82	29.03.20 02:00	56,04									
83	29.03.20 03:00				fehlender Wert!						
84	29.03.20 04:00	55,92									
85	29.03.20 05:00	55,86									
Wertebericht											
Organisation	Hochschule Cobur	Startdatum	17.02.20 12:00								
Knoten	Klinikum Lichtenf	Enddatum	12.05.20 00:00								
Pfad	Regimed - Klinik	Auflösung	bei Ablesungen								
Datum		Ablesung		Faktor		Füllstand		Attribute		Kommentar	
						%					
77	29.03.20 01:27	55,90	%	1,00	55,90	%	Automatischer Wert				
78	29.03.20 01:32	55,96	%	1,00	55,96	%	Automatischer Wert				
79	29.03.20 01:37	56,21	%	1,00	56,21	%	Automatischer Wert				
80	29.03.20 01:42	56,22	%	1,00	56,22	%	Automatischer Wert				
81	29.03.20 01:47	56,05	%	1,00	56,05	%	Automatischer Wert				
82	29.03.20 01:52	55,99	%	1,00	55,99	%	Automatischer Wert				
83	29.03.20 01:57	55,92	%	1,00	55,92	%	Automatischer Wert		fehlende Werte!		
84	29.03.20 03:02	55,97	%	1,00	55,97	%	Automatischer Wert		fehlende Werte!		
85	29.03.20 03:07	56,01	%	1,00	56,01	%	Automatischer Wert				
86	29.03.20 03:12	55,94	%	1,00	55,94	%	Automatischer Wert				

* „Das Europaparlament hat sich bereits im März“ 2020 „dafür ausgesprochen, die Zeitumstellung im Jahr 2021 abzuschaffen. Eine dafür notwendige Gesetzesvorlage gibt es allerdings noch nicht. Auch müsste sich bis dahin jedes EU-Land entscheiden, in welcher „Zeit“ es künftig leben möchte: Sommer- oder Winterzeit. Und um einen Zeit-Flickenteppich zu vermeiden, soll sich dann auch noch auf eine einheitliche Zeit für ganz Europa geeinigt werden. ... Am 28. März 2021 werden die Uhren wieder auf Sommerzeit umgestellt – und mit ein wenig Glück wird die dann dauerhaft bleiben.“ [<https://www.mdr.de/brisant/zeitumstellung-winterzeit-abschaffung-100.html>]

Ein fehlender Wert ergibt einen Nullwert, der einen Peak erzeugt (siehe Abbildung 55), der korrigiert werden müsste. Um bei der Anzeige des entsprechenden Datenpunkts den Peak zu vermeiden, müsste im Navigator unter „Datenpunkt bearbeiten“ und bei "Verteilung der

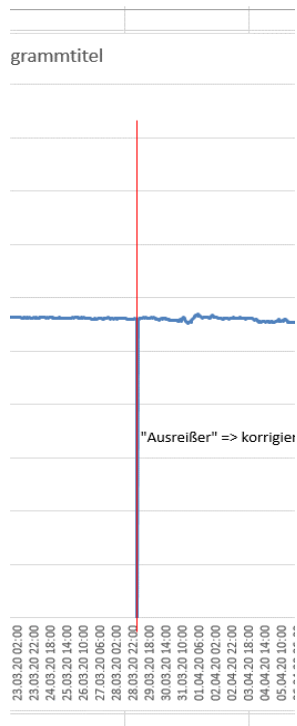


Abbildung 55: fehlende Werte bei Umstellung Sommerzeitbeginn

Werte" „Linear“ eingegeben werden. Am Sommerzeitende (Winterzeitbeginn) führt die Zeitumstellung zu „doppelten“ Zählerwerten um 3:00 Uhr bei der Datenaufzeichnung (siehe Tabelle 20). Dies ist besonders bei der Datenauswertung problematisch, wenn z. B. ein maximaler Wert gesucht wird.

Tabelle 20: Doppelte Zählerwerte bei der Umstellung auf Sommerzeit

27.10.19 01:00	66,00
27.10.19 02:00	69,00
27.10.19 03:00	136,00
27.10.19 04:00	67,00
27.10.19 05:00	74,00
27.10.19 06:00	72,00
27.10.19 07:00	71,00

4.6.1.5 Dashboard

Bei den sogenannten „Dashboard Apps“ handelt es sich um vom Benutzer erstellte, individuell angepasste Auswertungs-Oberflächen. Sollte auf bestimmte Daten/Grafiken öfter zugegriffen werden, empfiehlt es sich, diese in einer „Dashboard App“ zu integrieren.

Die „Dashboard Apps“ stehen, einmal erstellt, nur dem entsprechenden Nutzer-Account (jeder Nutzer vom Siemens-Navigator hat einen entsprechenden Account mit vom Administrator eingestellten Zugriffsrechten auf Daten und Programmteile) dauerhaft zur Verfügung.

Um nutzergebundene Dashboard Apps auch an andere Benutzer weitergeben zu können, ist mindestens der Benutzerrang Superuser, Stellvertreter oder höher notwendig (einstellbar bei *Administration* durch den Administrator). Die Weitergabe einer App ist im Konfigurationsmodus möglich, der über das Dashboard Konfigurationsmenu gestartet werden kann (siehe Abbildung 56).



Abbildung 56: Dashboard Konfigurationsmodus

Dort kann die aktuell geöffnete App einem oder mehreren Benutzern zugewiesen bzw. zur Verfügung gestellt werden (siehe auch Abbildung 57). Zu beachten ist, dass beim Zuweisen auch die dafür notwendigen Berechtigungen (z. B.: der Zugriff auf bestimmte Datenpunkte oder Datenknoten) erteilt werden.

☐	Id	Nachname	Vorname	Login	Benutzerrolle	Letzter Bearbeiter	Letzte Änderung	Apps	Berichte	Regeln	Knoten
☐					Advanced User		03.02.20 09:14	●	-	-	●
☐					Advanced User		-	●	-	-	●
☐					Superuser		02.03.20 13:24	●	-	-	●
☐					Superuser		03.03.20 09:18	●	-	-	●
☐					Superuser		-	●	-	-	●
☐					Superuser		-	●	-	-	●
☐					Advanced User		06.02.20 21:28	●	-	-	●
☐					Advanced User		-	●	-	-	●
☐					Superuser		05.03.20 18:26	●	-	-	●

Abbrechen

Zuweisen

Abbildung 57: Dashboard Benutzer zuweisen

Die grundsätzlichen Funktionen und Bedienmöglichkeiten innerhalb des Dashboards werden in den Siemens-Handbüchern „Handbuch Dashboard“¹⁹ und „Handbuch Analysewidget“²⁰ erläutert. Im Folgenden wird im Wesentlichen auf die Besonderheiten und Möglichkeiten der Bedienung eingegangen.

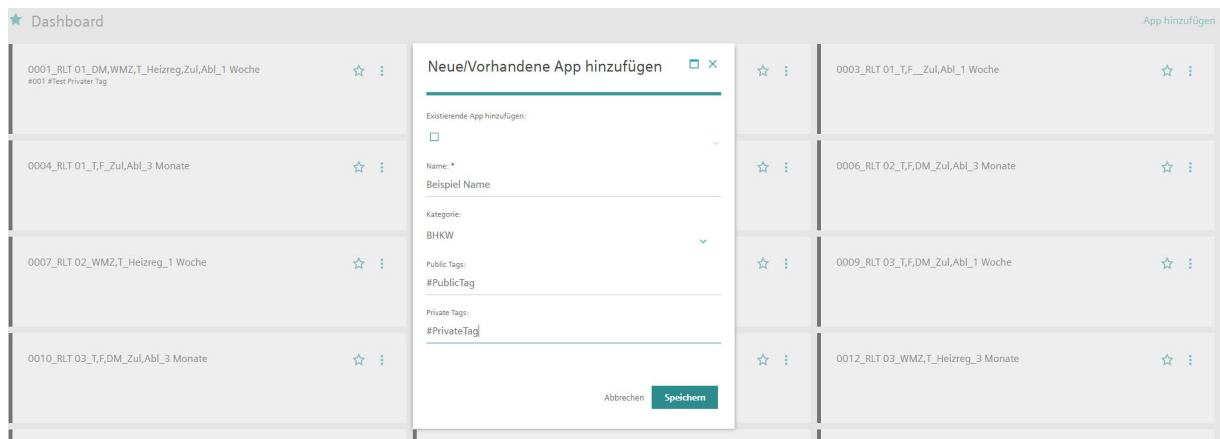


Abbildung 58: Erstellung von Dashboard Apps

Im Bereich „Dashboard“ kann über „App hinzufügen“ eine neue „Dashboard App“ erstellt werden (Abbildung 58). Grundsätzlich ist für die Erstellung von Apps nur die Eingabe eines Namens erforderlich. Die Kategorien und Tags dienen lediglich der Organisation. Nach den Kategorien kann gefiltert werden (Abbildung 59), nach den Public und Private Tags kann gesucht werden.

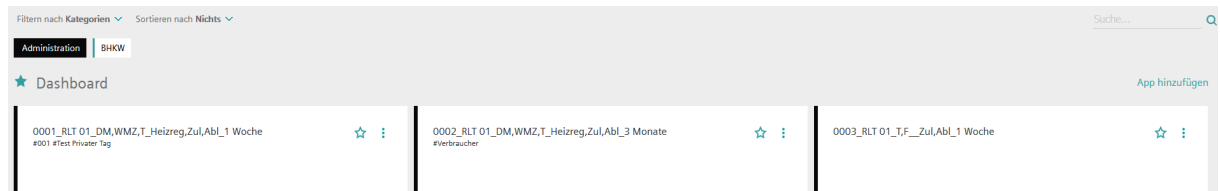


Abbildung 59: Dashboard: Kategorien und Tags

Sobald eine „Dashboard App“ erstellt und geöffnet wurde, können über die entsprechenden Schaltflächen (Abbildung 60) sogenannte Widgets* hinzugefügt werden.

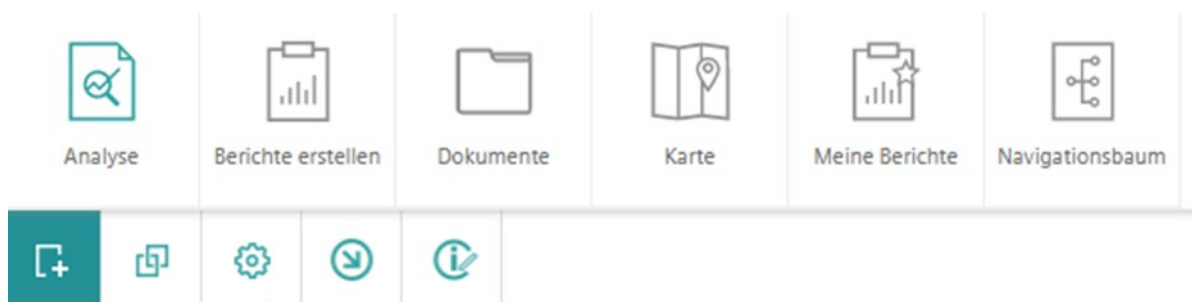


Abbildung 60: Widgets hinzufügen

* Widgets sind kleine Computerprogramme, die in ein anderes Programm integriert werden, besonders als Teil einer grafischen Benutzeroberfläche, in der über den Mauszeiger Befehle eingegeben werden können, z. B.: Analyse, Berichte erstellen, Dokumente, ...

Bei einer leeren „Dashboard App“ empfiehlt es sich, als Erstes einen *Navigationsbaum* (dieser entspricht den bereits beschriebenen Datenpunktstrukturen) per „Drag-and-drop“ hinzuzufügen. Dieser dient als Grundlage für das einfache Hinzufügen von Datenpunkten in ein Analyse- oder Berichtswidget.

Das Einfügen eines Berichtes (*Berichte erstellen*) ist dann zu empfehlen, wenn nur ein Zählertyp (mit einer Einheit) dargestellt werden soll. Der Vorteil besteht dabei darin, dass mit der Auswahl eines Datenknotens alle Zähler dieses Knotens in einem Bericht angezeigt werden können. Dies funktioniert durch das Verbinden des Berichtswidgets mit einem Navigationsbaum über die Kommunikationseinstellungen (siehe auch: „Handbuch Dashboard“²⁰). Die Verbindungsmöglichkeiten sind in Abbildung 61 dargestellt. Es besteht die Möglichkeit, entweder einzelne Datenpunkte („Datenpunktselektion“) oder ganze Datenknoten („Knotenselektion“) aus dem Navigationsbaum in den Bericht zu übertragen.

Kommunikationseinstellungen - Berichte erstellen

✕

• Knotenselektion
Auswahl von Knoten, die beispielsweise zum Filtern verwendbar ist.

Verbinden

• Datenpunktselektion
Auswahl von Datenpunkten, die beispielsweise zum Filtern verwendbar ist.

Verbinden

• Berichtsperiode
Auswahl der Berichtsperiode zur zeitlichen Synchronisierung von Berichten

Verbinden

Abbildung 61: Dashboard Kommunikationseinstellungen

Das Analysewidget (*Analyse*) bietet im Vergleich zum Bericht mehr Individualisierungsmöglichkeiten und Variabilität (siehe auch: „Handbuch Analyse“²⁰). Bei einzelnen Datenpunkten können folgende Eigenschaften geändert werden (siehe auch Abbildung 62):

- Anzeigename
- Darstellungsart (z. B.: Linie, Kurve, Fläche, ...)
- Farbe
- Einheit

Der Vorteil der Analyse besteht darin, dass durch die anpassbaren Darstellungen im Diagramm komplexe Anlagen und technische Bereiche besser untersucht werden können.

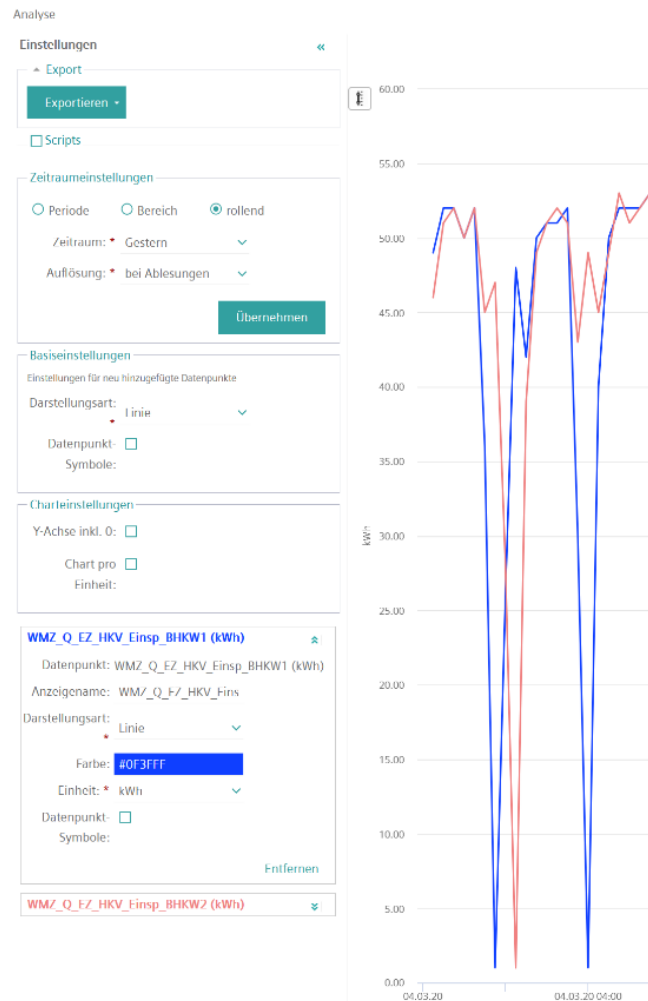


Abbildung 62: Dashboard Analyse

Eine Problematik beim Arbeiten mit dem Siemens-Navigator ist, dass beim Anzeigen von vielen Datenpunkten mit einer geringen Auflösung (z. B.: 15 min, 60 min, täglich) über einen längeren Zeitraum (z. B. 1 Jahr) eine lange Ladezeit auftritt. Für ein effektives Arbeiten ist es notwendig, entweder den Anzeigezeitraum zu verkleinern, die Datenpunktanzahl zu verringern oder eine gröbere Auflösung zu wählen.

4.6.2 MoniSoft

Neben dem Siemens Navigator, der auch später im LZM vom Krankenhaus allein weiter betrieben werden soll, wurde von den Hochschulen zusätzlich zur Aufbereitung und Auswertung der Daten das im Forschungsbereich häufig eingesetzte Programm „MoniSoft“ verwendet. Dieses steht den Hochschulen für wissenschaftliche Zwecke kostenlos zur Verfügung und bietet alle in der Intensivmonitoringphase notwendigen Möglichkeiten zur Auswertung (z. B. Überprüfung der Gültigkeit von Messwerten, „Programmierbarkeit“ der Software), die aber später im LZM nicht unbedingt vom Krankenhaus benötigt werden.

MoniSoft ist eine Java-basierte, komplett mit Public Domain-Werkzeugen erstellte und plattformunabhängig verwendbare Software, die eine Datenbank nutzt, welche neben den eigentlichen Messdaten auch Informationen über das Gebäude, Flächen, Messpunkteigenschaften, Messdatenqualität und -plausibilität sowie Nutzereinstellungen enthält und eine große Anzahl an Datenpunkten einfach strukturieren kann. Die Software kann so für detaillierte Auswertungen oder für eine schnelle Schwachstellenerkennung genutzt werden. Die Software verfügt über eine grafische Oberfläche und kann auch über eine Kommandozeile bedient werden, was z. B. eine automatische Auswertung und Erzeugung von Web-Grafiken ermöglicht.^{21,22}

Die MoniSoft Datenbank wird über Datenimport mit den Messdaten aus dem Gebäude versorgt. Der Datenexport ermöglicht, Daten aus der MoniSoftdatenbank an externe Berechnungsprogramme oder Simulationsumgebungen weiterzugeben, wobei die Daten selbst bei unregelmäßigen oder uneinheitlichen Erfassungs- bzw. Aufzeichnungsintervallen im Programm auf gleichmäßige Zeitintervalle (z. B. Stundenwerte) gebracht werden können. MoniSoft greift nur auf historisierte Datensätze zurück, die z. B. täglich von der GA aus den Rohdaten erstellt werden.^{21,22}

In den folgenden Abschnitten werden die für das Projekt wichtigsten Parameter und Funktionen der Software MoniSoft genauer beschrieben und auf die Datenübermittlung der im Krankenhaus gemessenen Monitoringwerte in die MoniSoft Datenbank eingegangen. In den folgenden Abschnitten werden die für das Projekt wichtigsten Parameter und Funktionen der Software MoniSoft genauer beschrieben.

4.6.2.1 Die MoniSoft-Datenbank

MoniSoft ist eine Datenbankanwendung und besteht aus der Datenbank (Server) mit den Mess- und Steuerdaten sowie aus der eigentlichen MoniSoft-Software (Client), also der grafischen Oberfläche bzw. der Kommandozeile, die auf die Datenbank zugreift (siehe Abbildung 63).²¹

Die Datenbank-Software selbst (MySQL) ist nicht Bestandteil von MoniSoft und muss zuvor getrennt installiert werden. Prinzipiell kann die Datenbank auf einem beliebigen Rechner liegen, der für die beteiligten Nutzer über ein Netzwerk erreichbar ist. Auf diesen greifen die Nutzer mit ihrem MoniSoft-Client lokal oder aus der Ferne zu und erreichen so den Datenbestand. MoniSoft läuft auch auf dem Datenbank-Server selbst, in der Regel mindestens als Kommandozeile, um Daten automatisch zu importieren.²³

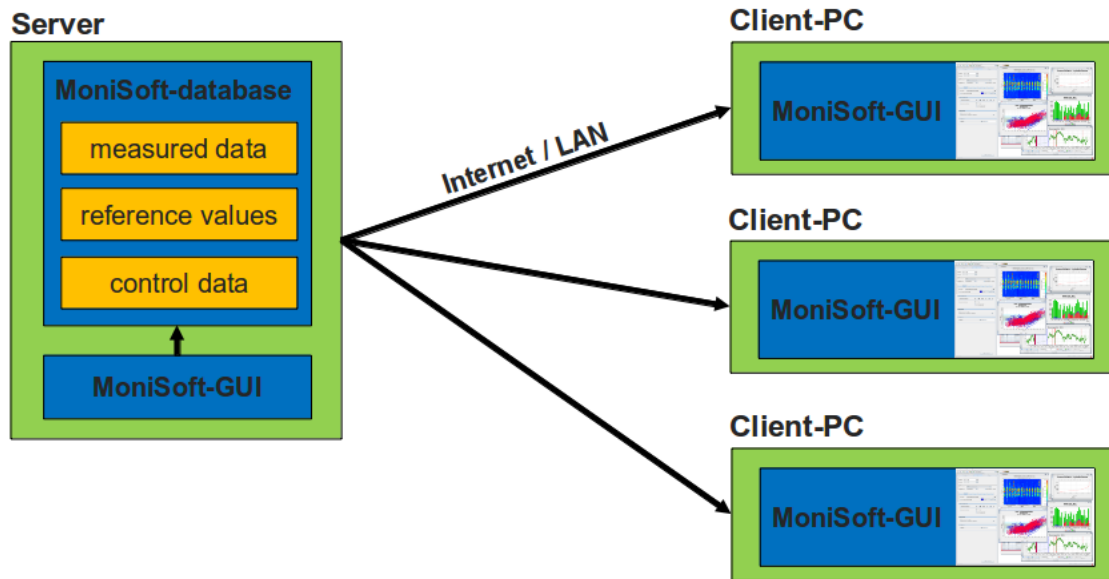


Abbildung 63: Funktionsprinzip MoniSoft-Client / Datenbankserver²³

Aktuell kann MoniSoft MySQL-Versionen bis Version 5.7 nutzen. Aktuellere MySQL-Versionen werden nicht unterstützt, da die Entwicklung von MoniSoft 2015 eingestellt wurde. Weitere Informationen sind dem MoniSoft-Handbuch zu entnehmen (siehe 9_Anhang_Monisoft\MoniSoft_Hamdbuch.pdf).

4.6.2.2 Struktur einer MoniSoft-Datenbank

Die Datenbankstruktur, die MoniSoft erzeugt, besteht aus mehreren Tabellen. Die meisten davon dienen der internen Verwaltung, der Rest enthält die Messdaten selbst sowie die Messpunkt- und Gebäudeliste. Die wichtigsten Tabellen für den Nutzer werden im Folgenden erklärt (Tabelle 21).²³

Tabelle 21: Grundlegende Tabellen der MoniSoft-Datenbank²³

Tabelle	Name	Inhalt/Funktion
Messpunkttable	T_Sensors	Enthält eine Liste aller Messpunkte samt ihrer Parameter
Gebäudetabelle	T_Building	Enthält eine Liste aller Gebäude samt ihrer Parameter
Rohdatentabelle	T_History	Nimmt die Rohdaten aller Messpunkte auf. Jeder Eintrag besteht aus 3 Feldern: Zeitpunkt, Messwert, Messpunkt-ID
Monatsdatenabelle	T_Monthly	Enthält aus den Rohdaten berechneten oder manuell eingegebenen monatlichen Verbrauchsdaten (siehe Kapitel 13.13.)
Eventdatentabelle	T_Events	Eventdaten können von der Rohdatentabelle in diese Tabelle umstrukturiert werden um sie effizienter zu speichern (siehe Kapitel 13.6.)

Je nachdem, welches Werkzeug innerhalb von MoniSoft genutzt wird, kommen die verarbeiteten Daten aus drei Datentabellen (vgl. Abbildung 64). Für die Arbeit mit MoniSoft ist es daher entscheidend zu wissen, welches Werkzeug auf welcher Datengrundlage aufbaut und wie die Daten in die einzelnen Tabellen gelangen.

In Abbildung 64 sind diese Zuordnungen dargestellt. Man sieht, dass einige Funktionen nur auf die Rohdatentabelle zugreifen, die Standardgrafiken aber z. B. auch Eventdaten aus der Eventtabelle verarbeiten können. Dagegen greifen alle Module, bei denen es um einen Gebäudevergleich geht, ausschließlich auf die Monatstabelle zurück. Daten werden grundsätzlich immer direkt in die Rohdatentabelle importiert. Den Weg von der Rohdatentabelle in die Eventtabelle bzw. die Monatstabelle finden sie über die Eventrekonstruktion oder über das Werkzeug zur Berechnung von Monatsverbräuchen.

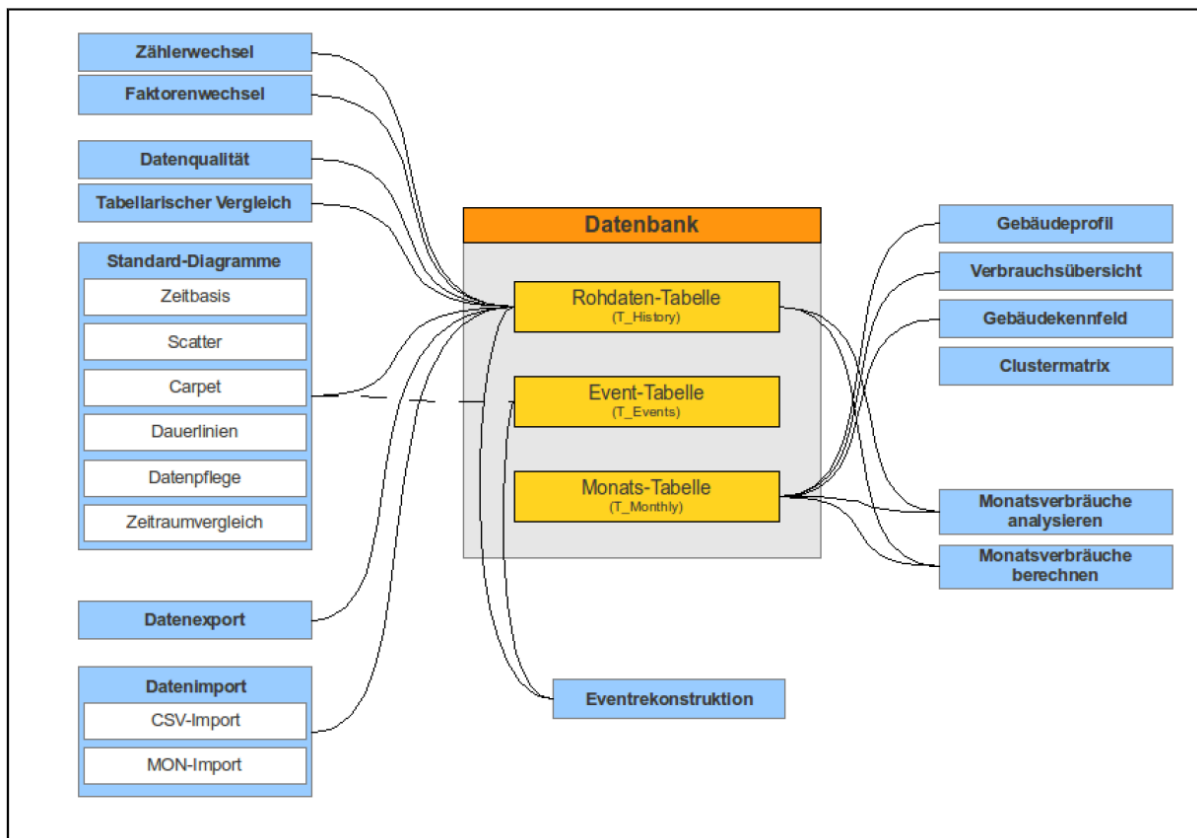


Abbildung 64: Zuordnung der Datentabellen zu den verschiedenen Werkzeugen²³

4.6.2.3 Messpunktdefinition

Alle Messdaten innerhalb des Systems werden durch Messpunkte repräsentiert. MoniSoft trägt bei allen Importoperationen nur Daten in die Datenbank ein, die einem Messpunkt zugeordnet sind. Daten, die ohne Messpunktzugehörigkeit in die Datenbank gespielt werden (an MoniSoft vorbei, direkt in die Datenbank) werden vom System nicht erkannt und sind nicht sichtbar.

Die Zugehörigkeit eines Datensatzes zu einem Messpunkt erfolgt intern über eine Messpunkt-ID („MoniSoft-Nr.“). Diese wird beim Anlegen der Messpunktliste automatisch von der Datenbank erzeugt und ändert sich nie. Jeder Datensatz für den betreffenden Messpunkt enthält dessen ID.

Wird ein Messpunkt aus der Messpunktliste gelöscht, wird auch seine ID gelöscht. Legt man den Messpunkt danach mit den exakt gleichen Angaben wieder neu an, erhält er von der Datenbank dennoch eine andere ID. Existierende Daten werden dann nicht mehr korrekt zugeordnet und sind verwaist. Ist die alte ID des Messpunkts bekannt, kann sie dem neu angelegten Messpunkt wieder zugeordnet werden. Dies muss außerhalb von MoniSoft mit MySQL-Mitteln geschehen.²³

4.6.2.4 Messpunktname und Messpunktschlüssel

Zur Identifikation eines Messpunkts beim Importieren von Daten dient der Messpunktname oder der Messpunktschlüssel. In der Regel sollte der Messpunktschlüssel verwendet werden, d. h., in den zu importierenden Datendateien sollte der Messpunktschlüssel die jeweiligen Daten repräsentieren. Da die hier erstellten Schlüssel häufig nicht sehr aussagekräftig sind (z. B. lange Anlagenkennzeichnungssystem-Nummern) kann jedem Messpunkt auch ein Messpunktname mit einer eingängigeren Bezeichnung zugeordnet werden.

Beim Import von Messdaten (sowohl im CSV-, als auch im eigenen MoniSoft „MON“-Format) wird versucht, die Daten anhand von Schlüssel und Namen zuzuordnen. Ist beispielsweise in einer Messdatendatei ein Bezeichner „AT-1234-XYZ“ vorhanden, prüft MoniSoft zunächst, ob ein Messpunkt mit diesem Schlüssel vorhanden ist und ordnet die Daten in diesem Fall entsprechend zu. Ist der Schlüssel nicht vorhanden, wird geprüft, ob ein solcher Messpunktname vorkommt und dieser dann entsprechend verwendet.

Messpunktname sowie Messpunktschlüssel müssen für ein Gebäude eindeutig sein. Ein Messpunktschlüssel darf nicht als Messpunktname eines anderen Messpunkts des gleichen Gebäudes vorkommen und umgekehrt. Name und Schlüssel eines Messpunktes dürfen aber identisch sein. Ebenso darf der gleiche Messpunktname/-schlüssel vorkommen, wenn er unterschiedlichen Gebäuden zugeordnet wurde.²³

4.6.2.5 Messpunktparameter

Jedem Messpunkt werden Parameter zugeordnet, die ihn charakterisieren. Es gibt zwingende Parameter, ohne deren Angabe ein Messpunkt nicht angelegt wird und optionale Parameter, die hauptsächlich die Plausibilitätseigenschaften des Messpunkts betreffen. Alle Parameter, bis auf den Messpunktnamen und den Messpunktschlüssel, können auch nachträglich noch verändert oder ergänzt werden.

Die nachfolgende Tabelle 22 zeigt eine Übersicht der verfügbaren Parameter. Farblich hinterlegte Parameter sind Pflichtangaben. Die Namen der Parameter sind in der CSV-Datei zum Anlegen der Messpunktliste exakt wie hier angegeben zu verwenden (ohne Umlaute).²³

Tabelle 22: Verfügbare Messpunktparameter

Parameter	Typ	Funktion
Messpunktschlüssel	Text	Identifikationsschlüssel des Messpunkts
Messpunktuerzel	Text	Name des Messpunkts zur vereinfachten Übersicht des Nutzers
Einheit	Text	Einheit die dem Messpunkt zugeordnet ist
Faktor	Zahl	Faktor um den erfassten Messwert in die zugeordnete Einheit umzurechnen
Beschreibung	Text	Textliche Beschreibung des Messpunkts
Intervall	Zahl	Messintervall in Minuten in dem Messwerte geliefert werden (0= nicht fest)
Zähler	Bool	Messwert ist ein kumulierender Zähler STAND
Zustand	Bool	Messwert ist ein Zustand der nur 0 oder 1 annehmen kann (z.B. Klappenstellung)
Manuell	Bool	Messwert wird manuell abgelesen und eingetragen (siehe 14.3.)
Verbrauch	Bool	Messwert ist ein direkter Verbrauch (kein Zähler STAND)
MinWerktag	Zahl	Minimal gültiger Messwert an Werktagen
MaxWerktag	Zahl	Maximal gültiger Messwert an Werktagen
MinWochenende	Zahl	Minimal gültiger Messwert an Wochenenden
MaxWochenende	Zahl	Maximal gültiger Messwert an Wochenenden
ValidWerktag	Zahl	Maximale Gültigkeitsdauer in Minuten an Werktagen
ValidWochenende	Zahl	Maximale Gültigkeitsdauer in Minuten an Wochenenden
Gebäude	Text	Name des Gebäudes in dem der Messpunkt liegt
Medium	Text	
Zählernummer	Text	

4.6.2.6 Virtuelle Messpunkte

Virtuelle Messpunkte ermöglichen die Ableitung von Messgrößen aus anderen Messpunkten. So kann z. B. aus mehreren Temperaturen eine Mitteltemperatur gebildet werden oder bei mehreren (Unter-)Verbrauchszählern deren Summe berechnet werden. Ein virtueller Messpunkt wird gebildet, indem andere Messpunkte durch eine mathematische Berechnungsformel verknüpft werden. Ein virtueller Messpunkt unterscheidet sich in seiner Verwendung nicht von einem normalen Messpunkt. Er erscheint in der Messpunktliste und kann überall wie ein normaler Messpunkt verwendet werden. Bei der Definition eines virtuellen Messpunkts wird lediglich im Parameter „virtuell“ eine Formel angegeben, mit welcher der Wert berechnet werden soll.²³

4.6.2.7 Einheitensystem

Jedem Messpunkt liegt eine Einheit zugrunde, die seinen Messwerten zugeordnet wird. MoNiSoft erzeugt beim Anlegen eines neuen Projektes automatisch eine Liste der im Gebäudebereich am häufigsten anzutreffenden Einheiten. Prinzipiell kann der Nutzer dem System jede beliebige Einheit bekannt machen. Dazu ist lediglich der Name der gewünschten Einheit anzugeben.²³

4.6.2.8 Auswertungen

Es stehen folgende Methoden der grafischen Auswertung zur Verfügung:

- Zeitbasisdiagramme (siehe Abbildung 65, Abbildung 66 und Abbildung 67)
- Carpetplots (siehe Abbildung 68)
- Dauerliniendiagramme (siehe Abbildung 69)
- Datenpflege (vgl. Abbildung 72)
- Zeitraumvergleich (siehe Abbildung 70)
- Scatterplots (siehe Abbildung 71)

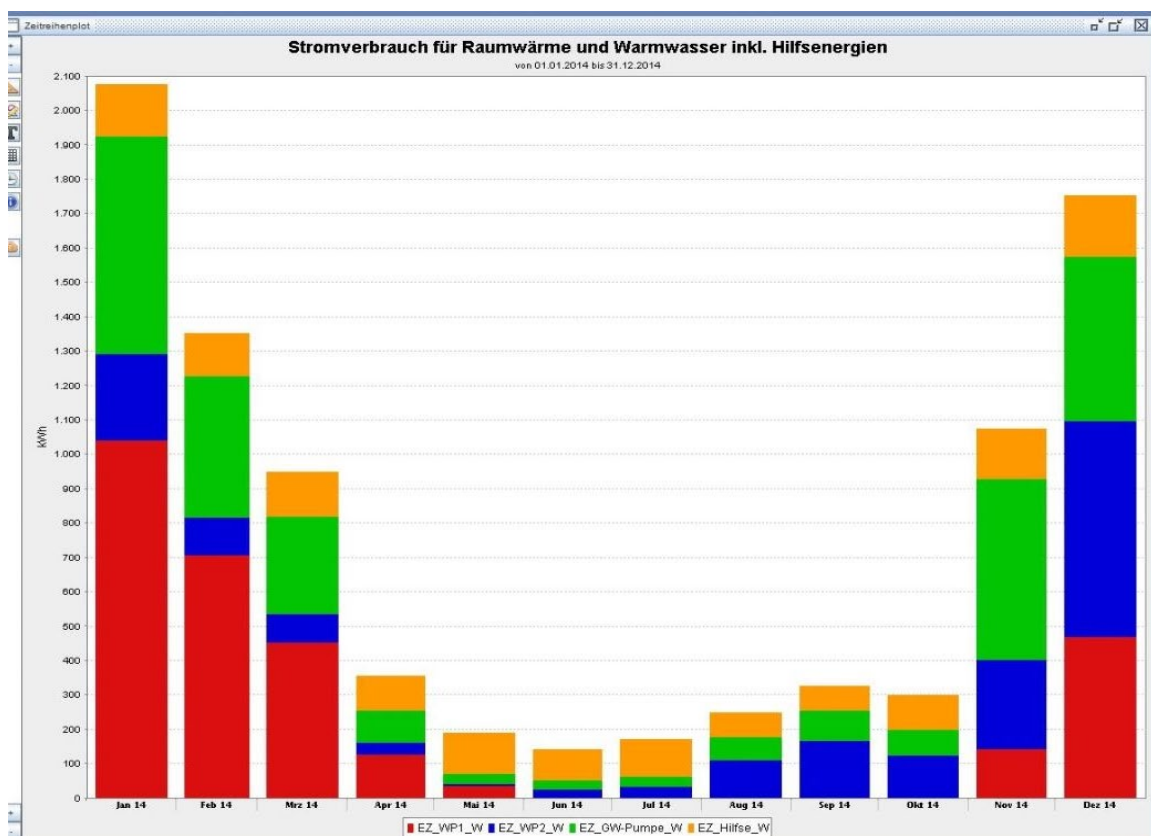
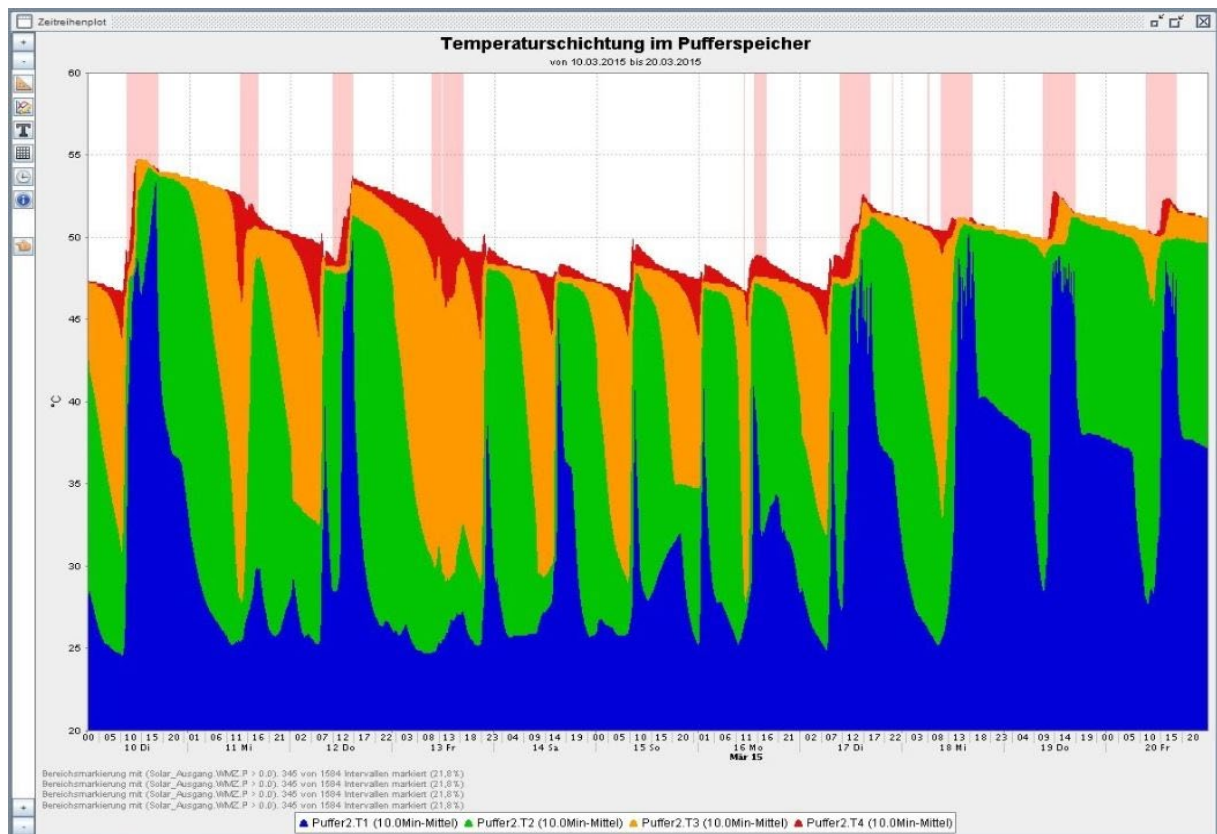
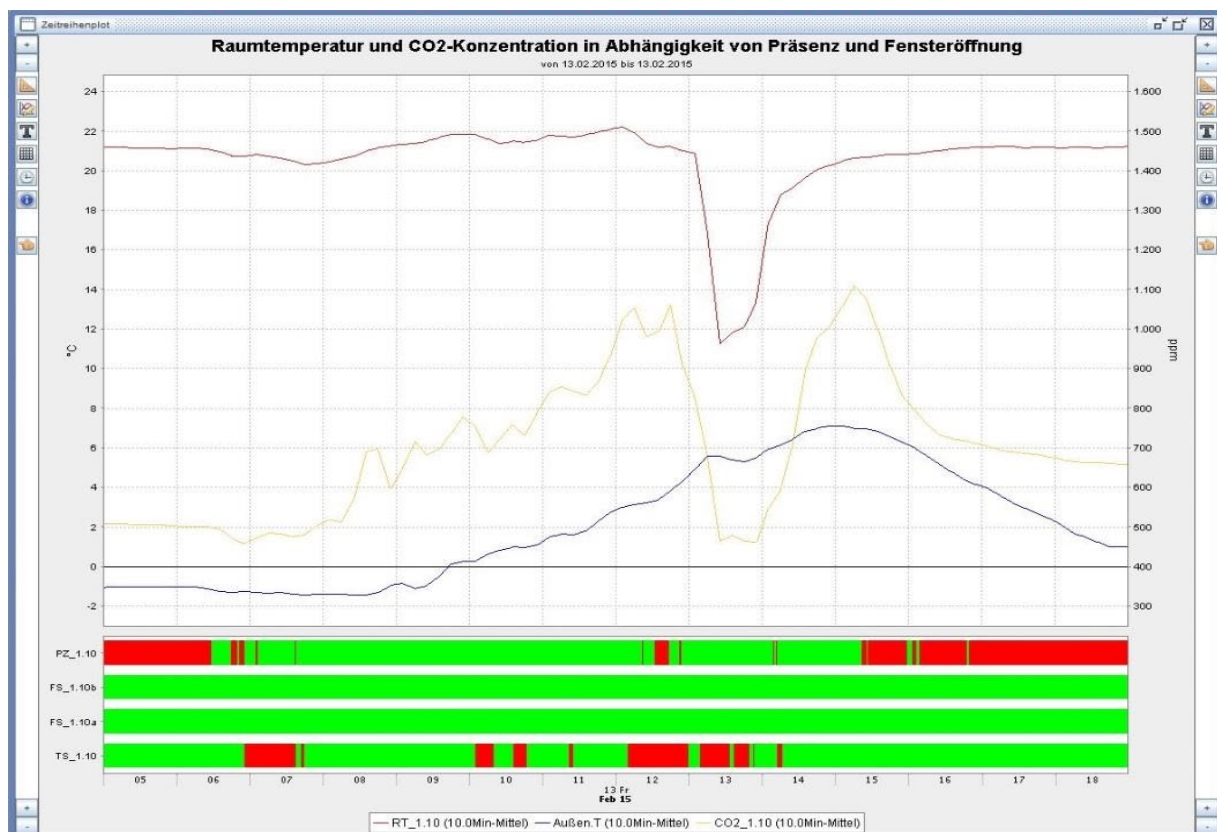
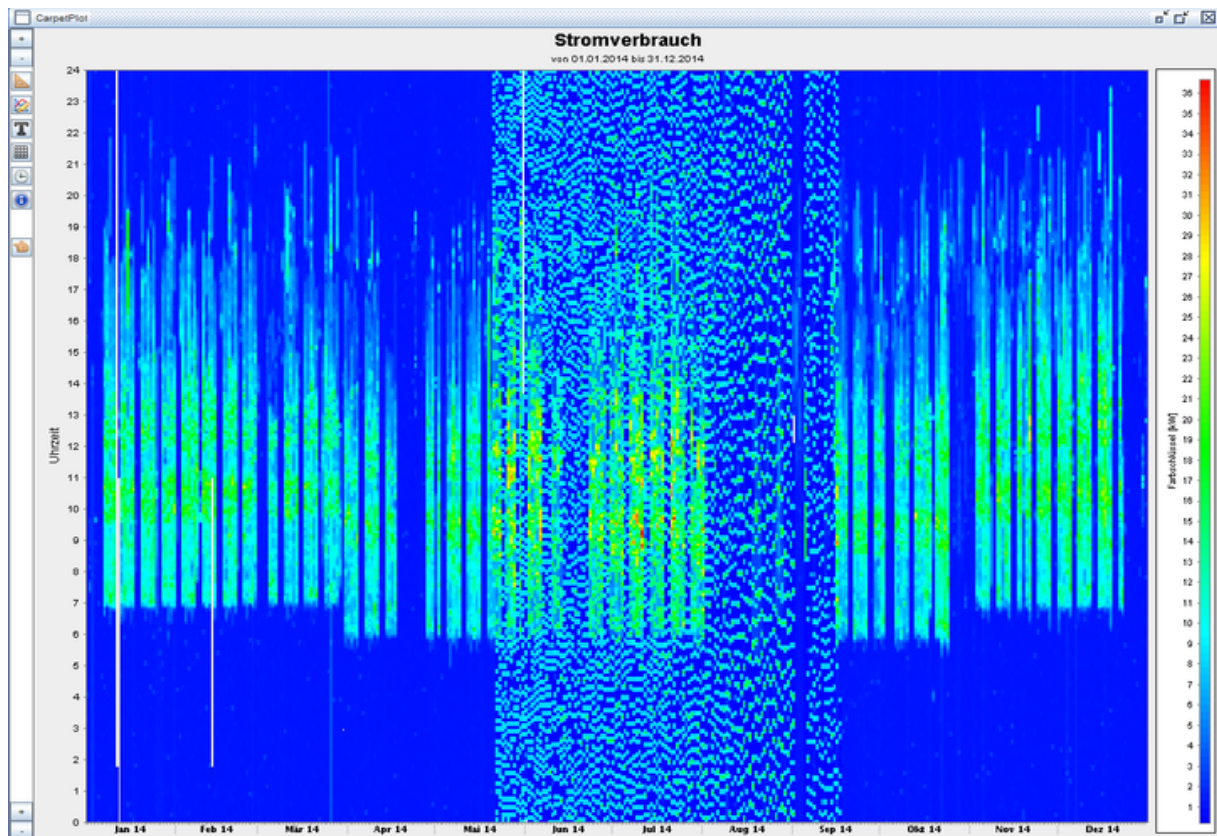
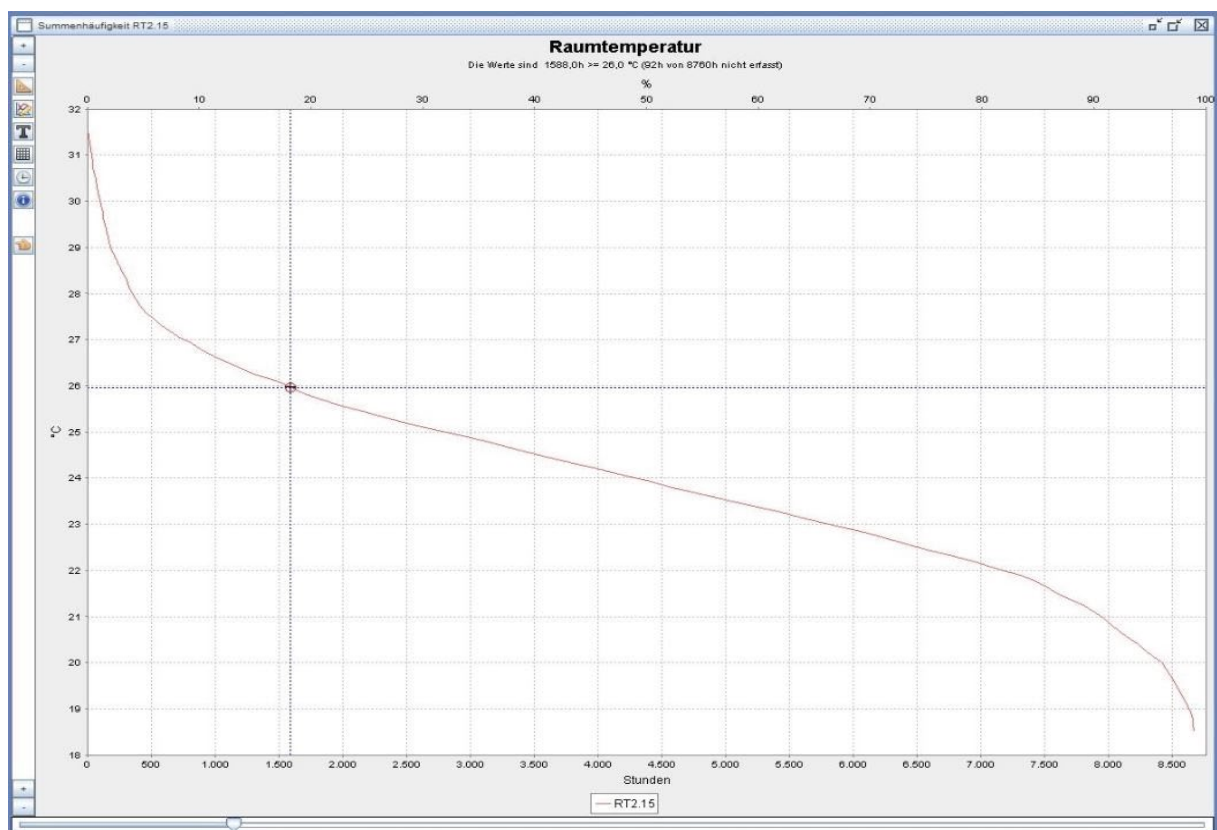
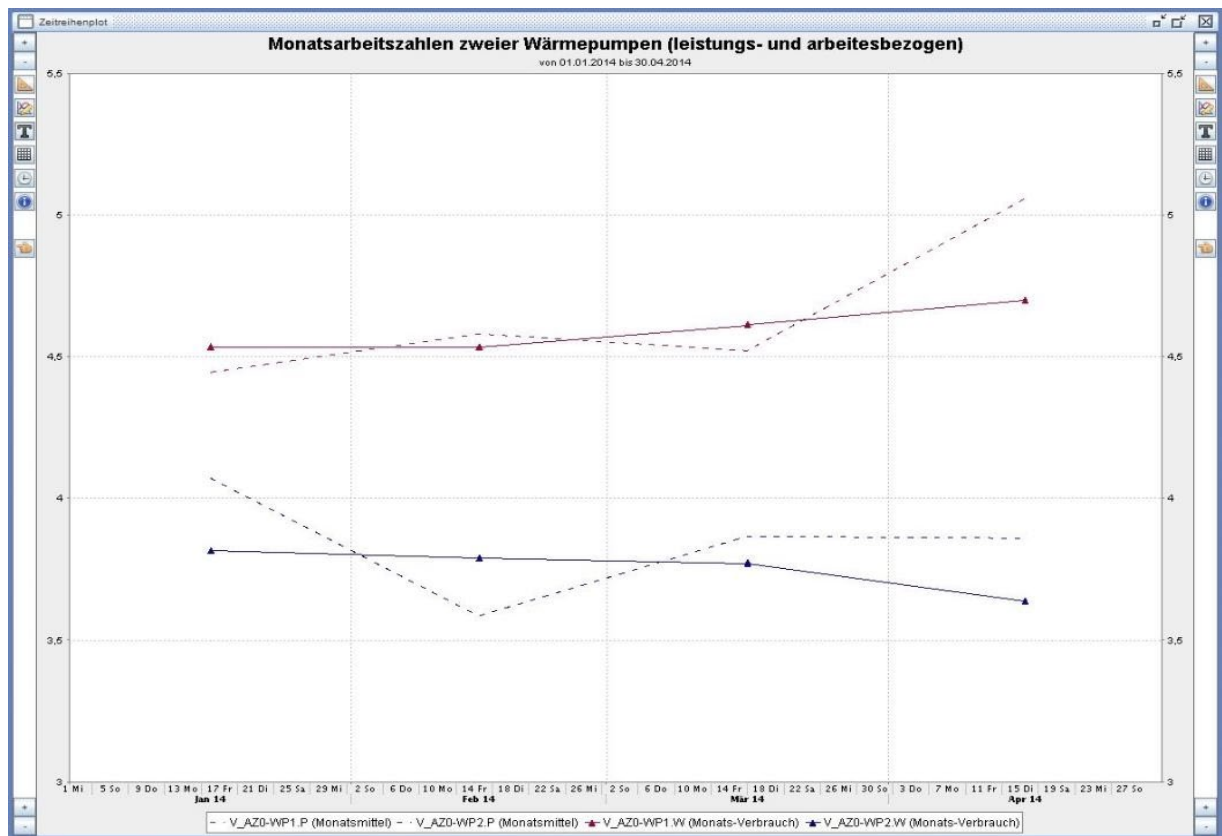
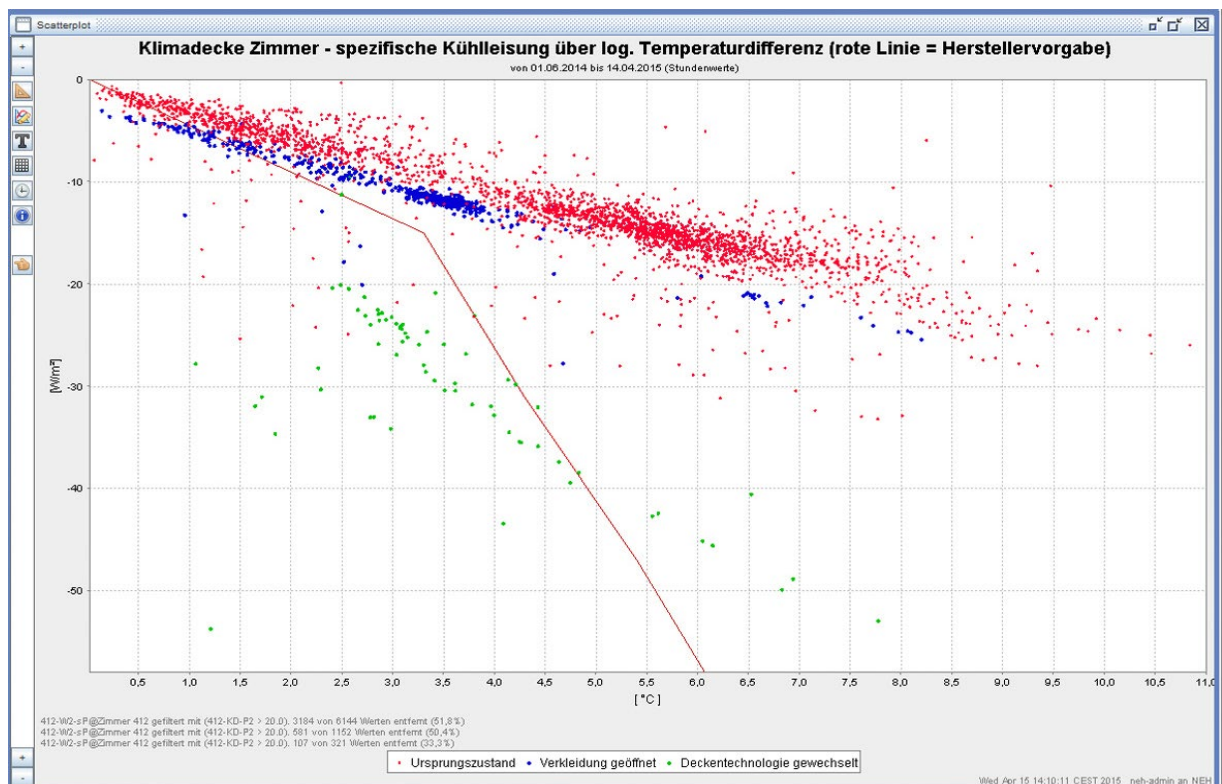
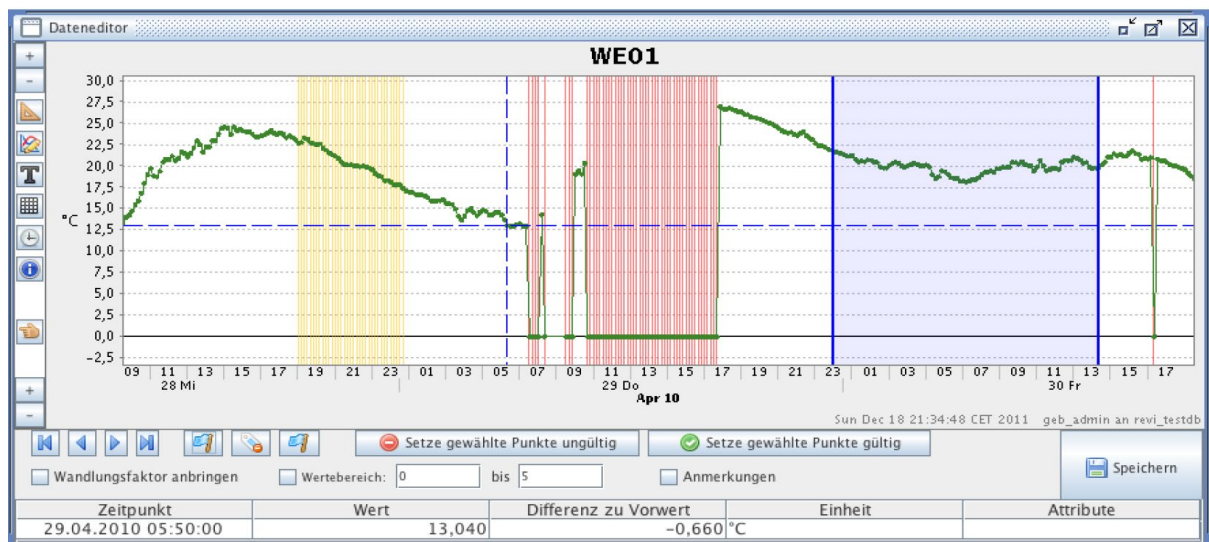


Abbildung 65: Zeitdiagramm (Balken) - Beispiel²³

Abbildung 66: Zeitdiagramm (flächig) - Beispiel²³Abbildung 67: Zeitdiagramm (mehrer Werte) - Beispiel²³

Abbildung 68: Carpetplot - Beispiel²³Abbildung 69: Dauerliniendiagramm - Beispiel²³

Abbildung 70: Zeitraumvergleich – Beispiel²³Abbildung 71: Scatterplott – Beispiel²³

Abbildung 72: Datenpflege – Beispiel²³

4.6.2.9 Bezugsgrößen

Über Bezugsgrößen wie z.B. Flächen werden Gebäude vergleichbar gemacht. Häufig genutzte Bezugsgrößen (z. B. Flächen nach DIN 277) sind in MoniSoft bereits vorbereitet und können direkt mit Werten belegt werden. Andere, selbst definierte Bezugsgrößen, müssen dem System bekannt sein, bevor sie mit Werten belegt werden können. Folgende Bezugsgrößen sind in MoniSoft bereits definiert und können direkt eingelesen werden:

Tabelle 23: Vordefinierte Bezugsgrößen in MoniSoft²³

Bezugsgröße	Beschreibung
BGF	Brutto-Geschossfläche
NGF	Netto-Geschossfläche
HNF1	Wohnen und Aufenthalt
HNF2	Büroarbeit
HNF3	Produktion, Hand und Maschinenarbeit, Experimente
HNF4	Lagern, Verteilen und Verkaufen
HNF5	Bildung, Unterricht und Kultur
HNF6	Heilen und Pflegen
EBF	Energiebezugsfläche
TF	Technische Funktionsfläche
NF	Nutzfläche
KGF	Konstruktionsgrundfläche
VF	Verkehrerschließung und -sicherung
MA	Anzahl Belegungsplätze (Mitarbeiter, etc)
BRI	Brutto-Rauminhalt
NRI	Netto-Rauminhalt
KRI	Konstruktions-Rauminhalt
FensterFL	Fensterfläche

4.6.2.10 Klimabereinigung

Zum Vergleich von Gebäuden an unterschiedlichen Orten bzw. eines Gebäudes in verschiedenen Jahren muss eine Klimabereinigung vorgenommen werden. In der Regel betrifft das hauptsächlich die Verbräuche für Wärme und Kälte, MoniSoft lässt aber eine Klimabereinigung für alle vom Nutzer definierten Vergleichsgrößen zu.²³

4.6.3 Datenübermittlung

Die Datenübermittlung der im Krankenhaus gemessenen Monitoringwerte (Rohdaten) in die MoniSoft Datenbank sollte ursprünglich über einen gesicherten VPN-Tunnel, der einen direkten Zugriff auf die im Krankenhaus gespeicherten Daten erlaubt hätte, erfolgen. Im Laufe des Projektes wurde dann aber im Zusammenhang mit dem Siemens Navigator eine andere Vorgehensweise gewählt. Abbildung 73 veranschaulicht, wie die Daten aus dem „Kunden Netz“ (Krankenhaus Netz) in das Siemens Netz übertragen werden. Die Datenpakete werden mithilfe des verschlüsselten HTTPS Protokolls übertragen. Im Siemens Netzwerk (früher EMC Plattform bzw. heute Advantage-Navigator-Plattform*, „Cloud“) werden die Daten gespeichert. Von dort erfolgt der Export der Daten an die MoniSoft-Datenbank. Die Zuordnung und Darstellung der Daten für den Export erfolgt nach einem vorher für die MoniSoft Datenbankstruktur erforderlichen festgelegten Schema.

Jeder Datenpunkt lässt sich innerhalb des Netzwerkes genau einer „Siemens Navigator-ID“ zuordnen. Der erste Schritt des Datenexportes erfolgt über das für dieses Projekt von Siemens erstellte Programm NavigatorExport (NaviExport). Dieses sendet über eine definierte Liste Anfragen an das Siemens Netzwerk. Die Daten werden zunächst lokal auf einem Rechner der Hochschule Hof gespeichert. In der Regel erfolgt der Datendownload wöchentlich.

Die Daten müssen zunächst aufbereitet werden, damit ein Import in die MySQL-Datenbank erfolgen kann. Dabei wird lediglich das Format bzw. die Formatierung beeinflusst, damit die Daten für die Software MoniSoft lesbar werden. Der Download, die Umwandlung und der Import erfolgt durch mehrere Python-Skripte der Hochschule Hof. Die Daten liegen innerhalb dieses Prozesses immer im CSV-Format vor.

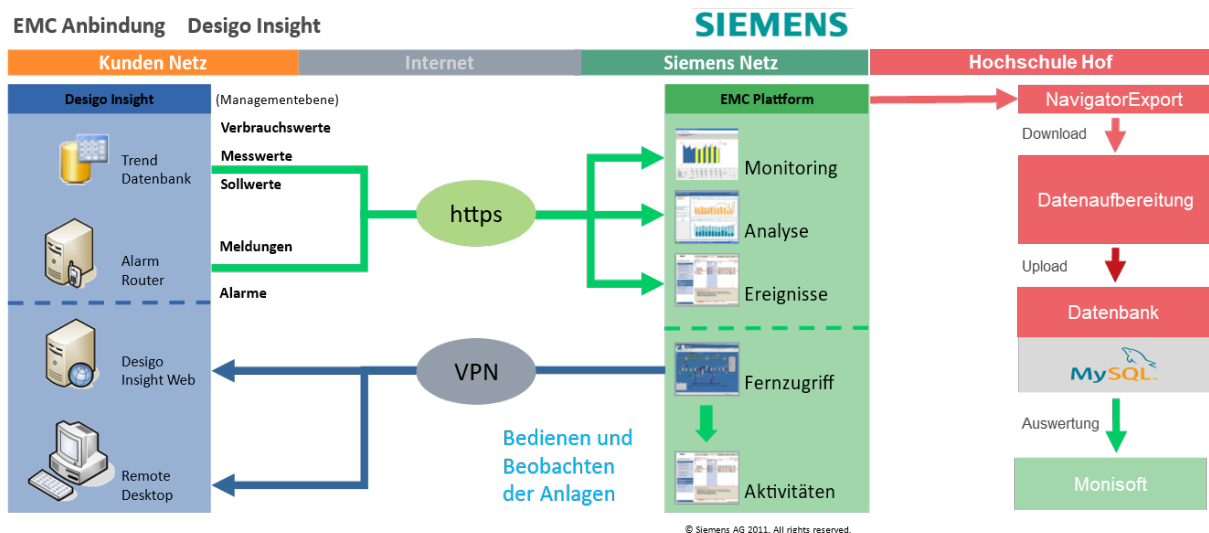


Abbildung 73: Schematische Darstellung der Datenübermittlung; Darstellung Siemens, modifiziert und ergänzt

* „Die Advantage-Navigator-Plattform ging aus der „Energy Management and Controlling“-Lösung (EMC) von Siemens hervor, die Energiedaten erfasst, in einen Zusammenhang bringt und analysiert“ [<https://docplayer.org/33034474-Partner-info-total-building-solutions-alles-aus-einer-hand-das-kundenmagazin-von-siemens-building-technologies-jaenner-2015-siemens.html>]

Zum Auslesen der Daten aus dem Siemens Navigator, dem Konvertieren in das MON-Format und für das Einlesen in eine MoniSoft-Datenbank sind im Einzelnen folgende Teilschritte notwendig:

1. **Initiierung des Datendownloads mittels Programm NaviExport, Konvertierung der Daten und Initiierung der Einleseroutine MoniSoft:**

Python-Skript

2. **Download der Daten aus der Datenbank des Siemens Navigators:**

Datenübertragungstool NaviExport

3. **Einlesen der Daten in die Datenbank des Auswerteprogramms MoniSoft:**

Einleseroutine des Programms jmonitoring.jar

Während des gesamten Prozesses können die Rohdaten bzw. die Daten auch im CSV-Format exportiert und abgespeichert werden. Eine genaue Dokumentation und Beschreibung der Vorgänge erfolgt durch das Dokument „2020-03-04_Bedienungsanleitung_Download_Umwandlung_Import.docx“, das sich in 9_Anhang_MoniSoft befindet.

4.7 Plausibilitätsprüfungen

Nach der Aufschaltung der 1200 Datenpunkte wurden die entsprechenden Monitoringmesswerte zuerst bezüglich ihrer Plausibilität geprüft, wobei hier zwischen

- groben Plausibilitätsbetrachtungen (z. B. falsche Einheiten etc.)

und inhaltlichen Analysen aufgrund des Bilanzkonzeptes bei

- Endenergie
- Nutzenergie Wärmeerzeuger
- Nutzenergie Kälteerzeuger
- Nutzenergie Elektroenergieerzeuger
- Nutzenergie Wärmeverbraucher
- Nutzenergie Kälteverbraucher
- Nutzenergie Elektroenergieverbraucher
- Wasserverbraucher

unterschieden wird.

4.7.1 Grobe Plausibilitätsbetrachtungen

Zuerst war es erforderlich, die aufgeschalteten Datenpunkte grundsätzlich („grob“) auf Plausibilität zu überprüfen. Ein besonderer Fokus lag hierbei auf Datenpunkten, welche:

- keine Werte liefern
- immer nur den Wert „Null“ anzeigen
- offensichtlich falsche Werte anzeigen (z. B. falsche Einheiten)
- unerklärliche Peaks aufweisen

Zur Darstellung der Messwerte von einzelnen Datenpunkten wurden die verschiedenen Möglichkeiten der Auswertesoftware Siemens-Navigators genutzt. Die zusammengefassten Ergebnisse wurden zur besseren Übersichtlichkeit in PowerPoint-Dateien zusammengestellt (siehe auch 10_Anhang_Plausibilitätsprüfung)

Beispielhaft für die Plausibilitätsüberprüfung sei hier auf die Zähler „elektrische Leistung“ und Gaszähler eingegangen.

In Abbildung 74 sind die Zähler „elektrische Leistung“ (ELZ_P...) des Knotens „Erzeugung > Elt“ dargestellt. Man erkennt hier z. B., dass am 14.10.19 – 17.10.19 von allen Zählern keine Daten geliefert wurden. Die dargestellten Werte zeigen sonst erstmal keine offensichtlichen Ungeheimheiten.



Abbildung 74: Beispiel Plausibilitätsprüfung Zähler elektrische Leistung (ELZ_P...)

In Abbildung 75 ist bei Betrachtung der Gaszähler z. B. der Abfall des Gasverbrauches am 14.11.2019 auffällig. Dies lässt sich jedoch mit dem Einschalten des Biomassekessels erklären, der zur Abschaltung der BHKWs führt. Weiterhin ist zu sehen, dass sich der Gesamtgaszähler *GZ_V_EZ_gesamt* nicht wie erwartet aus den Unterzählern *GZ_V_EZ_Gask_1600kW* + *GZ_V_EZ_Gask_560kW* + *GZ_V_EZ_Gask_BHKW1* + *GZ_V_EZ_Gask_BHKW2* zusammensetzt. Dieser Sachverhalt konnte mit den beteiligten Firmen und der technischen Abteilung des Krankenhauses geklärt werden. Der Hauptzähler *GZ_V_EZ_gesamt* befindet sich auf der Mittel- druckseite des Gasnetzes, während sich die vier Zähler für die Verbraucher auf der Nieder- druckseite befinden und so eine zusätzliche Umrechnung für einen Vergleich erforderlich ist (siehe auch Kapitel 4.5.1 Gas).

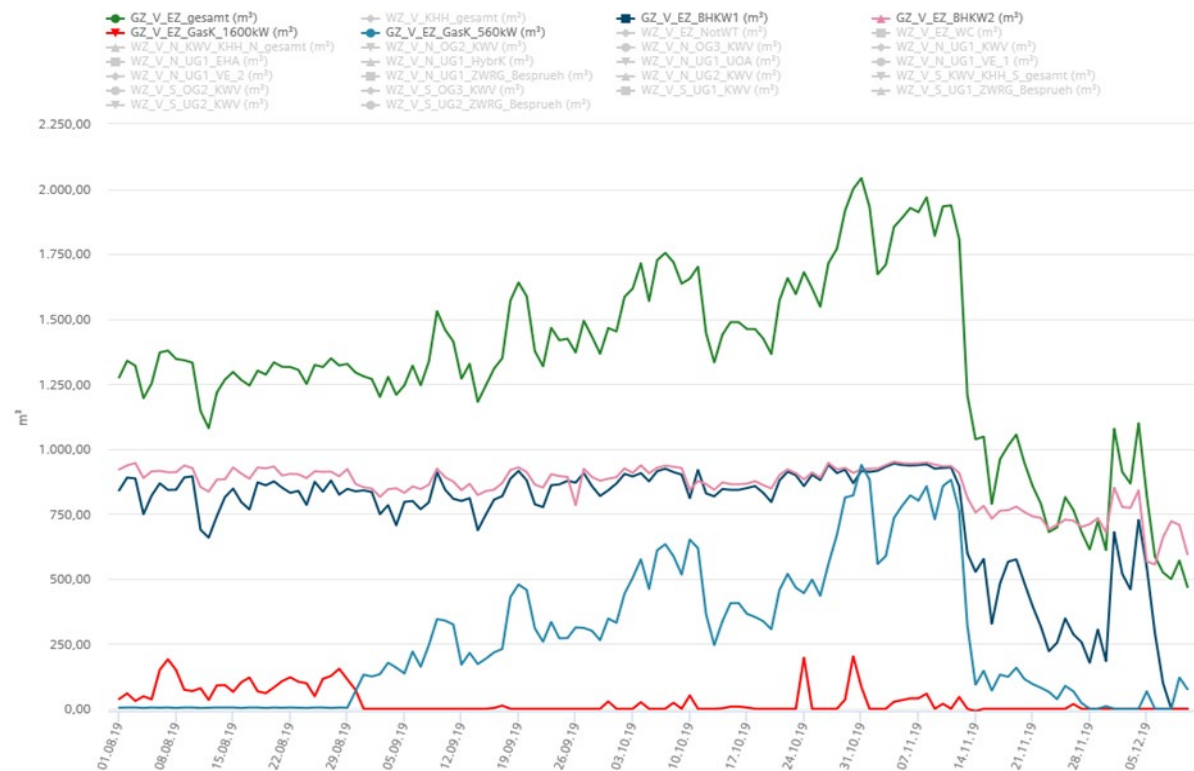


Abbildung 75: Plausibilitätsprüfung Gaszähler

Bei der groben Plausibilitätsprüfung der Datenpunkte sind einige Auffälligkeiten wiederholt aufgetreten, die im Folgenden mit entsprechenden Abbildungen beispielhaft dargestellt sind:

- Starke (unterschiedliche) Temperaturschwankungen über einen kürzeren Zeitraum (Abbildung 76), wahrscheinlich regelungstechnisch bedingt



Abbildung 76: Plausibilitätsprüfung Temperaturschwankungen

- kurzfristiger Abfall des Luftvolumenstromes bei den RLT-Anlagen (Abbildung 77)



Abbildung 77: kurzfristiger Abfall des Luftvolumenstromes

- Konstante Werte bei verschiedenen Zählern (Abbildung 78)

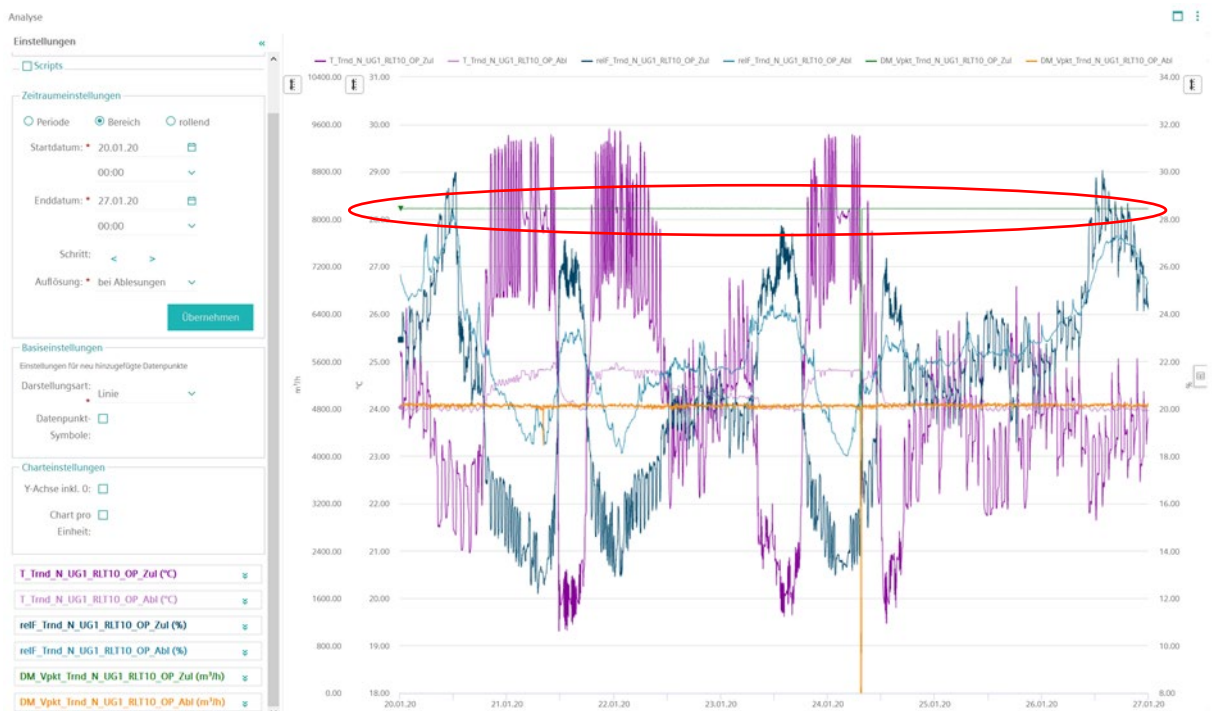


Abbildung 78: Konstante Ablesewerte Zuluft Volumenstrom RLT 10

- Wärmepumpe läuft lt. Wärmemengenzähler nicht
- Die zentralen Wärmerückgewinnungsanlagen für die RLT-Anlagen schalten zwischen Sommer- (WMZ_Q_N_UG1_ZWRG_Heizreg_Glykol) und Winterfall (WMZ_Q_N_UG1_ZWRG_Heizreg_Hzg) um (Abbildung 79)



Abbildung 79: Wärmemengenzähler ZWRG Nord UG1 Sommer/Winter

- Bei Kältemengenzählern war teilweise kWh statt MWh im Navigator eingestellt (wurde geändert)
- Die elektrische Rohrbegleitheizung für den Hybridkühler wird anscheinend nicht benötigt und zeigt nur den Standby-Verbrauch

Zusätzlich wurden in einer Besprechung am 06.02.2020 mit allen am Bau Beteiligten und den Hochschulen Folgendes festgestellt:

- Die Stromzähler der Wärmepumpe sollen nachgerüstet werden
- Wärmemengenzähler der Erdsonden: Rechenwerk zählt nur in eine Richtung – es muss ein Zwei-Richtungs-zähler eingebaut werden
- Der Zähler *ELZ_P_AV_S_UG1_UV_Allgemein* ist defekt (wurde inzwischen getauscht)
- Die RLT Anlagen der OP-Stationen (RLT 5; 7; 8; 9) nutzen zum größten Teil Umluft
- Die RLT-Anlagen der OP-Stationen müssen auch im Winter gekühlt werden, im Sommer ist nach dem Kühler zur Entfeuchtung ein Nacherhitzer notwendig
- Die Fahrradladestation und der Maschinenraum mit den Zählern *ELZ_W_AV_Fahrradladestation*, *ELZ_P_AV_Fahrradladestation*, *ELZ_W_AV_N_UG1_MaschRaum_11_4_24_UV_1_1_13*, *ELZ_P_AV_N_UG1_MaschRaum_11_4_24_UV_1_1_13* wird nicht genutzt
- Bei verschiedenen Elektrozählern wurden inzwischen von der MSR Firma vor Ort einige Parameter (MWh/kWh etc.) angepasst

In einem weiteren Schritt wurden die Zähler auf ihre inhaltliche Plausibilität überprüft, wobei hier entsprechend des Bilanzkonzeptes (siehe Kapitel 4.5) zwischen

- Endenergie
- Erzeuger Nutzenergie
- Verbraucher Nutzenergie

unterschieden wurde.

4.7.2 Endenergie

Bezüglich der Endenergie des GHL folgen entsprechende Plausibilitätsbetrachtungen für die Medien:

- Gas
- Hackschnitzel
- Elektrische Energie
- Wasser

Dazu wurden u. a. - wenn möglich – entsprechende Abrechnungen des Versorgers (Bezug vom EVU) mit den selbst gemessenen Werten des Monitoring-Systems verglichen.

4.7.2.1 Gas

Zur Plausibilitätsüberprüfung der dem GHL gelieferten Endenergie „Gas“ wurden u. a. entsprechende Abrechnungen des Versorgers (ESB) und Messprotokolle des Netzbetreibers (Ferngas) mit den selbst gemessenen Werten des Monitoring-Systems verglichen.

Für das Monitoring werden fünf Gaszählern eingesetzt. Der Hauptzähler „Gesamt“ befindet sich auf der Mitteldruckseite* (ca. 400 mbar), während die vier Zähler für die Verbraucher Gaskessel 560kW, Gaskessel 1600kW, BHKW 1 und BHKW 2 sich auf der Niederdruckseite (ca. 40 mbar) befinden.

Neben den oben genannten Zählern gibt es auch noch einen Hauptzähler des Versorgers, der allerdings nicht direkt für das Monitoring ausgelesen werden kann. Es besteht allerdings die Möglichkeit, sich entsprechende Zählerdaten vom Versorger für einen bestimmten Zeitraum als Excel-Datei schicken zu lassen. Der Hauptzähler des Versorgers befindet sich auch auf der Mitteldruckseite, allerdings wird von dem Gasanschluss auch noch der Altbau versorgt, für den es keinen extra Zähler gibt (Anordnung Zähler siehe Abbildung 80). Ein direkter Vergleich der Daten des Netzbetreibers (Gaszähler Versorger) mit den selbst gemessenen Daten des Gaszählers-Gesamt (*GZ_V_EZ_gesamt*) ist deshalb nicht möglich, obwohl beide Zähler auf der Mitteldruckseite arbeiten, da der Gasverbrauch des Altbaus nicht extra erfasst wird bzw. sich aus der Differenz zwischen Gaszähler-Versorger und Gaszähler-Gesamt (Monitoringzähler) ergibt.

* Im Gasbereich wird unterschieden zwischen:

Niederdruck	< 0,1 bar	((30–60 mbar))	(= 1,1 bar abs);
Mitteldruck	> 0,1 bar und < 1 bar	((300–750 mbar))	(= 1,1 – 2 bar abs);
Hochdruck	> 1 bar bis 4 bar, 16 bar	((>1 bar))	(= 2 – 4 bar abs, 17 bar abs);

[WDV Molliné GmbH, Auslegung von Gaszählern. Abgerufen: 10. März 2020, 16:30 UTC + 1, URL: <https://www.molline.de/produkte-loesungen/gaszaehler/auslegung-gaszaehler/>]

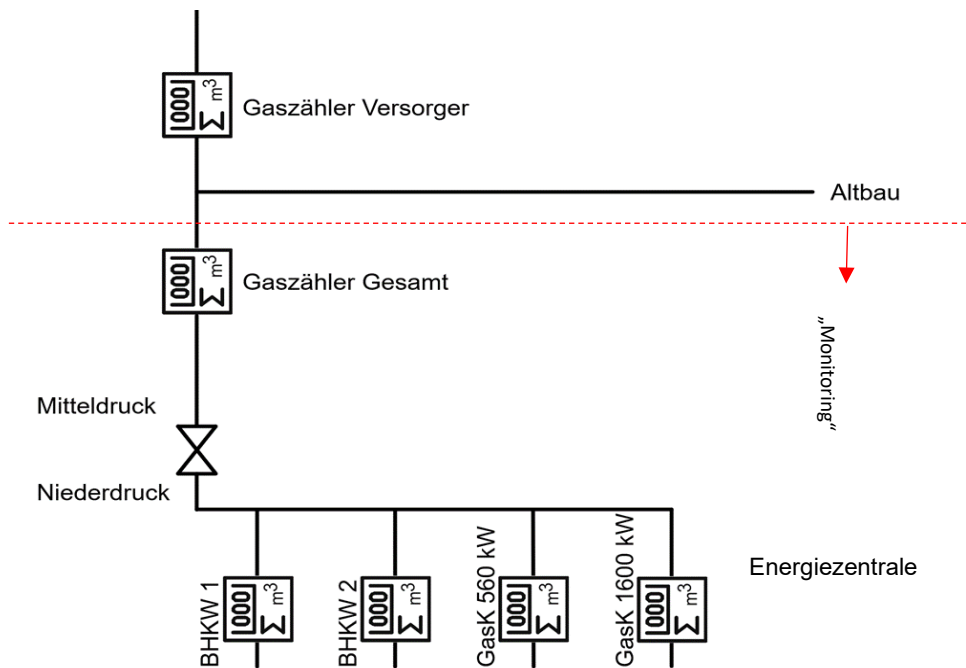


Abbildung 80: Darstellung der Lage der verschiedenen Gaszähler

Die Ermittlung des monatlich verbrauchten Betriebsvolumens Gas für den Altbau („delta Vb [m³] Altbau“) ist in Abbildung 81 dargestellt.

Ferngas Monatswerte summiert					
Monat	E [kWh] Kreiskrankenhaus Lichtenfels	Vn [m ³] Kreiskrankenhaus Lichtenfels	Vb [m ³] Kreiskrankenhaus Lichtenfels	Vb [m ³] Hauptzähler Gas GZ_V_EZ_gesamt	delta Vb [m ³] Altbau
Okt	909.743	80.323	59.628	49.776	9.852
Nov	764.744	67.562	50.491	37.638	12.853
Dez	1.058.514	93.424	68.926	46.994	21.932
	2.733.001	241.308	179.044	134.408	44.636

Abbildung 81: Ermittlung monatlich verbrauchtes Betriebsvolumen Gas für Altbau („delta Vb [m³] Altbau“)

Basis der Überprüfung waren die Gas Monatsrechnungen (Jan. 2019 – Dez. 2019) des Versorgers und die stündlichen Ablesewerte (Oktober bis Dezember 2019) des Netzbetreibers. Zunächst wurden die monatlichen Daten des Energieversorgers ESB (Rechnung) und die stündlichen Ablesewerte des Netzbetreibers (Ferngas) für die Monate Okt. bis Dez. 2019 miteinander verglichen (siehe Abbildung 82). Bei den Zählerwerten handelt es sich um die summierten Verbräuche der Energiezentrale und des Klinikum-Altbaus.

	Ferngas	ESB	delta
2019	E[kWh]	E[kWh]	E[kWh]
Okt	909.743	935.703	-25.960
Nov	764.744	797.021	-32.277
Dez	564.091	613.006	-48.915
Summe	2.238.578	2.345.730	-107.152

Abbildung 82: Vergleich Abrechnungswerte Gasversorger mit Ablesewerten des Netzbetreibers

Hier ergab sich über 3 Monate eine Differenz von 107.152 kWh, die Versorger und Netzbetreiber mitgeteilt wurde. Es stellte sich heraus, dass es einen Fehler in den Rechnungen gab, aber die Stundenwerte des Netzbetreibers (Ferngas) korrekt sind (Mail Ferngas vom 20.5.20).

Die Überprüfung der Bilanz zwischen dem Monitoring Gaszähler-Gesamt und den vier Gaszählern in der Energiezentrale ist u. a. wegen der unterschiedlichen Druckstufen nicht direkt möglich, sondern erfordert z. B. entsprechende Umrechnungen in Norm-m³. Mit den Norm-m³ kann dann noch eine Umrechnung des Gasvolumens in eine Energiemenge erfolgen.

Vom Netzbetreiber wurden die gemessenen Stundenwerte folgendermaßen angegeben (siehe Tabelle 25):

- Stunde
- Arbeit [kWh/h] (Energiemenge)
- V_{Norm} [m³_{Norm}] Normvolumen
- V_b [m³] Volumen im Betriebszustand, Betriebsvolumen
- z [-] Zustandszahl, Umrechnungszahl
- $H_{s,\text{eff}}$ Monatsmittelbrennwert

Das Betriebsvolumen kann über die Zustandszahl z in Normvolumen umgerechnet werden. Die Zustandszahl z wird mit den vorhandenen Druck- und Temperaturwerten und Kompressibilitätsfaktoren des Gases für jeden Stundenwert errechnet.

$$V_n = V_b \times z$$

$$z = \frac{T_n}{T_{\text{eff}}} \times \frac{p_{\text{amb}} + p_{\text{eff}} - \varphi \times p_s}{p_n} \times \frac{1}{K}$$

1. Volumen im Betriebszustand V_b
2. Zustandszahl z
3. Normtemperatur T_n
4. Abrechnungstemperatur T_{eff}
5. Luftdruck p_{amb}
6. Effektivdruck p_{eff}
7. Wasserdampfpartialdruck $p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi \times p_s$
8. Normdruck p_n
9. Kompressibilitätszahl K

Die Energiemenge wird mittels Monatsmittelbrennwert ($H_{s,\text{eff}}$) und Normvolumen stundenscharf bestimmt.

$$E = V_b \times z \times H_{s,\text{eff}} = V_n \times H_{s,\text{eff}}$$

(Quelle: Ferngas Service & Management GmbH & Co. KG)

Nach EnEV²⁴ sind zur Ermittlung des Energieverbrauchs auf den oberen Heizwert (Brennwert) bezogene Verbrauchsangaben aus Abrechnungsunterlagen des Energieversorgungsunternehmens oder des Brennstofflieferanten unter Verwendung der Umrechnungsfaktoren nach DIN V 18599-1: 2011-12 Tabelle B1²⁵ auf den unteren Heizwert H_i umzurechnen (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24: Umrechnungsfaktoren nach DIN V 18599-1: 2011-12 Tabelle²⁵

Energieträger		Verhältnis Brennwert/Heizwert H_s/H_i (Umrechnungsfaktor für die Endenergie) $f_{HS/Hi}$
Brennstoffe	Heizöl, Bioöl	1,06
	Erdgas, Biogas	1,11
	Flüssiggas	1,09
	Steinkohle	1,04
	Braunkohle	1,07
	Holz	1,08
andere Energieträger	Strom	1,00
	Nah-/Fernwärme, Fernkälte	1,00
	Umweltenergie	1,00
	Abwärme	1,00

Tabelle 25: Daten des Gasversorgers

Daten Ferngas Service & Management GmbH & Co. KG										
Ferngas Stundenwerte						Ferngas Monatswerte summiert				
Stunde	E [kWh] Kreiskrankenhaus Lichtenfels	Vn [m³] Kreiskrankenhaus Lichtenfels	Vb [m³] Kreiskrankenhaus Lichtenfels	z [-] [z(p,Teff,K)]	Hseff [kWh/m³]			E [kWh] Kreiskrankenhaus Lichtenfels	Vn [m³] Kreiskrankenhaus Lichtenfels	Vb [m³] Kreiskrankenhaus Lichtenfels
01.10.2019/06 - 07	1.301,766	114,935	85,696	1,3412	11,326	Okt	909.743	80.323	59.628	
01.10.2019/07 - 08	1.372,859	121,212	90,511	1,3392	11,326	Nov	764.744	67.562	50.491	
01.10.2019/08 - 09	1.313,109	115,937	86,269	1,3439	11,326	Dez	564.091	49.837	68.926	
01.10.2019/09 - 10	1.314,932	116,097	86,860	1,3366	11,326		2.238.578	197.722		
01.10.2019/10 - 11	1.280,048	113,018	84,260	1,3413	11,326					

Aus Bilanzgründen sollte die Summe der Gaszähler in der Energiezentrale gleich dem Gaszähler-Gesamt sein. Allerdings sind die unterschiedlichen Druckstufen der Zähler zu beachten. Eine entsprechende Zustandszahl zur Umrechnung von Betriebs- in Normvolumen ist für den Niederdruckbereich nicht bekannt. Insofern konnte die Bilanz nicht auf Plausibilität geprüft werden. Stattdessen wurde unter der Annahme, dass die Summe der Volumina der Gaszähler in der Energiezentrale gleich dem Volumen des Gaszähler-Gesamt ist, die Zustandszahl („Umrechnungsfaktor“) für den Niederdruckbereich ermittelt (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26: Berechnung der Gas Umrechnungsfaktoren

Datum	Gesamtzähler		(alles Betriebsvolumen)				Summe Einzelzähler	
	GZ_V_EZ_gesamt	M1	GZ_V_EZ_BHKW1	M2	GZ_V_EZ_BHKW2	M3	GZ_V_EZ_GasK_1600kW	M4
	m³		m³		m³		m³	
02.03.20	909,00		607,78		602,16		0,00	103,00
03.03.20	1113,00		724,81		720,19		0,00	158,00
04.03.20	1355,00		685,06		679,09		18,00	551,00
05.03.20	987,00		601,47		574,84		0,00	242,00
06.03.20	832,00		533,13		620,94		0,00	48,00
07.03.20	758,00		540,25		522,88		0,00	26,00
08.03.20	587,00		414,72		408,13		0,00	20,00
Summe	6541,00		4107,22		4128,23		18,00	1148,00
	Mitteldruck							Niederdruck
=> Virtueller Zähler: GZ_V_EZ_Summe_Einzelzähler_VIR								
=> kein direkter Vergleich zu GZ_V_EZ_gesamt möglich!								
Umrechnungsfaktor Z für Mitteldruck vom Gasversorger:								
Umrechnungsfaktor Z* für Niederdruck unbekannt!								
Umrechnung vom Betriebsvolumen (Mitteldruck) in Normvolumen:								
V_n =	6541,00 m³ *		1,349726956	=			8828,56 m³_Norm	
Annahme: Gesamtzähler (Mitteldruck) = Summe Einzelzähler (Niederdruck)								
=> Bestimmung Umrechnungsfaktor Z* für Niederdruck:								
V_n / V_b_Niederdruck = Z*		8828,56	/	9401,45	=		0,939064082	
Umrechnung vom Betriebsvolumen (Niederdruck) Summe Einzelzähler in Normvolumen:								
V_n =	9401,45 m³ *		0,939064082	=			8828,56 m³_Norm	
=> Bestimmung Umrechnungsfaktor Y* für Niederdruck in Mitteldruck:								
V_b_Mitteldruck / V_b_Niederdruck = Y*		6541,00	/	9401,45	=		0,695743742	
Umrechnung vom Betriebsvolumen (Niederdruck) Summe Einzelzähler in Betriebsvolumen (Mitteldruck):								
V_b_Mitteldruck =	9401,45 m³ *		0,695743742	=			6541,00 m³	
Brennwert Gas Hseff [kWh/m³] vom Versorger:								
Berechnung Energiemenge:								
	8828,56 m³_Norm *		11,32703725 kWh/m³ (brennwertbezogen) =		100001 kWh			
f _{HS/HI} = 1,11 für Erdgas	8828,56 m³_Norm *		10,20453806 kWh/m³ (heizwertbezogen) =		90091 kWh			

Dazu wurde zuerst für eine Woche (2.3.20-8.3.20) mit der über 3 Monate gemittelten Zustandszahl z (Umrechnungsfaktor) des Netzbetreibers ($z = 1,3497$; für Mitteldruck) das Betriebsvolumen des Gaszählers-Gesamt ($GZ_V_EZ_gesamt$) in Normvolumen umgerechnet.

Unter der Annahme, dass sich der Gesamtzähler aus den vier Einzelzählern ergibt, konnte nun aus dem vorher ermittelten Normvolumen des Gesamtzählers und der Summe der Betriebsvolumina der Einzelzähler der Umrechnungsfaktor z des Betriebsvolumens (Niederdruck) der Einzelzähler ermittelt werden. Insgesamt ergaben sich so folgende Umrechnungsfaktoren:

- Umrechnung vom Betriebsvolumen (Mitteldruck) in Normvolumen: 1,34972695563833
- Umrechnung vom Normvolumen in Betriebsvolumen (Mitteldruck): 0,74089058962823
- Umrechnung vom Betriebsvolumen (Niederdruck) in Normvolumen: 0,939064082
- Umrechnung vom Betriebsvolumen (Niederdruck) in Betriebsvolumen (Mitteldruck): 0,695743742

Die Berechnung der brennwertbezogenen Energiemenge ergibt sich aus dem Normvolumen multipliziert mit dem über 3 Monate gemittelten Brennwert (Normzustand) $H_{seff} = 11,3270372502539 \text{ kWh/m}^3$ des Netzbetreibers. Die heizwertbezogene Energiemenge ergibt sich mit dem Faktor $f_{HS/HI} = 1,11$ für Erdgas zu $10,20453806 \text{ kWh/m}^3$.

Mit diesen Angaben können im Navigator die Monitoring Gaszählerwerte in Energiemengen umgerechnet werden. Die Eingabe des Heizwertes erfolgt unter Medieneigenschaften Medium Erdgas (siehe Tabelle 27).

Tabelle 27: Heizwerteingabe unter Medieneigenschaften Medium Erdgas im Navigator

Brenn- / Heizwert	Kommentar	Gültig ab	Optionen
1 m³ = 10,204538 kWh	Versorgerwerte gemittelt, auf Heizwert bezogene Energiemenge	01.01.19 00:00	

Alle Betrachtungen und Berechnungen sind in 11_Anhang_Endenergie\Endenergie_Gas zu finden.

4.7.2.2 Hackschnitzel

Im Folgenden wird auf die Punkte

- Energiemessung
- Brennstoffmessung
- Problematik Messung Füllstandhöhe

eingegangen.

Energiemessung

Vom Lieferanten erfolgt die Abrechnung der Hackschnitzellieferungen anhand der Messung der produzierten Wärmeenergie (MWh) im Biomassekessel (BioMK). Entsprechende Zählerablesungen werden i. d. R. während der Einfüllung des Materials in den Bunker durchgeführt und die Differenz zwischen zwei Ablesungen als erzeugte Wärmemenge abgerechnet. Zusätzlich werden vom Lieferanten auf entsprechenden Lieferscheinen das gelieferte Hackschnitzelvolumen in m³ (SRm) und die Holzfeuchte in % angegeben. Entsprechenden Abrechnungsdaten von April 2019 bis März 2020 finden sich in Tabelle 28. Alle weiteren Betrachtungen und Berechnungen sind in 11_Anhang_Endenergie\Endenergie_Hackschnitzel dargestellt.

Tabelle 28: Abrechnungsdaten Hackschnitzel

Lieferschein				Rechnung										
		SRM	Feuchte			Zähler Wärme- menge	Zähler Wärme- menge	delta	Preis netto		Preis incl.Mwst			
Datum	Nr.	m³	%	Datum	Nr.	Stand	MWh	MWh	€/MWh	€	€			
2019														
04.02.2019	1	294				04.02.2019	529,5							
14.02.2019	2	210												
28.02.2019	3	200		10.03.2019	2019/01	28.02.2019	814,9	285,4	22,9	6.535,66 €	7.777,44 €			
20.03.2019	4	180												
29.03.2019	5	240		09.04.2019	2019/02	29.03.2019	1088,4	273,5	22,9	6.263,15 €	7.453,15 €			
				14.05.2019	2019/03	13.05.2019	1165,0	76,6	22,9	1.754,14 €	2.087,43 €			
18.11.2019	6	260												
27.11.2019	7	130												
04.12.2019	8	130	25-30			02.12.2019	1380,9							
16.12.2019	9	210	25-30											
28.12.2019	10	150	25-30	02.01.2020	2020/01	31.12.2019	1720,1	339,2	22,9	7.767,68 €	9.243,54 €			
Summe								974,7			26.561,55 €	verbraucht vom 4.2.19 - 31.12.19		
2020														
16.01.2020	1	180	25-30											
22.01.2020	2	110	25-30											
29.01.2020	3	95	25-30											
						04.02.2020	2117,8	397,7						
12.02.2020	4	230	25-30											
24.02.2020	5	140	25-30											
04.03.2020	6	80	25-30			04.03.2020	2413,8	296,0						
Summe								693,7			0,00 €	verbraucht vom		

Die Ablesedaten des Lieferanten („Zähler Wärmemenge“) entsprechen den Zählerständen des Datenpunktes *WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK* im Siemens Navigator. Somit bedarf es keines Abgleichs zwischen der Rechnung und den Zählerwerten.

Bei der vom Biomassekessel produzierten Wärme handelt es sich nicht um Endenergie, sondern um erzeugte Nutzenergie. Zur Bestimmung der Endenergie müssten noch die Kesselumwandlungsverluste (Wirkungsgrad) berücksichtigt werden. Dies ist ein Unterschied z. B. zum Brennstoff Gas, dessen Energieinhalt vor der Umwandlung z. B. in einem Gaskessel angegeben wird (Endenergie). Bei Kenntnis des Energieinhalts der Hackschnitzel könnte aus dem gelieferten Hackschnitzelvolumen die Endenergie ermittelt und so ein Wirkungsgrad aus Energieinhalt Hackschnitzel und produzierter Wärme gebildet werden.

Brennstoffmessung

Neben den oben genannten Möglichkeiten, den Brennstoffverbrauch an Hackschnitzeln anzugeben (Lieferschein Hackschnitzelvolumen und Messung der produzierten Wärmeenergie), besteht im GHL die Möglichkeit, kontinuierlich die Füllstandhöhe des Hackschnitzelbunkers zu ermitteln. Hierfür wurde ein Sensor (Datenpunkt *FSH_Przt_Trnd_EZ_BioMK_Mess_01*) in den Hackschnitzelbunker eingebaut, der die Füllstände in Prozent misst. Die entsprechenden Hackschnitzellieferungen, die produzierte Wärme und (soweit vorhanden) die Füllstandhöhenänderungen sind in Abbildung 83 dargestellt.

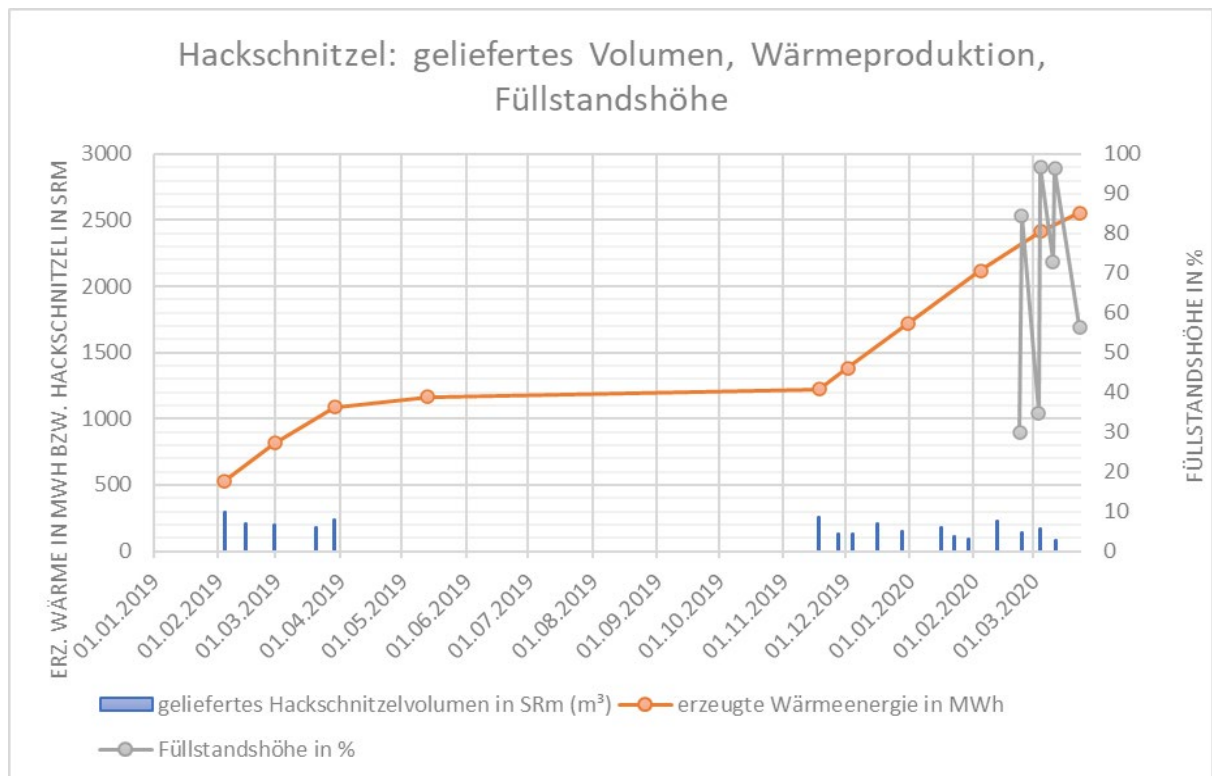


Abbildung 83: Lieferungen Hackschnitzel, produzierte Wärme und Füllstandshöhenänderung

Aus der reinen Füllstandhöhe kann in diesem Fall aber noch kein Volumen an verbrauchten Hackschnitzeln ermittelt werden. Zur Ermittlung eines Umrechnungsfaktors „Volumen pro % Füllstandhöhe“ (m³/%) wurde ein Abgleich des gelieferten Hackschnitzelvolumens mit den Füllstandhöhen durchgeführt (siehe Abbildung 84)



Abbildung 84: Abgleich geliefertes Volumen Hackschnitzel (Lieferscheinwerte) mit gemessenen Füllstandhöhen in %

Die Zeitpunkte der Lieferungen laut Lieferschein wurden in das Diagramm eingetragen und zeigen eine Übereinstimmung mit den Messwerten. Es sind deutlich die Befüllungen des Bunkers und die anschließende Entnahme der Hackschnitzel zu erkennen.

Bei der Auswertung zeigte sich, dass die Lieferungen vom 24.02.2020 (Liefermenge 140 m³, Faktor 2,57 m³/%) und vom 04.03.2020 (Liefermenge 170 m³, Faktor 2,74 m³/%) einen ähnlichen Faktor aufweisen. Die Lieferung vom 11.03.2020 (Liefermenge 80 m³, Faktor 3,41 m³/%) unterscheidet sich jedoch deutlich von den anderen beiden Werten, sodass aus den drei Messungen keine eindeutige Aussage für einen Umrechnungsfaktor „Volumen pro % Füllstandhöhe“ (m³/%) gemacht werden kann. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird als grobe Abschätzung der Mittelwert aus den vorhandenen Faktoren gebildet (2,91 m³/%).*

Um die Plausibilität des Umrechnungsfaktors zu untersuchen, wurde das sich aus dem Faktor ergebende 100 % Volumen (291 m³) mit dem tatsächlichen Raumvolumen des Hackschnitzelbunkers (Abmessungen siehe Abbildung 85) (433 m³) bzw. dem maximalen Schüttraumvolumen (angenommen 66 % Raumvolumen wegen Berücksichtigung Leerraum/Schrägboden) (286 m³) verglichen (Tabelle 29).

* Für eindeutigere Aussagen sollten in Zukunft weitere Lieferungen ausgewertet werden, die jedoch erst wieder im Herbst/Winter erfolgen.

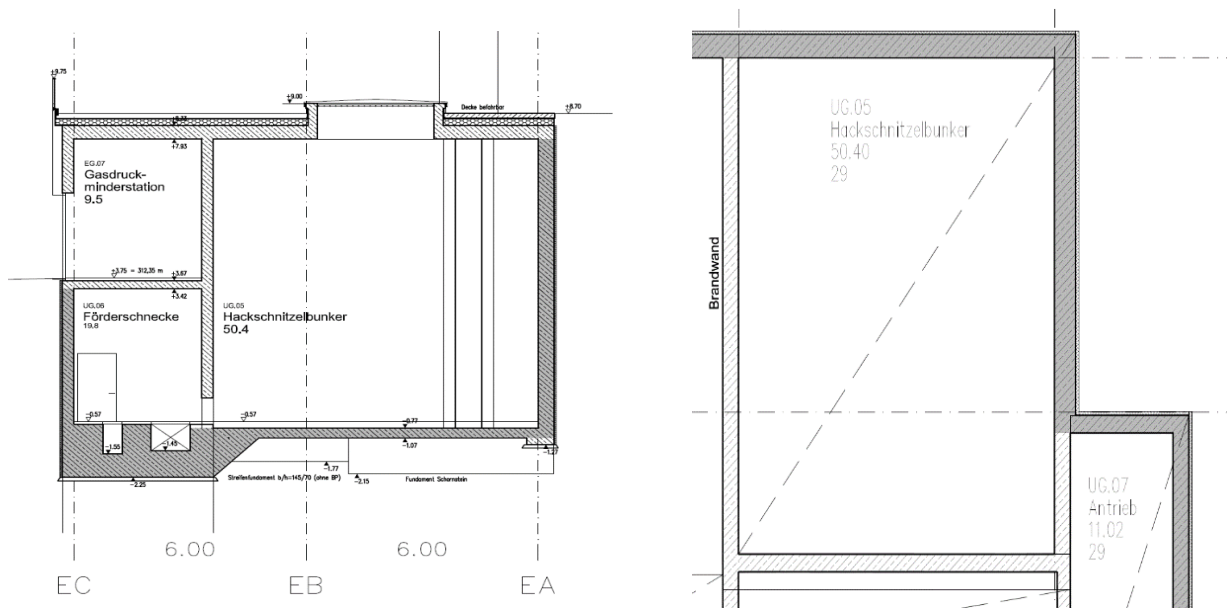


Abbildung 85: Grundriss und Schnitt Hackschnitzelbunker GH

Tabelle 29: Abschätzung des maximalen Schüttraumvolumens

Abschätzung max. Schüttraumvolumen:			
Hackschnitzelbunker => Abmessungen (siehe Pläne)			
	Fläche		50,4 m ²
	Höhe		8,6 m
	Volumen		433,44 m ³
max. Schüttraumvolumen?			
Bei Schrägboden nutzbar ca.			66 %
grob 100% Hackschnitzelschüttraum			286 m ³
=> Faktor			2,86 m ³ /%
Vergleich mit Durchschnittsfaktor 2,91 m ³ /% aus drei Lieferungen:			
grob 100% Hackschnitzelschüttraum			291 m ³

Hier erscheint der gemittelte Faktor 2,91 m³/% aus den drei Lieferungen als plausibler Wert.

Inwieweit bei einem Umrechnungsfaktor „Volumen pro % Füllstandhöhe“ (m³/%) von einem linearen Zusammenhang ausgegangen werden kann, hängt neben dem Schütt- und Fließverhalten der Hackschnitzel natürlich auch von der Bunkerform (z. B. möglicher Schrägboden im unteren Teil des Bunkers) ab. Mögliche schräge Seitenwände wurden hier außer Acht gelassen, da die Füllhöhe des Bunkers vermutlich nur in den seltensten Fällen so niedrig sein wird, dass der Bereich eines Schrägbodens erreicht wird.

Die vorangegangenen Betrachtungen für einen Umrechnungsfaktor „Volumen pro % Füllstandhöhe“ gelten auch für einen Umrechnungsfaktor „erzeugte Wärmeenergie pro % Füllstandhöhe“ (MWh/%) (siehe Abbildung 86 und Tabelle 30).



Abbildung 86: Füllstandhöhenabnahme und erzeugte Energie (verschiedene zeitliche Auflösungen)

Tabelle 30: Umrechnungsfaktor „erzeugte Wärmeenergie pro % Füllstandhöhe“ (MWh/%)

			min %	max %	delta %		
	04.03.2020	FSH-Änderung		96,78		(siehe Blatt "FSH bei Ablesung")	
	11.03.2020	FSH-Änderung	72,87		23,91	(siehe Blatt "FSH bei Ablesung")	
eingespeiste Energie	04.03.2020 bis			11.03.2020	73,85	MWh	(WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK)
Faktor					3,09	MWh/%	
			min %	max %	delta %		
	25.02.20 00:00	FSH-Änderung		80,33		(siehe Blatt "FSH bei Ablesung")	
	04.03.20 11:20	FSH-Änderung	34,67		45,66	(siehe Blatt "FSH bei Ablesung")	
eingespeiste Energie	25.02.20 00:00 bis			04.03.20 11:20	75,09	MWh	(WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK)
Faktor					1,64	MWh/%	

Die Faktoren unterscheiden sich deutlich (siehe Tabelle 30), sodass aus diesen Angaben keine eindeutige Aussage für einen Umrechnungsfaktor gemacht werden kann. Neben den Unsicherheiten der exakten Füllstandhöhenmessung zeigte sich hier auch beim Betrieb des Kessels eine wechselnde Betriebsweise nach dem 28.2.20 (siehe Abbildung 86), die einen Einfluss auf eine vorausgesetzte kontinuierliche Wärmeerzeugung hat.

Problematik Messung Füllstandhöhe

„Hackschnitzel werden als Schüttgut mit einer Dichte von etwa 200 kg/m^3 vom Lieferanten durch eine rechteckige Öffnung von oben direkt in den Bunker gekippt“²⁶ (siehe Abbildung 87). Hackschnitzelbunker „werden chargenweise befüllt und entleert. Dabei bilden sich Schüttkegel, starker Staub und Brücken, die bei der Entleerung in sich zusammenfallen.“²⁷

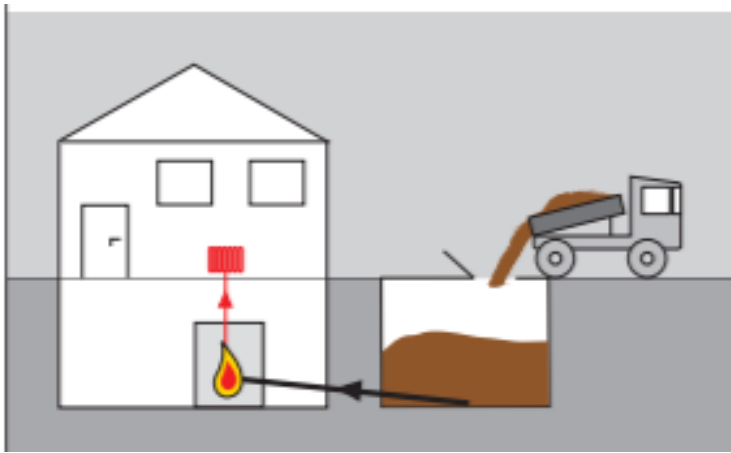


Abbildung 87: Schema Hackschnitzelbunker²⁸

Die Austragung kann z. B. über Schrägböden (siehe Abbildung 88), Entnahmeschnecken oder Schubböden (siehe Abbildung 89) erfolgen.

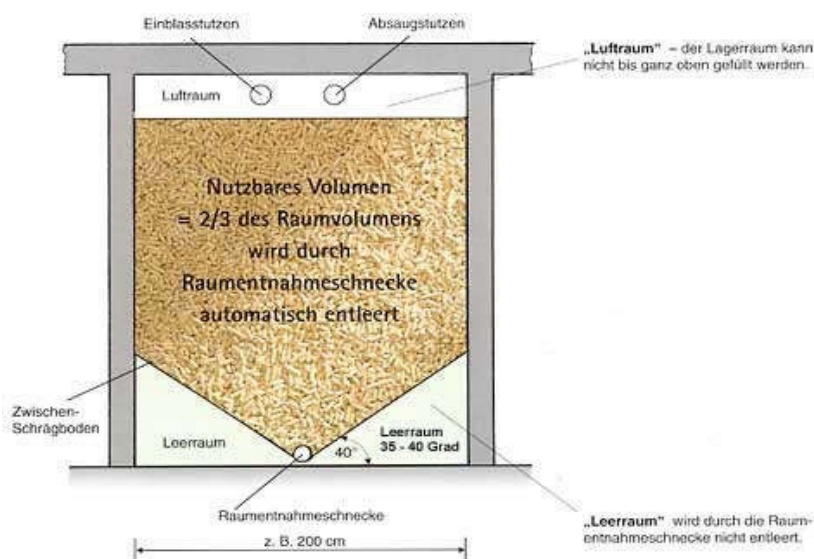
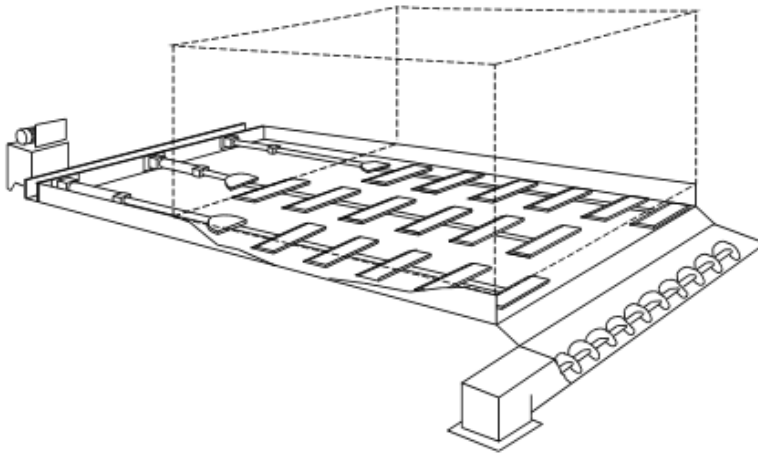


Abbildung 88: Schema Schrägboden²⁹



Schubbodenaustrag

Abbildung 89: Schubbodenaustragsystem für Hackschnitzzellager³⁰

Zur Füllstandmessung im Hackschnitzzellsilo können Füllstandanzeiger (Radar-, Ultraschall-, Infrarotmesser, elektromechanische Lotsysteme, etc.) verwendet werden, die eine quantitative Information über den tatsächlichen Füllstand geben (siehe Abbildung 90). „Dabei findet keine Beeinträchtigung des Schüttgut-Fließverhaltens statt. Ultraschall- und Infrarotmesser liefern jedoch aufgrund der amorphen Struktur von Holzspäne-Schüttungen, anders als bei körnigen Schüttgütern, nur ungenaue Ergebnisse. Bei der Auswahl des Füllstandsensors ist darauf zu achten, dass der innerhalb des Späne-Lageraumes befindliche Teil keine für Holzstaub wirk-same Zündquelle darstellt.“³¹

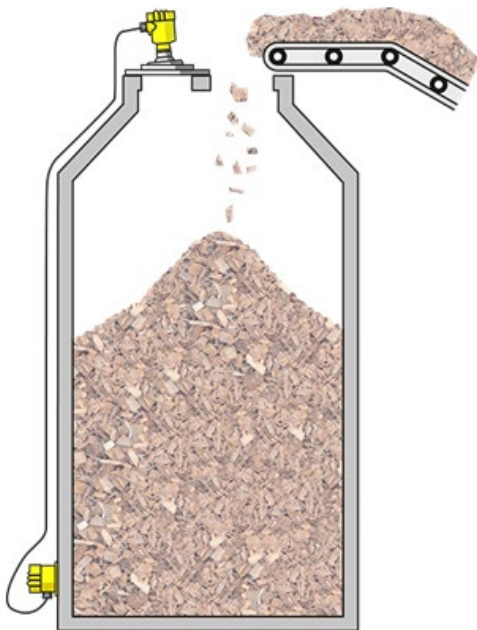


Abbildung 90: Füllstandmessung im Hackschnitzzellsilo²⁷

Bei den Auswertungen des Füllstands (Datenpunkt *FSH_Przt_Trnd_EZ_BioMK_Mess_01*) zeigen sich z. T. Effekte, die u.U. auf das Fließverhalten des Schüttguts zurückzuführen sind:

- Zusammenfallen von Brücken bzw. starkes Absacken des Materials um ca. 20 % (Abbildung 91)
- Entstehen von „Bergen“ durch Abrutschen des Schüttkegels (Abbildung 92)

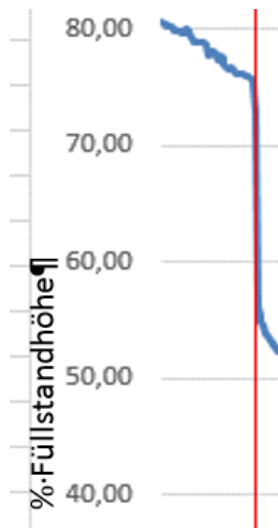


Abbildung 91: Zusammenfallen von Brücken bzw. starkes Absacken des Materials um 20 %

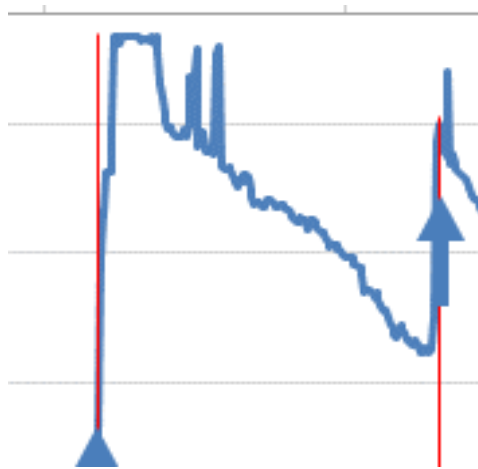


Abbildung 92: Entstehen von „Bergen“ durch Abrutschen des Schüttkegels

4.7.2.3 Elektrische Energie

Zur Plausibilitätsprüfung der dem GHL gelieferten Endenergie „Strom“ wurden u. a. entsprechende Abrechnungen des Versorgers (Stadtwerke Gießen SWG) und Messprotokolle des Netzbetreibers (Bayernwerk) mit den selbst gemessenen Werten des Monitoring-Systems verglichen. Alle Abrechnungen (siehe 11_Anhang_Endenergie\Rechnungen_von_GHL), Betrachtungen und Berechnungen sind in 11_Anhang_Endenergie\Endenergie_Elt_Energie dargestellt.

Wirkarbeit

Basis der Überprüfung waren die „Strom“ Monatsrechnungen (Jan. 2019 – Dez. 2019) des Versorgers. Hier ergaben sich kleinere Abweichungen zwischen den monatlichen Abrechnungswerten (Wirkarbeit) und den vom Monitoringsystem gemessenen Werten (Summe *ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1* + *ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2*).

Der Stromnetzanschluss und die Strommessung vom Bayernwerk erfolgen beim „Green Hospital Lichtenfels“ mittelspannungsseitig. Die „Monitoring“-Messung erfolgt nach dem Trafo auf der 400 V-Ebene niederspannungsseitig und misst deshalb weniger Energie. Der Mittelwert der gemessenen Abweichungen beträgt 1,3 %. Nach Rücksprache mit Bayernwerk entspricht diese Abweichung den Verlusten der Netz-Transformatoren, die nach den Erfahrungen vom Bayernwerk bei rund 1,5 % liegen und rechnerisch mit angesetzt werden, wenn die Netzübergabe mittelspannungsseitig und die Messung niederspannungsseitig erfolgt. Insofern erscheint die mit dem Monitoringsystem gemessene Wirkarbeit der Trafos 1 + 2 plausibel.

Weiterhin wurde vom Netzbetreiber (Bayernwerk) der Lastgang für Strombezug- und Rückspeisung in das Netz als 15 Minutenwerte für die Periode 1.3.20 – 30.4.20 in kWh angefordert. Hier lagen noch keine Abrechnungen der SWG vor, sodass kein entsprechender Vergleich zwischen Versorger und Netzbetreiber durchgeführt werden konnte.

Bei der Wirkarbeit stimmt die Summe (hier 2 Monate) der Bayernwerk-Werte mit den Werten des Monitoring-Systems wieder gut überein:

- Bayernwerk 227.518 kWh
- Monitoring 224.395 kWh
- delta 3.123 kWh
- Wirkungsgrad Trafos 1,37 %

Leistung

Weiterhin sollten die Leistungswerte vom Bayernwerk mit den selbst gemessenen Werten des Monitoring-Systems verglichen werden. Beim Bayernwerk stellt der Lastgang die Leistungswerte dar. Anhand der ¼-Stundenwerte der Wirkarbeit wird für die Netza abrechnung die max. Jahresleistung bestimmt ($1/4 \text{ h-Wert} \cdot 4$). So gesehen wird für den Kunden die Leistung über 15 Minuten gemittelt.

Entsprechend wurde aus der Wirkarbeit der Bayernwerkdaten die Leistung berechnet („Bayernwerk“).

Bei den Monitoring-Daten können die Leistungswerte ($P = \text{Power}$) direkt gemessen werden (Zähler „ELZ_P...“; „Monit gemessen“).

Außerdem wurde wie beim Bayernwerk die Leistung aus der gemessenen Arbeit ($W = \text{Work}$) berechnet (Zähler „ELZ_W...“; „Monit gerechnet“).

Idealerweise sollten sich entsprechende Leistungsspitzen zeitlich einheitlich von den Monitoringzählern und den Bayernwerkwerten ermitteln lassen und die jeweiligen Leistungswerte übereinstimmen.

In Abbildung 93 sind die direkt gemessenen 15 min-Leistungswerte („Monit gemessen“), die entsprechend mit den 15 min-Arbeitswerten*4 berechneten Leistungen („Monit gerechnet“) sowie die „Bayernwerk“-Werte dargestellt, die sich allerdings alle unterscheiden.

Die Monitoring-Werte stimmen untereinander zeitlich mit den Spitzen relativ gut überein, unterscheiden sich aber bei den Leistungswerten (siehe Abbildung 94). Dies liegt anscheinend daran, dass die direkt vom Messgerät³² ausgegebenen Leistungswerte anders gemittelt werden als die über eine entsprechende Zeit integrierten Arbeitswerte. Die Werkseinstellungen des Messgerätes betragen für die Mittelungen eines Messwertes 480 s = 8 min (hier wird angenommen, dass die Werkseinstellung bei den Zählern nicht geändert wurde). Das Ableseintervall des Monitoringsystems beträgt 15 min.

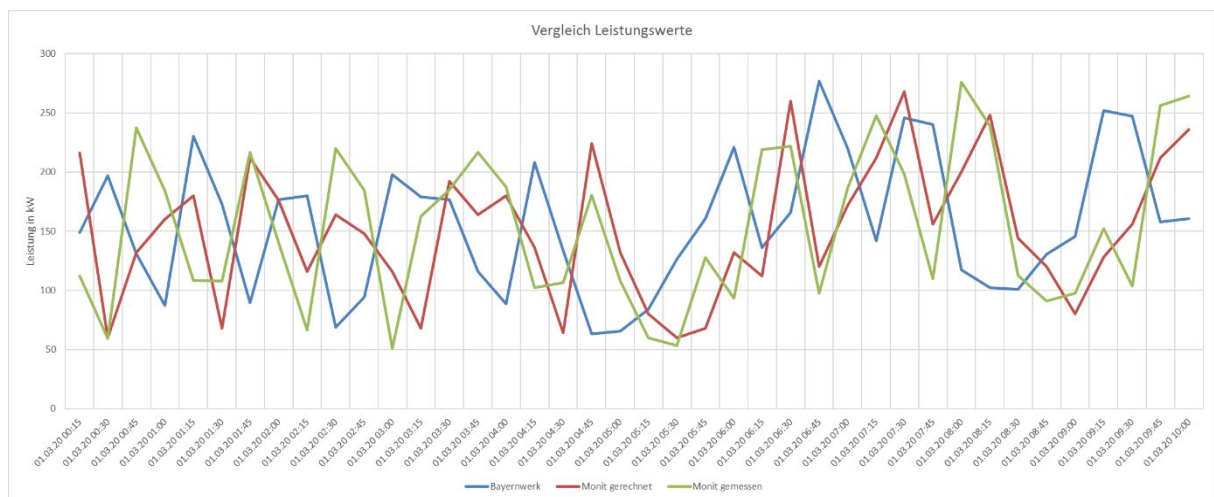


Abbildung 93: Vergleich Leistung: Monitoringwerte und Werte vom Bayernwerk

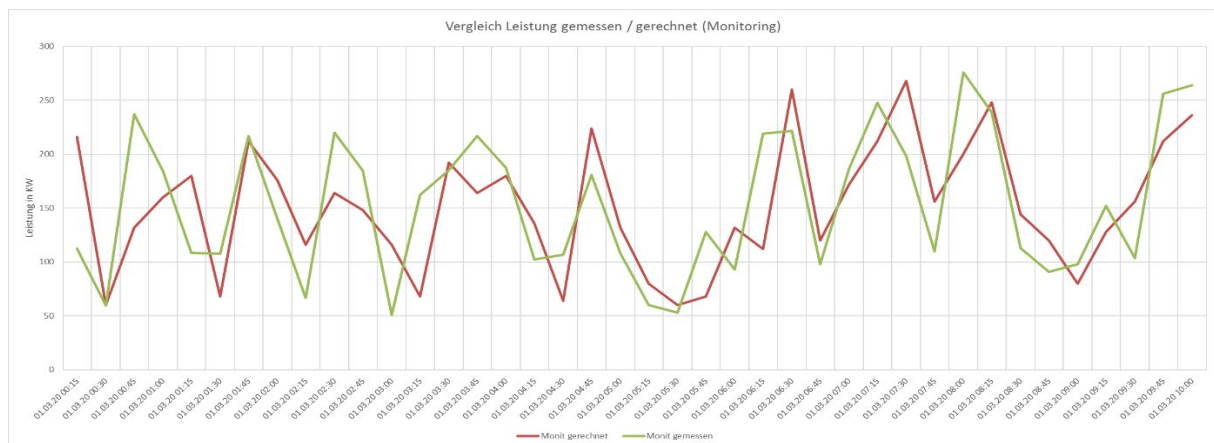


Abbildung 94: Vergleich Leistung: nur Monitoringwerte

Im Messgeräte-Handbuch³³ finden sich folgende Aussagen zur Mittelung und Berechnung der Messwerte:

Messwert

- Ein Messwert ist ein Effektivwert der über einen Zeitraum (Messfenster) von 200ms gebildet wird.
- Ein Messfenster im 50Hz Netz beträgt zehn Perioden und im 60Hz Netz zwölf Perioden.
- Ein Messfenster hat einen Startzeitpunkt und einen Endzeitpunkt.
- Die Auflösung von Startzeitpunkt und Endzeitpunkt betragen ca. 2ns.
- Die Genauigkeit von Startzeitpunkt und Endzeitpunkt hängt von der Genauigkeit der internen Uhr ab. (Typisch +/- 1Minute/Monat)
- Um die Genauigkeit der internen Uhr zu verbessern, empfiehlt es sich die Uhrzeit im Gerät mit der eines Zeitserverns zu vergleichen und nachzuführen.

Mittelwert des Messwertes

- Für jeden Messwert wird über den gewählten Mittelungszeitraum ein gleitender Mittelwert berechnet.
- Der Mittelwert wird alle 200ms (0,2 s) berechnet.
- Die möglichen Mittelungszeiten können Sie der Tabelle entnehmen.

n	Mittelungszeit / Sekunden
0	5
1	10
2	15
3	30
4	60
5	300
6	480
7	600
8	900

Einstellung	Mittelungszeit/Sek.
0	5
1	10
2	15
3	30
4	60
5	300
6	480 (Werkseinstellung)
7	600
8	900

....

Effektivwert des Stroms für Außenleiter p

$$I_p = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} i_{pk}^2}$$

Effektivspannung L-N

$$U_{pN} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} u_{pN_k}^2}$$

Wirkleistung für Außenleiter

$$P_p = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (u_{pN_k} \times i_{pk})$$

Symbole und Definitionen

N	Gesamtzahl der Abtastpunkte je Periode (Zum Beispiel in einer Periode von 20ms)
k	Abtastwert oder Anzahl der Abtastwerte je Periode (0 ≤ k < N)
p	Nummer bzw. Kennung des Außenleiters (p = 1, 2 oder 3)
i _{pk}	Abtastwert k des Stroms von Außenleiter p
u _{pNk}	Abtastwert k der Neutralspannung von Außenleiter p
P _p	Wirkleistung für Außenleiter p

Beim Vergleich der „Monit gerechnet“-Werte mit den „Bayernwerk“-Werten stimmen die Leistungswerte grob überein, aber es zeigt sich eine zeitliche Verschiebung von ca. einer halben Stunde (siehe Abbildung 95).

Werden die Monitoring-Werte zeitlich um 30 min zu den Bayernwerk-Werten nach hinten verschoben, erhält man eine relativ gute Übereinstimmung der Werte (siehe Abbildung 96). Allerdings lassen sich so aus den Monitoringwerten die entsprechenden monatlichen max. Leistungsangaben auf der Abrechnung des Versorgers nur sehr grob nachvollziehen.

Zu der entsprechenden Problematik der zeitlichen Unterschiede von Messwerten (bei Ableistung, 15 minütlich) siehe auch Kapitel 4.6.1.4.3 (Elektro-Lastprofile (Jahr, Monat, Woche, Tag)).

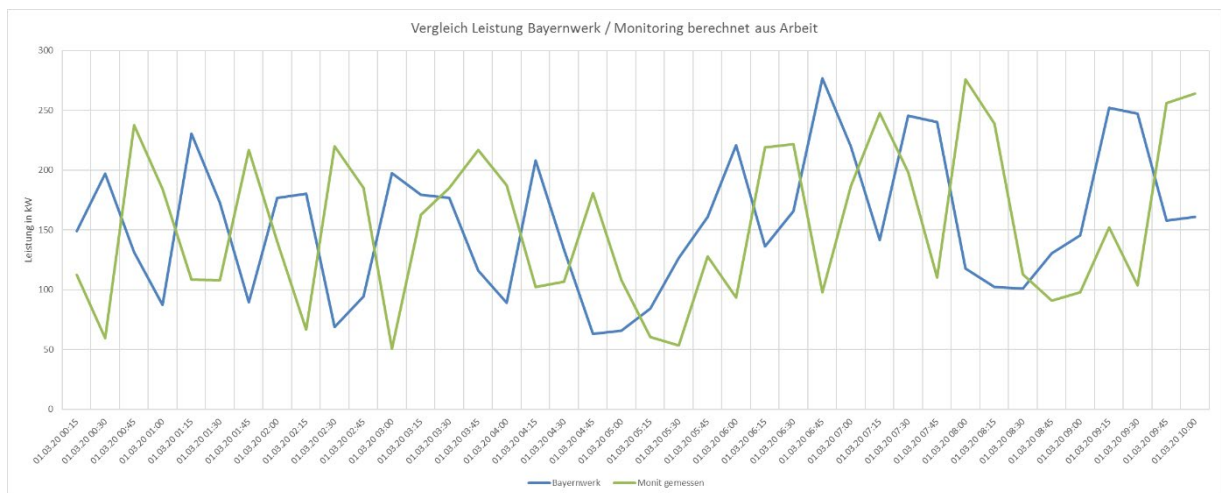


Abbildung 95: Vergleich Leistung: „Monit gerechnet“ und Werte vom Bayernwerk

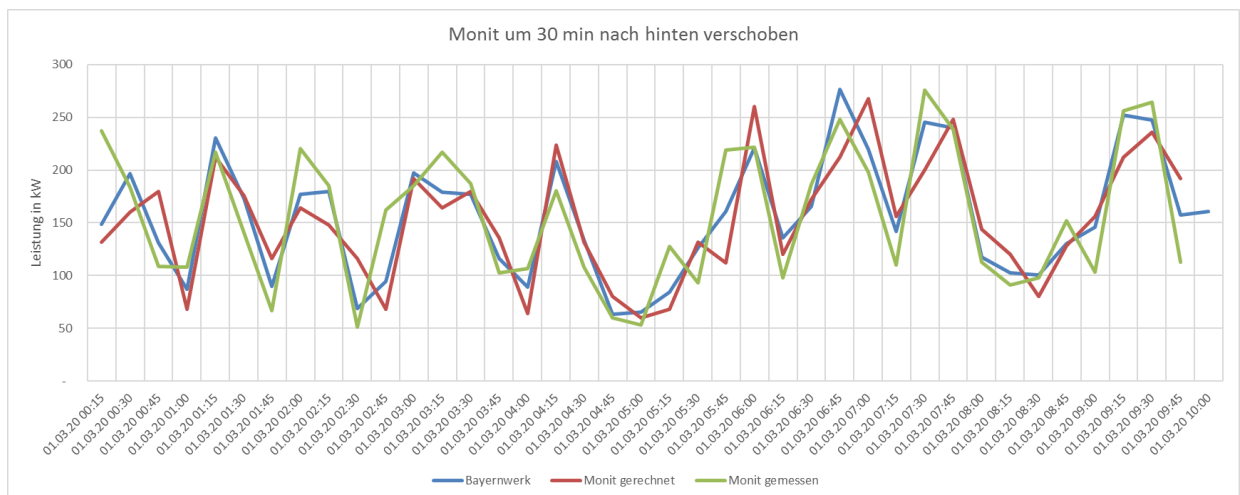


Abbildung 96: Vergleich Monitoringwerte (30 Min. nach hinten verschoben) und Werte vom Bayernwerk

Messprobleme

Beim Vergleich der Einzelwerte (Arbeit, Leistung; Bayernwerk, selbst gemessene Werte des Monitoring-Systems) zeigte sich, dass an wenigen Zeitpunkten (oft in der Nähe, wenn beim Bayernwerk kaum Arbeit gemessen wird) auch eine negative Leistung von den Monitoringzählern gemessen wird, bzw. dass es Aussetzer bei der Arbeit gibt (siehe Tabelle 31 und Abbildung 97: Vergleich der Einzelwerte (Arbeit, Leistung; Bayernwerk, selbst gemessene Werte des Monitoring-Systems)). Dieses Problem konnte nicht geklärt werden.

Tabelle 31: Vergleich Werte Bayernwerk und Monitoringwerte

Werte Bayernwerk			Werte Monitoring							
Ab-Datum	Ab-Zeit	Profilwert kWh/15 min	Date	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1 (kWh)	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2 (kWh)	Summe Arbeit kWh		ELZ_P_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1 (kW)	ELZ_P_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2 (kW)	Summe Lstg kW
05.04.2020	10:00:00	20,8	05.04.20 10:00	5,0	2,0	7,0		15,1	5,8	20,9
05.04.2020	10:15:00	5,4	05.04.20 10:15	2,0	2,0	4,0		6,8	2,4	9,1
05.04.2020	10:30:00	7	05.04.20 10:30	11,0	8,0	19,0		24,8	30,4	55,2
05.04.2020	10:45:00	11,8	05.04.20 10:45	3,0	4,0	7,0		10,9	2,8	13,7
05.04.2020	11:00:00	18,4	05.04.20 11:00	3,0	-	3,0		35,7	10,9	46,7
05.04.2020	11:15:00	12,6	05.04.20 11:15	8,0	6,0	14,0		26,5	11,9	38,3
05.04.2020	11:30:00	0,4	05.04.20 11:30	7,0	4,0	11,0		50,7	40,5	91,2
05.04.2020	11:45:00	0,2	05.04.20 11:45	10,0	10,0	20,0		14,8	19,0	33,8
05.04.2020	12:00:00	0,6	05.04.20 12:00	-	1,0	1,0		- 4,4	- 6,7	- 11,1
05.04.2020	12:15:00	13,2	05.04.20 12:15	1,0	-	1,0		- 4,9	- 2,5	- 7,4
05.04.2020	12:30:00	2,4	05.04.20 12:30	-	-	-		- 8,5	2,8	- 5,7
05.04.2020	12:45:00	20,2	05.04.20 12:45	6,0	3,0	9,0		33,6	49,1	82,7
05.04.2020	13:00:00	13,8	05.04.20 13:00	2,0	4,0	6,0		- 1,5	5,5	4,1
05.04.2020	13:15:00	1	05.04.20 13:15	8,0	5,0	13,0		43,2	41,4	84,6
05.04.2020	13:30:00	0,4	05.04.20 13:30	10,0	11,0	21,0		- 7,6	15,9	8,3
05.04.2020	13:45:00	17	05.04.20 13:45	-	-	-		3,1	-10,6	- 7,4
05.04.2020	14:00:00	20,4	05.04.20 14:00	1,0	-	1,0		- 3,7	- 5,2	- 8,9
05.04.2020	14:15:00	1,2	05.04.20 14:15	6,0	6,0	12,0		45,9	44,2	90,2
05.04.2020	14:30:00	4,6	05.04.20 14:30	13,0	9,0	22,0		20,0	44,2	64,2
05.04.2020	14:45:00	15,4	05.04.20 14:45	1,0	3,0	4,0		2,0	- 1,7	0,3
05.04.2020	15:00:00	1,4	05.04.20 15:00	2,0	-	2,0		28,9	- 9,9	19,0
05.04.2020	15:15:00	1	05.04.20 15:15	9,0	8,0	17,0		7,2	6,8	14,0
05.04.2020	15:30:00	7,6	05.04.20 15:30	1,0	1,0	2,0		4,6	- 6,2	- 1,6
05.04.2020	15:45:00	25,6	05.04.20 15:45	1,0	-	1,0		1,7	- 6,2	- 4,5
05.04.2020	16:00:00	19,2	05.04.20 16:00	2,0	2,0	4,0		25,4	33,8	59,2
05.04.2020	16:15:00	13,6	05.04.20 16:15	14,0	9,0	23,0		64,4	43,4	107,8
05.04.2020	16:30:00	23,2	05.04.20 16:30	9,0	12,0	21,0		30,7	27,8	58,6
05.04.2020	16:45:00	40,8	05.04.20 16:45	10,0	6,0	16,0		6,9	17,5	24,5
05.04.2020	17:00:00	43,6	05.04.20 17:00	6,0	9,0	15,0		65,2	55,8	121,0

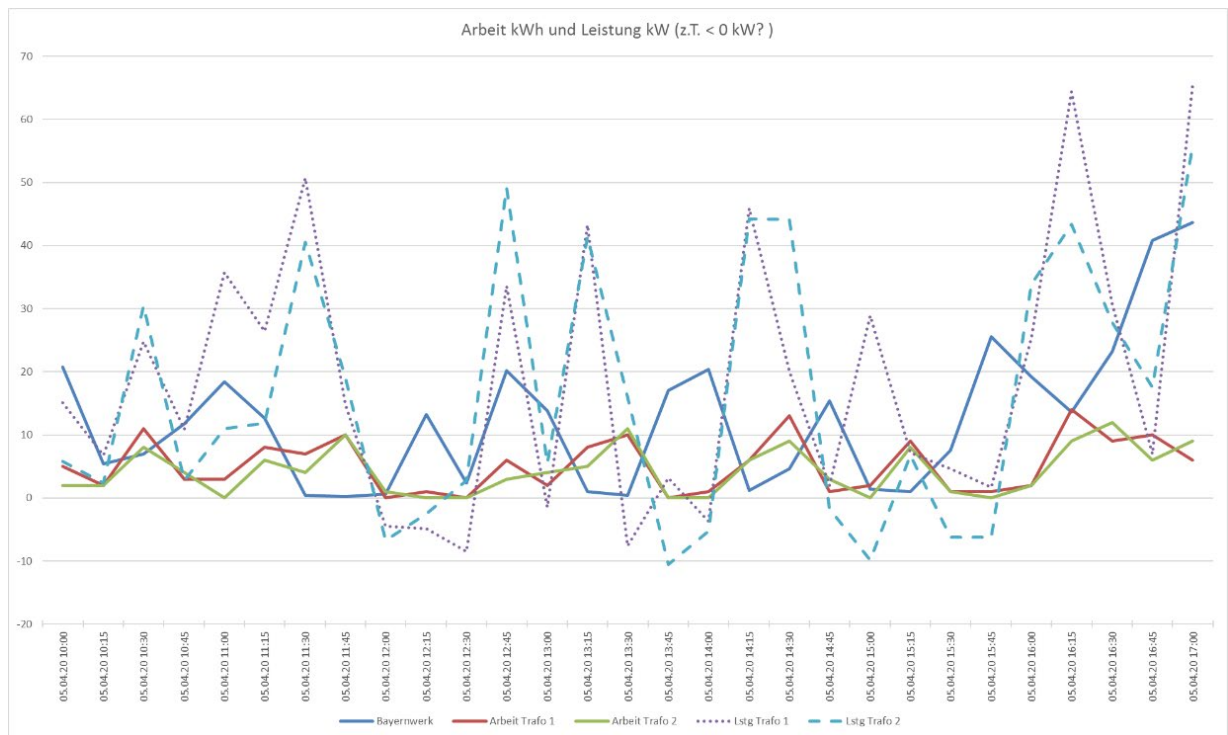


Abbildung 97: Vergleich der Einzelwerte (Arbeit, Leistung; Bayernwerk, selbst gemessene Werte des Monitoring-Systems)

4.7.2.4 Wasser

Hier lagen sowohl Rechnungen des Versorgers (2019, 2020), eine Liste Verbräuche für FiBu vom Krankenhaus (2019), eine Aufstellung von direkt abgelesenen Zählerständen für das Krankenhausgelände (Stand 1.9.20) und gemessene Monitoringwerte (Zähler WZ_V_KHH_gesamt; 04. – 12. 2019, 2020) vor. Leider konnte grundsätzlich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Rechnungen und den Krankenhausablesungen hergestellt werden und auch ein Vergleich mit den Monitoringwerten war für 2019 aufgrund fehlender Daten nicht möglich. Bei der Angabe des Zählerstandes vom Krankenhaus (1.9.20) entspricht dieser Zählerstand dem Monitoringzähler WZ_V_KHH_gesamt. Ein Zusammenhang zwischen den Rechnungen des Versorgers für 2020 und den Monitoringmesswerten für 2020 konnte nicht hergestellt werden. Hier ist ggf. eine Klärung vor Ort mit dem Krankenhaus notwendig. Die entsprechende Ausarbeitung zu diesem Kapitel findet sich in 11_Anhang_Endenergie\Wasser.

4.7.3 Nutzenergie Wärmeerzeuger

Im GHL gibt es folgende Wärmeerzeuger:

- 2 Redundanz-, Spitzenlastkessel (Gasbrennwertkessel)
- 2 Blockheizkraftwerke (BHKW)
- 1 Biomassekessel (Hackschnitzel)
- 1 Wärmepumpe

Für diese werden – wenn möglich – zuerst die gemessenen Werte der maximal aufgetretenen Leistungen bestimmt und mit den in den Anlagen- und Planungsunterlagen angegebenen Werten verglichen. In einem zweiten Schritt werden dann die Wirkungsgrade der Erzeuger gebildet und auf Plausibilität überprüft.

4.7.3.1 Gaskessel

Zur Plausibilitätsüberprüfung wurden die jeweilige maximale Leistung/Spitzenlast (siehe Tabelle 32) und die Wirkungsgrade der Gaskessel in einem sinnvollen Zeitabschnitt (wenn Kessel in Betrieb ist, siehe Abbildung 98 und Abbildung 99) ermittelt. Die ausführliche Analyse befindet sich in 12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger\Nutzenergie_Wärme\Nutzenergie_Gaskessel.

Die Bestimmung der maximal aufgetretenen Kesselleistung kann über verschiedene Wege erfolgen. Zum einen gibt es Wärme-Leistungszähler (*WMZ_Qpkt*), bei denen die max. aufgetretene Leistung direkt abgelesen werden kann. Zum anderen ist es möglich, eine (gemittelte) Leistung aus den Arbeitswerten (*WMZ_Q*) zu erhalten. Bei einem 15 minütlichen Wert der Arbeit („Bei Ablesung“) kann dieser Wert mit 4 multipliziert werden, um eine über 15 Minuten gemittelte (max.) Leistung zu erhalten ($\text{kWh}/15 \text{ min} \cdot 4 = \text{kW}$). Bei einem „60 minütlichen Wert“ der Arbeit (kWh) entspricht dieser einem über eine Stunde gemittelten Leistungswert ($\text{kWh}/60 \text{ min} = \text{kW}$).

Tabelle 32: gemessene Spitzenlasten der Gaskessel: direkt mit Leistungszähler und berechnet über Arbeitszähler bei unterschiedlicher Verdichtung der Werte

Gaskessel 1600 kW			
Verdichtung	Datenpunkt	Leistung kW	Einheit
Bei Ablesung	WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW	1277	kW
Bei Ablesung	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW	1200	kWh/15 min*4
60 Minütlich	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW	760	kWh/60 min
Gaskessel 560 kW			
Verdichtung	Datenpunkt	Leistung kW	Einheit
Bei Ablesung	WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW	529,7	kW
Bei Ablesung	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW	520	kWh/15 min*4
60 Minütlich	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW	520	kWh/60 min

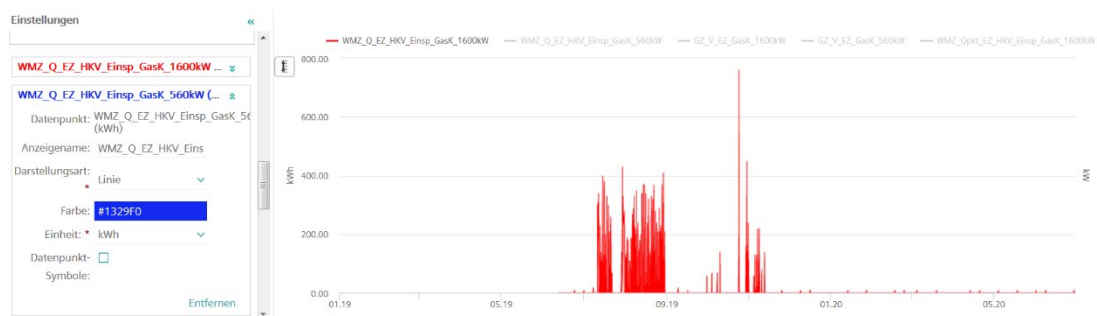


Abbildung 98: Laufzeiten 1600 kW Gaskessel

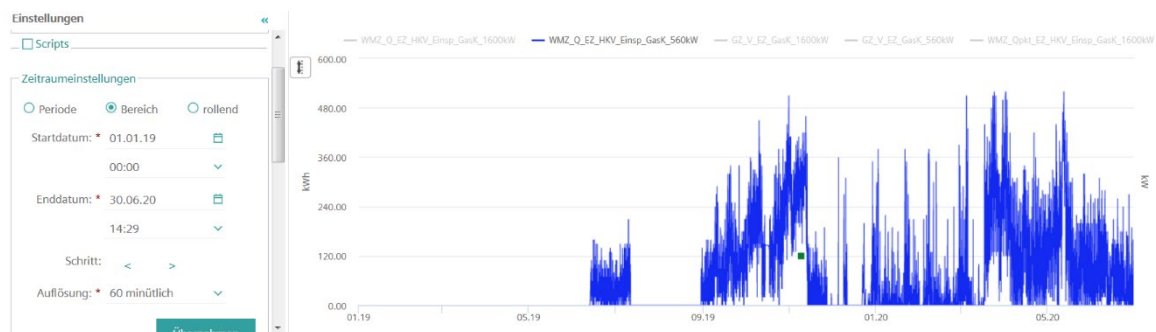


Abbildung 99: Laufzeiten 560 kW Gaskessel

Beim „1600 kW – Kessel“ ergab sich die real gemessene maximale Leistung über den **Leistungszähler** WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW (Auflösung „bei Ablesung“) zu 1277 kW.

Beim **Arbeitszähler** WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW (Auflösung „bei Ablesung“, alle 15 min) ergab sich als max. Wert 0,30 MWh (da dieser Zähler seine Werte in MWh angibt, ist die Auflösung entsprechend schlecht). Rechnet man mit der Arbeit auf eine Stunde hoch (ähnliches Vorgehen wie bei elektrischer Energie), ergibt sich eine in einer 1/4h gemittelte max. Leistung von $4 \frac{1}{h} \times 300 \text{ kWh} = 1200 \text{ kW}$.

Bei der Auflösung „60 min“ ergaben sich beim **Arbeitszähler** max. 0,76 MWh und damit als gemittelter maximaler Stundenwert der Leistung $0,76 \text{ MWh} \times 1 \frac{1}{h} = 760 \text{ kW}$. Der Wert des

Arbeitszählers berechnet sich aus der Summe der 4 1/4h Werte (12:15+12:30+12:45+13:00) der Arbeit (siehe Tabelle 33)

Tabelle 33: Werte WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW (bei Ablesung)

Datum	Ablesung		Faktor	rme Erz. konventio		Attribute	Kommentar	
				MWh				
24.10.19 11:45	1752,01	MWh	1,00	0,00	MWh	Automatischer Wer		
24.10.19 12:00	1752,09	MWh	1,00	0,08	MWh	Automatischer Wer		MWh
24.10.19 12:15	1752,39	MWh	1,00	0,30	MWh	Automatischer Wer		0,30
24.10.19 12:30	1752,63	MWh	1,00	0,24	MWh	Automatischer Wer		0,24
24.10.19 12:45	1752,79	MWh	1,00	0,16	MWh	Automatischer Wer		0,16
24.10.19 13:00	1752,85	MWh	1,00	0,06	MWh	Automatischer Wer		0,06
24.10.19 13:15	1752,89	MWh	1,00	0,04	MWh	Automatischer Wer		0,76

Die Werte liegen grob in der Größenordnung der angegebenen Kesselleistung von 1600 kW und erscheinen so plausibel.

Beim „560 kW – Kessel“ ergab sich die real gemessene maximale Leistung über den **Leistungszähler** WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW (Auflösung bei Ablesung) zu 530 kW und über den **Arbeitszähler** WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW bei der Auflösung „bei Ablesung“ (alle 15 min) und bei „60 min“ zu 520 kW. Die Werte liegen annähernd bei der angegebenen Kesselleistung von 560 kW und erscheinen so plausibel.

Der über den Zeitraum vom 1.1.19 bis 8.6.20 gemittelte Wirkungsgrad des „1600 kW – Kessels“ als Verhältnis von erzeugter Wärme (WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW) zu eingesetzter Gasenergie (GZ_V_EZ_GasK_1600kW) ergab sich zu 0,74. Für den „560 kW – Kessel“ ergab sich ein Wirkungsgrad zu 0,82 (siehe Tabelle 34). Diese Werte können als plausibel betrachtet werden.

Tabelle 34: Wirkungsgrade Gaskessel

1600 kW			
Zeitraum 01.01.2019 12:00 - 08.06.20 13:00:			
Aufwand	GZ_V_EZ_GasK_1600kW	66405	kWh
Nutzen	Wärme Erz. Konventionell GasK_1600kW	48960	kWh
Wirkungsgrad		0,74	
560 kW			
Zeitraum 01.01.2019 12:00 - 08.06.20 13:00:			
Aufwand	GZ_V_EZ_GasK_560kW	870504	kWh
Nutzen	Wärme Erz. Konventionell GasK_560kW	714220	kWh
Wirkungsgrad		0,82	

4.7.3.2 Hackschnitzel-/Biomassekessel

Zur Plausibilitätsüberprüfung des Hackschnitzelkessels wurde wieder versucht, die maximale Leistung und den Wirkungsgrad in einem sinnvollen Zeitabschnitt (Kessel in Betrieb, siehe Abbildung 100).

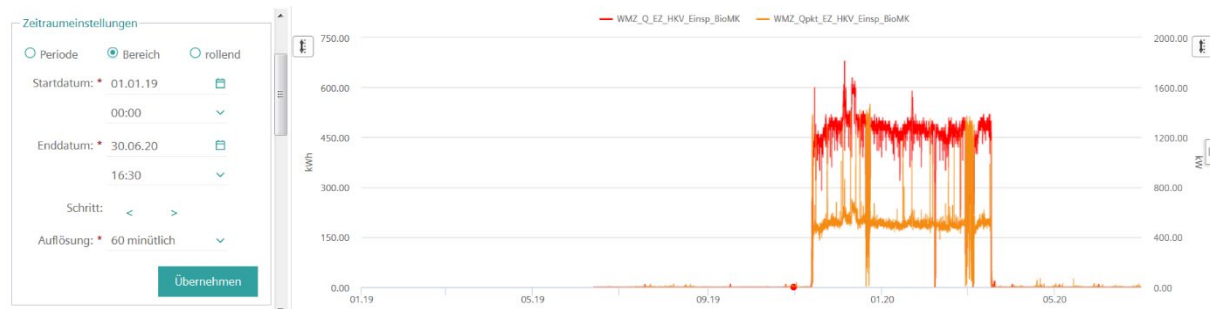


Abbildung 100: Laufzeiten Biomassekessel

Allerdings waren hier weitere Vorüberlegungen notwendig, da keine eindeutigen Angaben zum Brennstoffeinsatz vorlagen (siehe auch Kapitel 4.7.2.2) und entsprechende Ablesewerte nicht eindeutig waren. Die den folgenden Überlegungen zugrunde liegenden Berechnungen etc. finden sich in 11_Anhang_Endenergie\Endenergie_Hackschnitzel.

Beim „Hackschnitzelkessel“ (850 kW) ergab sich die real gemessene maximale Leistung über den Leistungszähler *WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_BioMK* (Auflösung „Bei Ablesung“, 15 min) zu 1468 kW. Eine mögliche Erklärung der großen Werte > 850 kW (mit entsprechenden Schwankungen) ist folgende. Wenn die Rücklaufanhebung des Kessels nicht stabil arbeitet (schwingt), kann die Temperaturdifferenz (delta T) am Zähler beim Öffnen des Ventils so groß werden, dass bei gleichzeitig steigender Durchflussmenge die Nennleistung deutlich überschritten wird.

Über den Arbeitszähler *WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK* („bei Ablesung“) ergaben sich entsprechend umgerechnete 1/4h-Werte zu max. 720 kW. Maximale Werte des Zählers *WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK* („Auflösung 60 min“) liegen bei 680 kW. Diese Werte liegen z. T. in der Größenordnung der angegebenen Kesselleistung von 850 kW, sind aber nicht vollständig plausibel erklärbar.

Weiterhin wurde versucht, aufgrund der vorliegenden Lieferscheine, Abrechnungen und der gemessenen Füllstandhöhendifferenzen im Hackschnitzelbunker sowie der Ablesung der im Biomassekessel produzierten Wärmeenergie folgende Abschätzungen des Kesselwirkungsgrades vorzunehmen.

Zuerst wurde der Wirkungsgrad bestimmt aus den Rechnungsdaten des Lieferanten („nachgelieferte“ Hackschnitzel, mit aus SRm und 710 kWh/SRm berechneten Energieinhalt) bezogen auf im entsprechenden Zeitraum produzierte Wärmemenge (*WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK*) (siehe Abbildung 101 und Tabelle 35). Dazu wurde die Annahme getroffen, dass die Lieferungen (Füllungen) immer bis ca. 95 % Füllstandhöhe erfolgen. Die „1. Lieferung“ wird nicht berücksichtigt, da sie die „volle 95%-Füllung“ als Ausgangspunkt herstellt.

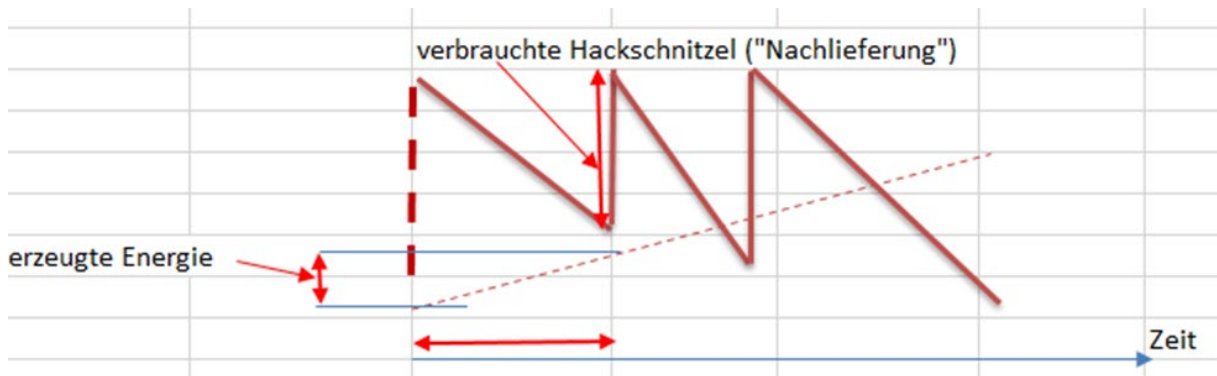


Abbildung 101: Darstellung Bestimmung Wirkungsgrad

Tabelle 35: Bestimmung Wirkungsgrad aus Rechnungsdaten

Lieferschein				Rechnung					Wirkungsgrad	
		SRM	Feucht			Zähler Wärme- menge	Zähler Wärme- menge	delta		
Datum	Nr.	m³	%		Datum	Nr.	Stand	MWh		
2019										
04.02.2019	1	294					04.02.2019	529,5		
14.02.2019	2	210								
28.02.2019	3	200					28.02.2019	814,9	285,4	
20.03.2019	4	180								
29.03.2019	5	240					29.03.2019	1088,4	273,5	
18.11.2019	6	260			ab hier Aufzeichnungen WMZ			1221,9	133,5	
27.11.2019	7	130						1322,4	100,5	
04.12.2019	8	130	25-30					1403,7	81,3	
16.12.2019	9	210	25-30					1556,8	153,0	
28.12.2019	10	150	25-30					1685,1	128,3	
Summe					verbraucht vom 4.2.19 - 31.12.19			1155,56	0,95	
2020										
16.01.2020	1	180	25-30					1899,6	214,5	
22.01.2020	2	110	25-30					1969,6	69,95	
29.01.2020	3	95	25-30					2049,4	79,87	
12.02.2020	4	230	25-30					2200,7	151,23	
24.02.2020	5	140	25-30					2333,2	132,55	
04.03.2020	6	170	25-30				04.03.2020	2413,8	80,6	
11.03.2020	7	80	25-30					2486,6	72,82	
23.03.2020	x	x	x		nicht berücksichtigt			2555,3	68,63	
Summe						verbraucht vom			801,6	1,12
									=> ?	

Es zeigte sich, dass leider einige Wirkungsgrade über 1 liegen. Mögliche Ursachen dafür sind, dass z. B. jedes Mal ein anderer Füllstand aufgefüllt wird (nicht immer 95 % Füllstandhöhe) und der Energieinhalt der Hackschnitzel mit einem festen Wert (710 kWh/SRM) geschätzt ist.

Danach wurde versucht, den Wirkungsgrad des Kessels aufgrund der vorliegenden Abrechnungen und der gemessenen Füllstandhöhendifferenzen zu ermitteln (siehe

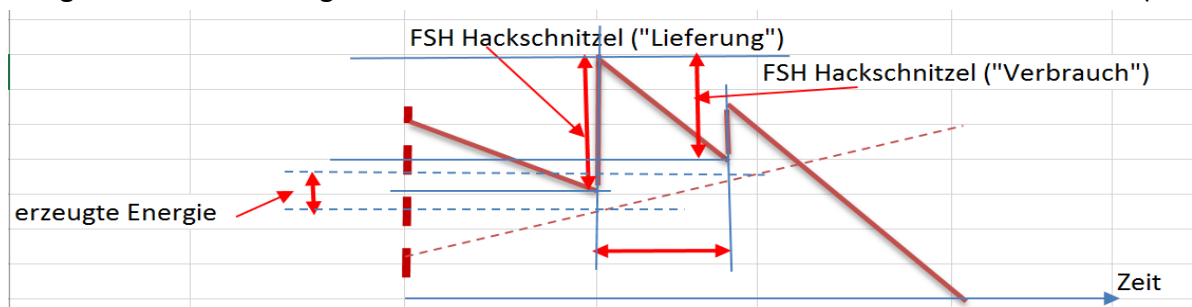


Abbildung 102).

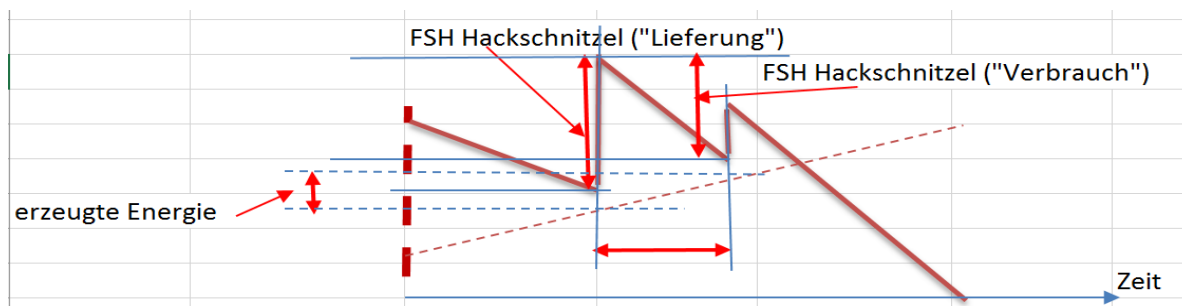


Abbildung 102: Prinzip Bestimmung Wirkungsgrad aus Füllstandhöhendifferenz

Die Vorgehensweise sei an folgendem Beispiel erläutert (siehe auch Abbildung 103). Am 24.02.2020 wurden 140 m³ Hackschnitzel geliefert. Bis kurz vor der Befüllung lag die Füllstandhöhe bei 29,91 %. Nach der Befüllung stieg die Füllstandhöhe auf 84,33 %. Dies entspricht einem Delta von 54,42 %. Bis kurz vor der nächsten Befüllung am 04.03.2020 lag die Füllstandhöhe bei 34,67 %. Die Füllstandhöhenänderung der verbrauchten Hackschnitzel beträgt 84,33 % - 34,67 % = 49,66 %. Der Hackschnitzelverbrauch zwischen 24.02. und 04.03. ergibt sich aus

$$140 \text{ m}^3 / 54,42 \% \cdot 49,66 \% = 127,80 \text{ m}^3 \text{ (bzw. SRm).}$$

Um den entsprechenden Energieinhalt zu berechnen, wurde die verbrauchte Hackschnitzelmenge (127,80 m³) mit dem angenommenen mittleren Heizwert des Holzes (710 kWh/SRm) multipliziert und ergab 90,74 MWh. Als letzter Schritt wurde die produzierte Wärme des Zeitraums laut Ablesung im Navigator (80,7 MWh) durch die produzierte Wärme laut Berechnung (90,74 MWh) dividiert und es errechnete sich ein Wirkungsgrad von 0,88. Dieser Wirkungsgrad erscheint plausibel.

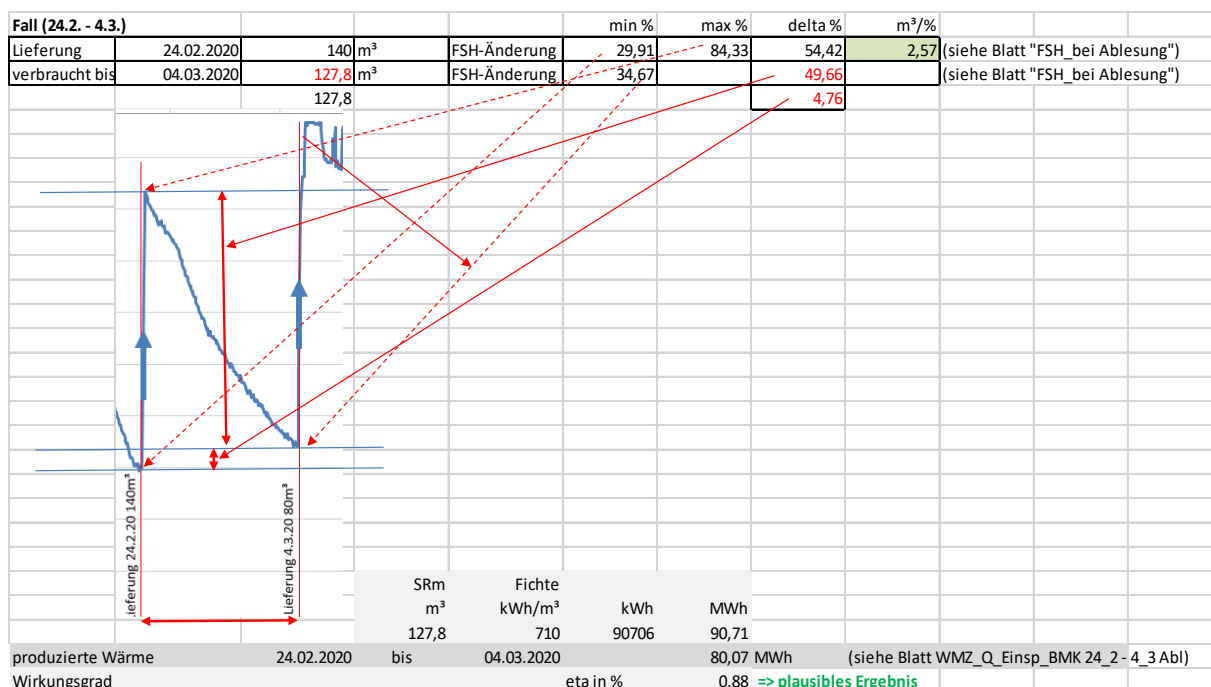


Abbildung 103: Bestimmung Wirkungsgrad aus Füllstandhöhendifferenz Fall (24.2.-4.3.)

Bei der Betrachtung von anderen Lieferungszeiträumen (Tabelle 36) ergab sich allerdings ähnlich wie bei der bereits in Kapitel 4.7.2.2 beschriebenen Brennstoffmessung kein sinnvoller Zusammenhang.

Tabelle 36: Bestimmung Wirkungsgrad aus Füllstandhöhendifferenz Fall (4.3.-11.3.)

Fall (4.3. - 11.3.)					min %	max %	delta %	m³/%	
Lieferung	04.03.2020	170	m³	FSH-Änderung	34,67	96,78	62,11	2,74	(siehe Blatt "FSH_bei Ablesung")
verbraucht bis	11.03.2020	65,4	m³	FSH-Änderung	72,87		23,91		(siehe Blatt "FSH_bei Ablesung")
		65,4					38,20		
			SRm	Fichte					
			m³	kWh/m³	kWh	MWh			
			65,4	710	46465	46,5			
produzierte Wärme	04.03.2020	bis	11.03.2020			73,85 MWh			(siehe Blatt WMZ_Q_Einsp_BMK 11_3 - 17_3 Abl)
Wirkungsgrad				eta in %		1,59	=> kein plausibles Ergebnis!		

Es zeigte sich also, dass mit den vorhandenen Rechnungs- und Messdaten eine eindeutige plausible Bestimmung des Kesselwirkungsgrads des Biomassekessels nicht möglich ist.

Um trotzdem in entsprechenden Endenergiebilanzen auch grobe Werte der Hackschnitzel (Biomasse) verwenden zu können, wird hier vorgeschlagen, die im Biomassekessel produzierte Nutzenergie (Wärme) mit einem Kesselwirkungsgrad von z. B. 0,88* in Endenergie umzurechnen.

4.7.3.3 Blockheizkraftwerk (BHKW)

Zur Plausibilitätsüberprüfung der BHKWs wurde versucht, die maximale Leistung (hier thermische und elektrische Spitzenlasten) und die Wirkungsgrade in einem sinnvollen Zeitabschnitt zu ermitteln. Die entsprechenden Betriebsparameter für die BHKWs stammen aus dem Datenblatt des BHKW-Moduls Vitobloc 200 EM-140/207 (siehe Tabelle 37). Die ausführliche Analyse befindet sich in 12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger\Nutzenergie_Wärme\Nutzenergie_BHKW.

Tabelle 37: Betriebsparameter der Blockheizkraftwerke³⁴

Betriebsparameter BHKW-Modul			Vitobloc 200 EM-140/207		
Dauerleistung ¹⁾ im Netzparallelbetrieb			50% Last	75% Last	100% Last
Elektrische Leistung ²⁾	nicht überlastbar	kW	70	105	140
Wärmeleistung ³⁾	Toleranz 7 %	kW	130	171	207
Kraftstoffeinsatz	Toleranz 5 %	kW	227	310	384
Stromkennzahl nach AGFW FW308 (elektrische Leistung / thermische Leistung)			0,676		
Primärenergiefaktor f _{PE} gemäß DIN V 18599-9			0,147		
Hocheffizienznachweis gemäß Richtlinie 2012/27/EU Förderung der KWK-Klein- und Kleinstanlagen (< 1 MW _{el}) mit einer Primärenergieersparnis PEE		%	28,2		
Nutzungsgrad nach EnergieStV ⁴⁾			92,3		
Wirkungsgrad im Netzparallelbetrieb					
Elektrischer Wirkungsgrad		%	30,8	33,8	36,5
Wärmewirkungsgrad		%	57,3	55,0	53,9
Gesamtwirkungsgrad		%	88,1	88,8	90,4

* „Moderne Hackschnitzelheizungen zeichnen sich durch sehr hohe Kesselwirkungsgrade aus, die bei modernen Kesseln entsprechend den Messergebnissen der Bauartprüfung im Volllast- und Teillastbereich zwischen 90 und 93 % liegen“ [http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/hackschnitzel-heizungen_web.pdf]

Beim BHKW 1 ergab sich die real gemessene maximale **thermische Leistung** über den Leistungszähler *WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_BHKW1* (Auflösung bei Ablesung) zu 295 kW und über den Arbeitszähler *WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1* umgerechnet zu 216 kW („Bei Ablesung“) bzw. 211 kW (bei „Auflösung 60 min“). Die gemessenen Werte liegen oberhalb der angegebenen theoretischen Wärmeleistung von 207 kW. Es ist zu bemerken, dass die maximalen Werte nicht zur selben Zeit auftreten.

Die Elektro-Arbeitszähler der beiden BHKWs wurden erst am 26.02.2020 (neu) aufgeschaltet. In diesem Fall gibt es keine dazugehörigen Leistungszähler. Deshalb konnte bei den BHKWs die maximale **elektrische Leistung** nur über den Elektro-Arbeitszähler ermittelt werden. Für das BHKW 1 mit dem Zähler *ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ (neu)* ergab sich diese zu 196 kW („Bei Ablesung“)* bzw. 137 kW („Auflösung 60 min“). Der Wert 137 kW („Auflösung 60 min“) entspricht der angegebenen elektrischen Leistung von 140 kW (allerdings ist es ein über eine Stunde gemittelter Wert), während der Wert „Bei Ablesung“ mit 196 kW deutlich darüber liegt.

Eine Übersicht der ermittelten Spitzenlasten für BHKW 1 und 2 findet sich in Tabelle 38.

Tabelle 38: ermittelte Spitzenlasten (thermisch und elektrisch) der Blockheizkraftwerke

Verdichtung	Datenpunkt	Leistung kW	Einheit
BHKW 1 (207 kW thermisch)			
Bei Ablesung	WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_BHKW1	295	kW
Bei Ablesung	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1	216	kWh/15 min*4
60 Minütlich	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1	211	kWh/60 min
BHKW 1 (140 kW elektrisch)			
	ELZ_P fehlt		
Bei Ablesung	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ (neu)	196	kWh/15 min*4
60 Minütlich	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ (neu)	137	kWh/60 min
BHKW 2 (207 kW thermisch)			
Bei Ablesung	WMZ_Qpkt_EZ_HKV_Einsp_BHKW2	287	kW
Bei Ablesung	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2	212	kWh/15 min*4
60 Minütlich	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2	210	kWh/60 min
BHKW 2 (140 kW elektrisch)			
	ELZ_P fehlt		
Bei Ablesung	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ (neu)	164	kWh/15 min*4
60 Minütlich	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ (neu)	136	kWh/60 min

Zur Wirkungsgradbestimmung wurden gemessener Gasverbrauch sowie erzeugte thermische und elektrische Energie der BHKWs 1 und 2 im Zeitraum 01.03.2020 – 01.07.2020 verwendet und mit den Wirkungsgraden laut Datenblatt (siehe Tabelle 37 und Tabelle 39) verglichen (Tabelle 40). Sie zeigen von den Größenordnungen her plausible Werte.

Tabelle 39: Betriebsparameter zum Wirkungsgrad des BHKW-Moduls³⁴

Angaben laut Hersteller (siehe Betriebsparameter BHKW-Modul)		Wirkungsgrad soll [%]
207	kW thermisch	53,9
140	kW elektrisch	36,5
384	kW Gesamt	90,4
37	kW Verlust	9,6

* ein Peak-Messwert war sehr hoch, da eine Ablesung (üblicherweise alle 15 min) fehlte und deshalb die Differenz der Zählerstände zwischen 30 min dargestellt war. (Andere Peaks kommen u.U. aus unterschiedlichen Ableseintervallen/Verschiebungen zwischen Janitza-Zähler (alle 8 min „Ableseintervall“) und 15 min Ablesungen beim Navigator.)

Tabelle 40: Darstellung Spitzenlasten (thermisch und elektrisch) der Blockheizkraftwerke (Zeitraum 01.03.20 - 01.07.2020)

BHKW 1		Wirkungsgrad			
	kWh	gemessen		Datenblatt	
Summe erzeugte thermische Energie	504.402	50,6	%	53,9	%
Summe erzeugte elektrische Energie	297.748	29,8	%	36,5	%
Verluste	195.444	19,6	%	9,6	%
Summe Gas eingespeist	997.594	100	%	100	%
BHKW 2		Wirkungsgrad			
	kWh	gemessen		Datenblatt	
Summe erzeugte thermische Energie	507.614	49,9	%	53,9	%
Summe erzeugte elektrische Energie	297.177	29,2	%	36,5	%
Verluste	212.462	20,9	%	9,6	%
Summe Gas eingespeist	1.017.253	100	%	100	%

4.7.3.4 Wärmepumpe

Die Überprüfung der Spitzenlast und des Wirkungsgrades der Wärmepumpe konnte nicht vorgenommen werden, da entsprechende Zähler (noch) fehlen und die Wärmepumpe noch nicht in Betrieb ist.

4.7.4 Nutzenergie Kälteerzeuger

Im GHL gibt es folgende Kälteerzeuger:

- Kompressionskältemaschine (KKM)
- Absorptionskältemaschine (AKM)
- Freie Kühlung
- Erdsonden

Die Plausibilitätsüberprüfungen erfolgten anhand der Spitzenlast und der „Leistungszahlen“ der Kälteerzeuger. „Bei Kälteanlagen wird die Kälteleistung im Verhältnis zur aufgewendeten Energie bewertet. Bei einer AKM wird das Wärmeverhältnis verwendet, das als Quotient der Kälteleistung am Verdampfer zur Heizleistung am Austreiber definiert ist.“³⁵ Für die freie Kühlung und die Erdsonden lagen keine entsprechenden Messwerte vor.

Zuerst werden die gemessenen Werte der maximal aufgetretenen Leistungen bestimmt und mit den in den Anlagen- und Planungsunterlagen angegebenen Werten verglichen. In einem zweiten Schritt werden dann die Wirkungsgrade der Erzeuger gebildet und auf Plausibilität überprüft.

4.7.4.1 Kompressionskältemaschine (KKM)

Die ausführlichen Analysen zur Spitzenlast- und Wirkungsgradbetrachtung befinden sich in 12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger\Nutzenergie_Kälte\Nutzenergie_KKM.

Die Bestimmung der maximal aufgetretenen Kälteleistung (Spitzenlast) der KKM kann direkt über den Kälte-Leistungszähler *KMZ_Qpkt_EZ_KKM* oder als (gemittelte) Leistung über den Kälte-Arbeitszähler *KMZ_Q_EZ_KKM* erfolgen. Bei der Auswertung der Messwertreihe gab es u. a. Probleme, da z. T. die Messintervallzeit von 15 Min. auf 60 min verstellt war*. So wurde der Maximalwert erst ab dem 18.10.2019 bestimmt.

Es ergaben sich für die Spitzenlast der KKM folgende Werte:

- 269 kW; theoretisch laut Plan
- 259 kW; max. Wert Leistung gemessen (*KMZ_Qpkt_EZ_KKM*, „Bei Ablesung“, 15 Min.)
- 208 kW = 52 kWh/15 Min * 4; max. Wert Leistung aus Arbeit berechnet (*KMZ_Q_EZ_KKM*, „Bei Ablesung“, 15 Min)
- 272 kW = 272 kWh/h × 1 1/h; max. Wert Leistung aus Arbeit berechnet (*KMZ_Q_EZ_KKM*, „60 minütlichen Wert“) am 29.7.19 (Abbildung 104)

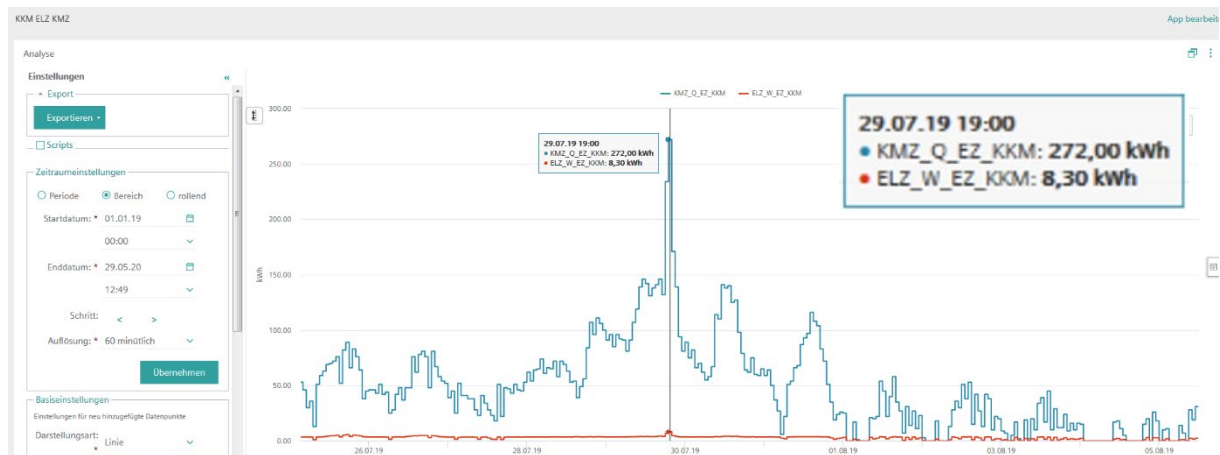


Abbildung 104: Maximale Leistung Kompressionskältemaschine

Die Prüfung des Wirkungsgrads bzw. der Leistungszahl erfolgt über das Verhältnis Nutzenergie (Kältemittelzähler *KMZ_Q_EZ_KKM*) zu eingesetzter Endenergie (Elektrozähler *ELZ_W_EZ_KKM*). Mit den entsprechenden Summenwerten vom 18.10.2019 – 8.6.20 ergibt sich eine mittlere Leistungszahl von:

$$11055 \text{ kWh} / 1265 \text{ kWh} = 8,74$$

Die Leistungszahl sollte bei einer KKM bei ca. 3 bis 5 liegen.³⁶ Der ermittelte Wert von 8,74 erscheint zu hoch. Die Ursache konnte bis jetzt noch nicht geklärt werden.

* zwischen 14.6.19 bis 18.7.19 von 15 Min. auf 60 min verstellt; zwischen 14.10.19 und 17.10.19 fehlen einige Werte ganz

4.7.4.2 Absorptionskältemaschine (AKM)

Die ausführlichen Analysen zur Spitzenlast- und Wirkungsgradbetrachtung befinden sich in 12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger\Nutzenergie_Kälte\Nutzenergie_AKM.

Die Bestimmung der maximal aufgetretenen Kälteleistung (Spitzenlast) der AKM* kann direkt über den Kälte-Leistungszähler *KMZ_Qpkt_EZ_AKM* oder als (gemittelte) Leistung über den Kälte-Arbeitszähler *KMZ_Q_EZ_AKM* erfolgen. Bei der Auswertung der Messwertreihe gab es hier u. a. Probleme, da z. T. die Messintervallzeit von 15 Min. auf 60 min verstellt war bzw. z. T. unregelmäßige Intervalle vorlagen.

Es ergaben sich für die Spitzenlast der AKM folgende Werte:

- 209 kW; theoretisch laut Plan
- 190 kW; max. Wert Leistung gemessen (*KMZ_Qpkt_EZ_AKM*, „Bei Ablesung“, 15 Min.)
- 176 kW = 44 kWh/15 Min * 4; max. Wert Leistung aus Arbeit berechnet (*KMZ_Q_EZ_AKM*)
- 210 kW = 210 kWh/h × 1 1/h; max. Wert Leistung aus Arbeit berechnet (*KMZ_Q_EZ_AKM*, „60 minütlichen Wert“) (Abbildung 105)



Abbildung 105: Maximale Leistung Absorptionskältemaschine

Die Prüfung des Wirkungsgrades bzw. des Wärmeverhältnisses erfolgt über das Verhältnis Nutzenergie (Kältemittelzähler *KMZ_Q_EZ_AKM*) zu eingesetzter Endenergie (Wärmemengenzähler *WMZ_Q_EZ_HKV_AKM_HeissW*). Mit den entsprechenden Summenwerten vom 18.10.2019 – 8.6.20 ergibt sich ein mittleres Wärmeverhältnis von:

$$440.000 \text{ kWh} / 739000 \text{ kWh} = 0,595$$

Einstufige AKM werden mit Warmwasser (70 ...120 °C) oder Dampf (max. 1,5 bar) befeuert und haben ein Wärmeverhältnis von ca. 0,7³⁵. Der sich aus den Messungen ergebende mittlere Wert von 0,6 erscheint realistisch.

* Absorptions-Flüssigkeitskühler zur Kälterzeugung; Hersteller: Fa. Carrier; Modelname : 16LJ-A14; Absorptionsmittel = Lithiumbromid, Kältemittel = Wasser; Cooling capacity 209 kW; COP 0.70

Bei den anderen Kälteerzeugern (freie Kühlung, Erdsonde) war eine Plausibilitätsprüfung aus verschiedenen Gründen (fehlende Messwerte etc.) nicht möglich.

4.7.5 Nutzenergie Elektroenergieerzeuger

Im GHL gibt es neben dem Bezug vom EVU folgende Erzeuger von elektrischer Energie:

- 2 Blockheizkraftwerke (BHKW)
- Photovoltaikanlage (PV)
- Notstromaggregat (NSA)

Die Plausibilitätsbetrachtungen der beiden BHKWs erfolgte bereits im Kapitel 4.7.3.3.

Für die PV-Anlage und das NSA werden zuerst die gemessenen Werte der maximal aufgetretenen Leistungen bestimmt und mit den in den Anlagen- und Planungsunterlagen angegebenen Werten verglichen. In einem zweiten Schritt wird dann versucht, die Wirkungsgrade der Erzeuger zu bilden und auf Plausibilität zu überprüfen.

4.7.5.1 Photovoltaikanlage (PV)

„In Deutschland beträgt die Jahressumme der solaren Globalstrahlung ca. 1.000 kWh/m².“³⁷

Die Spitzenleistung von Photovoltaik Modulen wird in der Einheit kWp (Kilowatt peak) angegeben. Die Messung der Spitzenleistung erfolgt unter den sogenannten STC-Bedingungen (Standard Test Conditions):

- 1000 W/m² Einstrahlung
- 25 °C Umgebungstemperatur
- Air Mass 1,5 (Sonnenlichtspektrum)

„Als Richtwert für den Betrieb einer Photovoltaikanlage in Deutschland können mit einer 1-kWp-Anlage ca. 900 bis 1100 kWh/a elektrische Energie pro Jahr erzeugt werden. Eine 1-kWp-Anlage besetzt im Schnitt eine Fläche von 8 bis 10 m.“³⁷

„Der Wirkungsgrad einer Solarzelle entspricht dem Prozentsatz der eingestrahnten Lichtleistung, der in Elektrizität umgewandelt und an eine elektronische Schaltung abgegeben wird. Der Wirkungsgrad wird berechnet, indem unter Standardbedingungen (STC) die maximale Abgabeleistung $P_{\max}$ durch die Bestrahlungsstärke (E , in W/m²) und die Fläche der Solarzelle (A_c in m²) dividiert wird.“³⁸ Typische Wirkungsgrade von Solarzellen sind in Abbildung 106 dargestellt.

durchschnittlicher Wirkungsgrad	Solarzelle
18 % bis 21 %	monokristalline Solarzelle
13 % bis 16 %	polykristalline Zelle
6 % bis 7 %	amorphe Siliziumzelle
10 %	Tandemzelle
10 % bis 12 %	Dünnschichtzelle (CIS)
20 % bis 25 %	Dünnschichtzellen Galliumarsenid
11 %	Dünnschichtzellen Cadmiumtellurid
2 %	Farbstoffzelle (Grätzelzelle)

Abbildung 106: Durchschnittliche Wirkungsgrade von Solarzellen³⁹

Beim GHL befinden sich die PV-Module auf dem Flachdach des Hauptgebäudes, den Fassadenflächen und dem Vordach des Haupteingangs. Die Spitzenleistung der gesamten PV-Anlage beträgt ca. 120 kWp.

Da die ursprünglichen Arbeits- und Leistungszähler für die PV-Anlage nicht funktionierten, wurde im Frühjahr 2020 ein neuer Arbeitszähler (*ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_PV_Erzeugung (neu)*) für die Einspeisung der elektrischen Energie aus der PV-Anlage aufgeschaltet. Ein entsprechender Leistungszähler wurde nicht neu aufgeschaltet, deshalb wurde die maximale Leistung ähnlich wie bei der elektrischen Energie aus der Arbeit (1/4-Stunden Werte) * 4 ermittelt.

Die Auswertung der Messungen vom 27.02.2020 – 01.06.2020 ergab am 4.5.2020, 12:18 Uhr eine maximale erzeugte PV-Leistung ($P_{\max}$) (1/4h-Mittelwert 12:03 – 12:18) von

- 116 kW = 29 kWh/15 Min * 4; max. Wert Leistung aus Arbeit berechnet (*ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_PV_Erzeugung (neu)*)

Die ermittelte Spitzenlast der PV-Anlage erscheint im Vergleich zu dem theoretisch angegebenen Wert von 119,3 kWp realistisch.

Der Datenpunkt *Met_E_ges_Trnd_AB* gibt die Bestrahlungsstärke der Sonne auf das GHL in W/m² an (Ableseintervall 5 Min.). Die höchste gemessene Sonneneinstrahlung im Zeitraum vom 27.02.2020 – 01.06.2020 ergab sich am 27.5.20, 12:37 Uhr mit 1233,2 W/m² (E_{zu}). Die maximale Einstrahlung und die maximal erzeugte PV-Leistung wurden nicht zum gleichen Zeitpunkt gemessen. Deshalb wurde der Wirkungsgrad einmal für den 4.5.2020 und einmal für den 27.5.20 bestimmt.

Wirkungsgrad 4.5.2020

Zum Zeitpunkt der maximal erzeugten PV-Leistung am 4.5.2020 betrug die entsprechende Sonneneinstrahlung um

- 12:00 828,1 W/m²
- 12:05 1148,6 W/m²
- 12:10 699,4 W/m²
- 12:15 556,9 W/m²
- 12:20 635,6 W/m²

Hier ergibt sich das Problem, dass die meteorologischen Sensoren* ein Ableseintervall von 5 Minuten haben. Der entsprechende Spitzenwert der alle 5 Minuten gemessenen Sonneneinstrahlung kann aus den 4 Werten (12:05, 12:10, 12:15 und 12:00 (bzw. 12:20?)) bestimmt werden (hier: 12:05 1148,6 W/m²). Würden die Messungen „erzeugte PV-Energie“ (alle 15 Minuten gemessen) und „Sonneneinstrahlung“ (alle 5 Minuten gemessen) zum identischen Zeitpunkt starten (z. B. 12:00), wären die 4 Zeitpunkte eindeutig (12:00, 12:05, 12:10, 12:15). Leider ist das Ableseintervall bei der erzeugten PV-Energie etwas von 12:00 verschoben (12:03, 12:18, usw.).

Hinzu kommt, dass sich die Ablesezeiten der Sonneneinstrahlung über einen längeren Zeitraum leicht (z. B. von 12:15 auf 12:17) verändern. Eine „Regel“ konnte hier nicht identifiziert werden. Hier sei auch auf die grundsätzliche Problematik der unterschiedlichen Zeitpunkte bei der Wertedarstellung „bei Ablesung“ und z. B. „15-Min Werte“ hingewiesen. Grundsätzlich stellt sich die Frage, inwieweit mit über 15 min gemittelten Arbeitswerten (bzw. daraus berechneten PV-Leistungen) und zu einem bestimmten Zeitpunkt (alle 5 Minuten) gemessenen Bestrahlungsstärken sinnvolle Betrachtungen durchgeführt werden können, oder ob hier nicht kürzere Zeitintervalle (z. B. Minuten) notwendig sind.

Um trotzdem eine Abschätzung des Wirkungsgrades durchführen zu können, wurde hier der Wert der Bestrahlungsstärke am 4.5.2020, 12:05 von 1148,6 W/m² verwendet. Bei einer PV-Fläche von 720,78 m² ergibt sich

$$P_{zu} = 1148,6 \text{ W/m}^2 \times 720,78 \text{ m}^2 = 827888 \text{ W} = 827,9 \text{ kW}$$

Mit der maximal erzeugten PV-Leistung (P_{max}) (aus 1/4h-Mittelwert 12:03 – 12:18) von 116 kW ergibt sich der Wirkungsgrad der Photovoltaikanlage

$$(P_{max})/(P_{zu}) = 116 \text{ kW} / 827,9 \text{ kW} = 0,14 = 14 \%$$

In den Herstellerunterlagen ist ein Modulwirkungsgrad für das TP 660P 260W von 16 % angegeben. Insofern erscheint der ermittelte Wert von 14 % plausibel.

* Neben dem Sensor zur Messung der Bestrahlungsstärke (Datenpunkt Met_E_ges_Trnd_AB, Einheit: W/m²) gibt es u.a. auch 4 um 90° versetzte Helligkeitssensoren (Met_E_N_Trnd_AB,; Einheit: kLux). Damit kann die richtungsabhängige Helligkeit bei Tageslicht (Lichtintensität) ermittelt werden. Diese Werte könnten z.B. zur Bestimmung der Dämmerung verwendet werden (sinnvoll für Dämmerungsschaltung von Licht, Jalousien etc. in Abhängigkeit vom Tageslicht).

Wirkungsgrad 27.5.2020

Die höchste gemessene Sonneneinstrahlung ergab sich am 27.5.20, 12:37 Uhr mit 1233,2 W/m² (E_{zu}). Die ermittelte (gemittelte) Leistung lag bei ungefähr diesem Zeitpunkt (12:33 – 12:48) bei 108 kW. Für den 27.5.20 ergibt sich:

$$P_{zu} = 1233,2 \text{ W/m}^2 * 720,78 \text{ m}^2 = 888,9 \text{ kW}$$

und daraus der Wirkungsgrad

$$(P)/(P_{zu}) = 108 \text{ kW} / 888,9 \text{ kW} = 0,12 = 12\%$$

Der Wert erscheint plausibel. Die ausführliche Analyse befindet sich in 12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger\Nutzenergie_Elt_Energie\Nutzenergie_PV_Anlage.

4.7.5.2 Notstromaggregat (NSA)

Die Spitzenlast des dieselbetriebenen NSAs konnte aufgrund fehlender Einsatzzeiten nur während des Probebetriebs (Generator Stufe 1, 50 %) auf Plausibilität geprüft werden. Die ausführliche Analyse befindet sich in 12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger\Nutzenergie_Elt_Energie\Nutzenergie_NSA.

Das NSA besitzt laut Plan eine Spitzenlast von 800 kVA/640 kW (lt. Prüfprotokoll Aggregat Probebetrieb 50 % = ca. 320 kW). Die im Zeitraum 01.05.2019 – 01.06.2020 direkt gemessene maximale Leistung (*ELZ_P_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA*) betrug am 15.5.20, 10:18 186,72 kW. Über den Arbeitszählers *ELZ_W_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA* ergab sich eine maximale Leistung von 252 kW. Die ermittelten Werte erscheinen grob plausibel, allerdings ist die genaue Betriebsweise des NSA nicht bekannt.

Bei der Spitzenlastbetrachtung fiel auf, dass die Leistungswerte vom Notstromaggregat (*ELZ_P_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA*) außerhalb des NSA-Betriebs (vermutlich aufgrund von Messungenauigkeiten des Zählers) regelmäßig leicht in den Minusbereich fallen (siehe Abbildung 107), obwohl eigentlich Null angezeigt werden müsste. Zudem fallen bei Inbetriebnahme des Notstromaggregats die Leistungswerte von Trafo 1 (*ELZ_P_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1*) und Trafo 2 (*ELZ_P_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2*) in den Minusbereich (siehe Abb. 92). Aktuell gibt es dafür keine plausible Erklärung.

Eine Wirkungsgradbetrachtung des Notstromaggregats ist aufgrund von fehlenden Zählern für den Dieselverbrauch nicht möglich.



Abbildung 107: Betrieb Notstromaggregat

4.7.6 Nutzenergie Wärmeverbraucher

Um den Wärmeverbrauch im GHL mit Haupt- und entsprechenden Unterzählern auf Plausibilität zu prüfen, wurden die gemessenen Werte im Navigator an entsprechenden „Bilanzstellen“ (Verteilungen) analysiert. Um eine Übersicht der Zähler zu erhalten, wurde der Plan „Schema Wärmeerzeugung/Verteilung“ in vier einzelne Bereiche („Stränge“) aufgeteilt. Um sinnvolle Bilanz-Berichte im Navigator erstellen zu können, war es außerdem notwendig, den unterschiedlichen Unterzählern (UZ) für das Medium Wärme eine entsprechende Struktur (HZ, UZ, UZ1, UZ2 usw.) zuzuweisen (siehe auch 5_Anhang_Strukturen).

Ein Beispiel zur Überprüfung der Plausibilität ist in dargestellt. Dabei wurde in diesem Beispielstrang die Einspeisung der gesamten Wärmemenge in den Südflügel, welche durch den Zähler (1) *WMZ_Q_S_UG2_HKV_Einsp_von_EZ* gemessen wird, mit allen vorhandenen Verbrauchern des Südflügels verglichen.

- (2) *WMZ_Q_S_UG2_HKV_FBH_S*
- (3) *WMZ_Q_S_UG2_HKV_RLT_Heizreg_S*
- (4) *WMZ_Q_S_UG2_HKV_statHK_S*
- (5) *WMZ_Q_S_UG2_HKV_WWB_S*

Daraus ergibt sich die Bilanz: $(1) = (2) + (3) + (4) + (5)$

Grundsätzlich sollte diese Bilanz genau stimmen, da die Verbraucher nur den Teil an Energie verbrauchen können, der zuvor eingespeist wurde. Allerdings können u.U. Verteilungsverluste auftreten, die bei der Wärmeversorgung in Krankenhäusern aufgrund der großen Rohrlängen, etc. eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen können.⁴⁰

Hier wäre bei $(1) > ((2) + (3) + (4) + (5))$ die Differenz als Verlust bzw. als unbekannter, nicht gezählter Verbraucher zu interpretieren. Durch Messungenauigkeiten bei den Zählern (siehe z. B. bei ⁴¹) kann auch der umgekehrte Fall eintreten, dass laut den Ablesewerten weniger eingespeist als verbraucht wird: $(1) < ((2) + (3) + (4) + (5))$ (siehe Abbildung 108).

Bilanz WMZ

Verbraucher Einspeisung Südflügel = Verbraucher Südflügel

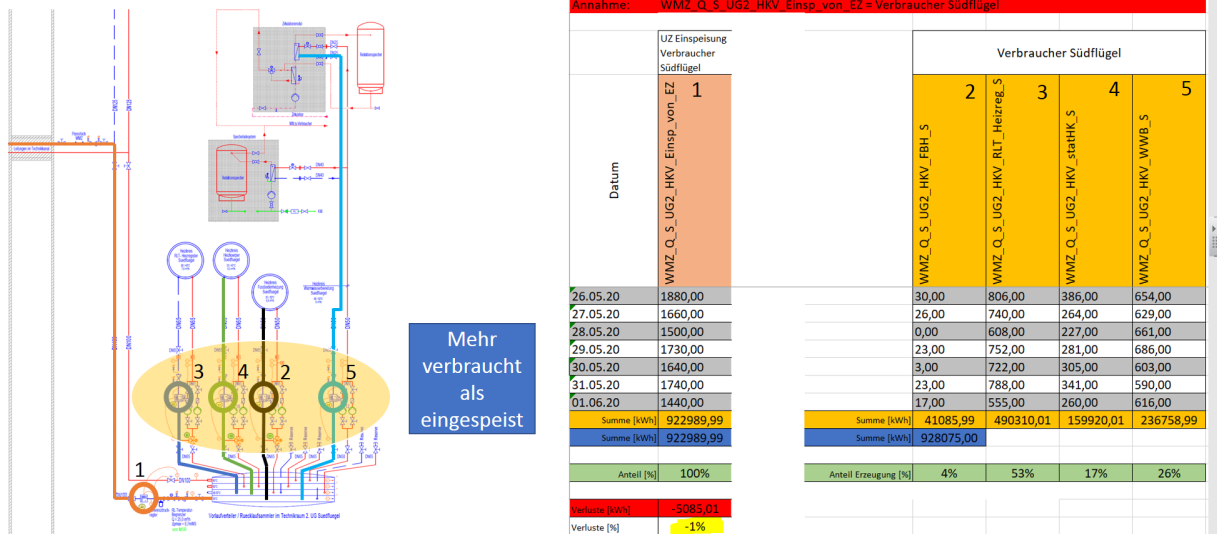


Abbildung 108: Beispiel Bilanz Wärmemengenzähler (Problem: mehr verbraucht als eingespeist)

Folgende Bilanzierungen wurden für die Wärmeverbraucher durchgeführt:

- Hauptzähler Erzeugung = Hauptzähler Verbraucher
- Verbraucher KHH = Verbraucher Einspeisung Nord- und Südflügel
- Verbraucher Einspeisung Nordflügel = Verbraucher Nordflügel
- Verbraucher Einspeisung Südflügel = Verbraucher Südflügel

Im Wesentlichen waren die Ergebnisse der Bilanzierung plausibel und nachvollziehbar. Die ausführlichen Analysen befinden sich in 13_Anhang_Nutzenergie_Verbraucher\Nutzenergie_Wärmeverbraucher.

4.7.7 Nutzenergie Kälteverbraucher

Um den Kälteverbrauch im GHL mit den entsprechenden Zählern auf Plausibilität zu prüfen, wurden die gemessenen Werte an entsprechenden „Bilanzstellen“ (z. B. Verteilungen) analysiert. Für eine handhabbare Übersicht der Zähler wurde der Plan „Kälte Schema“ in einzelne Bereiche („Stränge“) aufgeteilt. Um sinnvolle Bilanz-Berichte im Navigator erstellen zu können, war es außerdem notwendig, den unterschiedlichen Zählern für das Medium Kälte eine entsprechende Struktur (HZ, UZ, UZ1, UZ2 usw.) zuzuweisen.

Ein Beispiel zur Überprüfung der Plausibilität ist in Abbildung 109 dargestellt. Der Planausschnitt „Leitungen nach KHH“ zeigt die Einspeisung der Kälte von der Energiezentrale mit dem Zähler (1; 2) nach dem Krankenhaushauptgebäude KHH mit dem Zähler (3; 4). Daraus ergibt sich die Bilanz:

$$(1; 2) - \text{Verteilverluste} = (3; 4)$$

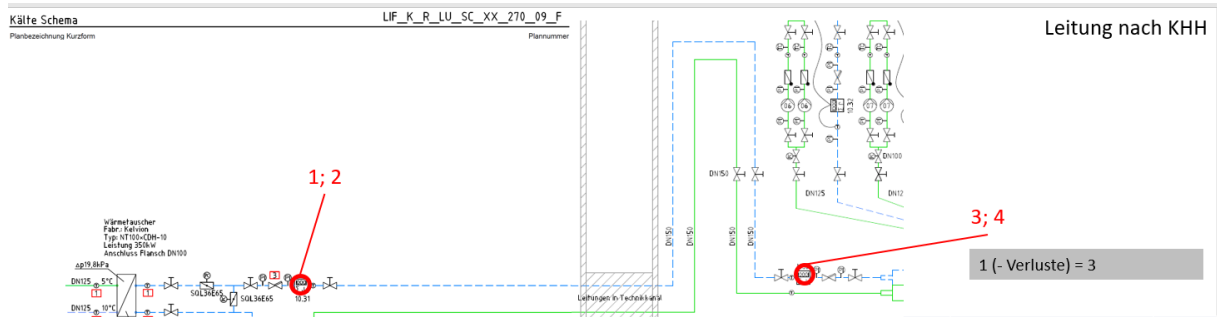


Abbildung 109: Planausschnitt (Leitungen nach KHH) mit erstellter Bilanz

Die Annahme dieser Bilanz wurde durch Gegenüberstellung der gemessenen Werte überprüft (Tabelle 41). In der Summe zeigte sich, dass nur etwas mehr Energie eingespeist als verbraucht wurde und so nur ein sehr geringer Verteilverlust besteht. Bei der Betrachtung von Einzelwerten der Messreihe ergab sich auch der Fall, dass etwas weniger Energie eingespeist als verbraucht wurde. Dies lässt auf Ungenauigkeiten bei der Messwerterfassung schließen (siehe auch Kapitel 4.7.6).

Tabelle 41: Gegenüberstellung der gemessenen Werte für Bilanz

	A	B	C	D	E
1	Date	KMZ_Q_M_UG1_Einsp_von_EZ (MWh)	KMZ_Q_EZ_Einsp_nach_KHH (MWh)		
321	29.05.20 06:00	0,103	0,101		
322	29.05.20 07:00	0,091	0,095		
323	29.05.20 08:00	0,112	0,106		
324	29.05.20 09:00	0,133	0,125		
325	29.05.20 10:00	0,153	0,152		
326	29.05.20 11:00	0,148	0,153		
327	29.05.20 12:00	0,163	0,155		
328	29.05.20 13:00	0,179	0,181	delta Verlust	
329	Summe	1.074,63	1.074,74	0,110	0,01%
330					

Als weiteres Beispiel zur Überprüfung der Plausibilität sei hier die Bilanz der Kältekreisverteilung (KKV) erläutert. Der Planausschnitt „Bilanz KKV“ (siehe Abbildung 110) zeigt die Einspeisung von der Energiezentrale EZ (1) in die KKV. Neben der Einspeisung aus der EZ gibt es noch zwei weitere Einspeisungen (5; 21) und fünf Verbraucher (7; 8; 6; 4; 2) mit folgenden Zählern:

- (1) *KMZ_Q_M_UG1_Einsp_von_EZ*
- (2) *KMZ_Q_M_UG1_KKV_BTA_prim*
- (4) *KMZ_Q_M_UG1_KKV_EDV_Kuehlung_N_S*
- (5) *KMZ_Q_M_UG1_KKV_Einsp_von_RLT_ZWRG_N_UG1*
- (6) *KMZ_Q_M_UG1_KKV_medGer_Kuehlreg*
- (7) *KMZ_Q_M_UG1_KKV_RLT_Kuehlreg*
- (8) *KMZ_Q_M_UG1_KKV_UMK_N_S*
- (21) *KMZ_Q_N_UG1_WP_Erdsonde*

Daraus ergaben sich u. a. folgende Bilanzen, wobei zur einfacheren Schreibweise die „Hilfsgröße“ *a* eingeführt wurde:

$$a = (1) + (5) - ((7) + (8) + (6) + (4))$$

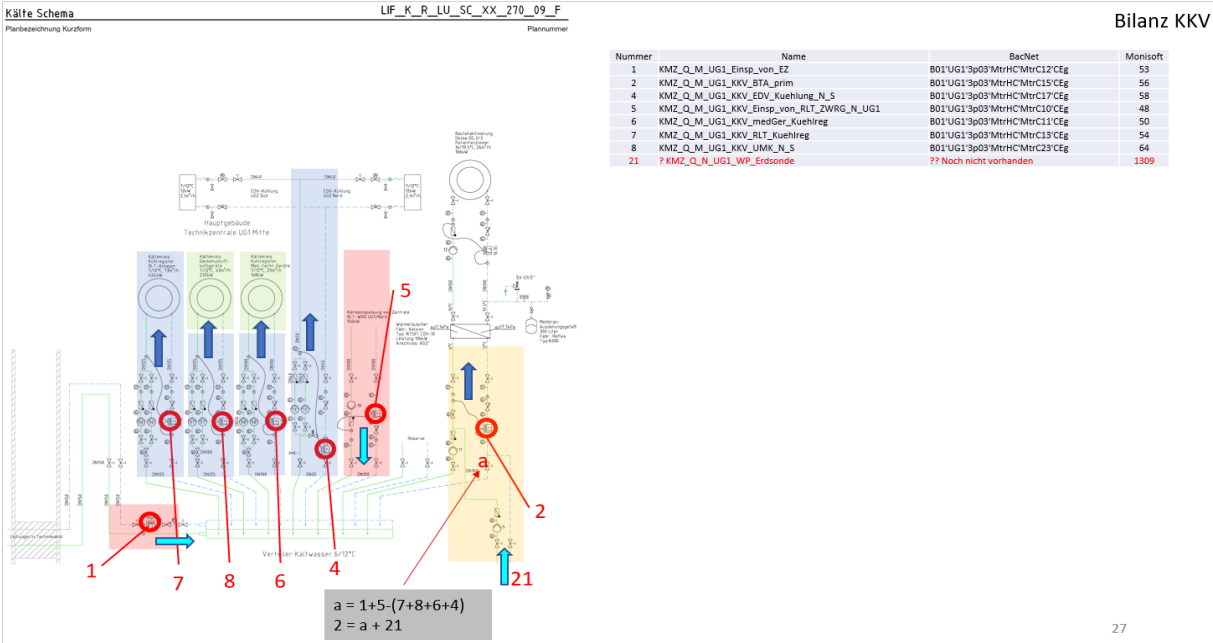
$$(2) = a + (21)$$

$$(2) - \text{Verteilverluste} = (3)$$

Die Erdsonde (Datenpunkt (21) *KMZ_Q_N_UG1_WP_Erdsonde*) wurde noch nicht zur Kälteerzeugung eingesetzt. Außerdem erfolgte auch keine Einspeisung von Kälte durch (5) *RLT_ZWRG_N_UG1*. Für folgende Betrachtung werden deshalb die Datenpunkt (21) und (5) nicht berücksichtigt.

$$(2) = a + (21) \quad \Rightarrow \quad 0 = a + (21) - (2) \quad \Rightarrow \quad 0 = a - (2)$$

Statt 0 ergab sich bei $(a - (2))$ mit den gemessenen Werten allerdings ein Delta von -55,9 MWh (Tabelle 42). Diese Differenz erscheint für Messungenauigkeiten/Verteilverluste zu hoch. Eine Möglichkeit für die Abweichung wäre, dass es einen weiteren Verbraucher ohne Zähler in der KKV gibt. Zurzeit ist diese Abweichung nicht erklärbar.



27

Abbildung 110: Darstellung der Bilanz KKV

Tabelle 42: gemessene Werte der Bilanz KKV

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Date	KMZ_Q_M_UG1_Einsp_von_EZ (MWh)	KMZ_Q_M_UG1_KKV_Einsp_von_RLT_ZWRG_N_UG1 (MWh)	KMZ_Q_M_UG1_KKV_RLT_Kuehreg (MWh)	KMZ_Q_M_UG1_KKV_medGer_Kuehreg (MWh)	KMZ_Q_M_UG1_KKV_EDV_Kuehlung_N_S (MWh)	KMZ_Q_M_UG1_KKV_UMK_N_S (MWh)	a (Bilanz Verteilung)	WMZ_Q_N_UG1_WP_Erdsonde (MWh)	Summe a+Erdsonde	KMZ_Q_M_UG1_KKV_BTA_prim (MWh)	delta [KMZ_Q_M_UG1_KKV_BTA_prim - a] (MWh)
37	18.05.20	3,1180	0,0000	1,2340	0,5090	0,1510	1,0710	0,1530	0,0000		0,0000	-0,1530
38	19.05.20	3,3990	0,0000	1,4160	0,5180	0,1540	1,1500	0,1610	0,0000		0,0000	-0,1610
39	20.05.20	3,2470	0,0000	1,3510	0,4480	0,1540	1,1190	0,1750	0,0000		0,0000	-0,1750
40	21.05.20	2,6680	0,0000	1,1560	0,2630	0,1520	0,9350	0,1620	0,0000		0,0000	-0,1620
41	22.05.20	3,5010	0,0000	1,4740	0,4780	0,1550	1,2060	0,1880	0,0000		0,0000	-0,1880
42	23.05.20	2,9400	0,0000	1,2790	0,3320	0,1560	0,9970	0,1760	0,0000		0,0000	-0,1760
43	24.05.20	2,3420	0,0000	0,9010	0,2650	0,1570	0,8610	0,1580	0,0000		0,0000	-0,1580
44	25.05.20	3,0270	0,0000	1,1590	0,4790	0,1590	1,0520	0,1780	0,0000		0,0000	-0,1780
45	26.05.20	2,8790	0,0000	1,0760	0,4370	0,1570	1,0380	0,1710	0,0000		0,0000	-0,1710
46	Summe	1065,2	0,0	389,4	141,0	44,2	346,1	144,5	0,0	144,5	88,6	-55,9

Die ausführlichen Analysen befinden sich in
13_Anhang_Nutzenergie_Verbraucher\Nutzenergie_Kälteverbraucher.

4.7.8 Nutzenergie Elektroenergieverbraucher

Um den Stromverbrauch im GHL mit Haupt- und entsprechenden Unterzählern auf Plausibilität zu prüfen, wurden die gemessenen Werte im Navigator an entsprechenden „Bilanzstellen“ (Verteilungen) analysiert. Um die Zähler „verorten“ zu können, sind zum einen entsprechende Planausschnitte aus dem Strangschemata Energieversorgung von ABB und zum anderen aus der Visualisierung des Zählerkonzeptes („VISIO-Dateien“ der Hochschulen) dargestellt (siehe 13_Anhang_Nutzenergie_Verbraucher\Nutzenergie_Verbraucher_elt_Energie\ELZ_Nachvollziehbarkeit_Ca.pptx). Um sinnvolle Bilanz-Berichte im Navigator erstellen zu können, war es außerdem notwendig, den unterschiedlichen Unterzählern (UZ) für das Medium Strom eine entsprechende Struktur (HZ, UZ, UZ1, UZ2 usw.) zuzuweisen.

Zuerst wurden die Zähler der gelieferten Endenergie und der Eigenerzeugung (Hauptverteilung) summiert und mit den Summen der im Gebäude gemessenen Verbräuche verglichen. Zur Aufstellung der Gesamtbilanz wurden hier bei den Verbrauchern nur die ISP-Zähler („Hauptzähler“ der Informationsschwerpunkte*, siehe Abbildung 111) berücksichtigt und nicht die dahinterliegenden Einzelverbraucher mit Zähler, da nicht alle Einzelverbraucher einen Zähler erhalten haben. Bei entsprechenden Bilanzen darf es nicht zu einer „Doppelberücksichtigung“ von Zählern verschiedener Ebenen kommen.

Die Summe der gelieferten Endenergie und der Eigenerzeugung (Hauptverteilung) ergibt beim Vergleich mit den Summen der im Gebäude gemessenen Verbräuche eine plausible Übereinstimmung mit kleiner Abweichung von 2 % (Tabelle 43).

* „Informationsschwerpunkt (kurz ISP) ist eine Bezeichnung aus der Gebäudeautomation für die Räumlichkeit, in der die Regel- und Steuereinheiten (DDC-Stationen) zusammenlaufen. Meist besteht ein ISP aus Schaltschränken, in der die Regel- und Steuereinheiten untergebracht sind und aus den zu steuernden Anlagen (HLKK-Anlagen für Heizung, Lüftung, Klima und Kälte). Die einzelnen ISP werden auf einem Gebäudeleitsystem zusammengefasst, mit dem die Regel- und Steuereinheiten bedient werden können und das Stör- und Alarmmeldungen verarbeitet.“ [<https://de.wikipedia.org/wiki/Informationsschwerpunkt> abgerufen am 19.08.2020.]

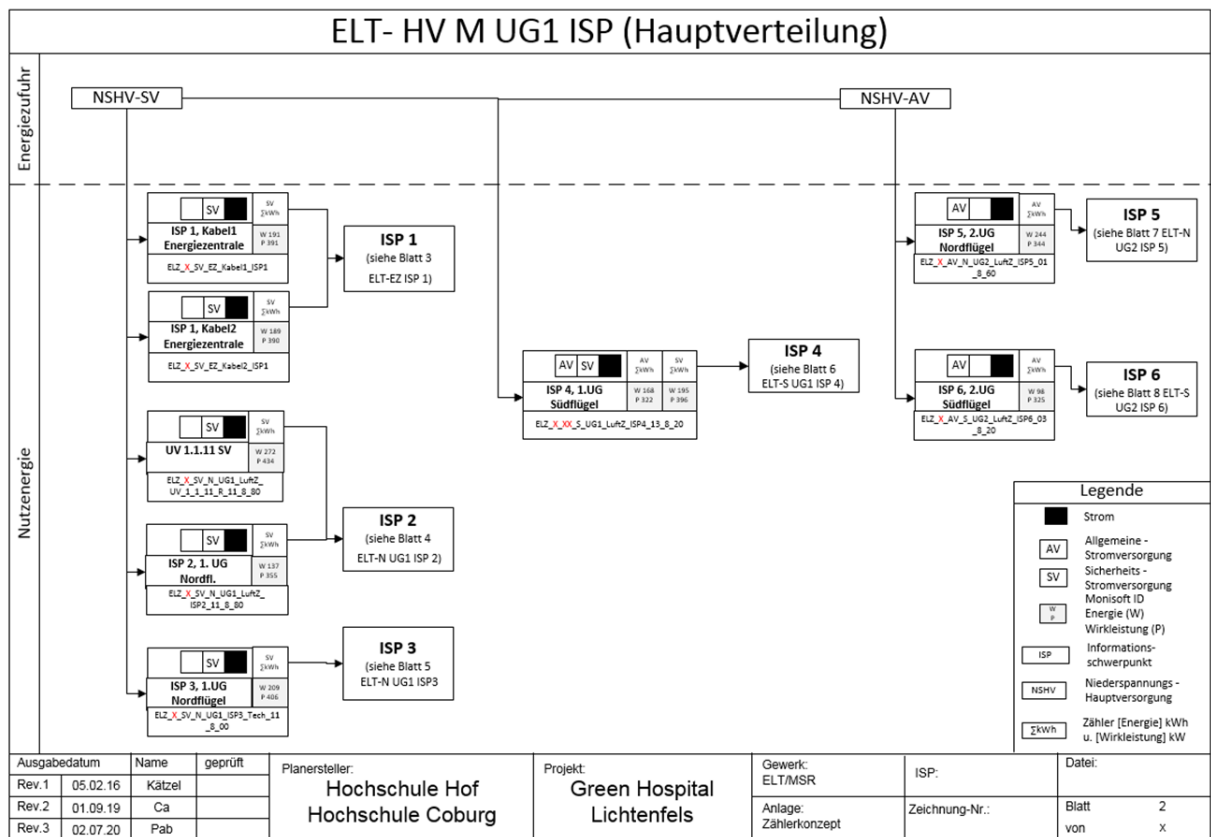


Abbildung 111: Hauptzähler Verbraucher (Hauptverteilung)

Tabelle 43: Gesamtbilanz ELT-Hauptverteilung

Auswertung: gemessene Energiezufuhr bzw. Verbrauch in kWh für Mai 2020					Aufteilung: Verbrauch auf ISP, UV, AV, SV, BV und Großgeräte									
	MoniNr	Zählername	gemessen	Energiezufuhr	Verbrauch	Delta		ISP	UV	GG	Geräteart	Zählert	Sachname	
Energie Einspeisung/ Energiezufuhr	280	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1	58.039	58.039							EVU Einspeisung	HZ 8kgug	B01UG13p04MrhCEWMrE182EIEg	
	213	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2	53.269	53.269							EVU Einspeisung	HZ 8kgug	B01UG13p04MrhCEWMrE182EIEg	
		Zwischensumme Trafo 1 + Trafo 2			111.308									
Energieerzeugung	1301	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ (neu)	76.946	76.946							(Verteiler)	HZ 8kgug	B01UG13p04MrhCEWMrE181EIEg	
Energieerzeugung	1302	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ (neu)	76.770	76.770							(Verteiler)	HZ 8kgug	B01UG13p04MrhCEWMrE181EIEg	
		Zwischensumme BHKW Kabel 1 + Kabel 2			153.716									
Verteilung	281	ELZ_W_SV_M_UG1_Kupplung_NSHV_AV_SV	125.943								Verteiler	Vert AV/SV	B01UG13p04MrhCEWMrE180EIEg	
Energieerzeugung	1300	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_PV_Erzeugung (neu)	16.229	16.229							Energieerzeuger	HZ 8kgug	B01UG13p04MrhCEWMrE122EIEg	
Energieerzeugung	248	ELZ_W_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA	216	216							Energieerzeuger	HZ 8kgug	B01UG13p04MrhCEWMrE181EIEg	
		Zwischensumme			16.445									
Summen gesamt in kWh				281.489	276.084	5.385		125.878	118.395	30.811				
prozentual				100%	98%	2%								

Als Nächstes wurden Bilanzen der Informationsschwerpunkte (ISP) im GHG erstellt. Es gibt jeweils einen „Hauptzähler“ für den Verbrauch eines ISPs. Die hinter den ISPs liegenden Einzelverbraucher haben zum Teil auch Zähler (aber nicht unbedingt alle). Somit sollten aus Plausibilitätsgründen die hinter den ISP-Zählern liegenden Zähler der Einzelverbraucher summiert max. den Wert des jeweiligen ISP-Zählers ergeben (eher weniger, wenn nicht alle Einzelverbraucher einen Zähler erhalten haben). Somit kann der ISP-Zähler in dieser Bilanz als „Energiezufuhr“ und die Einzelzähler als „Verbraucher“ aufgefasst werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Bilanzen der 6 ISPs beschrieben.

ISP 1

Die hinter dem ISP 1 liegenden Einzelverbraucher haben zum Teil auch Zähler (aber nicht alle). Somit sollten aus Plausibilitätsgründen die hinter dem ISP 1-Zähler liegenden Zähler der Einzelverbraucher summiert max. den Wert des ISP 1-Zählers ergeben, aber eher weniger, da nicht alle Einzelverbraucher einen Zähler haben. Die Differenz (Rest) zwischen ISP 1-Zähler und den Einzelverbrauchern mit Zähler entspricht dann dem Verbrauch der Verbraucher ohne Zähler.

Die Bilanz (siehe Tabelle 44) zeigt eine größere Abweichung (44 %), die u.U. durch die Verbraucher ohne Zähler (Rest) erklärt werden kann. Der Wert der KKM muss noch extra analysiert werden, da er anscheinend nicht zu der in dem betrachteten Zeitraum von der KKM produzierten Kälte passt (siehe Kapitel 4.7.4.1)

Tabelle 44: Bilanz ISP 1

ISPs: Auswertung gemessener Energieverbrauch in kWh für Mai 2020											
ISP 1	MonNr	Zählernr	gemessen	*Energiezufuhr*	Verbrauch	Delta	ISP	UV	GG	Geräteart	Bacnetname
	191	ELZ_W_SV_EZ_Kabel1_ISP1	6.147	6.147			6.147			ISP Einsp	B01UG13p04MrHCEWMrE47EEg
	189	ELZ_W_SV_EZ_Kabel2_ISP1	6.142	6.142			6.142			ISP Einsp	B01UG13p04MrHCEWMrE46EEg
		Zwischensumme			12.289						
	204	ELZ_W_EZ_AKM	1.871		1.871					Energieerzeuger	EZ3p01MrHCEMrE06EEg
	196	ELZ_W_EZ_BioMK	364		364					Energieerzeuger	EZ3p01MrHCEMrE01EEg
	198	ELZ_W_EZ_Gask_1600kW	0		0					Energieerzeuger	EZ3p01MrHCEMrE02EEg
	200	ELZ_W_EZ_Gask_560kW	306		306					Energieerzeuger	EZ3p01MrHCEMrE03EEg
	206	ELZ_W_EZ_HybrK	2.230		2.230					Energieerzeuger	EZ3p01MrHCEMrE07EEg
	202	ELZ_W_EZ_KKM	455		455					Energieerzeuger	EZ3p01MrHCEMrE04EEg
	505	ELZ_W_EZ_Rohrbegleitheizung_HybrK	5		5					Energieerzeuger	EZ3p01MrHCEMrE08EEg
	203	ELZ_W_EZ_Trockenkuehler	1.647		1.647					Energieerzeuger	EZ3p01MrHCEMrE06EEg
		Zwischensumme			6.877						
		Delta "Energiezufuhr" - Verbrauch = Rest				-5.412					
		prozentual			100%	56%	44%				
ISP 1: Rest Verbraucher ohne Zähler:											
19 Pumpen (Durchschn. Pmax 1,976 kW) ohne ELT-Zähler (Siemens Schaltunterlagen Pab 29.06.20)											
43 UIMK (Siemens Schaltunterlagen Pab 29.06.20)											

ISP 2

Hier zeigt die Bilanz größere Abweichungen, die u.U. durch die Verbraucher ohne Zähler (Rest) erklärt werden können.

ISP 3

Hier gibt es keine Verbraucher mit Zählern, deshalb ist auch keine Bilanz möglich.

ISP 4 und 5

Hier zeigen die Bilanzen jeweils eine negative Abweichung („Mehr verbraucht als eingespeist“) und sind deshalb nicht plausibel. Hinzu kommt, dass auch hier noch diverse Verbraucher ohne Zähler (Rest) vorhanden sind, die noch weniger erklärt werden können. Diese Unstimmigkeiten müssen noch extra analysiert werden.

ISP 6

Hier zeigt die Bilanz eine Abweichung, die u.U. durch die Verbraucher ohne Zähler (Rest) erklärt werden kann.

Für eine Vielzahl von Unterverteilungs-Bereichen (UVs mit Allgemeiner (AV) und Sicherheitsstromversorgung (SV) sowie Bereichsverteiler (BV)), die nicht hinter einem ISP liegen, gibt es z. T. entsprechende Zähler. Weiterhin sind auch Zähler für Großgeräte (GG) installiert. Hier

kann über Bilanzen leider keine Plausibilitätsprüfung erfolgen. In Abbildung 112 ist eine Gegenüberstellung vom monatlichen Verbrauch elektrischer Energie nach Erzeugung und technischer und örtlicher Verteilung dargestellt (Januar und Februar noch mit defekten Zählern, siehe auch 13_Anhang_Nutzenergie_Verbraucher\Nutzenergie_Verbraucher_elt_Energie\...Bilanz_ELt_gesamt_Monatsbericht_Vgl.xlsx).

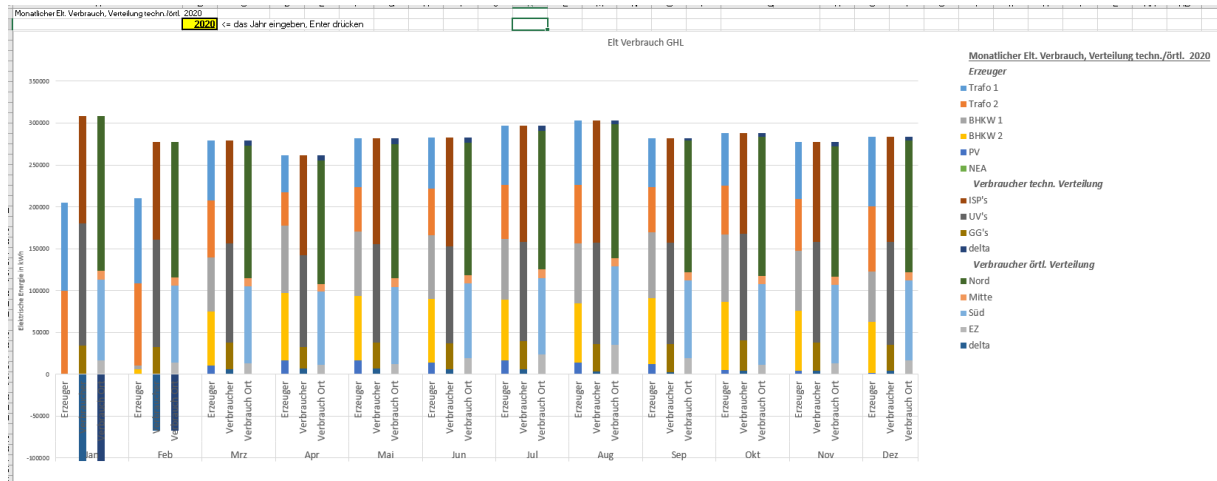


Abbildung 112: Gegenüberstellung vom monatlichen Verbrauch elektrischer Energie nach Erzeugung und technischer und örtlicher Verteilung

Weiterhin wurde z. B. versucht, den durchschnittlichen Verbrauch der Bettenstationen durch Vergleich mit den Musterräumen über die Bettenanzahl (276, einschließlich 10 Betten für die Intensivstation) zu ermitteln und zu überprüfen. Der gemessene elektrische Energieverbrauch für die gesamte Bettenstation beträgt für einen Monat (hier Mai 2020) 29.799 kWh/Monat bzw. 108 kWh/Bett und Monat. Bei den 2 Musterräumen mit je 2 Betten beträgt der elektrische Energieverbrauch 12,5 kWh/Bett und Monat*. Es zeigte sich eine sehr hohe Differenz (ca. Faktor 10) zwischen den Werten. (Unter der Annahme der Repräsentativität der Musterräume kann man mit 12,5 kWh/Bett und Monat auf 276 Betten hochrechnen (3.450 kWh/Monat). Die Differenz zum gemessenen Gesamtverbrauch 29.799 kWh/Monat ergibt 26.349 kWh/Monat). Bei genauerer Betrachtung der Zählerwerte stellte sich heraus, dass nach einem "Umschaltzeitpunkt" (Peak) am 06.02.20 Leistung (P) und Arbeit (W) nicht mehr zusammenpassen (Abbildung 113). Vor dem Peak ergibt die gemessene Arbeit umgerechnet in gemittelte Leistung: $0,4 \text{ Wh}/15 \text{ min} * 4 = 1,6 \text{ kW}$, was der Größenordnung der direkt gemessenen Leistung von 1 kW entspricht. Nach dem Peak ergibt die gemessene Arbeit umgerechnet in gemittelte Leistung: $0,04 \text{ kWh}/15 \text{ min} * 4 = 0,16 \text{ kW}$, was nicht der Größenordnung der direkt gemessenen Leistung von 1 kW entspricht. Leider konnte diese Problematik noch nicht geklärt werden.

Die ausführlichen Analysen befinden sich in 13_Anhang_Nutzenergie_Verbraucher\Nutzenergie_Verbraucher_elt_Energie\....Bilanzen_ELt_Ca.xlsx

* Der typische Stromverbrauch pro Monat für einen 1-Personen-Haushalt (ohne Warmwasserbereitung) beträgt 125 kWh. [<https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/strom-verbrauch-singlehaushalt/>]

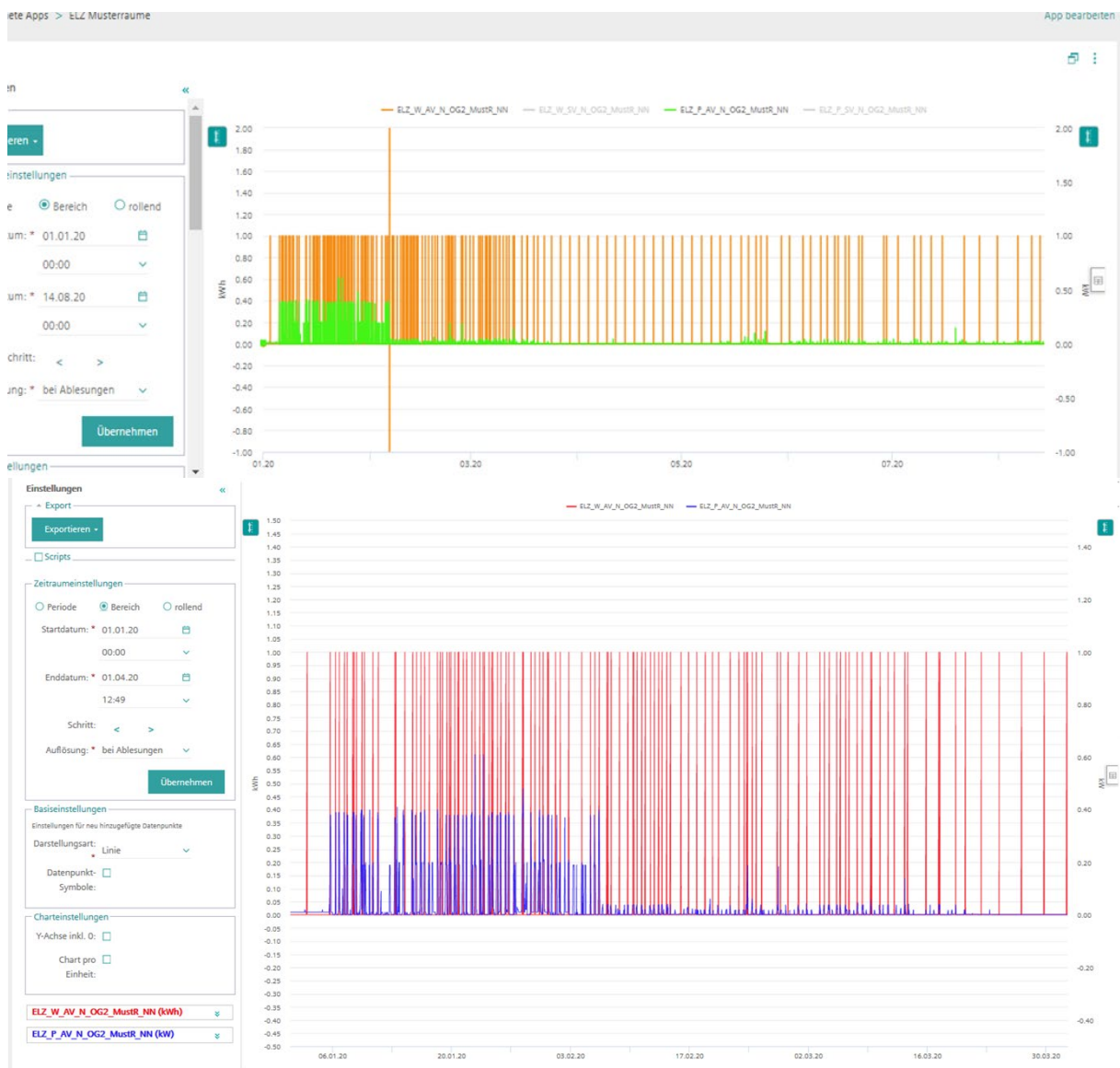


Abbildung 113: Elektrozähler Musterraum in unterschiedlicher Zeitaufösung mit „Umschaltunkt“

4.7.9 Wasserverbraucher

Um den Wasserverbrauch im GHL mit Haupt- und entsprechenden Unterzählern auf Plausibilität zu prüfen, wurden die gemessenen Werte im Navigator an entsprechenden „Bilanzstellen“ (Verteilungen) analysiert. Um eine Übersicht der Zähler zu erhalten, wurde der Plan „Sanitär Schema“ in sechs einzelne, zusammengehörige Bereiche („Stränge“, Planausschnitte) aufgeteilt. Um sinnvolle Bilanz-Berichte im Navigator erstellen zu können, war es außerdem notwendig, den unterschiedlichen Unterzählern (UZ) für das Medium Wasser eine entsprechende Struktur (HZ, UZ, UZ1, UZ2 usw.) zuzuweisen. Die ausführlichen Analysen befinden sich in 13_Anhang_Nutzenergie_Verbraucher\Nutzenergie_Wasserverbraucher.

Im Folgenden wird beispielhaft auf zwei Bereiche näher eingegangen.

Der Planausschnitt mit dem Strangschema „Hauptzähler Wasser“ (Abbildung 114) zeigt die Verteilung des Wassers nach dem Hauptzähler (1) auf zwei Teilbereiche (2) und (3). Daraus ergibt sich die Bilanz:

Datenpunktstruktur als neuer „virtueller Zähler“ (WZ_V_N_UG1_DivVerbr_VIR) (siehe Tabelle 45) eingefügt:

$$(4) = (\text{Rest}) = (1) - ((2) + (3))$$

Entsprechend wurde bei den anderen Planausschnitten vorgegangen und folgende virtuelle Zähler (Kennzeichnung Zählername_VIR) eingefügt:

- „Hauptzähler Wasser“
 - WZ_V_N_UG1_DivVerbr_VIR
- „Kaltwasserverteilung“
 - WZ_V_S_UG1_Wama_NK_MRT_VIR
- „Zähler Wasseraufbereitung“
 - WZ_V_N_UG1_Permeat_VIR
 - WZ_V_N_UG1_Steri_etc_VIR
- „Zähler Verschneidung“
 - WZ_V_N_UG1_VEMisch_VIR
- „Zähler Geschosse (Südflügel)“
 - WZ_V_S_OG2_VIR
 - WZ_V_S_UG1_EG_OG1_VIR
- „Zähler Geschosse (Nordflügel)“
 - WZ_V_N_OG2_VIR
 - WZ_V_N_UG1_EG_OG1_VIR

Tabelle 45: Beispiel Monatswerte Hauptzähler Wasser mit virtuellem Zähler

Datum	WZ_V_KHH_gesamt	WZ_V_N_UG1_KWV	WZ_V_N_UG1_EHA	Nebenrechnung Summe: 2 + 3.	WZ_V_N_UG1_DivVerbr_VIR
	m³	m³	m³	m³	m³
04/2019	1659,47	1109,27	487,12	1596,39	63,08
05/2019	1705,35	1200,92	434,17	1635,09	70,26
06/2019	1988,66	1254,42	666,36	1920,78	67,88
07/2019	2175,62	1372,64	743,44	2116,08	59,54
08/2019	2027,34	1291,72	680,50	1972,22	55,12
09/2019	1701,50	1136,35	511,08	1647,43	54,07
10/2019	1634,24	1137,44	440,23	1577,67	56,57
11/2019	1521,44	1110,52	357,50	1468,02	53,42
12/2019	1318,78	978,47	294,53	1273	45,78
01/2020	1478,24	1100,15	327,92	1428,07	50,17
02/2020	1410,74	1054,13	310,18	1364,31	46,43
03/2020	1240,21	936,11	260,39	1196,5	43,71

Eine Besonderheit zeigt sich im Strangschema „Wasseraufbereitung“ (siehe Abbildung 115). Dort wurde wie im Planausschnitt „Hauptzähler Wasser“ zwischen (1) und (2) eine Differenz der Wassermenge festgestellt. Es befindet sich allerdings zwischen den Zählern (1) und (2) kein sichtbarer gesonderter Abzweig, aus dem zusätzlichen Wasserentnahmen ersichtlich wären, sondern eine Umkehr-Osmose-Anlage mit einem Permeatbehälter.

„Die Produktion des Trinkwassers mittels einer Umkehr-Osmose-Anlage benötigt relativ viel Wasser. Damit sich die Fremdstoffe, die von der Membran herausgefiltert werden, nicht an der äußeren Hülle der Membran ablagern und diese verstopfen, müssen sie durch zusätzliches

Spülwasser entfernt werden. Bei herkömmlichen Osmose-Anlagen fallen dadurch auf einen Liter gefiltertes Trinkwasser ca. vier bis acht Liter Abwasser an. Mithilfe von speziellen Pumpen, sogenannten Permeatpumpen, die ohne Strom auskommen, sondern allein durch den Wasserdruck betrieben werden, kann dieses Verhältnis jedoch erheblich reduziert werden, sodass auf ein Liter gereinigtes Trinkwasser nur noch zwei Liter Abwasser kommen.“⁴²

Unter dieser Annahme wurde die Differenz (6) zwischen (1) und (2) auch einem virtuellen Zähler (WZ_V_N_UG1_Permat_VIR) zugewiesen (siehe Abbildung 115 und Tabelle 46).

Tabelle 46: Beispiel Monatswerte Wasseraufbereitung mit virtuellen Zählern

Datum	WZ_V_N_UG1_VE_2	WZ_V_N_UG1_UOA	WZ_V_N_UG1_ZWRG_Besprueh	WZ_V_S_UG1_ZWRG_Besprueh	WZ_V_S_UG2_ZWRG_Besprueh	Summe aus 3-5	WZ_V_N_UG1_Permat_VIR	WZ_V_N_UG1_Steri_etc_VIR
	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³
04/2019	398,16	245,05	48,02	19,58		67,6	133,11	
05/2019	333,34	212,97	20,83	13,21		36,04	120,37	
06/2019	557,65	380,41	129,84	81,01	535,24	746,09	177,24	-421,84
07/2019	617,69	394,26	139,22	49,35	43,16	231,73	223,43	162,53
08/2019	563,98	352,62	118,61	37,83	31,73	188,17	211,36	164,45
09/2019	395,37	234,51	37,80	15,49	6,49	59,78	160,86	174,73
10/2019	322,57	183,60	4,42	1,14	0,61	6,17	138,97	177,43
11/2019	255,00	143,06	0,00	0,00	0,00	0	108,94	143,06
12/2019	219,91	123,89	0,00	0,00	0,00	0	96,02	123,89
01/2020	248,31	142,45	0,00	0,00	0,00	0	105,86	142,45
02/2020	233,01	132,23	0,30	0,00	0,00	0,3	100,78	131,73
03/2020	196,49	111,40	1,74	0,35	0,00	2,09	85,09	109,31

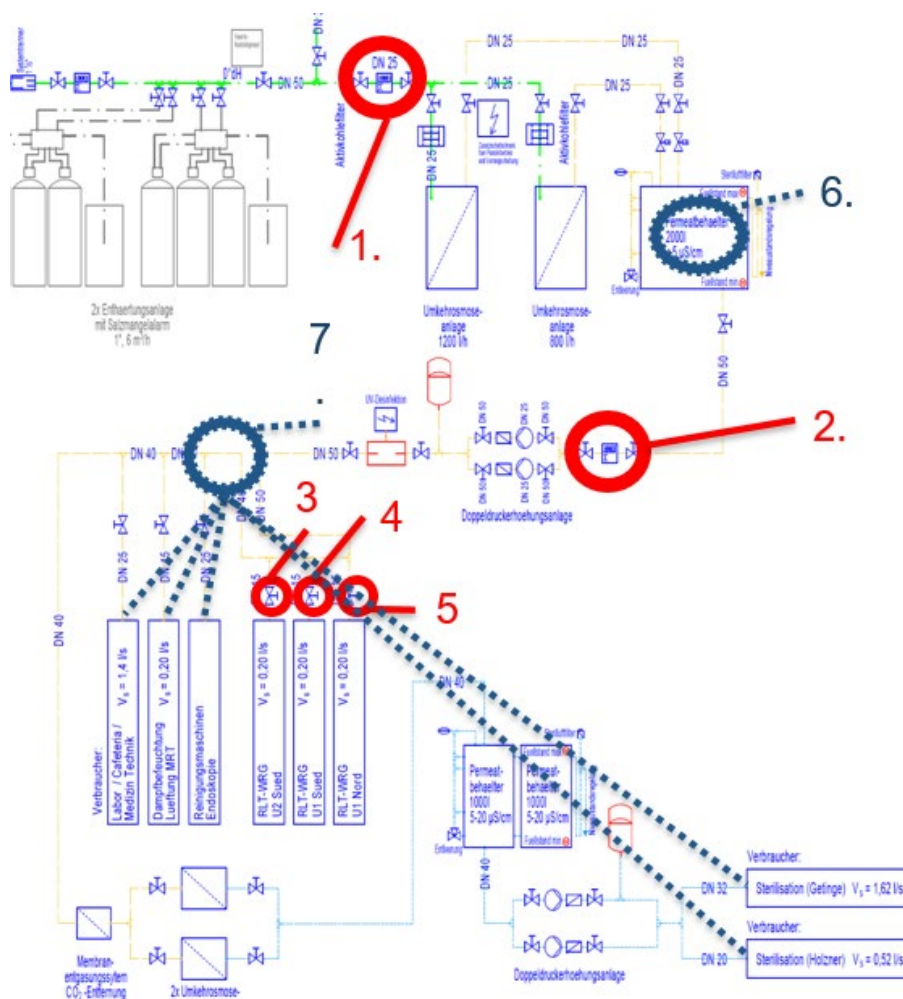


Abbildung 115: Strangschema Wasseraufbereitung

Die Wasserbräuche können mit den entsprechend neu eingeführten virtuellen Zählern insgesamt plausibel nachvollzogen werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in den Plänen der Wasserversorgung (z. B. Plan LIF_K_A_GA_SC_XX_841_00_P*) noch die von den Hochschulen als Monitoringzähler gewünschten Wasserzähler im Warmwasserbereich dargestellt sind (Abb. Abbildung 116), die allerdings (aus hygienischen Gründen) nicht eingebaut wurden. Deshalb ist leider nur eine Kaltwasserbilanz im Nord- und Südflügel (Bettenbereiche) möglich, aber keine Warmwasser-verbrauchsbilanz.

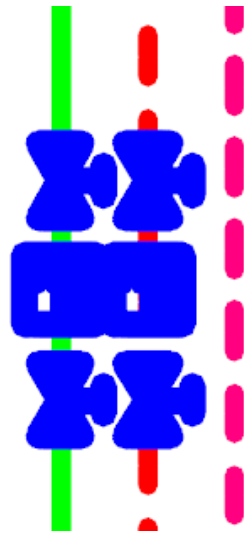


Abbildung 116: Plan mit Kalt und Warmwasserzählern

* Siehe 1_Anhang_Pläne_Raumbuch\Pläne

4.8 Ergebnisse

Im Folgenden werden wichtige Ergebnisse aus dem Energiemonitoring beim GHL vorgestellt. Zur Einordnung der gemessenen Werte wird zuerst kurz grundsätzlich auf die Energieeffizienz von Krankenhäusern eingegangen, wobei im wesentlichen Ergebnisse verschiedener Studien zitiert werden. Es folgt eine erste Einschätzung der Energie- und Wasserverbräuche des GHL über den Vergleich mit Energiekennwerten nach VDI 3807¹⁸, wobei auch ein Vergleich mit dem alten Krankenhausgebäude angestellt wird. Weiterhin erfolgen verschiedene Vergleiche der gemessenen Werte z. B. mit den berechneten Werten des Energieausweises bzw. der DIN V 18599²⁵. Abschließend folgt die Darstellung von ausgewählten Details (z. B. Musterräumen etc.) und die Auswahl der für das Langzeitmonitoring benötigten Zähler.

Da Ende 2020 noch kein Jahr mit allen Messwerten vorlag, konnten viele interessante Auswertungen (z. B. Vorjahresvergleich) leider noch nicht durchgeführt werden*. Hier sei auf die Verlängerung des Forschungsvorhabens hingewiesen, dass eine Auswertung einer längeren Messperiode ermöglichen soll.

4.8.1 Energieeffizienz von Krankenhäusern

Im Folgenden werden einige grundsätzliche Betrachtungen zur Energieeffizienz in Krankenhäusern aufgeteilt nach

- Wärme
- Kälte
- Elektrische Energie
- Wasser

aus der Literatur wiedergegeben, um u. a. typische und atypische Anlagen und Verbraucher zu identifizieren.

4.8.1.1 Wärme im Krankenhaus

Der Gesamtwärmebedarf in Krankenhäusern setzt sich im Wesentlichen aus Raumwärme-, Warmwasser- und Dampfbedarf zusammen, wobei die Übergabe/Nutzung der Wärme z. B. durch Heizkörper, Freiflächenheizungen (Hubschrauberlandeplatz), Luftkonditionierung in Klimaanlage, Absorptionskältemaschinen, Sterilisation, Brauchwarmwasser zum Duschen, etc. erfolgt.

„Bedingt durch die großen Rohrlängen in Krankenhäusern spielen die Verteilverluste bei der Wärmeversorgung eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Insbesondere in unbeheizten Räumen, wie zum Beispiel im Keller, sind die Rohrwärmeverluste besonders hoch. Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ist entscheidend für die Verluste und kann durch die Wahl des Dämmmaterials und die Dämmstärke möglichst gering gehalten werden. Auch eine unterbrechungsfreie Dämmung der Leitungen und Armaturen minimieren die Verteilverluste.“

* Ein Teil der folgenden Auswertungen war erst ab März 2021 möglich, da erst ab diesem Zeitpunkt ein Messdatensatz für ein vollständiges Jahr vorlag.

Eine weitere, oft unterschätzte Optimierungsmöglichkeit bietet die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs der Heizungsanlage. ... So kann eine Energieeinsparung von bis zu 15 % erzielt werden.

Sehr oft ist die Temperatur einzelner Räume des Krankenhauses oder das Temperaturniveau insgesamt zu hoch. Durch Absenken der Raumtemperatur um 1 °C kann etwa 5 bis 8 % Heizenergie eingespart werden. Hierbei dürfen natürlich Sicherheit und Komfort für Patienten und Personal nicht außer Acht gelassen werden.

Im Bereich der Brauchwarmwassererzeugung liegen die Einsparpotenziale hauptsächlich auf Seiten der Verbraucher. Energiesparende Maßnahmen sind hier z. B. der Einbau durchflussbegrenzender oder selbstschließender Armaturen, sowie der Einsatz wassersparender Verbraucher. Allerdings sind diese Maßnahmen in Krankenhäusern aus hygienischen Gründen nur bedingt umzusetzen, um zum Beispiel eine Legionellenbildung zu vermeiden.

Bei einigen Anlagen kann es außerdem von Vorteil sein, eine Dezentralisierung des Systems vorzunehmen. So können z. B. Verbraucher, die nur einen geringen Anteil am gesamten Warmwasserbedarf haben und weit vom Wärmeerzeuger entfernt liegen, durch einen Durchlauferhitzer versorgt werden, was eine Verkürzung des Rohrnetzes und somit eine Verringerung der Verteilungsverluste und Hilfsenergien darstellen würde. In vielen Krankenhäusern bestehen auch heute noch Dampfkesselanlagen zur Erzeugung von Hochdruck- oder Niederdruckdampf. In vielen Fällen sind, bedingt durch Auslagerung einzelner Bereiche wie beispielsweise Wäschereien, die entsprechenden Anlagen überdimensioniert. Die erzeugten Druckstufen resultieren oft aus Erfordernissen, die inzwischen überholt sind.

Mit dem Einbau kostengünstiger Kondensatmengenähler lässt sich herausarbeiten, wie viel Dampf auf welchem Druckniveau tatsächlich benötigt wird. Gegebenenfalls können dann Teile des Netzes stillgelegt und die Kesselanlage auf ein niedrigeres Druckniveau eingestellt werden.

Ähnlich wie bei der Brauchwarmwasserverteilung kann es auch bei der Dampferzeugung von Vorteil sein, wenn ein Teil des Netzes, zum Beispiel die Versorgung der Sterilisation, dezentralisiert und auf Schnelldampferzeuger zurückgegriffen wird.⁴⁰

Weitere Wärmeverbraucher sind u. a. Hubschrauberlandeplätze auf Kliniken mit wasserführenden Freiflächenheizungen. „Aufgabe einer Freiflächenheizung ist, bei Gefahr von Glätte eine gleichmäßige, knapp über dem Gefrierpunkt liegende Oberflächentemperatur zu erzielen und diese zu erhalten. Glätte durch Reif oder gefrierende Niederschläge tritt bei einer Außentemperatur unter -8 °C praktisch nicht mehr auf und unterhalb einer Außentemperatur von -12 °C findet in unseren Breiten nahezu kein Schneefall mehr statt. Dies bedeutet für eine Freiflächenheizung, dass eine Auslegung für eine Außentemperatur unterhalb von -12 °C in der Regel nicht erforderlich ist. Eine Oberflächentemperatur von unter 0 °C ist unkritisch, sofern die Oberfläche trocken ist. So ist in den überwiegenden Anwendungsfällen die Auslegung in einem Bereich von 150 W/m² bis 200 W/m² ausreichend.“

Die Berücksichtigung einer zusätzlichen Leistung für das Schmelzen von Schnee hängt vom Anwendungsfall ab. Das Schmelzen von Schnee ist energieintensiv. Um beispielsweise 1 cm frisch gefallenen Schnee innerhalb einer Stunde zu schmelzen, wird eine Leistung von rund

100 W/m² benötigt. Während für übliche Wege und Zufahrten eine langsame Schneeschmelze akzeptabel ist, ist bei Rettungswegen und Hubschrauberlandeplätze auf Kliniken gefordert, fallenden Schnee möglichst sofort zu schmelzen. Für derartige Anwendungen kann die Leistung bis 300 W/m² betragen und bei exponierten Flächen übersteigen.“⁴³

In der VDI 3807-2-2014¹⁸ und der VDI 3807-5-2014 (siehe Tabelle 47 und Tabelle 48) werden typische und untypische Wärmeanwendungen bzw. Randbedingungen für Krankenhäuser genannt*, von denen die typischen (= x) i. d. R. in entsprechende Kennwerte der VDI 3807-2-2014 eingehen:

Tabelle 47: Typische Wärmeanwendungen Krankenhaus nach VDI 3807-2-2014

Anhang F Matrix typischer Wärmeanwendungen nach Gebäudearten

Betrachtet werden nur Endenergieverbräuche, die üblicherweise für Heizzwecke eingesetzt werden und dadurch in die Kennwerte Wasser eingehen.

x typische Nutzung einer Gebäudeart o Wärmeanwendung möglich, aber untypisch									
BWZ	Gebäudegruppe	Heizen	Warmwasserbereitung zentral	Warmwasserbereitung dezentral	Kühlen	Wäschewaschen	Kochen	Sterilisation	Labor
120000	Gerichtsgebäude	x		x	o		o		
130000	Verwaltungsgebäude	x		x	o		o		
200000	Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung	x		x	o				o
320000	Krankenhäuser (Bettenzahl)	x	x	x	o	o	o	o	o

Tabelle 48: Typische Randbedingungen nach VDI 3807-5-2014

Bauwerkszuordnungskatalog – BWZ	Gebäudegruppe	Heizen	Warmwasserbereitung zentral	Warmwasserbereitung dezentral	Kühlen	Einsatz von KWK	Einsatz von Solarthermie	Brennstoffdirektverbrauch	Wäsche Waschen	Zentralküchen	Sterilisation
120000	Gerichtsgebäude	x		x	o					o	
130000	Verwaltungsgebäude	x		x	o					o	
200000	Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung	x		x	o			o			
320000	Krankenhäuser (Bettenzahl)	x	x	x	o	x		o	o	x	o

* leider für Kochen bzw. Zentralküchen nicht konsistent angegeben

In der VDI 3807-5-2014 (siehe Tabelle 49) finden sich leider keine typischen Teilkennwerte für Krankenhäuser, die für einen Vergleich mit den gemessenen Werten des GHK herangezogen werden könnten:

Tabelle 49: Typische Teilkennwerte nach VDI 3807-5-2014

Bauwerkszuordnungskatalog – BWZ	Gebäudegruppe	Modalwert	Richtwert		Brennstoffdirektnutzung	Brennstoffeinsatz für Koppelprodukte	Erzeugerverlust	Ertrag aus Erd- oder Solarwärme		Nutzwärme Heizung (mit Netzverlust im Gebäude)	Nutzwärme Trinkwarmwasser (mit Netzverlust im Gebäude)	Nutzwärme für Prozesse	Erläuterung der Prozesse
120000	Gerichtsgebäude	89	63				9			80			
130000	Verwaltungsgebäude	79	55				8			71			
200000	Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung	87	54		0		9			78			
320000	Krankenhäuser (Bettzahl)	–			–	–	–			–	–	–	Sterilisation, Zentralküche, Wäscherei

4.8.1.2 Kälte im Krankenhaus

Eine aktive Kälteversorgung ist auch unter deutschen Klimabedingungen in vielen Bereichen eines Krankenhauses, wie z.B. in Operationssälen und Intensivstationen, zunehmend aber auch in Patientenzimmern oder Verwaltungsräumen erforderlich, wodurch der Energiebedarf für Kälte und Klimatisierung kontinuierlich ansteigt.^{44, 40}

Kälteverbraucher sind also überwiegend RLT-Anlagen und gegebenenfalls Kühldecken sowie medizinische Geräte wie MRT (Magnetresonanztomografie, Kernspintomografie) und CT (Computertomografie).⁴⁴

Die Kälteerzeugung erfolgt im Krankenhaus häufig über mehrere dezentrale (verbraucher-nahe) Kälteerzeugungsanlagen und in Einzelfällen über eine zentrale Kälteversorgung und „Kälteinseln“ (Kältenetze).

Die Kälteerzeugung kann z. B. durch Kompressionskältemaschinen (KKM) oder Absorptionskältemaschinen (AKM) erfolgen.

„KKM arbeiten mit einem mechanischen Verdichter und einem Drosselorgan. Diese erzeugen unterschiedliche Druckstufen, sodass das Kältemittel bei niedrigen Temperaturen verdampfen, ihrer Umgebung Wärme entziehen und anschließend bei einer höheren Temperatur kondensieren und die zuvor aufgenommene Wärme wieder in einem Rückkühler abgeben kann. Bei der AKM wird das Kältemittel in einem Lösemittelkreislauf vom niedrigen auf ein hohes

Temperaturniveau gehoben und durch Wärmezufuhr wieder für den Kälteprozess freigesetzt.“⁴⁰

Auch die Nutzung der freien Kühlung oder von Erdsonden ist zur Kälteerzeugung möglich. Während bei konventionellen Kühlsystemen immer die gesamte Maschine läuft, ersetzt bei der freien Kühlung der Rückkühler zeitweise die Kältemaschine, sodass dann ohne Kältemaschine gekühlt wird. Typischerweise kann auf freie Kühlung umgeschaltet werden, wenn die Umgebungstemperatur ca. 2K niedriger ist als die Rücklauftemperatur im Kältekreis (Wasser-Glykol-Kreisläufe mit direkter Kühlung).³⁶

Letztlich ist für jedes Krankenhaus ein individuelles Kältekonzept erforderlich.⁴⁴

Insofern liegen leider keine typische Verbrauchskennwerte für Kälteenergie in Krankenhäusern vor, mit denen die vorhandenen GHL-Werte verglichen werden könnten bzw. ist der Kälteenergieverbrauch oft indirekt in der elektrischen Energie enthalten, da Kompressionskältemaschinen oft elektrisch betrieben werden oder in der Wärmeenergie bei Absorptionskältemaschinen.

4.8.1.3 Elektrische Energie im Krankenhaus

Bei der Elektroversorgung von Krankenhäusern ist Folgendes zu beachten: Die elektrotechnische Versorgung eines Krankenhauses stellt besondere Anforderungen an den Aufbau der Hauptversorgungssysteme. Um bei einem Stromausfall die elektrische Versorgung sicherzustellen, benötigt man zwei getrennte Versorgungssysteme, die trotz ihrer Trennung „verbunden“ sein müssen. Das allgemeine Versorgungssystem (AV) wird aus dem Mittelspannungsnetz des Verteilnetzbetreibers (VNB) versorgt. Für das Sicherheitsversorgungssystem (SV) steht ein (oder mehrere) „Notstrom-Aggregat“ in Bereitschaft. Dieses Aggregat übernimmt die Versorgung des SV-Systems beim Ausfall des öffentlichen Mittelspannungsnetzes.⁴⁵

„Der Anteil des Strombedarfs am gesamten Energiebedarf eines Krankenhauses liegt im Durchschnitt bei nur etwa 20 bis 30 %. Aufgrund des höheren spezifischen Preises beläuft sich der Anteil an den Energiekosten hingegen auf etwa die Hälfte.“⁴⁶

„Neben medizinisch-technischen Geräten sowie EDV- und Kommunikationsanlagen ist insbesondere der Eigenbedarf technischer Versorgungsanlagen wie Gebläse, Lüfter, Pumpen und Kompressoren ein wichtiger Verbraucher von Strom. Einen nicht unwesentlichen Beitrag an den Energiekosten für Strom hat auch die Beleuchtung. Weitere Stromverbraucher sind Aufzüge, Küchen, Wäschereien sowie Desinfektion und Sterilisation.“⁵¹

Ein Beispiel für einen mittleren täglichen Lastgang des Stromverbrauchs in einem Krankenhaus ist in Abbildung 117 dargestellt:

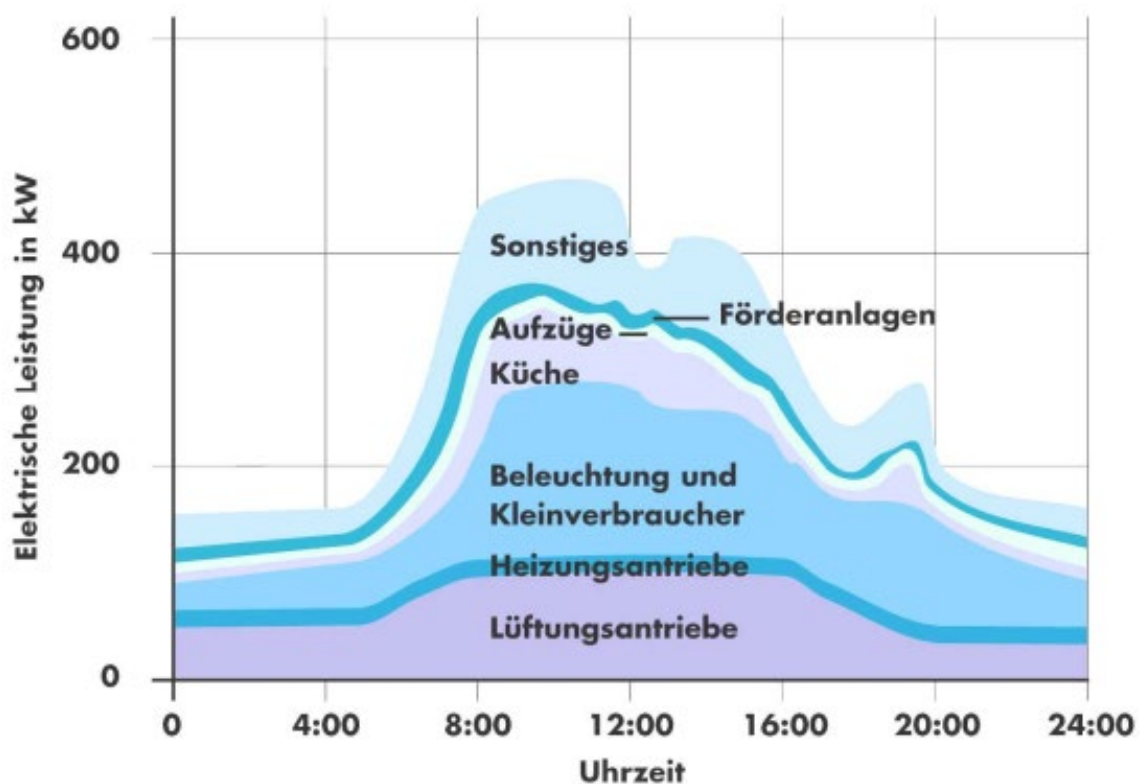


Abbildung 117: mittlerer täglicher Lastgang für elektrische Energie in einem Krankenhaus (Energieagentur NRW⁵³)

4.8.1.4 Wasser im Krankenhaus

Für den Wasserverbrauch in Krankenhäusern findet man in der Literatur verschiedene Angaben, von denen einige hier kurz zitiert werden.

„Der Wasserverbrauch in Krankenhäusern stellt einen wesentlichen Kostenfaktor dar. Ein 500-Betten Krankenhaus verbraucht pro Bett zwischen 300 und 500 Liter Wasser täglich. Der Wasserverbrauch pro Bett ist damit zwei- bis viermal so hoch wie für eine Privatperson.

Eine wichtige Aufgabe bei der Nutzung von Wasser für sanitäre Zwecke im Krankenhaus ist die Bekämpfung von Legionellen durch technische Maßnahmen im Wasserleitungsnetz von Krankenhäusern.

Wasser wird im Krankenhaus nicht nur zum Waschen und Duschen benutzt. Es wird auch für Labore, zur Dampfsterilisation sowie als Prozess- und Kühlwasser eingesetzt. Für die Nutzung als Heiz- und Prozesswasser sind technische und chemische Aufbereitungsverfahren nötig, um die Haltbarkeit von Heizkesseln und Leitungsrohren zu verlängern. In den letzten Jahren sind aufgrund des Kostendrucks vielfältige Maßnahmen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs in Krankenhäusern umgesetzt worden. Die Nutzung von Regenwasser als Kühl- und Prozesswasser sowie zur Gartenbewässerung stellt noch ein von Krankenhäusern wenig genutztes Potenzial dar.“ ⁴⁷

An anderer Stelle steht: „Der Wasserverbrauch in deutschen Krankenhäusern weist eine große Spannweite auf und variiert laut einer 2011 veröffentlichten Literaturstudie, je nach Größe und Ausstattung des Hauses, zwischen 130 und 1200 Litern pro Bett und Tag, wobei kein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahl der Betten und dem Wasserverbrauch ausgemacht werden kann. Im Durchschnitt kann von einem Mittelwert im Bereich 300 – 600 Liter pro Bett und Tag, bzw. 300 – 1000 Liter pro Patient und Tag ausgegangen werden. Damit liegt der durchschnittliche tägliche Wasserverbrauch pro Person in Krankenhäusern mehr als dreimal so hoch wie der in Wohngebäuden.“⁴⁸

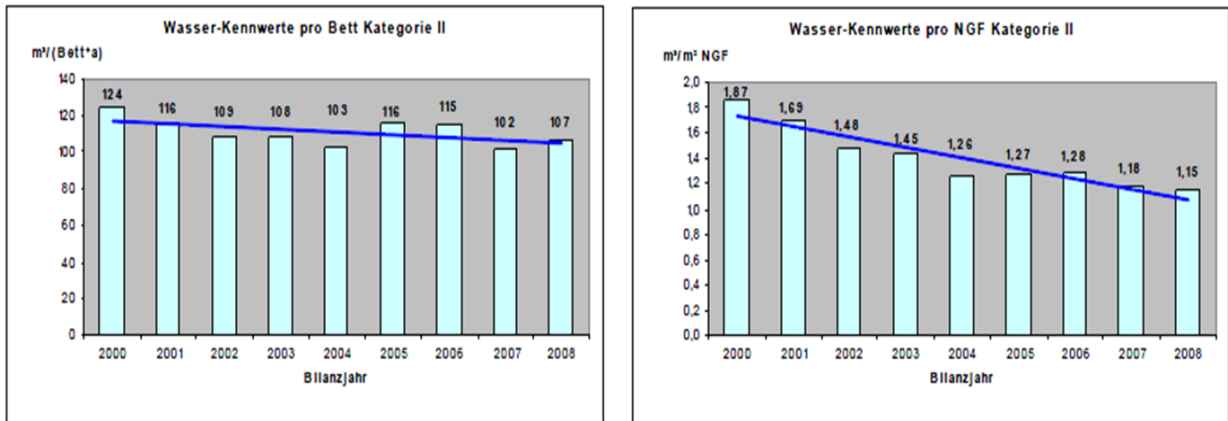


Abbildung 118: Typische Verbrauchskennwerte für Wasser in Krankenhäusern⁵³

Im Laufe der Jahre verringerten sich die Wasser-Kennwerte aufgrund verbesserter und effizienterer Techniken deutlich. Die Werte in $\text{m}^3/\text{Bett} \cdot \text{a}$ bzw. $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ konnten beispielsweise im Zeitraum 2000 bis 2008 deutlich verringert werden (siehe Abbildung 118).

In der VDI 3807-2-2014¹⁸ (siehe Tabelle 50) werden typische (übliche = x) und untypische (= o) Wasseranwendungen für Krankenhäuser genannt, von denen die typischen i. d. R. in entsprechende Kennwerte eingehen:

Tabelle 50: typische Wasseranwendungen Krankenhaus nach VDI 3807-2-2014¹⁸**Anhang G Matrix typischer Wasseranwendungen nach Gebäudearten**

Betrachtet werden nur Wasserverbräuche, die üblicherweise eingesetzt werden und dadurch in die Kennwerte Wärme eingehen.

BWZ	Gebäudegruppe																		
		Kaltwasser	Kaltwasser	Warmwasser	Warmwasser	Kaltwasser	Kaltwasser	Warmwasser	Kaltwasser	Kaltwasser	Kaltwasser	Warmwasser	Kaltwasser	Kaltwasser	Warmwasser	Kaltwasser	Kaltwasser	Kaltwasser	
		Handwaschbecken	Handwaschbecken Schule	Baden	Duschen	Wäsche	Geschirrspülen	Reinigung	Toilette	Urinale	Gartenbewässerung	Essen/Trinken	Kühlung	Luftbefeuchtung	Tierfütterung	Beckenwassernachspeisung	Sondernitzungen		
120000	Gerichtsgebäude	x					o	x	x	x	o	o	o	o					
130000	Verwaltungsgebäude	x					o	x	x	x	o	o	o	o					
200000	Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung	x					o	x	x	x	o	o	o	o					
320000	Krankenhäuser (Bettenzahl) ^{a)}	x		x	x	x	x	x	x	x	o	x	o	o					

Grundsätzlich hängt der Wasserverbrauch in Krankenhäusern natürlich von der Art und Ausstattung der Krankenhausstationen und deren Spezialeinrichtungen sowie den technischen Einrichtungen ab. In der VDI 3807-3-2015¹⁸ finden sich entsprechende Beispiele für möglichen Wasserverbrauch und einzelne Verbrauchskennwerte: „

- Speisezubereitung: ca. 0,8 ℓ je zubereitete Portion
- Verdunstung beim Duschen und Baden pro Person: 0,5 ℓ
- offene Kühltürme, gemessen: ca. 10 % der Zusp eisung
- Zusp eisung von aufbereitetem Wasser bei der Dampferzeugung
- Reinigung von Fußböden mit 8 ℓ je 100 m² Reinigungsfläche
- Verluste von Leckagen von Rohrleitungen
- Verdunstung in der Wäscherei
- Verdunstung bei der Befeuchtung von raumluf ttechnischen Anlagen
- Bewässerung von Außenanlagen
- Verdunstung bei Brunnen und Teichen

Der Wasserverbrauchskennwert wird am besten auf die Anzahl der Patienten und des Personals bezogen (Liter pro Person und Tag). Die Anzahl der Patienten ergibt sich aus der Anzahl der Krankenhausbetten und der mittleren Bettenbelegung.“ Einen Anhaltspunkt für einen beispielhaften Wasserverbrauch eines Krankenhauses ist in Tabelle 51 dargestellt.

Tabelle 51: Beispielhafte Aufteilung des Wasserverbrauchs eines Krankenhauses mit 400 Betten nach VDI 3807-3-2015¹⁸

Ort	Verbrauch in %
Bettenhaus	56,0
Behandlung	22,7
Enthärtung	22,7
Wäscherei	8,7
Physikalische Therapie	7,3
Grünflächen	3,1
Schwesternwohnheim	1,0
Desinfektion	0,8
Patientencafé	0,1
Sonstiges	0,3
Gesamtwasserverbrauch	100,0

Weitere Studien mit Angaben zum Wasser- und Energieverbrauch in Krankenhäusern finden sich z. B. bei ⁴⁹oder ⁵⁰.

4.8.2 Vergleich mit empirischen Kennwerten

Empirische Vergleichswerte (Kennwerte, Mittelwerte, Richtwerte*, ...) für den Strom-, Wärme- und Wasserbrauch von Krankenhäusern findet man u. a. in der VDI 3807¹⁸ (Tabelle 52) oder an verschiedenen Stellen in der Literatur (z. B. ^{51, 52}), die dann oft nicht auf m² Bruttogrundfläche (BGF), sondern auf die Bettenanzahl bezogen sind. In Tabelle 53 sind typische Verbrauchskennwerte für Wärme, Strom und Wasser in Krankenhäusern bezogen auf die Bettenanzahl bzw. Nettogrundfläche bzw. Fallzahl (Studie „Energetisches Benchmarking für Krankenhäuser“ ⁵³, Auswertung von 150 Krankenhäusern aus dem Jahr 2008) dargestellt.

Tabelle 52: Verbrauchskennwerte Krankenhaus nach VDI 3807-2-2014¹⁸

VDI 3807-2-2014	Heizenergie (Wärme)		Strom (ohne Heizstrom)		Wasser	
Gebäudegruppe	Mittelwert	Richtwert	Mittelwert	Richtwert	Mittelwert	Richtwert
	kWh/ (Planbett·a)	kWh/ (Planbett·a)	kWh/ (Planbett·a)	kWh/ (Planbett·a)	l/ (Planbett·a)	l/ (Planbett·a)
Krankenhäuser						
0 bis 250 Betten (Grundversorgung)	24.024	14.147	4.425	2.695	105.819	75.360
251 bis 450 Betten (Regelversorgung)	20.129	14.252	5.529	3.775	131.607	97.170
451 bis 650 Betten (Zentralversorgung)	26.044	16.907	6.352	3.952	157.035	118.489
651 bis 1000 Betten (Maximalversorgung)	25.572	19.096	6.502	2.998	135.167	81.729
über 1000 Betten	37.012	22.406	13.605	3.928	260.710	143.452
allgemein	22.400	15.600	5.000	3.300	120.300	87.700
Richtwert – nach VDI 3807 definiert als unterer Quartilsmittelwert (25%-Quartil)						
(arithmetisches Mittel der unteren 25% der aufsteigend sortierten Kennwerte)						

* Der Richtwert ist z. B. in der VDI 3807 als unterer Quartilsmittelwert definiert. Der untere Quartilsmittelwert ergibt sich als arithmetisches Mittel der unteren 25 % der aufsteigend sortierten Kennwerte.

Tabelle 53: Verbrauchskennwerte Krankenhaus⁵³ (Wärme- und Stromkennwert in kWh/(Bett*a), Wasserkennwert in m³/(Bett*a) bzw. Nettogrundfläche (NGF) oder Fallzahl (Fz)

Kategorie	Wärme-Kennwerte			Strom-Kennwerte			Wasser-Kennwerte		
	pro Bett	pro NGF	pro Fz	pro Bett	pro NGF	pro Fz	pro Bett	pro NGF	pro Fz
I	21.750	231	1.092	9.897	106	376	117	1,30	5,8
II	23.044	240	724	11.340	117	352	107	1,15	3,4
III	24.585	250	876	13.129	138	441	121	1,22	4,4
IV	21.514	238	1.081	11.305	127	671	108	1,21	5,9
V	27.887	229	619	15.438	118	331	142	0,88	3,0
I...V	22.932	238	929	11.358	119	411	115	1,22	4,8

- Kategorie I = 0 bis 250 Betten
- Kategorie II = 251 bis 450 Betten
- Kategorie III = 451 bis 650 Betten
- Kategorie IV = 651 bis 1.000 Betten
- Kategorie V = über 1.000 Betten

Kategorie	Wärme-Kennwerte pro Bett		Strom-Kennwerte pro Bett		Wasser-Kennwerte pro Bett	
	Mittelwert	25%-Quartil	Mittelwert	25%-Quartil	Mittelwert	25%-Quartil
I	21.750	19.241	9.897	7.450	117	88,2
II	23.044	17.563	11.340	8.162	107	85,2
III	24.585	17.798	13.129	10.322	121	97,4
IV	21.514	21.812	11.305	8.730	108	73,9
V	27.887	26.843	15.438	11.775	142	77,6
I...V	22.932	18.244	11.358	8.177	115	88,8

Leider sind die Quellen oft schon etwas älter, sodass u.U. neuere Technologien zur Energieerzeugung (z.B. AKM, WP, PV, ...), aber auch z. B. gestiegene Anforderungen/Ausstattungs-niveaus u.U. nicht enthalten sind. Die Kennwerte der Richtlinie VDI 3807-2-2014 werden (gerundet) z. B. auch in den Kriterien für das BUND-Gütesiegel „Energie sparendes Krankenhaus“⁵⁴ verwendet. Sieht man sich die Entwicklung der Kennwerte über die Zeit an, stellt man eine (gewünschte) Verringerung der Verbrauchsmittelwerte bzw. eine Verschärfung der Richtwerte fest. Besonders stark fällt die Reduzierung der Stromkennwerte zwischen der Studie⁵³ und der VDI 3807-2-2014 auf (siehe Tabelle 52 und Tabelle 53).

Ein etwas anderer Weg wird bei Vergleichswerten für den Energieverbrauchsausweis gegangen.⁵⁵ Die dort verwendeten Vergleichswerte berücksichtigen (in Anlehnung an das Berechnungsverfahren nach DIN V 18599²⁵) den Endenergieverbrauch für Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Lüftung und eingebaute Beleuchtung pro Jahr und sind auf Quadratmeter Nettogrundfläche (NGF) bezogen. Hier sind neben der Bezugsfläche NGF Unterschiede bei der Berücksichtigung des Strom- bzw. Wärmeverbrauchs z. B. im Vergleich zur VDI 3807 zu beachten. Bei der VDI 3807 wird i. d. R. der gesamte Stromverbrauch des Gebäudes (auch Aufzüge, ...) oder bei Wärme auch Prozesswärme (z. B. Dampferzeugung) berücksichtigt. Die Wärme für AKMs wird in der VDI 3807 aber, falls es sich bei der AKM um eine untypische Nutzung bei der Gebäudeart handelt, nicht bei Wärme, sondern, zur besseren Vergleichbarkeit mit den gemessenen Werten der Vergleichskrankenhäuser, in einen entsprechenden Verbrauch an elektrischer Energie einer KKM umgerechnet und beim Stromverbrauch berücksichtigt.

Vergleich mit VDI 3807

Im Folgenden sollen gemessene Jahresverbräuche des Ersatzneubaus GHL und des alten Krankenhausgebäudes soweit möglich mit entsprechenden Kennwerten der VDI 3807¹⁸ verglichen werden, um eine Einordnung der gemessenen Verbräuche vornehmen zu können.

Bei der Bildung von Verbrauchs(energie)kennwerten nach VDI 3807¹⁸ sind einige Punkte zu beachten:

- „Unter Energieverbrauch ... wird der Energieeinsatz (Endenergieverbrauch) verstanden, der zur Umwandlung für den jeweiligen Nutzungszweck (z. B. Wärme, Licht, Kraft) ins Gebäude gelangt.“ (VDI3807-1-2013)
- „Als Bezugsgröße wird in der Regel die beheizbare Bruttogrundfläche (BGFE) verwendet. ... Die Verwendung ... anderer Bezugsgrößen (z. B. Bettenzahl, Wohnheimplätze, Personen) erfolgt dort, wo die BGFE nicht verfügbar ist oder die jeweils verwendete Bezugsgröße aussagekräftiger ist.“ (VDI3807-2-2014)
- „Der Verbrauchskennwert für thermische Energie ergibt sich aus dem gesamten Verbrauch an Endenergie (Brennstoff, Wärme, Heizstrom) sowohl für den außentemperaturabhängigen Anteil zur Raumheizung als auch für den außentemperaturunabhängigen Anteil zur Prozesswärmeerzeugung (Trinkwassererwärmung, Küche, Wäscherei etc.) bezogen auf die Summe aller beheizbaren Grundflächen bzw. auf alternative Bezugsgrößen.“ (VDI3807-1-2013)
- „Der Stromverbrauch für Raumheizung und Prozesswärme wird dem thermischen Energieverbrauch ... zugerechnet“ (VDI3807-1-2013)
- „Zur Berücksichtigung außentemperaturbedingter Einflüsse, aber auch bei Abweichen des Messzeitraums von einem Jahr ist zum Herstellen einer Vergleichbarkeit eine Bereinigung durchzuführen.“ (VDI3807-1-2013)
- „Die Heizenergieverbrauchskennwerte wurden über die Gradtagszahl G20 des jeweiligen Standorts auf das langjährige Mittel der G20 von Würzburg (3883 K·d/a) außentemperaturbereinigt. Keine Außentemperaturbereinigung erfolgte bei Krankenhäusern und Bädern wegen des hohen witterungsunabhängigen Heizenergieanteils.“ (VDI3807-2-2014)
- „Für die Ermittlung eines thermischen Verbrauchskennwerts, der mit Referenzkennwerten nach VDI 3807 Blatt 2 vergleichbar ist, müssen Besonderheiten bei Wärmeerzeugung, -verteilung und -verbrauchs berücksichtigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass den Mittelwerten nach VDI 3807 Blatt 2 überwiegend Endenergieverbräuche zugrunde liegen, die ausschließlich der Bereitstellung von thermischer Nutzenergie (Heizung, Prozesswärme) mittels Heizkesseln dienen. Das hat folgende Konsequenzen für die Auswertung:
 - Im thermischen Endenergieverbrauch enthaltene Anteile zur Erzeugung von Koppelprodukten, insbesondere in BHKW erzeugte elektrische Energie, müssen messtechnisch oder rechnerisch abgetrennt werden.
 - Der entsprechende Betrag der genutzten Umweltwärme aus Solarthermie und Wärmepumpen muss als zusätzlicher Endenergieverbrauch additiv berücksichtigt werden.“ (VDI3807-5-2014)

- „Im bereinigten thermischen Endenergieverbrauch sind nur die erzeugte Wärme und ein Teil der technischen Verluste des BHKW zu berücksichtigen. Die Zuordnung der Verlustanteile kann z. B. anteilig zur Strom- und Wärmeerzeugung erfolgen. Entsprechend können hierfür der erzeugte Strom und die anteiligen technischen Verluste der Stromerzeugung von der zugeführten Endenergie abgezogen werden.“ (VDI3807-5-2014)

- „Beim Einsatz besonderer Technologien, z. B. Eigenstromerzeugung mit Blockheizkraftwerken oder Kälteerzeugung mit Absorptionskältemaschinen, weichen die vom Energieversorger bezogenen Endenergien von den Verbräuchen ab, die für die Bildung von Strom- und Heizenergieverbrauchskennwerten zu verwenden sind. Hier sind gegebenenfalls Korrekturen erforderlich, für die Verfahren in den Richtlinien VDI 3807 Blatt 3 bis Blatt 5 beschrieben werden.“ (VDI3807-2-2014)

- „Sondernutzungen

Ist eine Sondernutzung typisch für die Gebäude- und Nutzungsart, zu der auch das untersuchte Objekt gehört, jedoch im realen Gebäude nicht vorhanden oder umgekehrt, sind gemessene und typische Verbrauchswerte nicht vergleichbar. Folgende Besonderheiten sind zu beachten:

- Direktverbrauch von Brennstoff (Kochgas, Laborgas usw.)
- Kälteerzeugung mit Sorptionskältemaschinen
- atypischer Anteil an Prozesswärme im Endenergieverbrauch
 - gegenüber typischer Nutzung zu hoher oder zu geringer Warmwasserverbrauch
 - je nach Gebäudegruppe typische oder atypische Nutzungen sind z. B. Schwimmbäder, Küchen, Wäschereien, Labore, Trocknung

Eine Vergleichbarkeit mit typischen Verbrauchskennwerten nach VDI 3807 Blatt 2 kann hergestellt werden, indem die mit dieser Nutzung verbundenen Teilverbrauchskennwerte als Differenz sichtbar gemacht werden.“ (VDI 3807-5-2014)

4.8.2.1 VDI 3807 für Krankenhaus alt

Für das alte Krankenhausgebäude wurden entsprechende Rechnungen und Zählerablesungen aus den Jahren 2013 – 2016 ausgewertet. Besonders zu beachten war die richtige Zuordnung von End- und Nutzenergie. Der Gasverbrauch für das BHKW wurde inklusive der Verluste entsprechend auf Strom- und Wärmeerzeugung aufgeteilt und die Dampferzeugung beim Kennwert Wärme mitberücksichtigt. Der Anteil der erzeugten Wärme für mitversorgte Wohnungen wurde abgezogen. Laut VDI 3807 erfolgt bei Krankenhäusern keine Außentemperaturbereinigung.

Die Bildung der Kennwerte für das „Krankenhaus alt“ ist in Tabelle 54 dargestellt (siehe auch 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_KKH_alt_2010_2016_Ca.xlsx).

Tabelle 54: Bildung der Kennwerte für das „Krankenhaus alt“

Jahres-Verbrauchskennwerte altes Krankenhaus Lichtetenfels (ohne Klimabereinigung)									
NGF _E beheizbare Nettogrundfläche	m ²	25.658	25.658	25.658	25.658				
BGF _E beheizbare Bruttogrundfläche	m ²	28.923	28.923	28.923	28.923				
Anzahl Planbetten		281	281	281	281				
Wärme									
Jahr		2016	2015	2014	2013	2016	2015	2014	2013
Gasbezug gesamt (für Dampferzeuger, BHKW, Gaskessel)	kWh/a	8.786.573	9.246.731	9.463.852	9.463.852				
Ölbezug gesamt (für Ölkessel)	kWh/a	817.309	333.689	250.451	36.816				
Summe Gas- und Ölbezug (Endenergie)	kWh/a	9.603.882	9.580.420	9.714.303	9.500.668				
Gasverbrauch Hochdruckdampferzeuger (geschätzt) Endenergie	kWh/a	495.870	494.515	494.515	494.515				
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	4.647.783	6.349.971	6.232.300	6.199.945	100%	100%	100%	100%
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.311.740	1.817.790	1.692.550	1.678.982	28,2%	28,6%	27,2%	27,1%
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		36,6%	36,7%	35,2%	35,1%				
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	2.272.080	3.139.550	3.119.190	3.107.340	48,9%	49,4%	50,0%	50,1%
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		63,4%	63,3%	64,8%	64,9%				
Stromkennzahl		0,58	0,58	0,54	0,54				
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	1.063.963	1.392.631	1.420.560	1.413.623	22,9%	21,9%	22,8%	22,8%
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	389.429	510.659	499.688	495.881				
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	674.534	881.972	920.872	917.742				
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.701.169	2.328.449	2.192.238	2.174.863				
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	2.946.614	4.021.522	4.040.062	4.025.082				
Gas- und Ölbezug abzüglich BHKW u. Dampferzeuger (Endenergie)	kWh/a	4.460.228	2.735.934	2.987.489	2.806.207				
Wirkungsgrad Kessel (geschätzt)		0,74	0,74	0,74	0,74				
Wärmeerzeugung Gas-/Ölkessel (Nutzenergie)	kWh/a	3.288.700	2.017.311	2.202.792	2.069.126				
Wärmeerzeugung Gas-/Ölkessel + BHKW für Hg. u. TWW (Nutzenergie)	kWh/a	5.560.780	5.156.861	5.321.982	5.176.466	100%	100%	100%	100%
abzüglich Wärmeverbrauch mitversorgte Wohneinheiten (Nutzenergie)	kWh/a	1.205.550	1.113.408	995.300	1.123.520	21,7%	21,6%	18,7%	21,7%
Wärmeverbrauch Krankenhaus alt Hg. u. TWW (Nutzenergie)	kWh/a	4.355.230	4.043.453	4.326.682	4.052.946	78,3%	78,4%	81,3%	78,3%
Wärmeerzeugung Gas-/Ölkessel + BHKW für Hg. u. TWW (Endenergie)	kWh/a	7.406.842	6.757.456	7.027.550	6.831.289				
abzüglich Wärmeverbrauch mitversorgte Wohneinheiten (Endenergie)	kWh/a	1.605.767	1.458.989	1.314.270	1.482.689				
Wärmeverbrauch Krankenhaus alt Hg. u. TWW (Endenergie)	kWh/a	5.801.075	5.298.466	5.713.280	5.348.600				
davon Anteil Warmwasser (TWW) mit 18% geschätzt (Endenergie)	kWh/a	1.044.194	953.724	1.028.390	962.748				
davon Anteil Heizung (Endenergie)	kWh/a	4.756.882	4.344.742	4.684.890	4.385.852				
Gesamtwärmeverbrauch Krankenhaus alt incl. Hg., TWW, Dampf (Endenergie)	kWh/a	6.296.945	5.792.981	6.207.795	5.843.115				
Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme)	kWh/(Bett*a)	22.409	20.616	22.092	20.794				
(Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme))	kWh/(m ² *a)	218	200	215	202				
Strom									
Jahr		2016	2015	2014	2013				
Strombezug Krankenhaus alt (Abrechnung)	kWh	1.638.626	1.096.789	1.161.691	1.253.272				
Stromerzeugung BHKW	kWh	1.311.740	1.817.790	1.692.550	1.678.982				
Stromverbrauch Krankenhaus alt (Abrechnung + BHKW)	kWh	2.950.366	2.914.579	2.854.241	2.932.254				
Verbrauchskennwert Strom	kWh/(Bett*a)	10.500	10.372	10.157	10.435				
(Verbrauchskennwert Strom)	kWh/(m ² *a)	102	101	99	101				
Wasser									
Jahr		2016	2015	2014	2013				
Wasserverbrauch Krankenhaus alt	m ³	28.241	27.941	28.600	26.196				
Verbrauchskennwert Wasser	l/(Bett*a)	100.502	99.434	101.779	93.224				
(Verbrauchskennwert Wasser)	l/(m ² *a)	976	966	989	906				

Im Vergleich mit den Werten der VDI 3807 (Tabelle 55) zeigt sich, dass der Kennwert Wärme um 6,7 % knapp über dem Mittelwert liegt. Bei Strom wird der Mittelwert um 87,5 % überschritten, während bei Wasser der Richtwert nur um 1,6 % überschritten wird. Da das neue GHL eine ähnliche Nutzung hat, stellt sich im Folgenden die Frage, ob dessen Kennwerte unter den Werten des „Krankenhaus alt“ liegen.

Tabelle 55: Verbrauchskennwerte Krankenhaus alt im Vergleich zu VDI 3807 Mittel- und Richtwerte

			Abweichung
VDI 3807 Richtwert Heizenergie (Wärme) KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	14.252	
VDI 3807 Mittelwert Heizenergie (Wärme) KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	20.129	6,7%
Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme) Krankenhaus alt (Mittelwert 2013-2016)	kWh/(Bett*a)	21.478	
VDI 3807 Richtwert Strom KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	3.775	
VDI 3807 Mittelwert Strom KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	5.529	87,5%
Verbrauchskennwert Strom Krankenhaus alt (Mittelwert 2013-2016)	kWh/(Bett*a)	10.366	
VDI 3807 Richtwert Wasser KKHs 251 bis 450 Betten	l/(Bett*a)	97.170	1,6%
VDI 3807 Mittelwert Wasser KKHs 251 bis 450 Betten	l/(Bett*a)	131.607	-25,0%
Verbrauchskennwert Wasser Krankenhaus alt (Mittelwert 2013-2016)	l/(Bett*a)	98.735	

4.8.2.2 VDI 3807 für GHL

Entsprechend dem vorigen Kapitel wurden auch für den Ersatzneubau GHL Kennwerte nach VDI 3807 gebildet. Hier waren folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Entsprechende Messwerte lagen für ein zusammenhängendes Jahr erst ab März 2020 vor. Deshalb wurde die Periode 01.03.20 - 28.02.21 ausgewertet.
- Die Kennwertbildung für die thermische Energie ist nach VDI 3807 auf Ebene der Endenergie durchzuführen. Die Abrechnung der Hackschnitzel erfolgt aber über die erzeugte Wärmemenge (Nutzenergie). Diese wurde hier mit einem geschätzten Wirkungsgrad von 0,88 in Endenergie umgerechnet. Eine eindeutige Zuordnung der gelieferten Hackschnitzel über Lieferschein bzw. Sensor für die Füllstandhöhe war nicht möglich.
- Der Gasverbrauch für die BHKWs (Endenergie) wurde inklusive der Verluste entsprechend auf Strom- und Wärmeerzeugung aufgeteilt. Mit
 - durch BHKWs verbrauchtes Gasvolumen in Norm m³ (Umrechnung in Endenergie mit Heizwert Gas = 10,205 kWh/m³; siehe Kapitel 4.7.2.1)
 - *GZ_V_EZ_BHKW1*
 - *GZ_V_EZ_BHKW2*
 - durch BHKWs erzeugte elektrische Energie (Strom) (Nutzenergie) (In diesen Zählern ist der nicht messtechnisch erfasste Verbrauch der EZ enthalten; neue Zähler, die rein den von den BHKWs erzeugten Strom messen, stehen erst seit Feb. 2021 zur Verfügung)
 - *ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ*
 - *ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ*
 - durch BHKWs erzeugte Wärme (Nutzenergie)
 - *WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1*
 - *WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2*

werden zuerst die gesamten BHKW-Verluste bestimmt:

- $\text{Verluste} = \text{Endenergie (Gas)} - (\text{erzeugte Wärme} + \text{erzeugte elektrische Energie durch BHKWs})$

Es folgt die prozentuale Aufteilung der Strom- und Wärmeerzeugung:

- $\text{Teil Strom in \%} = \frac{\text{Erzeugter Strom durch BHKWs}}{(\text{Erzeugter Strom durch BHKWs} + \text{erzeugte Wärme durch BHKWs})}$
- $\text{Teil Wärme in \%} = \frac{\text{Erzeugte Wärme durch BHKWs}}{(\text{Erzeugter Strom durch BHKWs} + \text{erzeugte Wärme durch BHKWs})}$

Nach diesen Anteilen erfolgt die Aufteilung der Strom- und Wärmeverluste:

- $\text{Verlustanteile Strom} = \text{Verluste} * \text{Teil Strom in \%}$
- $\text{Verlustanteile Wärme} = \text{Verluste} * \text{Teil Wärme in \%}$

Somit ergibt sich die

- $\text{Endenergie für von BHKWs erzeugter Wärme incl. Verluste} = \text{erzeugte Wärme durch BHKWs} + \text{Verlustanteile Wärme}$

und die

- $\text{Endenergie für von BHKWs erzeugtem Strom incl. Verluste} = \text{erzeugte elektrische Energie durch BHKW} + \text{Verlustanteile Strom}$

(siehe auch 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_GHL_Ca.xlsx, Blatt ELZ 1301 u. ELZ 1302)

- Aus der Energiezentrale (EZ) wird neben dem Ersatzneubau GHL (KKH) auch das „Krankenhaus Bestand (KHB)“, die AKM und die Energiezentrale (EZ) selbst versorgt. Für die entsprechenden Verbraucher gibt es Verbrauchsmesswerte (Nutzenergie). Zur weiteren Berücksichtigung wurden hier die prozentualen Anteile der verbrauchten Nutzenergien gebildet (KKH 53,1 %, KHB 19,5 %, AKM 26,2 %, EZ 1,3 %). Für den Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme) GHL wurden die entsprechenden Anteile der Endenergie KKH und EZ berücksichtigt.
- Die für die Kälteerzeugung mittels AKM verbrauchte Wärme wird für den Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme) nicht berücksichtigt, da es sich nach VDI 3807 (bei den dort ausgewerteten Krankenhäusern) um eine mögliche, aber untypische Wärmeanwendung handelt. Stattdessen wird die mit der AKM erzeugte Kälte in einen entsprechenden theoretischen Stromverbrauch einer KKM umgerechnet, der für die Erzeugung der Kälte notwendig gewesen wäre (Leistungszahl KKM geschätzt 4,0). Dieser Stromverbrauch wird beim Verbrauchskennwert Strom berücksichtigt.
- Beim Verbrauchskennwert Strom wurden der Strombezug vom Versorger, die Eigenenergieerzeugung (BHKWs, PV, NEA) und der theoretische Stromverbrauch für die Kälte der AKM berücksichtigt.
- Im betrachteten Zeitraum lief die elektrisch betriebene Wärmepumpe nicht und hatte noch keinen Zähler. Sie wurde deshalb nicht berücksichtigt.
- Da laut VDI 3807 bei Krankenhäusern keine Außentemperaturbereinigung bei dem außentemperaturabhängigen Anteil der Wärme (Heizung) erfolgt, wurde auf eine getrennte Ausweisung der Wärme für TWW verzichtet.

Die Bildung der Kennwerte für das GHL ist in Tabelle 56 und Tabelle 57 dargestellt (siehe auch 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_GHL_Ca.xlsx, Blatt „GHL VDI 3807 EKW 3_20-3_21“).

Tabelle 56: Bildung der Jahres-Verbrauchskennwerte Strom und Wasser für das GHL

Strom			
Strombezug/-erzeugung (Endenergie)			
Strombezug Trafo1	kWh/a	781.108	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1
Strombezug Trafo2	kWh/a	720.991	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2
Stromerzeugung PV-Anlage	kWh/a	112.797	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_PV_Erzeugung
Stromerzeugung BHKW1	kWh/a	881.065	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ
Stromerzeugung BHKW2	kWh/a	880.535	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ
Stromerzeugung Netzersatzanlage (NEA)	kWh/a	3.032	ELZ_W_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA
Summe Strombezug/-erzeugung (Endenergie)	kWh/a	3.379.528	
Berücksichtigung Kälte von AKM bei Strom			
Kälteerzeugung AKM (Nutzenergie)	kWh/a	816.810	KMZ_Q_EZ_AKM
Leistungszahl KKM (geschätzt)		4,0	
theoretisch bei Erzeugung durch KKM benötigter Strom (Endenergie)	kWh/a	204.203	
Summe Strombezug/-erzeugung incl. AKM (Endenergie)	kWh/a	3.583.731	
Verbrauchskennwert Strom	kWh/(Bett*a)	12985	
(Verbrauchskennwert Strom)	kWh/(m²*a)	126	
Wasser			
Wasserverbrauch GHL	m³	17.008,84	WZ_V_KHH_gesamt
Verbrauchskennwert Wasser	l/(Bett*a)	61.626	
(Verbrauchskennwert Wasser)	l/(m²*a)	597	

Tabelle 57: Bildung der Jahres-Verbrauchskennwerte Heizenergie (Wärme) für das GHL

Jahres-Verbrauchskennwerte Neubau Green Hospital Lichtenfels (GHL) (ohne Klimabereinigung)						
NGF _E beheizbare Nettogrundfläche	m²	24.502	aus Energieausweis (wegen Vergleichbarkeit)			
BGF _E beheizbare Bruttogrundfläche	m²	28.491	mit Flächenkorrekturfaktor NGF _E /BGF _E = 0,86 berechnet			
Anzahl Planbetten		276				
betrachteter Zeitraum Jahr	1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:44	(erst ab 1.3.20 alle benötigten Messwerte vorhanden)				
Wärme						
Biomasse (Hackschnitzel)						
Biomassekessel (BioMK)						
Wärmeerzeugung BioMK (Nutzenergie)	kWh/a	1.274.450	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK			
eta (geschätzt)		0,88				
BioMK (Endenergie berechnet)	kWh/a	1.448.239				
Gas						
Heizwert Gas =	kWh/m³	10,205				
Gaskessel 1600kW						
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW	Nm³/a	2.029	GZ_V_EZ_GasK_1600kW			
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW (Endenergie)	kWh/a	20.708				
Wärmeerzeugung Gaskessel 1600kW (Nutzenergie)	kWh/a	17.290	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW			
Wirkungsgrad		0,83				
Gaskessel 560kW						
Gasverbrauch Gaskessel 560kW	Nm³/a	96.714	GZ_V_EZ_GasK_560kW			
Gasverbrauch Gaskessel 560kW (Endenergie)	kWh/a	986.924				
Wärmeerzeugung Gaskessel 560kW (Nutzenergie)	kWh/a	904.150	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW			
Wirkungsgrad		0,92				
BHKW 1						
Gasverbrauch BHKW	m³/a	266.492			GZ_V_EZ_BHKW1	
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	2.719.429	100%			
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	881.065	32,4%		ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		36,7%				
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.517.188	55,8%		WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		63,3%				
Stromkennzahl		0,58				
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	321.176	11,8%			
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	117.993	(mit Jahreswerten gemittelt)			
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	203.183	(mit Jahreswerten gemittelt)			
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	999.058				
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.720.371				
BHKW 2						
Gasverbrauch BHKW	m³/a	267.089			GZ_V_EZ_BHKW2	
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	2.725.516	100%			
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	880.535	32,3%		ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		36,9%				
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.505.074	55,2%		WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		63,1%				
Stromkennzahl		0,59				
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	339.907	12,5%			
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	125.461	(mit Jahreswerten gemittelt)			
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	214.446	(mit Jahreswerten gemittelt)			
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.005.996				
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.719.520				
Wärmeerzeugung Gaskessel + BHKWs (Endenergie)	kWh/a	4.447.523				
Biomasse + Gas						
Wärmeerzeugung Biomasse u. Gas (Endenergie)	kWh/a	5.895.762				
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):			Anteile: gesamt	GHL		
Krankenhaus Bestand (KHB)	kWh/a	1.017.550	19,5%		WMZ_Q_EZ_HKV_KHB	
Ersatzneubau GHL (KKH)	kWh/a	2.772.320	53,1%	53,1%	WMZ_Q_EZ_HKV_KHH	
Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.366.810	26,2%		WMZ_Q_EZ_HKV_AKM_HeizW	
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	kWh/a	68.305	1,3%	1,3%	WMZ_Q_EZ_HKV_statHK_EZ	
Summe Nutzenergie	kWh/a	5.224.985	100,0%	54,4%		
Aufteilung Wärmeverbrauch gerechnet (Endenergie):						
Krankenhaus Bestand (KHB)	kWh/a	1.148.182				
Ersatzneubau GHL (KKH)	kWh/a	3.128.227				
Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.542.279				
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	kWh/a	77.074				
Summe Endenergie	kWh/a	5.895.762				
Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ) (Endenergie)	kWh/a	3.205.301	(nur Berücksichtigung von KKH und EZ!)			
Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme)	kWh/(Bett*a)	11.613				
(Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme))	kWh/m²*a	112,50				
(Anmerkung: keine Berücksichtigung der Wärmepumpe, die in der betrachteten Zeit nicht lief)						

Im Vergleich mit den Werten der VDI 3807 (Tabelle 58) zeigt sich, dass der Kennwert Wärme um 18,5 % unter dem Richtwert liegt und 46 % unter den Werten des alten Krankenhauses. Beim Kennwert Strom wird der Mittelwert allerdings um 135 % überschritten und der Verbrauch liegt 25 % über dem des alten Krankenhauses. Der addierte Energieverbrauch für Wärme und Strom hat sich beim GHL aber um ca. 23 % gegenüber dem alten Krankenhaus verringert. Bei Wasser wird der Richtwert der VDI 3807 um 37 % unterschritten und der Verbrauch liegt 38 % unter dem des alten Krankenhauses.

Tabelle 58: Verbrauchskennwerte GHL im Vergleich zu VDI 3807 Mittel- und Richtwerte sowie Krankenhaus alt

		GHL	Abweichung	KKH alt (mittel)	Abweichung
VDI 3807 Richtwert Heizenergie (Wärme) KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	14.252	-18,5%		
VDI 3807 Mittelwert Heizenergie (Wärme) KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	20.129	-42,3%		
Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme) GHL	kWh/(Bett*a)	11.613		21.478	-45,9%
VDI 3807 Richtwert Strom KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	3.775	244,0%		
VDI 3807 Mittelwert Strom KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	5.529	134,8%		
Verbrauchskennwert Strom GHL	kWh/(Bett*a)	12.985		10.366	25,3%
VDI 3807 Richtwert Wasser KKHs 251 bis 450 Betten	l/(Bett*a)	97.170	-36,6%		
VDI 3807 Mittelwert Wasser KKHs 251 bis 450 Betten	l/(Bett*a)	131.607	-53,2%		
Verbrauchskennwert Wasser GHL	l/(Bett*a)	61.626		98.735	-37,6%

Der niedrigere Verbrauch an Heizenergie des GHL ist u. a. auf die im Vergleich zum alten Gebäude bzw. entsprechender Vergleichsgebäude der VDI 3807 besseren Dämmwerte der Gebäudehülle zurückzuführen.

Ursachen für Unterschiede zwischen alten und neuem Krankenhaus liegen z. B. in der im alten Krankenhaus vorhandenen Dampferzeugung mit Gas, für die im neuen Krankenhaus GHL Strom verwendet wird. Die technische Ausstattung des neuen Gebäudes ist deutlich umfangreicher als im alten Gebäude. Dabei handelt es sich vor allem medizintechnische Geräte, wie MRT o.ä., die es im alten Krankenhaus nicht gab und die auch in den Krankenhäusern, die den Kennwerten der VDI 3807 zugrunde liegen, nicht wie im heutigen Maße vorhanden waren. Daher ist der Stromverbrauch höher, aber auch der Kältebedarf heutiger moderner Krankenhäuser steigt dadurch an. Auf alle Fälle sollten die Gründe für den hohen Stromverbrauch genauer analysiert werden.

Der geringe Wasserverbrauch des GHL ist u.U. auch durch den Einfluss einer anderen Nutzung des Krankenhauses unter Corona-Bedingungen zu erklären (weniger Patienten, weil freie Intensivbetten vorgehalten werden sollen), allerdings ist dies nicht direkt verifizierbar. Insofern ist ein Vergleich mit den Kennwerten der VDI 3807 oder dem alten Krankenhaus nur unter Vorbehalt möglich.

Der ausführliche Vergleich befindet sich in 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_GHL_Ca.xlsx, Blatt „GHL VDI 3807 EKW 3_20-3_21“ und Wasser_im_KKH_Ca.xlsx.

4.8.2.3 Vergleich mit Energieverbrauchsausweis-Vergleichswerten

Für bestehende Nichtwohngebäude können auf Grundlage des erfassten (witterungsbereinigten*) Energieverbrauchs (Abrechnungen aus einem zusammenhängenden Zeitraum von mindestens 36 Monaten) Energieverbrauchsausweise ausgestellt werden. Der Vergleich der gemessenen Werte erfolgt über Vergleichswerte für den Endenergieverbrauch Wärme und Strom (Tabelle 59).

Tabelle 59: Vergleichswerte Endenergieverbrauch Wärme und Strom für Energieverbrauchsausweis⁵⁵

Lfd. Nr.	Nutzungsgruppe	Nutzung	Schreibweise für die Angabe „Gebäudenutzung“ im Energieausweis	Vergleichswerte	
				Wärme	Strom
				[kWh/(m ² _{NGF} ·a)]	
1	2	3	4	5	6
7.1	Gesundheitswesen	Krankenhäuser bis 250 Betten	Krankenhaus bis 250 Betten	145	84
7.2		Krankenhäuser von 251 bis 1000 Betten	Krankenhaus 251 bis 1000 Betten	175	80
7.3		Krankenhäuser mit über 1000 Betten	Krankenhaus über 1000 Betten	200	80
7.4		Freiberufliches Gesundheitswesen, Praxen	Gesundheitswesen, Praxen	200	35

Ziffer nach BWZ K ⁹	Gebäudekategorie	Gebäudegröße (Nettogrundfläche) [m ²]	Schreibweise für die Angabe „Gebäudenutzung“ im Energieausweis	Vergleichswerte	
				Wärme ¹⁰	Strom
				[kWh/(m ² _{NGF} ·a)]	
1	2	3	4	5	6
3000	Gebäude des Gesundheitswesens (ohne BWZK Nr. 3200)	beliebig	Gesundheitswesen	135	50
3200	Krankenhäuser und Unikliniken für Akutkranke	beliebig	Krankenhaus	250	125

Welche Unterschiede zwischen der Einordnung eines Krankenhauses in „Krankenhäuser und Unikliniken für Akutkranke“ ** und „Krankenhäusern mit bestimmter Bettenzahl“ bestehen, ist leider nicht ersichtlich, macht aber einen großen Unterschied in den Vergleichswerten aus.

* Referenzstandort für Witterungsbereinigung: Potsdam, Klimafaktoren siehe z. B. <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/#c205>, <http://www.dwd.de/klimafaktoren>

** „Unter einer Akutklinik versteht man – im Gegensatz zu einer Tagesklinik oder einer Rehabilitationseinrichtung – das klassische Krankenhaus im Sinne einer stationären, akut therapeutischen Einrichtung. Außerdem schließt der Begriff der Akutklinik die Vorhaltung einer Notfallambulanz sowie die prä-, post- und auch teil-stationäre (eventuell also auch ambulante) Betreuung ein.“ [\[https://de.wikipedia.org/wiki/Akutklinik\]](https://de.wikipedia.org/wiki/Akutklinik)

Bei der Bildung der Kennwerte soll folgendermaßen vorgegangen werden: „Bei Nichtwohngebäuden ist der Endenergieverbrauch für Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Lüftung und eingebaute Beleuchtung zu ermitteln und in Kilowattstunden pro Jahr und Quadratmeter Nettogrundfläche anzugeben.“⁵⁵

Der Energieverbrauch wird aufgeteilt in

- Energieverbrauchswert Wärme, der Energieverbrauchsanteile umfasst für
 - Heizung (witterungsbereinigt), auch wenn als Energieträger dafür Strom eingesetzt wird
 - Warmwasserbereitung
 - Wärme für Kälteerzeugung durch Sorptionskälteanlagen (hier Verzicht auf Witterungsbereinigung möglich)
- Energieverbrauchswert Strom, der elektrische Energieverbrauchsanteile umfasst für
 - Kühlung (Kälteerzeugung und Befeuchtung/Dampf)
 - Lüftung (Luftförderung)
 - eingebaute Beleuchtung
 - elektrische Hilfsenergie für Heizung und zentrale Warmwasserbereitung
 - elektrische Ergänzungsheizungen z. B. in RLT-Anlagen (hier Verzicht auf Witterungsbereinigung möglich)
 - dezentrale elektrische Warmwasserbereitung
 - Anteile für Arbeitshilfen, diverse Technik und Zentrale Dienste sind nicht mitzubilanzieren
- Energieverbrauchsermittlung bei gebäudeintegrierter Kraft-Wärme-Kopplung/BHKW
 - Wärme- und Stromlieferungen werden so gewertet, als kämen sie von außerhalb des Gebäudes (wegen Konsistenz zu Bedarfsberechnungen)

Die Ermittlung des Warmwasseranteils sollte vorrangig als Messwert (aus Wärmemengenzählern) erfolgen. „Zu beachten ist, dass derart gemessene Wärmemengen – anders als z. B. der Gasverbrauch – keine Anlagenverluste etc. beinhalten, also die Nutzenergie darstellen. Die Bekanntmachung sieht jedoch keine Umrechnung von Messwerten in die Endenergie vor.“⁵⁶ Der Energieanteil der Heizung wurde für das GHL entsprechend ermittelt und witterungsbereinigt (allerdings lagen für die ersten 2 Monate 2021 noch keine Klimafaktoren vor, deshalb wurde der Faktor des Jahres 2020 verwendet).

Zur Bestimmung der oben genannten elektrischen Energieverbrauchsanteile des GHL wurden hier, soweit möglich, die vorhandenen Zähler entsprechend den Verbrauchern/Bereichen zugeordnet (siehe 14_Anhang_Kennwerte\Bilanz_ELT_gesamt_Monatsbericht_Vergleich.xlsx). Für den betrachteten Zeitraum ergab sich eine Aufteilung der gesamten Stromverbrauchs in 57 % zu berücksichtigende Verbraucher und 43 %, die nicht berücksichtigt werden müssen (Arbeitshilfen, diverse Technik ...) (siehe Abbildung 119).

Die Ermittlung der Verbrauchskennwerte ist in Tabelle 60 und Tabelle 61 dargestellt (siehe auch 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_GHL_Ca.xlsx, Blatt „GHL EnEv EKW 3_20-3_21“).

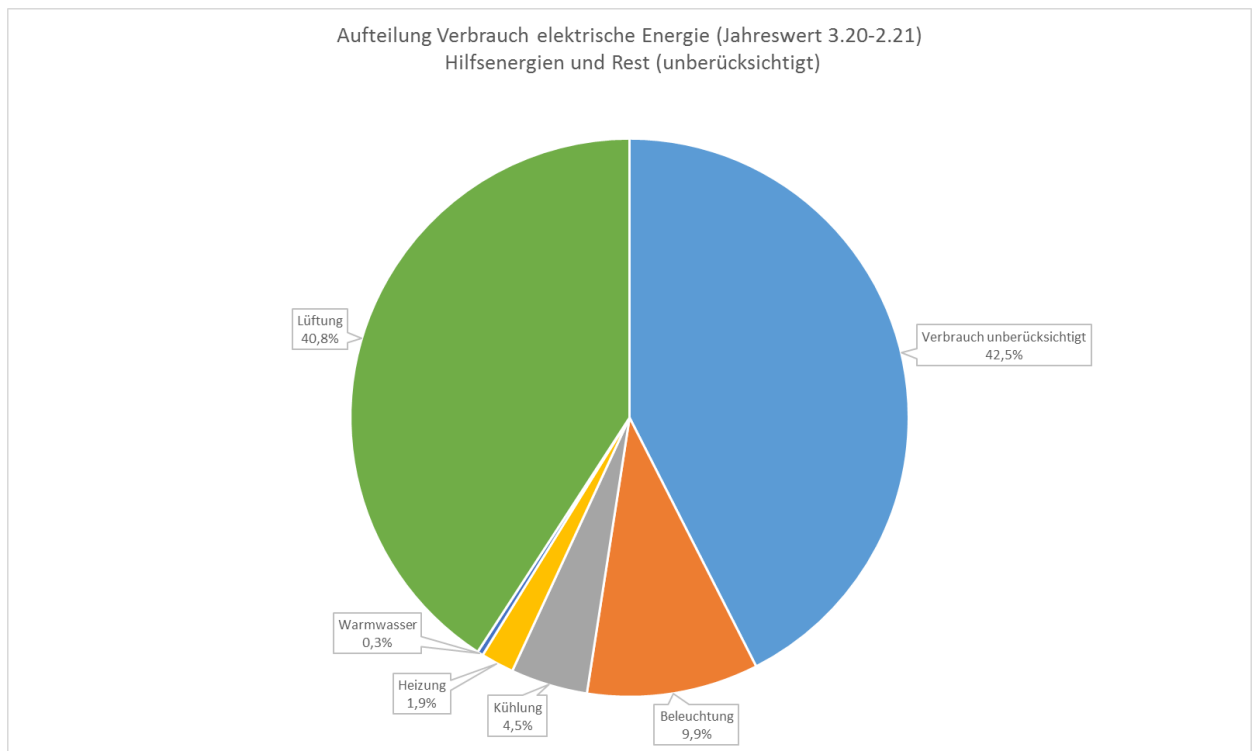


Abbildung 119: Aufteilung elektrischer Endenergieverbrauch incl. Hilfsenergien, Beleuchtung und Rest (Verbrauch unberücksichtigt) (siehe 14_Anhang_Kennwerte\2021_04_17_Bilanz_ELT_gesamt_Monatsbericht_Vergleich.xlsx)

Tabelle 60: Verbrauchskennwert Wärme GHL (Methode Verbrauchsausweis EnEV)

Jahres-Verbrauchskennwerte Neubau Green Hospital Lichtenfels (GHL)					
NGF _E beheizbare Nettogrundfläche	m²	24.502	aus Energiebedarfsausweis (wegen Vergleichbarkeit)		
Anzahl Planbetten		276			
betrachteter Zeitraum Jahr	1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:44	(erst ab 1.3.20 alle benötigten Messwerte vorhanden)			
Wärme					
Biomasse (Hackschnitzel)					
Biomassekessel (BioMK)					
Wärmeerzeugung BioMK (Nutzenergie)	kWh/a	1.274.450	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK		
eta (geschätzt)		0,88			
BioMK (Endenergie berechnet)	kWh/a	1.448.239			
Gas					
Heizwert Gas =	kWh/m³	10,205			
Gaskessel 1600kW					
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW	Nm³/a	2.029	GZ_V_EZ_GasK_1600kW		
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW (Endenergie)	kWh/a	20.708			
Wärmeerzeugung Gaskessel 1600kW (Nutzenergie)	kWh/a	17.290	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW		
Wirkungsgrad		0,83			
Gaskessel 560kW					
Gasverbrauch Gaskessel 560kW	Nm³/a	96.714	GZ_V_EZ_GasK_560kW		
Gasverbrauch Gaskessel 560kW (Endenergie)	kWh/a	986.924			
Wärmeerzeugung Gaskessel 560kW (Nutzenergie)	kWh/a	904.150	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW		
Wirkungsgrad		0,92			
BHKW 1					
Gasverbrauch BHKW	m³/a	266.492	GZ_V_EZ_BHKW1		
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	2.719.429	100%		
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	881.065	32,4%	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		36,7%			
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.517.188	55,8%	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		63,3%			
Stromkennzahl		0,58			
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	321.176	11,8%		
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	117.993	(mit Jahreswerten gemittelt)		
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	203.183	(mit Jahreswerten gemittelt)		
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	999.058			
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.720.371			
BHKW 2					
Gasverbrauch BHKW	m³/a	267.089	GZ_V_EZ_BHKW2		
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	2.725.516	100%		
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	880.535	32,3%	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		36,9%			
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.505.074	55,2%	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		63,1%			
Stromkennzahl		0,59			
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	339.907	12,5%		
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	125.461	(mit Jahreswerten gemittelt)		
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	214.446	(mit Jahreswerten gemittelt)		
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.005.996			
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.719.520			
Wärmeerzeugung Gaskessel + BHKWs (Endenergie)	kWh/a	4.447.523			
Biomasse + Gas					
Wärmeerzeugung Biomasse u. Gas (Endenergie)	kWh/a	5.895.762			
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):			Anteile: gesamt	GHL	
Krankenhaus Bestand (KHB)	kWh/a	1.017.550	19,5%	WMZ_Q_EZ_HKV_KHB	
Ersatzneubau GHL (KKH)	kWh/a	2.772.320	53,1%	53,1%	WMZ_Q_EZ_HKV_KHH
Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.366.810	26,2%	26,2%	WMZ_Q_EZ_HKV_AKM_HeizW
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	kWh/a	68.305	1,3%	1,3%	WMZ_Q_EZ_HKV_statHK_EZ
Summe Nutzenergie	kWh/a	5.224.985	100,0%	80,5%	
Aufteilung Wärmeverbrauch gerechnet (Endenergie):					
Krankenhaus Bestand (KHB)	kWh/a	1.148.182			
Ersatzneubau GHL (KKH)	kWh/a	3.128.227			
Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.542.279			
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	kWh/a	77.074			
Summe Endenergie	kWh/a	5.895.762			
Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ+AKM) (Endenergie)			kWh/a	4.747.580	(keine Berücksichtigung KHB!)
davon Warmwasserverbrauch Nord (Nutzenergie)		kWh/a	320.802	WMZ_Q_N_UG1_HKV_WWB_N	
davon Warmwasserverbrauch Süd (Nutzenergie)		kWh/a	242.583	WMZ_Q_S_UG2_HKV_WWB_S	
davon Absorptionskältemaschine (AKM)		kWh/a	1.542.279		
Summe außentemp.unabhängiger Verbrauchsanteil		kWh/a	2.105.664		
Summe außentemp.abhängiger Verbrauchsanteil		kWh/a	2.641.916		
Bereinigung Gradtage					
G_m	K·d/a	3.667	Wetterdaten für Potsdam (Referenz)		
GTZ 20/15 Lichtenfels 2020	K·d/a	3.617	für Lichtenfels 2020		
Faktor zur Normierung von Energieverbrauchskennwerten auf das Standardklima			1,01		
bereinigter Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ+AKM) (Endenergie)		kWh/a	4.784.101		
(Verbrauchskennwert Wärme)		kWh/(Bett*a)	17.334		
Verbrauchskennwert Wärme GHL		kWh/m²*a	195	bezogen auf NGF	
(Anmerkung: keine Berücksichtigung der Wärmepumpe, die in der betrachteten Zeit nicht lief)					

Tabelle 61: Verbrauchskennwert Strom GHL (Methode Verbrauchsausweis EnEV)

Strom			
Strombezug/-erzeugung (Endenergie)			
Strombezug Trafo1	kWh/a	781.108	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1
Strombezug Trafo2	kWh/a	720.991	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2
Stromerzeugung PV-Anlage	kWh/a	112.797	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_PV_Erzeugung
Stromerzeugung BHKW1	kWh/a	881.065	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ
Stromerzeugung BHKW2	kWh/a	880.535	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ
Stromerzeugung Netzersatzanlage (NEA)	kWh/a	3.032	ELZ_W_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA
Summe Strombezug/-erzeugung (Endenergie)	kWh/a	3.379.528	
zu berücksichtigende Stromverbrauchsanteile		57%	prozentual aus Zählerwerten ermittelt
Summe Strombezug/-erzeugung incl. AKM (Endenergie)	kWh/a	1.926.331	
(Verbrauchskennwert Strom)	kWh/(Bett*a)	6979	
Verbrauchskennwert Strom GHL	kWh/(m²*a)	79	bezogen auf NGF

Im Vergleich mit den Vergleichswerten nach EnEV 2014 (Tabelle 62) zeigt sich, dass der Kennwert Wärme des GHL um ca. 12 % über dem Vergleichswert „Krankenhaus 251–1000 Betten“, aber ca. 22 % unter dem Vergleichswert „Krankenhaus u. Uniklinik für Akutkranke“ liegt. Beim Kennwert Strom stimmen Vergleichswert „Krankenhaus 251–1000 Betten“ und Kennwert Strom GHL ca. überein (-2 %), während der Vergleichswert „Krankenhaus u. Uniklinik für Akutkranke“ um 37 % unterschritten wird. Eine Ursache der prinzipiell unterschiedlichen Einordnung des GHL-Energieverbrauchs bei VDI 3807 und dem hier beschriebenen Verfahren der Vergleichswerte gemäß EnEV liegt u. a. in der jeweils abweichenden Berücksichtigung der AKM und der elektrischen Verbraucher, die zu einer Verringerung des Stromanteils und zu einer Verschiebung der Strom- und Wärmeanteile führt.

Tabelle 62: Vergleichswerte nach EnEV 2014 und Kennwerte GHL

Vergleichswerte (Vglw) Endenergieverbrauch gemäß EnEV 2014			Abweichung
Vglw Wärme Gesundheitswesen Krankenhaus 251-1000 Betten	kWh/(m²*a)	175	11,6%
Vglw Wärme Krankenhaus u. Uniklinik für Akutkranke	kWh/(m²*a)	250	-21,9%
Vglw Wärme Laborgebäude (mit Luftwechselrate)	kWh/(m²*a)	174	12,2%
Verbrauchskennwert Wärme GHL	kWh/(m²*a)	195	
Vglw Strom Gesundheitswesen Krankenhaus 251-1000 Betten	kWh/(m²*a)	80	-1,7%
Vglw Strom Krankenhaus u. Uniklinik für Akutkranke	kWh/(m²*a)	125	-37,1%
Vglw Strom Laborgebäude (mit Luftwechselrate)	kWh/(m²*a)	170	-53,8%
Verbrauchskennwert Strom GHL	kWh/(m²*a)	79	

Eine weitere Überlegung ergab sich aus der Tatsache, dass bei den „Regeln für Energieverbrauchswerte und Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“⁵⁵ besondere Vergleichswerte für Laborgebäude privater Einrichtungen, wie zum Beispiel Labore der Pharmaforschung, Biotechnologie und Labore für die Forschung chemischer Produkte angegeben werden, die nutzungsbedingt, wie vermutlich auch das GHL mit 20 RLT-Anlagen, einen sehr hohen Luftwechsel haben. Der Luftwechsel ist für diese Gebäude der den Energieverbrauch bestimmende Faktor. Vergleichswerte für „Endenergie Wärme“ sowie für „Endenergie Strom“ für Laborgebäude werden daher „in Abhängigkeit der mittleren jährlichen Luftwechselrate des Gebäudes“ folgendermaßen berechnet.

Aus der Jahresabluftmenge des Gebäudes sowie den Volllaststunden der jeweiligen Anlage, der Nettogrundfläche in m² und der Raumhöhe in m wird der mittlere Jahresluftwechsel bestimmt:

$$n_m = \frac{\sum \left(\dot{V}_{\text{nenn},i} \cdot t_{\text{VL}} \right)}{A_{\text{NGF}} \cdot h_{\text{Geschoss}} \cdot 8760 \text{ h/a}} \quad (11)$$

mit

n_m	mittlerer Jahresluftwechsel des Gebäudes in h ⁻¹ ;
$\dot{V}_{\text{nenn},i}$	Nennvolumenstrom (Abluft) der jeweiligen Lüftungsanlage in m ³ /h;
t_{VL}	jährliche Volllaststunden der jeweiligen Anlage in h/a;
h_{Geschoss}	mittlere Geschosshöhe in m;
A_{NGF}	Energiebezugsfläche nach Nummer 4 dieser Bekanntmachung in m ²

Soweit der mittlere Jahresluftwechsel $n_m < 2,5 \text{ h}^{-1}$ ist, ist mit $n_m = 2,5 \text{ h}^{-1}$ weiterzurechnen. Daraus werden die Vergleichswerte berechnet:

- „Endenergie Wärme“, Labore in kWh/(m²·a)

$$e_{\text{Vergl,h}} = 0,85 \cdot \left(\frac{223 \cdot n_m}{0,44 + n_m} + 62 \cdot n_m \right)$$

- „Endenergie Strom“, Labore in kWh/(m²·a)

$$e_{\text{Vergl,s}} = 0,85 \cdot \left(\frac{104 \cdot n_m}{n_m - 0,42} + 30 \cdot n_m \right)$$

Für das GHL ergab sich ein gemessener mittlerer Jahresluftwechsel $n_m = 1,6 \text{ h}^{-1}$ (siehe 14_Anhang_Kennwerte\volstrom_gesamt_Abluft_Lab.xlsx) $< 2,5 \text{ h}^{-1}$ und damit

- Vergleichswert „Endenergie Wärme“ GHL: 174 kWh/(m²·a)
- Vergleichswert „Endenergie Strom“ GHL: 170 kWh/(m²·a)

(Bei einem mittleren Jahresluftwechsel $n_m = 1,6 \text{ h}^{-1}$ ergäbe sich ein Vergleichswert „Endenergie Strom“ von 161 kWh/(m²·a)).

Gegenüber den Vergleichswerten „Krankenhäuser 251–1000 Betten“ ergibt sich bei Laboren ein ähnlicher Vergleichswert „Endenergie Wärme“, aber ein ca. doppelt so großer Vergleichswert „Endenergie Strom“ aufgrund der RLT-Anlagen (siehe Tabelle 62). Dies legt die Vermutung nahe, dass bei Krankenhäusern mit hoher Ausstattung an RLT-Anlagen (im Wesentlichen für den medizinischen Bereich, aber auch für Bettenzimmer) u.U. ein höherer elektrischer Energieverbrauch anzusetzen ist.

4.8.3 Vergleich mit berechneten (Kenn)werten

Im Gegensatz zu den im vorigen Kapitel beschriebenen Vergleichen der gemessenen Energieverbräuche des GHL mit empirischen Kennwerten soll im Folgenden ein Vergleich mit berechneten Vergleichswerten versucht werden. Entsprechende berechnete Werte finden sich z. B.

im Energiebedarfsausweis, in dem für Nichtwohngebäude das Berechnungsverfahren nach DIN V 18599²⁵ angewendet wird.

Vorab sei allerdings auf eine gewisse Problematik der Vergleichbarkeit zwischen berechneten und gemessenen Energieverbräuchen eingegangen. Im Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 werden auf Grundlage u.a. der Baugeometrie, Wärmedämmung und technischen Ausstattung des Gebäudes sowie einer Zuweisung von Zonen mit bestimmten vorgegebenen Nutzungsprofilen (Randbedingungen) Bedarfskennwerte für Nutz-, End- und Primärenergie für ein Referenz- und das tatsächliche Gebäude ermittelt. Ziel ist eine Vergleichbarkeit zwischen Referenz- und tatsächlichem Gebäude, um eine Einordnung des tatsächlichen Gebäudes nach der EnEV⁵⁷ vornehmen zu können. Die für den Vergleich vorgegebenen pauschalen Nutzungsprofile stimmen i. d. R. nicht mit der tatsächlichen Nutzung überein und haben nicht den Anspruch, eine möglichst exakte Voraussage des Verbrauchs des tatsächlichen Gebäudes zu erzielen. Insofern ist ein Vergleich von mit pauschalen Randbedingungen berechneten Werten mit gemessenen Werten i. d. R. nicht zielführend. Bessere Vergleichsergebnisse zwischen berechneten und gemessenen Werten lassen sich erzielen, wenn mit möglichst genau angepassten individuellen Randbedingungen (Nutzungsprofilen) gearbeitet wird, was allerdings wieder der Vergleichbarkeit von Energieausweisen für ähnliche Gebäude entgegensteht.

Entsprechende Aussagen finden sich auch in der Literatur, z. B. bei⁵⁸:

„Zusammenfassung der Gründe für Abweichungen der Bedarfsprognosen

Bei folgenden Punkten hat sich ein Einfluss auf die Genauigkeit der Prognosen gezeigt:

- Abweichendes Nutzerverhalten gegenüber angenommenen Randbedingungen im Programm (Bsp. Raumtemperatur über 20 °C und Abweichung der inneren Gewinne)
- Optimierungspotenzial der technischen Anlagen (Bsp. fehlende Wochenendabsenkung im Heizbetrieb einer Schule)
- Fehlerhafte Eingabe in das Bilanzierungsprogramm
- Unzureichende Datenlage für reale Berechnung (insbesondere bei Sanierungsobjekten)
- DIN V 18599
- Nichtübereinstimmung der vorgegebenen Randbedingungen mit den realen Gegebenheiten

...

Bewertung DIN V 18599 als Planungsinstrument

Um einheitliche Anforderungen an verschiedene Gebäude zu stellen, werden im Rahmen des Nachweises bei der DIN V 18599 Berechnung viele einheitliche Randbedingungen und Standardwerte eingesetzt. Die im Rahmen des Nachweises bilanzierten Gebäude stimmen daher nur teilweise mit dem realen Gebäude und dessen Nutzung überein, weswegen die Bedarfsprognosen in vielen Fällen deutlich von den Verbrauchswerten abweichen. Auf Grund der großen mittleren Abweichung und der großen Standardabweichung, lassen sich nur bedingt Erkenntnisse aus den Bedarfsprognosen ziehen, was die Höhe des realen Energieverbrauches angeht. Als Planungsinstrument können die Bedarfsprognosen der DIN V 18599 daher nicht verwendet werden.

Beispielhaft wurde eine freie Berechnung anhand Beiblatt 1 der Norm durchgeführt. Die Anpassung einiger Standardwerte an die realen Werte führte zu einem deutlich genaueren Ergebnis.

Allgemeine Empfehlung

Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass das Optimierungspotenzial der technischen Anlagen und abweichendes Nutzerverhalten nicht als Fehler der Bilanzierung verstanden werden sollte. Stattdessen ist im realen Betrieb eine korrekt eingestellte und ausgelegte Anlagentechnik anzustreben und durch angepasstes Nutzerverhalten unnötiger Energieverbrauch zu vermeiden. Neben den Verbesserungen bei der Eingabe sollte daher unbedingt ein Monitoring in den ersten Jahren nach Inbetriebnahme und eine umfangreiche Nutzerschulung und -motivation vorgesehen werden.“

Auf die Möglichkeit, mit angepassten Nutzerprofilen etc. eine verbesserte Prognose des Energiebedarfs (Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich) durchführen zu können, wird auch in der DIN V 18599: Beiblatt 1: Bedarfs- Verbrauchsabgleich, 2010-01 eingegangen. Eine neue Berechnung nach DIN V 18599 mit angepassten Nutzerprofilen wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt.

Unabhängig von der zu erwartenden Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Werten soll im Folgenden ein Vergleich von entsprechenden im Energiebedarfsausweis des GHL (siehe Abbildung 120 und 15_Anhang_E_Ausweis) angegebenen Nutz-, End- und Primärenergien und den entsprechend im Monitoring erhobenen Werten durchgeführt werden.

Die gemessenen Monitoringwerte sind wieder Verbrauchsdaten, die im Zeitraum vom 1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45 (Jahresverbrauch) aufgenommen wurden. Die Nutz- und Endenergien sind sowohl als absolute Werte angegeben als auch auf die im Energiebedarfsausweis genannte Nettogrundfläche von 24502 m² bezogen*.

Die Zuordnung der gemessenen Energieverbräuche zu den gerechneten Angaben erfolgt bei Nutz- und Endenergie ähnlich wie bei den im vorigen Kapitel bestimmten Verbrauchsausweiskennwerten. Einschränkungen ergeben sich u.a. wieder bei der Betrachtung der elektrischen Energieversorgung. Hier ist es nicht immer möglich, die Monitoring-Zähler der elektrischen Energieversorgung eindeutig im Sinne der DIN V 18599 zuzuordnen**. Da die Beleuchtung nicht explizit erfasst wurde, wurde hier näherungsweise der im Energieausweis für das Ist-Gebäude GHL bestimmte Wert von 13,7 kWh/m²a (siehe 15_Anhang_E_Ausweis) verwendet.

* Es gibt eine Abweichung zu der in dieser Arbeit ermittelten Nettogrundfläche (26.584 m²) (siehe 5_Anhang_Strukturen\..._Topo_Navigator.xlsx). Zur besseren Vergleichbarkeit wurde hier der Wert des Energieausweises verwendet.

** Die Zuordnung der Zähler findet sich in 14_Anhang_Kennwerte\Bilanz_ELT_gesamt_Monatsbericht_Vergleich.xlsx

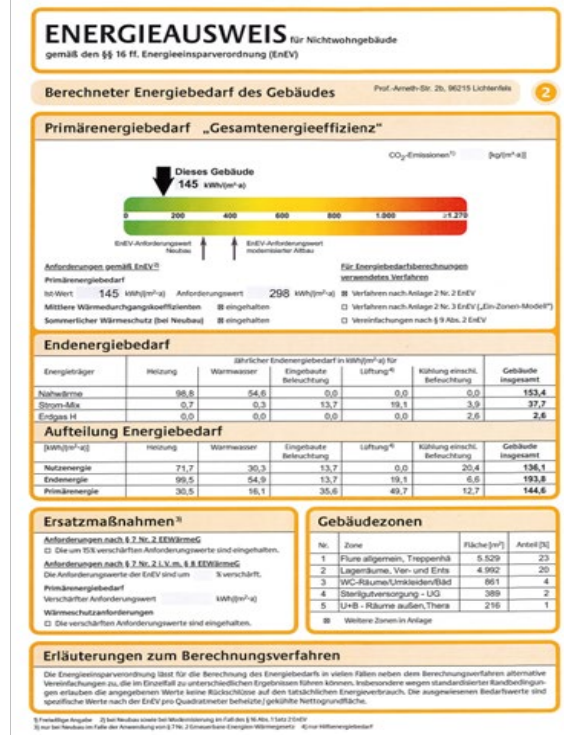
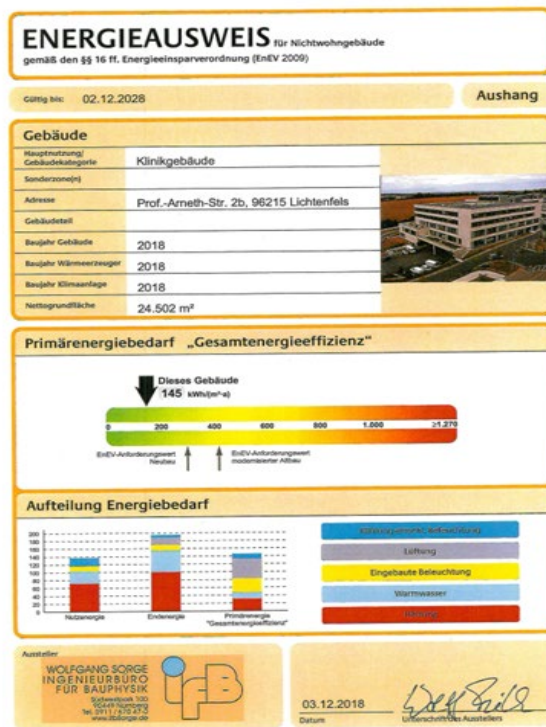


Abbildung 120: Energiebedarfsausweis GHL (siehe 15_Anhang_E_Ausweis)

Der Vergleich für die Nutzenergie (Tabelle 63, siehe auch 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_GHL_Ca.xlsx, Blatt „GHL 18599 EKW 3_20-3_21 Var 1“) zeigt bei der „gesamten Nutzenergie“ für das GHL eine (überraschend) geringe Abweichung von 28% zwischen den gerechneten Bedarfswerten und den Monitoringwerten. Bei den einzelnen Verbrauchsbereichen zeigen sich aber klare Unterschiede vor allem bei der „Kühlung“ (real gemessen 120% mehr als gerechnet). Bei „Warmwasser“ (real gemessen 24% weniger als gerechnet) wird in der Berechnung die benötigte Nutzenergie überschätzt, bei der „Heizung“ (real gemessen 30% mehr als gerechnet) unterschätzt.

Tabelle 63: Vergleich Energiebedarfsausweis Nutzenergie mit gemessenen Werten

Bedarfsausweis EnEV 2014 - DIN V 18599 - Nutz-, End-, Primärenergie					
Jahres-Verbrauchskennwerte Neubau Green Hospital Lichtenfels (GHL)					
NGF _E beheizbare Nettogrundfläche	24.502	m²	aus Energiebedarfsausweis		
Anzahl Planbetten	276				
betrachteter Zeitraum Jahr	1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:44	(erst ab 1.3.20 alle benötigten Messwerte vorhanden)			
Nutzenergie					
Heizung		Monitoringwerte GHL		Energiebedarfsausweis	Differenz
Wärmeeinspeisung GHL (Nutzenergie)	2.772.320	kWh/a	113,1	kWh/m²*a	
Wärmeeinspeisung EZ (Nutzenergie)	68.305	kWh/a	2,8	kWh/m²*a	
Summe Wärmeeinspeisung GHL+EZ (Nutzenergie)	2.840.625	kWh/a	115,9	kWh/m²*a	
abzüglich Warmwasserverbrauch GHL (Nutzenergie)	563.385	kWh/a	23,0	kWh/m²*a	
Summe Heizung GHL+EZ (Nutzenergie)	2.277.240	kWh/a	92,9	kWh/m²*a	71,7 kWh/m²*a 30%
Warmwasser					
Warmwasserverbrauch Nord (Nutzenergie)	320.802	kWh/a	13,1	kWh/m²*a	
Warmwasserverbrauch Süd (Nutzenergie)	242.583	kWh/a	9,9	kWh/m²*a	
Summe Warmwasser GHL (Nutzenergie)	563.385	kWh/a	23,0	kWh/m²*a	30,3 kWh/m²*a -24%
Kühlung					
Kälterzeugung freie Kühlung	209.750	kWh/a	8,6	kWh/m²*a	
Kälterzeugung KKM	100.540	kWh/a	4,1	kWh/m²*a	
Kälterzeugung AKM	816.810	kWh/a	33,3	kWh/m²*a	
Summe Kälterzeugung GHL	1.127.100	kWh/a	46,0	kWh/m²*a	
abzüglich Verluste (Speicher ...)	29.440	kWh/a	2,6%		
Summe Kühlung GHL, Kälteeinspeisung (Nutzenergie)	1.097.660	kWh/a	44,8	kWh/m²*a	20,4 kWh/m²*a 120%
Beleuchtung					
keine Messwerte, daher Berechnung übernommen	335.677	kWh/a	13,7	kWh/m²*a	13,7 kWh/m²*a
Nutzenergie Gebäude GHL insgesamt					
Summe Nutzenergie GHL	4.273.962	kWh/a	174,4	kWh/m²*a	136,1 kWh/m²*a 28%

Der Vergleich für die **Endenergie** stellte sich komplexer dar. Hier mussten zur richtigen Aufteilung und Abtrennung der entsprechenden Anteile und z. B. zur Klimabereinigung des außen-temperaturabhängigen Verbrauchsanteils für die Heizung diverse Vorberechnungen stattfinden (siehe Tabelle 64).

Tabelle 64: Vorberechnungen zur Bestimmung der Endenergieanteile GHL

Endenergie				
Biomasse (Hackschnitzel)				
Biomassekessel (BioMK)				
Wärmeerzeugung BioMK (Nutzenergie)	1.274.450	kWh/a		
eta (geschätzt)	0,88			
BioMK (Endenergie berechnet)	1.448.239	kWh/a		
Gas				
Heizwert Gas =	10,205	kWh/m³		
Gaskessel 1600kW				
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW	2.029	Nm³/a		
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW (Endenergie)	20.708	kWh/a		
Wärmeerzeugung Gaskessel 1600kW (Nutzenergie)	17.290	kWh/a		
Wirkungsgrad	0,83			
Gaskessel 560kW				
Gasverbrauch Gaskessel 560kW	96.714	Nm³/a		
Gasverbrauch Gaskessel 560kW (Endenergie)	986.924	kWh/a		
Wärmeerzeugung Gaskessel 560kW (Nutzenergie)	904.150	kWh/a		
Wirkungsgrad	0,92			
BHKW 1				
Gasverbrauch BHKW	266.492	m³/a		
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	2.719.429	kWh/a	100%	
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	881.065	kWh/a	32,4%	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	36,7%			
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	1.517.188	kWh/a	55,8%	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	63,3%			
Stromkennzahl	0,58			
Verluste gesamt BHKW	321.176	kWh/a	11,8%	
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	117.993	kWh/a	(mit Jahreswerten gemittelt)	
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	203.183	kWh/a	(mit Jahreswerten gemittelt)	
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	999.058	kWh/a		
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	1.720.371	kWh/a		
BHKW 2				
Gasverbrauch BHKW	267.089	m³/a		
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	2.725.516	kWh/a	100%	
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	880.535	kWh/a	32,3%	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	36,9%			
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	1.505.074	kWh/a	55,2%	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	63,1%			
Stromkennzahl	0,59			
Verluste gesamt BHKW	339.907	kWh/a	12,5%	
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	125.461	kWh/a	(mit Jahreswerten gemittelt)	
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	214.446	kWh/a	(mit Jahreswerten gemittelt)	
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	1.005.996	kWh/a		
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	1.719.520	kWh/a		
Wärme Erz. Gaskessel + BHKWs mit Verl. (Endenergie)	4.447.523	kWh/a		
Biomasse + Gas				
Wärmeerzeugung Biomasse u. Gas (Endenergie)	5.895.762	kWh/a		
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):				
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.017.550	kWh/a	19,5%	
Ersatzneubau GHL (KKH)	2.772.320	kWh/a	53,1%	53,1%
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.366.810	kWh/a	26,2%	
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	68.305	kWh/a	1,3%	1,3%
Summe Wärme Nutzenergie	5.224.985	kWh/a	100,0%	54,4%
Aufteilung Wärmeerzeugung gerechnet mit %-Anteilen Nutzenergie (Endenergie):				
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.148.182	kWh/a		
Ersatzneubau GHL (KKH)	3.128.227	kWh/a		3.128.227 kWh/a
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.542.279	kWh/a		
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	77.074	kWh/a		77.074 kWh/a
Summe Wärme Endenergie	5.895.762	kWh/a		3.205.301 kWh/a
Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ) (Endenergie) ohne AKM	3.205.301	kWh/a	(keine Berücksichtigung KHB!)	
davon Warmwasserverbrauch Nord (Nutzenergie)	320.802	kWh/a		
davon Warmwasserverbrauch Süd (Nutzenergie)	242.583	kWh/a		
Summe außentemp.unabhängiger Verbrauchsanteil (WW)	563.385	kWh/a		
Summe außentemp.abhängiger Verbrauchsanteil (Hzg)	2.641.916	kWh/a		
Bereinigung Gradtage				
G_m	3.667	K-d/a		Wetterdaten für Potsdam (Referenz)
GTZ 20/15 Lichtenfels 2020	3.617	K-d/a		für Lichtenfels 2020
Faktor zur Normierung von Energieverbrauchskennwerten auf das Star	1,01			
bereinigter Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ) (Endenergie)	3.241.822	kWh/a		

Der Vergleich für die Endenergie (Tabelle 65) zeigt bei der „Summe Endenergie“ für das GHL einen gemessenen Mehrverbrauch von 43 % zu den gerechneten Bedarfswerten. Bei den einzelnen Verbrauchsbereichen zeigen sich wieder klare Unterschiede vor allem bei der „Kühlung“ (real gemessen 946 % mehr als gerechnet). Eine Ursache könnte z. B. an Unterschieden bei den jeweiligen real gemessenen bzw. bei der Berechnung berücksichtigten Deckungsanteilen der Kälteerzeuger (KKM, AKM, freie Kühlung) und den unterschiedlichen Leistungszahlen (KKM) bzw. Wärmeverhältnissen (AKM)* liegen. Bei „Warmwasser“ (real gemessen 52 % weniger als gerechnet) wird in der Berechnung die benötigte Endenergie überschätzt, bei der „Heizung“ (real gemessen 13 % mehr als gerechnet) etwas unterschätzt. Bei der „Lüftung“ (real gemessen 195 % mehr als gerechnet) wird in der Berechnung die benötigte Endenergie (elt. „Hilfsenergie“ für Ventilatoren, keine Wärme, keine Kälte) unterschätzt.

Tabelle 65: Vergleich Energiebedarfsausweis Endenergie mit gemessenen Werten

Bedarfsausweis EnEV 2014 - DIN V 18599 - Nutz-, End-, Primärenergie					
Jahres-Verbrauchskennwerte Neubau Green Hospital Lichtenfels (GHL)					
NGF _E beheizbare Nettogrundfläche	24.502	m²	aus Energiebedarfsausweis		
Anzahl Planbetten	276				
betrachteter Zeitraum Jahr	1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:44	(erst ab 1.3.20 alle benötigten Messwerte vorhanden)			
Endenergie					
Heizung	Monitoringwerte GHL		Energiebedarfsausweis		Differenz
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie)	2.678.437	kWh/a	109,3	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung BioMK	15.825	kWh/a	0,6	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung Gaskessel 1600kW	54	kWh/a	0,0	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung Gaskessel 560kW	2.422	kWh/a	0,1	kWh/m²*a	
(elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung BHKW1) noch keine Werte	-	kWh/a	0,0	kWh/m²*a	
(elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung BHKW2) noch keine Werte	-	kWh/a	0,0	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung Div. (1/2 Rest ISP1)	41.220	kWh/a	1,7	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie div. Technik anteilig Wärme	5.322	kWh/a	0,2	kWh/m²*a	
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie) incl. Hilfsenergie	2.743.279	kWh/a	112,0	kWh/m²*a	99,5 kWh/m²*a 13%
Warmwasser					
%-Anteil Warmwasserverbrauch an Summe Wärme Nutzenergie	10,8%				
Warmwasserverbrauch GHL (Endenergie)	635.712	kWh/a	25,9	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Pumpen WWB Nord	4.295	kWh/a	0,2	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Pumpen WWB Süd	6.261	kWh/a	0,3	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie div. Technik anteilig WWB	944	kWh/a	0,0	kWh/m²*a	
Warmwasser GHL (Endenergie) incl. Hilfsenergie	647.211	kWh/a	26,4	kWh/m²*a	54,9 kWh/m²*a -52%
Kühlung					
Kälteerzeugung freie Kühlung	209.750	kWh/a	8,6	kWh/m²*a	
Kälteerzeugung KKM	100.540	kWh/a	4,1	kWh/m²*a	
Kälteerzeugung AKM	816.810	kWh/a	33,3	kWh/m²*a	
Summe Kälteerzeugung GHL	1.127.100	kWh/a	46,0	kWh/m²*a	
abzüglich Verluste (Speicher ...)	29.440	kWh/a	2,6%		
Summe Kälteeinspeisung GHL (Nutzenergie)	1.097.660	kWh/a	44,8	kWh/m²*a	
Wärmeenergie für Kälteerzeugung AKM	1.542.279	kWh/a	62,9	kWh/m²*a	
elt. Energie Kälteerzeugung KKM (falscher Zähler? Defekt?)	11.866	kWh/a	0,5	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Kälteerzeugung AKM	20.377	kWh/a	0,8	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Hybridkühler (Rückkühlung für AKM)	30.372	kWh/a	1,2	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Trockenkühler (Rückkühlung für KKM)	34.514	kWh/a	1,4	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Rohrbegleitheizung Hybridkühler	65	kWh/a	0,0	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie Kälteerzeugung Div. (1/2 Rest ISP1)	41.220	kWh/a	1,7	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie div. Technik anteilig Kälte	11.314	kWh/a	0,5	kWh/m²*a	
Kühlung GHL (Endenergie) incl. Hilfsenergie	1.692.007	kWh/a	69,1	kWh/m²*a	6,6 kWh/m²*a 946%
Lüftung					
elt. "Hilfsenergie" RLT	1.267.577	kWh/a	51,7	kWh/m²*a	
elt. Hilfsenergie div. Technik anteilig RLT	113.332	kWh/a	4,6	kWh/m²*a	
RLT GHL (Endenergie) incl. Hilfsenergie	1.380.909	kWh/a	56,4	kWh/m²*a	19,1 kWh/m²*a 195%
Beleuchtung					
keine Messwerte Beleuchtung, daher Berechnung übernommen	335.677	kWh/a	13,7	kWh/m²*a	13,7 kWh/m²*a
Endenergie Gebäude GHL insgesamt					
Summe Endenergie GHL	6.799.084	kWh/a	277,5	kWh/m²*a	193,8 kWh/m²*a 43%

* KKM: Leistungszahl EER/COP (Kälteleistung/elt. Leistung) z. B. 4; AKM: Wärmeverhältnis (Kälteleistung/Heizleistung) ca. 0,7. „Eine alleinige Gegenüberstellung von Wärmeverhältnis der AKM und Leistungszahl EER einer KKM ist nicht sinnvoll, da bei der AKM zum größten Teil Abwärme genutzt wird und bei der KKM exergiereicher Strom oder Gas“. [<https://de.wikipedia.org/wiki/Absorptionsk%C3%A4ltemaschine>]

Eine Besonderheit stellt die Angabe der Verbrauchswerte als **Primärenergie** dar. Der Primärenergieverbrauch ergibt sich, getrennt für Wärme und für Strom, durch Multiplikation des Endenergieverbrauchs mit einem Primärenergiefaktor (PEF). Gemäß EnEV sind als PEFs die Werte für den „nicht-erneuerbaren Anteil der Primärenergie“ der DIN V 18599-1: 2011-12 (siehe Tabelle 66) zu verwenden.

Tabelle 66: Primärenergiefaktoren (PEFs) nach DIN V 18599-1: 2011–1225

— Vornorm —

DIN V 18599-1:2011-12

Tabelle A.1 — Primärenergiefaktoren^a

Energieträger ^a		Primärenergiefaktoren f_p	
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
		A	B
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,5	0,5
	Biöl	1,5	0,5
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK ^b	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	2,4
	Verdrängungsstrommix	2,8	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	1,0	0,0
	Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0
	Umgebungswärme	1,0	0,0
	Umgebungskälte	1,0	0,0
Abwärme innerhalb des Gebäudes	aus Prozessen, siehe 3.1.32	1,0	0,0

^a Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_f .

^b Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %.

Bei Prozessen der Fern- und Nahwärme oder Fernkälte werden die Werte der nicht in Tabelle A.1 enthaltenen Anlagen gesondert errechnet, siehe A.4.

Für gebäudebezogene KWK-Anlagen ergibt sich der Primärenergiefaktor nach DIN V 18599-9, sofern diese Systeme analog einer Nahwärme bewertet werden (Verfahren B).

Die PEFs bewerten den (nicht-erneuerbaren) Energieaufwand der Bereitstellung dieser Energieträger und verändern sich mit der Zeit.⁵⁹ Beim Primärenergiefaktor Strom* war und ist durch die Entwicklung bei der Stromerzeugung eine hohe Dynamik vorgezeichnet (siehe Abbildung 121). Beim Energieträger Strom wird zwischen allgemeinen Strommix** und Verdrängungsstrommix*** unterschieden.

* Hier findet zurzeit eine Diskussion in der Fachwelt statt, in der z. B. gefordert wird: „Primärenergiefaktor für Strom: GEG benötigt Update“ [<https://www.tga-fachplaner.de/meldungen/gebaeudeenergiegesetz-primae-nergiefaktor-fuer-strom-geg-benoetigt-update>]

** „Der allgemeine Strommix Deutschland kennzeichnet den Energieträgermix in der Stromerzeugung und damit sämtliche im Betrachtungszeitraum zur Stromerzeugung beitragenden Primärenergien.“ [https://www.bdew.de/media/documents/20150422_Grundlagenpapier-Primaerenergiefaktoren.pdf]

*** „Mit dem Verdrängungsstrommix steht eine Bewertung zur Verfügung, die sich prinzipiell sowohl angebots-, als auch nachfrageseitig für die Bewertung "zusätzlicher" Strommengen eignet. In der EnEV und den zugehörigen Normen zur energetischen Bewertung von Gebäuden bezeichnet der Verdrängungsstrommix den aus KWK-Anlagen in Gebäuden ins öffentliche Stromnetz eingespeisten Strom. Dieser ist nach der aktuellen EnEV 2013 (in Kraft seit 1. Mai 2014) mit 2,8 zu bewerten.“ [https://www.bdew.de/media/documents/20150422_Grundlagenpapier-Primaerenergiefaktoren.pdf]

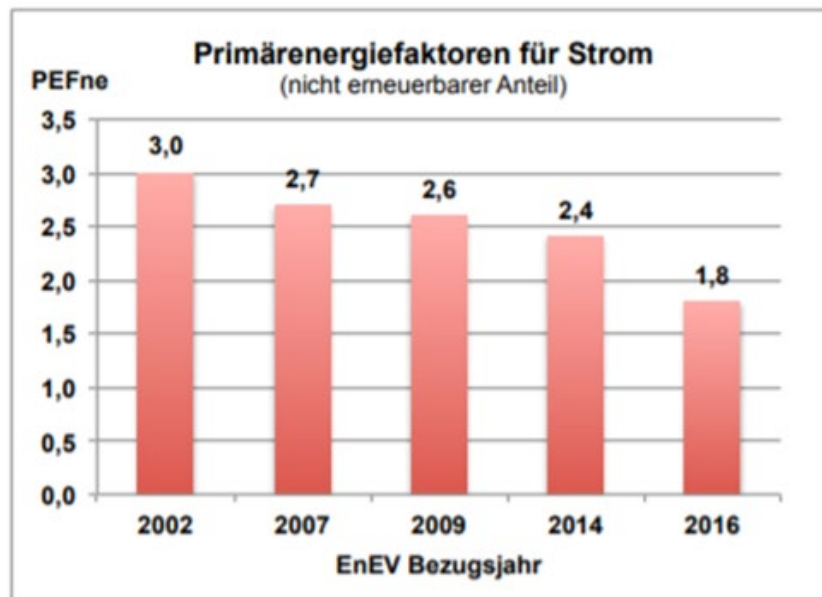


Abbildung 121: Entwicklung Primärenergiefaktoren Strom⁶⁰

Variante 1

Der Vergleich für die Primärenergie erforderte zur richtigen Aufteilung und Abtrennung der entsprechenden Anteile wieder diverse Vorberechnungen. (siehe Tabelle 67). Da z. B. für die Energieerzeugung für die Wärmenutzung (Heizung, Warmwasserbereitung und AKM) sowohl ein Biomassekessel (Hackschnitzel), 2 Gaskessel (Erdgas) und 2 BHKWs (Erdgas)* verwendet werden, wurde hier ein „mittlerer Primärenergiefaktor für Wärme“ gebildet. Beim Gas für die Wärmeerzeugung durch BHKWs wurde in einer ersten Variante der gemessene Anteil für die Wärmeerzeugung inkl. Verluste berücksichtigt und ein entsprechender Anteil für die Stromerzeugung durch die BHKWs gebildet.

Neben den BHKWs erfolgt im GHL eine Eigenstromerzeugung durch PV und in geringen Ausmaß durch ein Diesel-betriebenes Notstromaggregat. Der nicht durch die Eigenstromerzeugung gedeckte Anteil für die in der DIN V 18599 berücksichtigten elektrischen Energieverbraucher (KKM, Beleuchtung, Hilfsenergien für Heizung, Warmwasser, Kälte, RLT, (WP)) wird durch Fremdstrombezug (Stromversorger) bereitgestellt. Bei der Zuordnung der gemessenen elektrischen Verbräuche wurde, soweit dies nicht eindeutig möglich war, z. B. der „Rest“-Verbrauch in Technikzentralen pauschal anteilig aufgeteilt.

* Die elektrisch betriebene WP wurde hier nicht berücksichtigt, da sie während des betrachteten Monitoringzeitraums nicht lief und (noch) keine Zähler installiert waren.

In dem für das GHL vorliegenden Energiebedarfsausweis wurde der PEF für Strom von 2,6 (EnEV 2009) verwendet. Um die gemessenen Verbrauchswerte mit den gerechneten Werten auf Primärenergieebene vergleichen zu können, wurde deshalb in dieser Variante zur Umrechnung für fremdbezogenen Strom ebenfalls der Faktor 2,6* verwendet. Für PV wurde 0, für Gas 1,1 und für Hackschnitzel 0,2 angesetzt. Zur Berücksichtigung des durch die BHKWs erzeugten und selbst genutzten Stroms wurde hier der anteilige Gasverbrauch zur Stromerzeugung inkl. Verluste verwendet. Entsprechend der Wärme wurde auch hier ein „mittlerer Primärenergiefaktor für Strom“ gebildet.

Tabelle 67: Vorberechnungen zur Bestimmung der Primärenergieanteile GHL (Variante 1)

Primärenergie						
GHL gesamt		Monitoringwerte GHL		Primärenergie:		
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):		Anteile:	gesamt	GHL		
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.017.550 kWh/a	19,5%				
Ersatzneubau GHL (KKH)	2.772.320 kWh/a	53,1%	53,1%			
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.366.810 kWh/a	26,2%	26,2%			
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	68.305 kWh/a	1,3%	1,3%			
Summe Wärme Nutzenergie	5.224.985 kWh/a	100,0%	80,5%			
Aufteilung Wärmeerzeugung gerechnet mit %-Anteilen Nutzenergie (Endenergie):						
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.148.182 kWh/a		0 kWh/a			
Ersatzneubau GHL (KKH)	3.128.227 kWh/a		3.128.227 kWh/a			
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.542.279 kWh/a		1.542.279 kWh/a			
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	77.074 kWh/a		77.074 kWh/a			
Summe Wärme Endenergie	5.895.762 kWh/a		4.747.580 kWh/a			
Hackschnitzel für Wärme	1.448.239 kWh/a					
Anteil ohne KHB	80,5%					
Hackschnitzel für Wärme ohne Anteil KHB	1.166.199 kWh/a		47,6 kWh/(m2-a)	PEF: 0,20	9,5 kWh/(m2-a)	
Gas für Wärme	4.447.523 kWh/a					
Anteil ohne KHB	80,5%					
Gas für Wärme ohne Anteil KHB	3.581.381 kWh/a		146,2 kWh/(m2-a)	PEF: 1,10	160,8 kWh/(m2-a)	
Hackschnitzel + Gas für Wärme ohne Anteil KHB	4.747.580 kWh/a		193,8 kWh/(m2-a)	PEF Wärme mittel: 0,88	170,3 kWh/(m2-a)	
Stromverbrauch für KKM	11.866 kWh/a		0,5 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Beleuchtung	335.677 kWh/a		13,7 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Hilfsenergien Kälte	126.548 kWh/a		5,2 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Hilfsenergien Wärme	59.521 kWh/a		2,4 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Hilfsenergien WWB	10.556 kWh/a		0,4 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für RLT	1.267.577 kWh/a		51,7 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Hilfsenergien div.	130.912 kWh/a		5,3 kWh/(m2-a)			
Summe Verbrauch	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m2-a)			
Aufteilung prozentual Stromverbrauch für Hilfsenergien div.						
Stromverbrauch für Hilfsenergien Kälte	11.314 kWh/a		9%			
Stromverbrauch für Hilfsenergien Wärme	5.322 kWh/a		4%			
Stromverbrauch für Hilfsenergien WWB	944 kWh/a		1%			
Stromverbrauch für RLT	113.332 kWh/a		87%			
Stromverbrauch für Hilfsenergien div.	130.912 kWh/a		100%			
Stromverbrauch für KKM	11.866 kWh/a		0,5 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Beleuchtung	335.677 kWh/a		13,7 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Hilfsenergien Kälte (incl. div. Hilfsenergien)	137.862 kWh/a		5,6 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Hilfsenergien Wärme (incl. div. Hilfsenergien)	64.842 kWh/a		2,6 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für Hilfsenergien WWB (incl. div. Hilfsenergien)	11.500 kWh/a		0,5 kWh/(m2-a)			
Stromverbrauch für RLT (incl. div. Hilfsenergien)	1.380.909 kWh/a		56,4 kWh/(m2-a)			
Summe Verbrauch	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m2-a)			
Eigenerzeugung Strom durch PV	112.797 kWh/a		4,6 kWh/(m2-a)	PEF 0	- kWh/(m2-a)	
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1	881.065 kWh/a		36,0 kWh/(m2-a)	siehe unten		
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2	880.535 kWh/a		35,9 kWh/(m2-a)	siehe unten		
Eigenerzeugung Strom durch NEA	3.032 kWh/a		0,1 kWh/(m2-a)	PEF 2,6	0,3 kWh/(m2-a)	
Rest Fremdbezug Strom	65.227 kWh/a		2,7 kWh/(m2-a)	PEF 2,6	6,9 kWh/(m2-a)	
Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m2-a)			
Gas für Strom BHKW 1	999.058 kWh/a		40,8 kWh/(m2-a)	PEF 1,1	44,9 kWh/(m2-a)	
Gas für Strom BHKW 2	1.005.996 kWh/a		41,1 kWh/(m2-a)	PEF 1,1	45,2 kWh/(m2-a)	
Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m2-a)	PEF Strom mittel: 1,23	97,3 kWh/(m2-a)	

* Siehe Energiebedarfsausweis: Endenergie Beleuchtung 13,7 kWh/m²·a; Primärenergie Beleuchtung 35,6; PEF = 35,6/13,7 = 2,6

Der Vergleich der Primärenergie (Tabelle 68, siehe auch 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_GHL_Ca.xlsx, Blatt „GHL 18599 EKW 3_20-3_21 Var 1“) zeigt bei der „gesamten Primärenergie“ für das GHL einen mit Messwerten bestimmten Mehrverbrauch von 88 % zu den gerechneten Bedarfswerten. Bei den einzelnen Verbrauchsbereichen zeigen sich wieder klare Unterschiede vor allem bei der „Kühlung“ (real gemessen 395 % mehr als gerechnet). Eine Ursache könnte z. B. wieder an Unterschieden bei den jeweiligen real gemessenen bzw. bei der Berechnung berücksichtigten Deckungsanteilen der Kälteerzeuger (KKM, AKM, freie Kühlung) und der entsprechenden Berücksichtigung der Energieträger liegen. Während bei der „Heizung“ die Endenergiewerte nur um 12 % voneinander abwichen, zeigt sich bei der Primärenergie ein wesentlicher Unterschied (real gemessen 226 % mehr als gerechnet). Hier kommt augenscheinlich zum Tragen, dass in der Bedarfsberechnung bei Heizung als Energieträger zu ca. 99 % Nahwärme angegeben ist. Diese Berücksichtigung des komplexen Heizungssystems als Nahwärme mag zwar bei der Erstellung eines Energiebedarfsausweises eine mögliche Darstellungsform sein, lässt allerdings keinen wirklichen Vergleich mit den gemessenen Werten zu. Bei „Warmwasser“ (real gemessen 45 % mehr als gerechnet) ergibt sich ebenfalls durch die Berücksichtigung des Energieträgers Nahwärme bei der Energiebedarfsberechnung keine sinnvolle Vergleichbarkeit. Bei der „Lüftung“ (real gemessen 39 % mehr als gerechnet) kommt jetzt der bei der Messung berücksichtigte Eigenstrom mit einem mittleren PEF von 1,23 „positiv“ zur Geltung, während im Bedarfsausweis als Energieträger sowohl Strom-Mix (PEF 2,6) als auch Erdgas angesetzt wurden. Der bei der Messung berücksichtigte Eigenstrom mit einem mittleren PEF von 1,23 führt bei Beleuchtung (real gemessen 53 % weniger als gerechnet) ebenfalls zu einer Reduzierung.

Tabelle 68: Vergleich Energiebedarfsausweis Primärenergie mit gemessenen Werten

Aufteilung Primärenergie						
Heizung		Monitoringwerte GHL		Primärenergie:		
Stromverbrauch für Hilfsenergien Wärme	64.842 kWh/a	2,6 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,23	3,2 kWh/(m ² -a)	
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie)	2.678.437 kWh/a	109,3 kWh/(m ² -a)	PEF Wärme mittel	0,88	96,1 kWh/(m ² -a)	
Summe Heizung	2.743.279 kWh/a	112,0 kWh/(m ² -a)			99,3 kWh/(m ² -a)	
Energiebedarfsausweis Heizung					30,5 kWh/(m ² -a)	
Abweichung					226%	
Warmwasser						
Stromverbrauch für Hilfsenergien WWB	11.500 kWh/a	0,5 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,23	0,6 kWh/(m ² -a)	
Warmwasserverbrauch GHL (Endenergie)	635.712 kWh/a	25,9 kWh/(m ² -a)	PEF Wärme mittel	0,88	22,8 kWh/(m ² -a)	
Summe Warmwasser	647.211 kWh/a	26,4 kWh/(m ² -a)			23,4 kWh/(m ² -a)	
Energiebedarfsausweis Warmwasser					16,1 kWh/(m ² -a)	
Abweichung					45%	
Kühlung						
Stromverbrauch für KKM	11.866 kWh/a	0,5 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,23	0,6 kWh/(m ² -a)	
Stromverbrauch für Hilfsenergien Kälte	137.862 kWh/a	5,6 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,23	6,9 kWh/(m ² -a)	
Wärmeverbrauch Absorptionskältemaschine (AKM)	1.542.279 kWh/a	62,9 kWh/(m ² -a)	PEF Wärme mittel	0,88	55,3 kWh/(m ² -a)	
Summe Kühlung	1.692.007 kWh/a	69,1 kWh/(m ² -a)			62,8 kWh/(m ² -a)	
Energiebedarfsausweis Kühlung					12,7 kWh/(m ² -a)	
Abweichung					395%	
Lüftung						
Stromverbrauch für RLT	1.380.909 kWh/a	56,4 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,23	69,1 kWh/(m ² -a)	
Energiebedarfsausweis Lüftung					49,7 kWh/(m ² -a)	
Abweichung					39%	
Beleuchtung						
Stromverbrauch für Beleuchtung	335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,23	16,8 kWh/(m ² -a)	
Energiebedarfsausweis eingebaute Beleuchtung					35,5 kWh/(m ² -a)	
Abweichung					-53%	
Gebäude GHL insgesamt						
Gebäude GHL insgesamt	6.651.461 kWh/a	271,5 kWh/(m ² -a)			271,5 kWh/(m ² -a)	
Energiebedarfsausweis					144,6 kWh/(m ² -a)	
Abweichung					88%	

Variante 2

Bei der Primärenergiebewertung der Koppelproduktion von Strom und Wärme durch BHKWs bzw. KWK gibt es verschiedene Betrachtungsweisen (z. B. Stromgutschriften, Carnotmethode, Finnische Methode⁵⁹). Beim Fachportal Energieeffizientes Bauen und Sanieren findet man folgende Aussage bzgl. der DIN V 18599: „Die Berechnung des Primärenergiefaktors der Wärme aus dem BHKW erfolgt mit der sogenannten Stromgutschrift-Methode. Dabei wird für jede erzeugte kWh BHKW-Strom eine primärenergetische Gutschrift von 2,8 kWh von der insgesamt für den Betrieb des BHKW aufzuwendenden Primärenergie abgezogen. Die Gutschrift erfolgt unabhängig davon, ob der Strom im Gebäude selbst verbraucht oder ins Netz eingespeist wird.

Der Strom aus dem BHKW wird in der GEG-Bilanz also bereits im Primärenergiefaktor der Wärme berücksichtigt und darf nicht noch einmal angerechnet werden, unabhängig davon, ob er im Gebäude verbraucht oder eingespeist wird (vgl. auch GEG § 23).⁶¹ In Anlehnung an diese Vorgehensweise wurde eine zweite Variante der Primärenergiebestimmung für das GHl durchgeführt. Der erzeugte BHKW-Strom wurde hier nur über die Stromgutschrift berücksichtigt. Die Deckung der benötigten elektrischen Energie erfolgte hier dann nur aus PV, NEA und fremdbezogenen Strom (mit PEF 2,6).

Tabelle 69: Vorberechnungen zur Bestimmung der Primärenergieanteile GHl (Variante 2)

Primärenergie		Monitoringwerte GHl		Primärenergie:	
GHl gesamt					
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):		Anteil:	gesamt	GHl	
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.017.550 kWh/a	19,5%			
Ersatzneubau GHl (KKH)	2.772.320 kWh/a	53,1%		53,1%	
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.366.810 kWh/a	26,2%		26,2%	
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	68.305 kWh/a	1,3%		1,3%	
Summe Wärme Nutzenergie	5.224.985 kWh/a	100,0%		80,5%	
Aufteilung Wärmeerzeugung gerechnet mit %-Anteilen Nutzenergie (Endenergie):					
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.148.182 kWh/a		0 kWh/a		
Ersatzneubau GHl (KKH)	3.128.227 kWh/a		3.128.227 kWh/a		
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.542.279 kWh/a		1.542.279 kWh/a		
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	77.074 kWh/a		77.074 kWh/a		
Summe Wärme Endenergie	5.895.762 kWh/a		4.747.580 kWh/a		
Hackschnitzel für Wärme	1.448.239 kWh/a				
Anteil ohne KHB	80,5%				
Hackschnitzel für Wärme ohne Anteil KHB	1.166.199 kWh/a		47,6 kWh/(m²·a)	PEF: 0,20	9,5 kWh/(m²·a)
Gas für Wärme	4.447.523 kWh/a				
Anteil ohne KHB	80,5%				
Gas für Wärme ohne Anteil KHB	3.581.381 kWh/a		146,2 kWh/(m²·a)	PEF: 1,10	160,8 kWh/(m²·a)
Gas für Strom BHKW 1	999.058 kWh/a		40,8 kWh/(m²·a)	PEF 1,1	44,9 kWh/(m²·a)
Gas für Strom BHKW 2	1.005.996 kWh/a		41,1 kWh/(m²·a)	PEF 1,1	45,2 kWh/(m²·a)
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1	881.065 kWh/a		36,0 kWh/(m²·a)	PEF -2,8	- 100,7 kWh/(m²·a)
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2	880.535 kWh/a		35,9 kWh/(m²·a)	PEF -2,8	- 100,6 kWh/(m²·a)
Hackschnitzel + Gas für Wärme ohne Anteil KHB	6.752.633 kWh/a		275,6 kWh/(m²·a)	PEF Wärme mittel: 0,21	59,0 kWh/(m²·a)
Stromverbrauch für KKM	11.866 kWh/a		0,5 kWh/(m²·a)		
elt. Hilfsenergie Wärme (mit Anteil div. Technik)	64.842 kWh/a		2,6 kWh/(m²·a)		
elt. Hilfsenergie WWB (mit Anteil div. Technik)	11.500 kWh/a		0,5 kWh/(m²·a)		
elt. Hilfsenergie Kälte (mit Anteil div. Technik)	137.862 kWh/a		5,6 kWh/(m²·a)		
"elt. Hilfsenergie RLT" (mit Anteil div. Technik)	1.380.909 kWh/a		56,4 kWh/(m²·a)		
Stromverbrauch für Beleuchtung	335.677 kWh/a		13,7 kWh/(m²·a)		
Summe Verbrauch	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m²·a)		
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1	881.065 kWh/a		36,0 kWh/(m²·a)	PEF	- kWh/(m²·a)
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2	880.535 kWh/a		35,9 kWh/(m²·a)	PEF	- kWh/(m²·a)
Eigenerzeugung Strom durch PV	112.797 kWh/a		4,6 kWh/(m²·a)	PEF 0	- kWh/(m²·a)
Eigenerzeugung Strom durch NEA	3.032 kWh/a		0,1 kWh/(m²·a)	PEF 2,6	0,3 kWh/(m²·a)
Rest Fremdbezug Strom	1.826.827 kWh/a		74,6 kWh/(m²·a)	PEF 2,6	193,9 kWh/(m²·a)
Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m²·a)		
Gas für Strom BHKW 1	999.058 kWh/a		40,8 kWh/(m²·a)	PEF	- kWh/(m²·a)
Gas für Strom BHKW 2	1.005.996 kWh/a		41,1 kWh/(m²·a)	PEF	- kWh/(m²·a)
Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel: 2,45	194,2 kWh/(m²·a)

Durch die Stromgutschriftmethode ergeben sich stark veränderte mittlere PEFs (siehe Tabelle 69 und 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_GHL_Ca.xlsx, Blatt „GHL 18599 EKW 3_20-3_21 Var 2), wobei der mittlere PEF Wärme jetzt nur noch 0,21 statt 0,88, aber der mittlere PEF Strom jetzt 2,45 statt 1,23 beträgt. Der Vergleich der Primärenergie (Tabelle 70) zeigt die entsprechenden Auswirkungen. Bei der „gesamten Primärenergie“ für das GHL ergibt sich jetzt ein mit Messwerten bestimmter Mehrverbrauch von 64 % (statt 88 % bei Variante 1) zu den gerechneten Bedarfswerten. Bei der „Kühlung“ beträgt der Unterschied jetzt nur noch 124 % statt 395 %, bei der „Heizung“ -2 % statt 226 %, bei „Warmwasser“ -58 % statt 45 %. Durch den höheren mittleren PEF Strom ergibt sich bei der „Lüftung“ eine Erhöhung der Abweichung von den Werten des Energiebedarfsausweises von 178 % (statt 39 % Variante 1). Bei Beleuchtung wird der Wert des Energiebedarfsausweises nur noch um -5 % statt -53 % unterschritten.

Tabelle 70: Vergleich Energiebedarfsausweis Primärenergie mit gemessenen Werten (Variante 2)

Aufteilung Primärenergie							
Heizung		Monitoringwerte GHL		Primärenergie:			
Stromverbrauch für Hilfsenergien Wärme		64.842 kWh/a	2,6 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	2,45	6,5 kWh/(m²-a)	
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie)		2.678.437 kWh/a	109,3 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,21	23,4 kWh/(m²-a)	
Summe Heizung		2.743.279 kWh/a	112,0 kWh/(m²-a)			29,9 kWh/(m²-a)	
Energiebedarfsausweis Heizung						30,5 kWh/(m²-a)	
Abweichung						-2%	
Warmwasser							
Stromverbrauch für Hilfsenergien WWB		11.500 kWh/a	0,5 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	2,45	1,1 kWh/(m²-a)	
Warmwasserverbrauch GHL (Endenergie)		635.712 kWh/a	25,9 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,21	5,6 kWh/(m²-a)	
Summe Warmwasser		647.211 kWh/a	26,4 kWh/(m²-a)			6,7 kWh/(m²-a)	
Energiebedarfsausweis Warmwasser						16,1 kWh/(m²-a)	
Abweichung						-58%	
Kühlung							
Stromverbrauch für KKM		11.866 kWh/a	0,5 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	2,45	1,2 kWh/(m²-a)	
Stromverbrauch für Hilfsenergien Kälte		137.862 kWh/a	5,6 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	2,45	13,8 kWh/(m²-a)	
Wärmeverbrauch Absorptionskältemaschine (AKM)		1.542.279 kWh/a	62,9 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,21	13,5 kWh/(m²-a)	
Summe Kühlung		1.692.007 kWh/a	69,1 kWh/(m²-a)			28,4 kWh/(m²-a)	
Energiebedarfsausweis Kühlung						12,7 kWh/(m²-a)	
Abweichung						124%	
Lüftung							
Stromverbrauch für RLT		1.380.909 kWh/a	56,4 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	2,45	138,0 kWh/(m²-a)	
Energiebedarfsausweis Lüftung						49,7 kWh/(m²-a)	
Abweichung						178%	
Beleuchtung							
Stromverbrauch für Beleuchtung		335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	2,45	33,6 kWh/(m²-a)	
Energiebedarfsausweis eingebaute Beleuchtung						35,5 kWh/(m²-a)	
Abweichung						-5%	
Gebäude GHL insgesamt							
Gebäude GHL insgesamt		5.797.467 kWh/a	236,6 kWh/(m²-a)			236,6 kWh/(m²-a)	
Energiebedarfsausweis						144,6 kWh/(m²-a)	
Abweichung						64%	

Variante 3

Als Variante 3 soll betrachtet werden, welche Auswirkungen sich bei der Variante 2 mit dem aktuellen PEF für Strommix von 1,8 ergeben. Der mittlere PEF Wärme beträgt weiterhin 0,21, aber der mittlere PEF Strom liegt jetzt bei 1,7 (siehe Tabelle 71 und 14_Anhang_Kennwerte\Kennwerte_GHL_Ca.xlsx, Blatt „GHL 18599 EKW 3_20-3_21 Var 3“).

Tabelle 71: Vorberechnungen zur Bestimmung der Primärenergieanteile GHL (Variante 3)

Primärenergie		Monitoringwerte GHL		Primärenergie:	
GHL gesamt					
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):		Anteil:	gesamt	GHL	
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.017.550 kWh/a	19,5%			
Ersatzneubau GHL (KKH)	2.772.320 kWh/a	53,1%			
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.366.810 kWh/a	26,2%			
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	68.305 kWh/a	1,3%			
Summe Wärme Nutzenergie	5.224.985 kWh/a	100,0%		80,5%	
Aufteilung Wärmeerzeugung gerechnet mit %-Anteilen Nutzenergie (Endenergie):					
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.148.182 kWh/a		0 kWh/a		
Ersatzneubau GHL (KKH)	3.128.227 kWh/a		3.128.227 kWh/a		
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.542.279 kWh/a		1.542.279 kWh/a		
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	77.074 kWh/a		77.074 kWh/a		
Summe Wärme Endenergie	5.895.762 kWh/a		4.747.580 kWh/a		
Hackschnitzel für Wärme	1.448.239 kWh/a				
Anteil ohne KHB	80,5%				
Hackschnitzel für Wärme ohne Anteil KHB	1.166.199 kWh/a		47,6 kWh/(m2-a)	PEF: 0,20	9,5 kWh/(m2-a)
Gas für Wärme	4.447.523 kWh/a				
Anteil ohne KHB	80,5%				
Gas für Wärme ohne Anteil KHB	3.581.381 kWh/a		146,2 kWh/(m2-a)	PEF: 1,10	160,8 kWh/(m2-a)
Gas für Strom BHKW 1	999.058 kWh/a		40,8 kWh/(m2-a)	PEF 1,1	44,9 kWh/(m2-a)
Gas für Strom BHKW 2	1.005.996 kWh/a		41,1 kWh/(m2-a)	PEF 1,1	45,2 kWh/(m2-a)
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1	881.065 kWh/a		36,0 kWh/(m2-a)	PEF -2,8	- 100,7 kWh/(m2-a)
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2	880.535 kWh/a		35,9 kWh/(m2-a)	PEF -2,8	- 100,6 kWh/(m2-a)
Hackschnitzel + Gas für Wärme ohne Anteil KHB	6.752.633 kWh/a		275,6 kWh/(m2-a)	PEF Wärme mittel: 0,21	59,0 kWh/(m2-a)
Stromverbrauch für KKM	11.866 kWh/a		0,5 kWh/(m2-a)		
elt. Hilfsenergie Wärme (mit Anteil div. Technik)	64.842 kWh/a		2,6 kWh/(m2-a)		
elt. Hilfsenergie WWB (mit Anteil div. Technik)	11.500 kWh/a		0,5 kWh/(m2-a)		
elt. Hilfsenergie Kälte (mit Anteil div. Technik)	137.862 kWh/a		5,6 kWh/(m2-a)		
"elt. Hilfsenergie RLT" (mit Anteil div. Technik)	1.380.909 kWh/a		56,4 kWh/(m2-a)		
Stromverbrauch für Beleuchtung	335.677 kWh/a		13,7 kWh/(m2-a)		
Summe Verbrauch	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m2-a)		
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1	881.065 kWh/a		36,0 kWh/(m2-a)	PEF	- kWh/(m2-a)
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2	880.535 kWh/a		35,9 kWh/(m2-a)	PEF	- kWh/(m2-a)
Eigenerzeugung Strom durch PV	112.797 kWh/a		4,6 kWh/(m2-a)	PEF 0	- kWh/(m2-a)
Eigenerzeugung Strom durch NEA	3.032 kWh/a		0,1 kWh/(m2-a)	PEF 1,8	0,2 kWh/(m2-a)
Rest Fremdbezug Strom	1.826.827 kWh/a		74,6 kWh/(m2-a)	PEF 1,8	134,2 kWh/(m2-a)
Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m2-a)		
Gas für Strom BHKW 1	999.058 kWh/a		40,8 kWh/(m2-a)	PEF	- kWh/(m2-a)
Gas für Strom BHKW 2	1.005.996 kWh/a		41,1 kWh/(m2-a)	PEF	- kWh/(m2-a)
Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom	1.942.656 kWh/a		79,3 kWh/(m2-a)	PEF Strom mittel: 1,70	134,4 kWh/(m2-a)

Der Vergleich der Primärenergie (Tabelle 72) zeigt wieder die entsprechenden Auswirkungen. Bei der „gesamten Primärenergie“ für das GHL ergibt sich jetzt ein mit Messwerten bestimmter Mehrverbrauch von nur noch 22 % (statt 88 % bei Variante 1) zu den gerechneten Bedarfs- werten. Bei der „Kühlung“ beträgt der Unterschied jetzt nur noch 88 % statt 395 %, bei der „Heizung“ -9 % statt 226 %, bei „Warmwasser“ -61 % statt 45 %. Durch den im Vergleich zu Variante 1 immer noch höheren mittleren PEF-Strom (1,7 statt 1,23) ergibt sich bei der „Lüf- tung“ eine Erhöhung der Abweichung von den Werten des Energiebedarfsausweises von 92 % (statt 39 % Variante 1). Bei Beleuchtung wird der Wert des Energiebedarfsausweises jetzt um -35 % (statt -53 % Variante 1) unterschritten.

Insofern erhält man in dieser Variante durch die Beurteilung mit dem PEF für den heutigen Strommix eine bessere Primärenergiebewertung des GHL.

Tabelle 72: Vergleich Energiebedarfsausweis Primärenergie mit gemessenen Werten (Variante 3)

Aufteilung Primärenergie						
Heizung		Monitoringwerte GHL		Primärenergie:		
Stromverbrauch für Hilfsenergien Wärme	64.842 kWh/a	2,6 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	1,70	4,5 kWh/(m²·a)	
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie)	2.678.437 kWh/a	109,3 kWh/(m²·a)	PEF Wärme mittel	0,21	23,4 kWh/(m²·a)	
Summe Heizung	2.743.279 kWh/a	112,0 kWh/(m²·a)			27,9 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis Heizung					30,5 kWh/(m²·a)	
Abweichung					-9%	
Warmwasser						
Stromverbrauch für Hilfsenergien WWB	11.500 kWh/a	0,5 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	1,70	0,8 kWh/(m²·a)	
Warmwasserverbrauch GHL (Endenergie)	635.712 kWh/a	25,9 kWh/(m²·a)	PEF Wärme mittel	0,21	5,6 kWh/(m²·a)	
Summe Warmwasser	647.211 kWh/a	26,4 kWh/(m²·a)			6,4 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis Warmwasser					16,1 kWh/(m²·a)	
Abweichung					-61%	
Kühlung						
Stromverbrauch für KKM	11.866 kWh/a	0,5 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	1,70	0,8 kWh/(m²·a)	
Stromverbrauch für Hilfsenergien Kälte	137.862 kWh/a	5,6 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	1,70	9,5 kWh/(m²·a)	
Wärmeverbrauch Absorptionskältemaschine (AKM)	1.542.279 kWh/a	62,9 kWh/(m²·a)	PEF Wärme mittel	0,21	13,5 kWh/(m²·a)	
Summe Kühlung	1.692.007 kWh/a	69,1 kWh/(m²·a)			23,8 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis Kühlung					12,7 kWh/(m²·a)	
Abweichung					88%	
Lüftung						
Stromverbrauch für RLT	1.380.909 kWh/a	56,4 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	1,70	95,6 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis Lüftung					49,7 kWh/(m²·a)	
Abweichung					92%	
Beleuchtung						
Stromverbrauch für Beleuchtung	335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	1,70	23,2 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis eingebaute Beleuchtung					35,5 kWh/(m²·a)	
Abweichung					-35%	
Gebäude GHL insgesamt						
Gebäude GHL insgesamt	4.333.579 kWh/a	176,9 kWh/(m²·a)			176,9 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis					144,6 kWh/(m²·a)	
Abweichung					22%	

4.8.4 Wärme- und Kälteversorgung

4.8.4.1 Wärmeenergie Verbrauch

Zunächst ist in Abbildung 122 die Wärmeenergie Erzeugung im GHL im Bilanzjahr dargestellt. Es gilt zu beachten, dass ein Teil der Energie auch in die Bestandsgebäude fließt. Die Grundlasterzeugung wird über die beiden Blockheizkraftwerke (BHKW) sichergestellt. Während der Heizperiode wird der Biomassekessel hinzugeschaltet. Für dynamische Spitzenlasten ist der kleine Gaskessel zuständig. Der große Gaskessel dient lediglich der Redundanz. Die Wärmepumpe war bis zu diesem Zeitpunkt noch außer Betrieb.

Alle Abbildungen dieses Kapitels befinden sich auch in 17_Anhang_Ergebnisse\Wärmeversorgung.

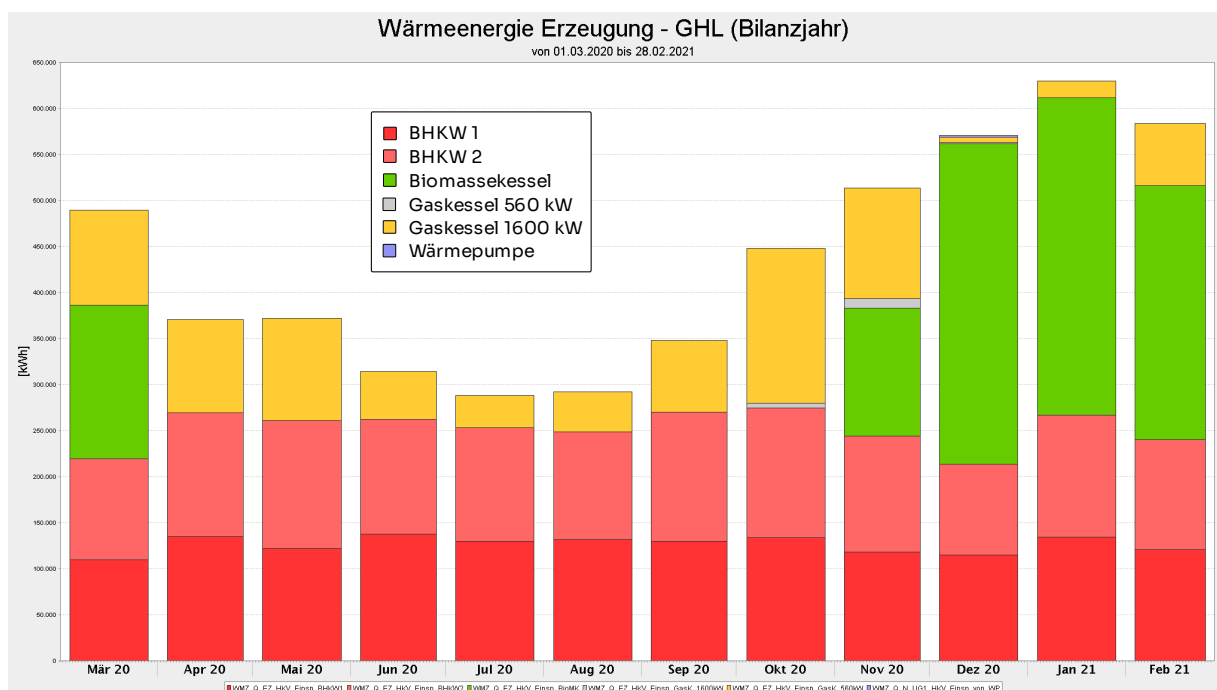


Abbildung 122: Wärmeenergie Erzeugung im GHL für Bestand + Neubau im Bilanzjahr

In Abbildung 123 ist der Wärmeenergieverbrauch des **gesamten** GHL im Bilanzjahr dargestellt. Dieser beinhaltet den Wärmeverbrauch der Absorptionskältemaschine (AKM), den Verbrauch in den Bestandsgebäuden, in der Energiezentrale und im GHL Neubau. Die AKM kann vollumfänglich dem GHL Neubau zugeordnet werden. Während der Heizperiode zeigen beide Gebäude (Bestandsgebäude und GHL Neubau) saisonale Abhängigkeiten (steigender Verbrauch im Winter). Der Wärmeverbrauch der AKM nimmt üblicherweise während der Sommermonate zu. In Abbildung 124 ist der Wärmeenergieverbrauch für den Nord- und Südflügel im Jahresverlauf dargestellt. Der Verbrauch des Nordflügels liegt etwas über dem des Südflügels. Diese Abweichungen können von der Nutzung und von unterschiedlicher Ausstattung herrühren.

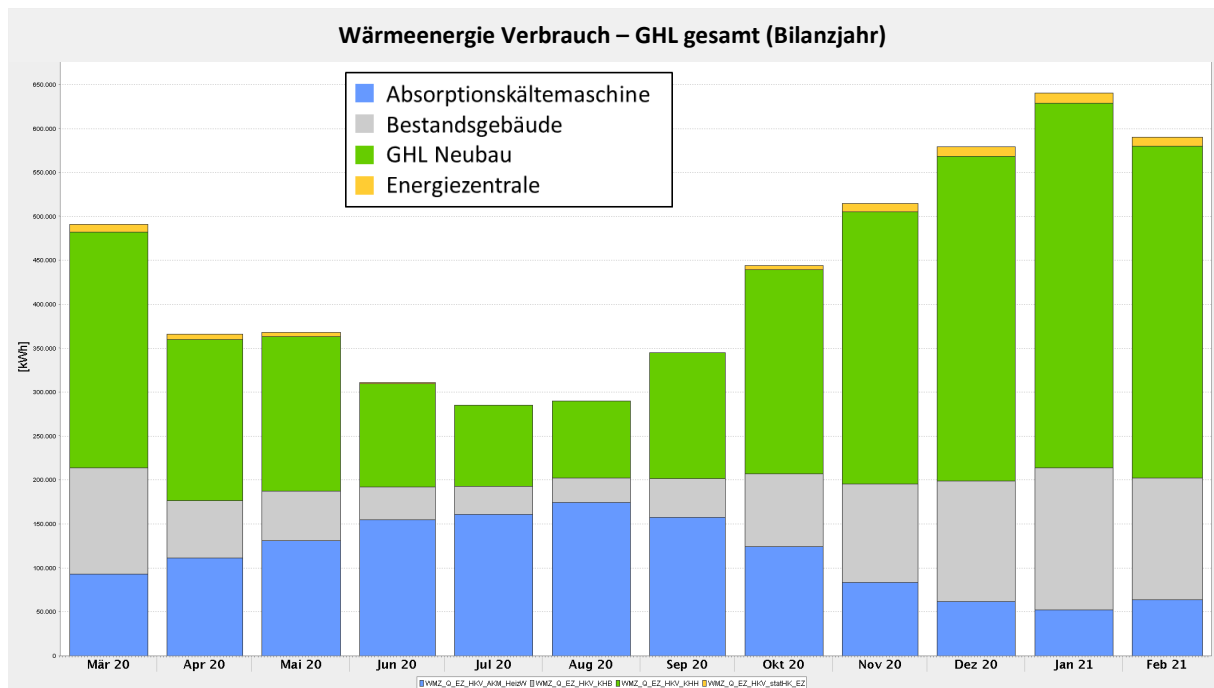


Abbildung 123: Wärmeenergie Verbrauch im GHL Neubau im Bilanzjahr

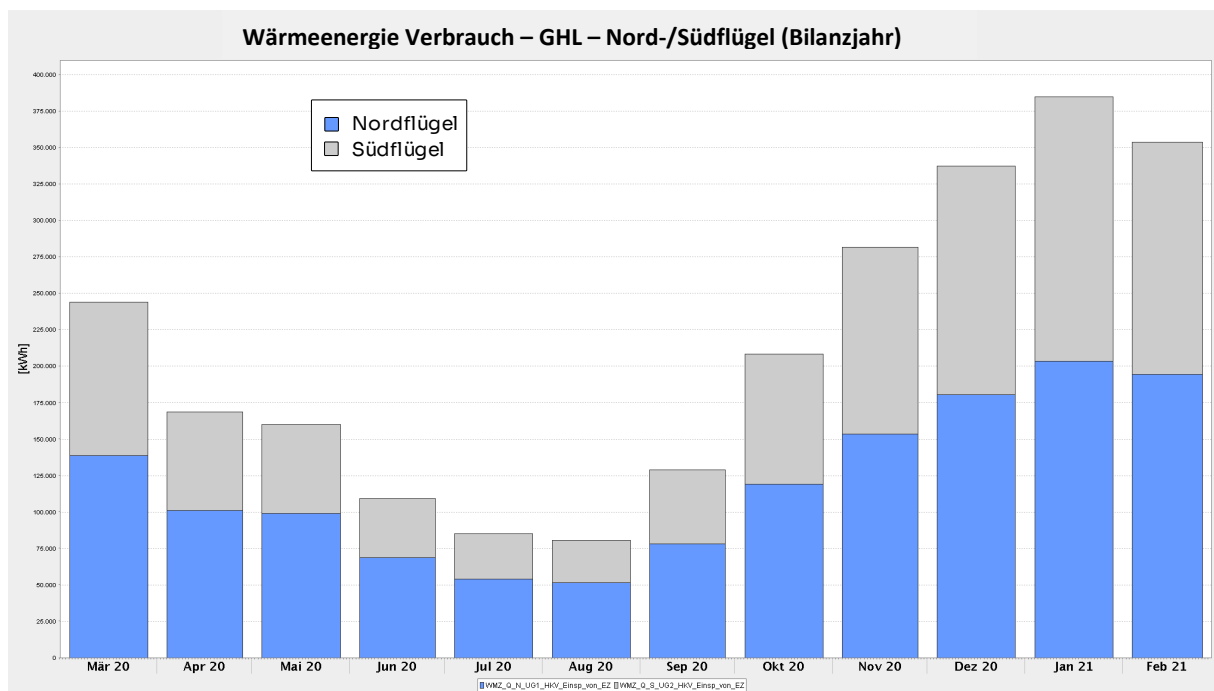


Abbildung 124: Wärmeenergie Verbrauch im GHL – Nord- und Südflügel

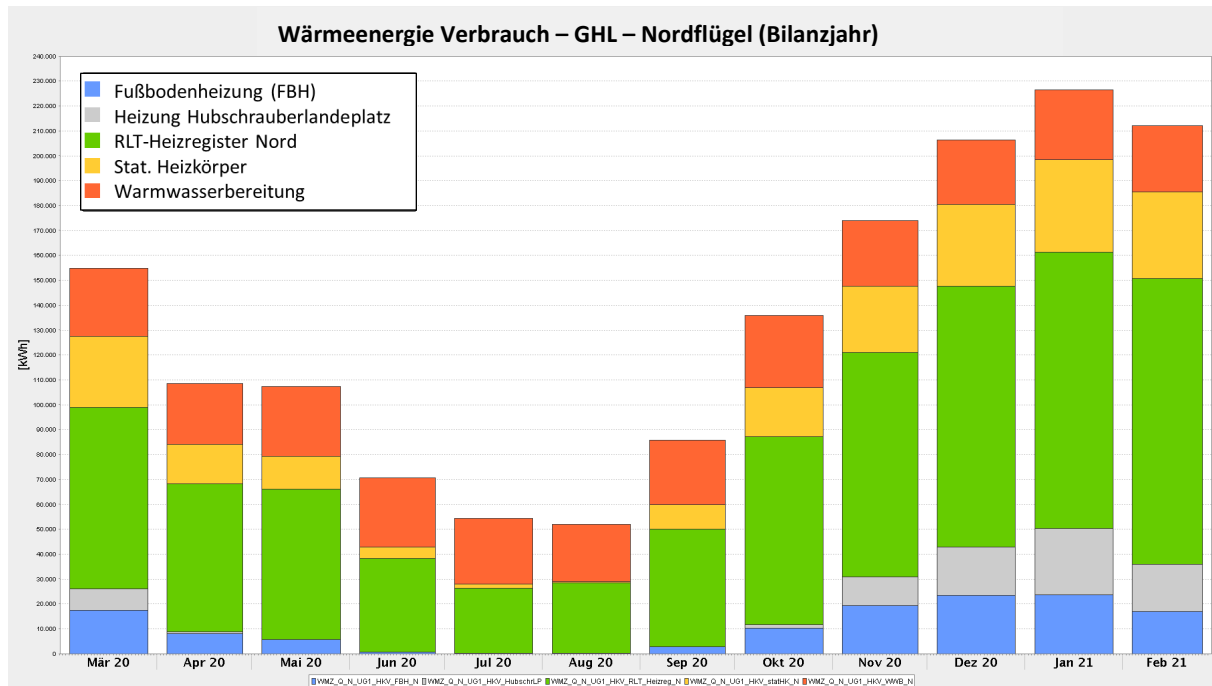


Abbildung 125: Wärmeenergie Verbrauch im GHL – Nordflügel

Abbildung 125 schlüsselt den Wärmeenergie Verbrauch im Nordflügel weiter auf:

- Fußbodenheizung
- Heizung Hubschrauberlandeplatz
- RLT-Heizregister Nord
- Statische Heizkörper
- Warmwasserbereitung

Die der Beheizung dienenden Verbraucher haben die üblichen saisonalen Schwankungen, während die Warmwasserbereitung nicht witterungsabhängig ist. Die RLT-Heizregister und die statischen Heizkörper verbrauchen während der Wintermonate fast 75 % der Gesamtwärmeenergie. In den Sommermonaten ist die Fußbodenheizung nicht in Betrieb, **die RLT-Heizregister bleiben aber auch im Sommer aktiv**, wenn auch in reduzierter Form. Dieses Phänomen muss genauer untersucht werden. Der Südflügel verhält sich entsprechend (Abbildung 126).

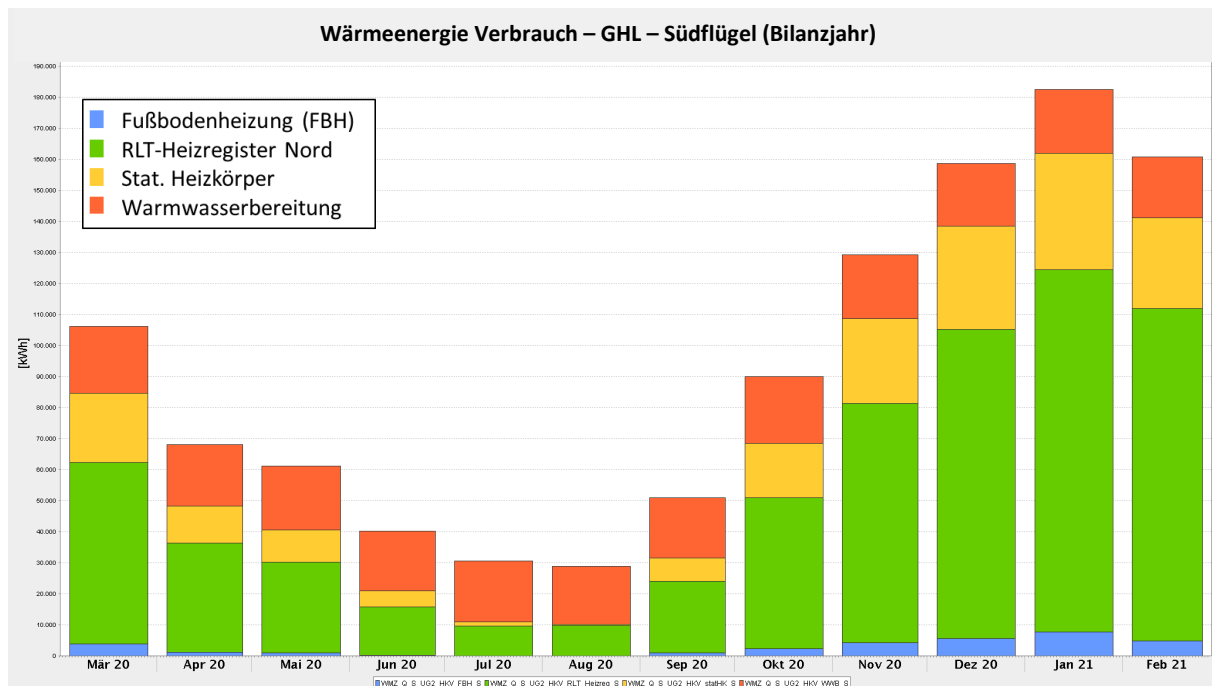


Abbildung 126: Wärmeenergieverbrauch Bedarf im GHL – Südflügel

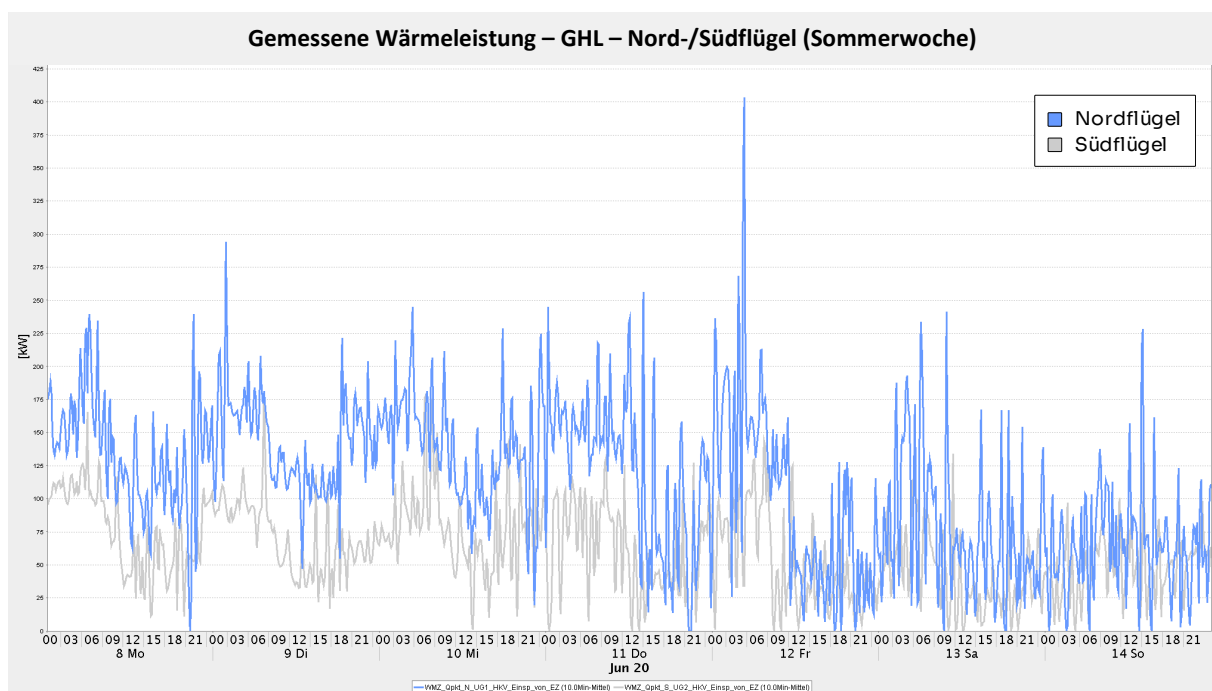


Abbildung 127: Gemessene Wärmeleistung im GHI – Nord- und Südflügel (Sommerwoche)

Die gemessene Wärmeleistung (Lastgang) des Nord- und Südflügels ist in Abbildung 127 (Sommerwoche, 08.06 bis 14.06) und Abbildung 128 (Winterwoche, 07.12 bis 13.12 2020) dargestellt. Die gemittelte Wärmeleistung im Sommer liegt mit rund 100 kW deutlich unter der der Winterwoche mit ca. 200 kW. In der Sommerwoche ist der Abfall am Wochenende deutlicher ausgeprägt. Die Ursache der kurzen Lastspitzen sollte im Projektfortgang genauer untersucht werden.

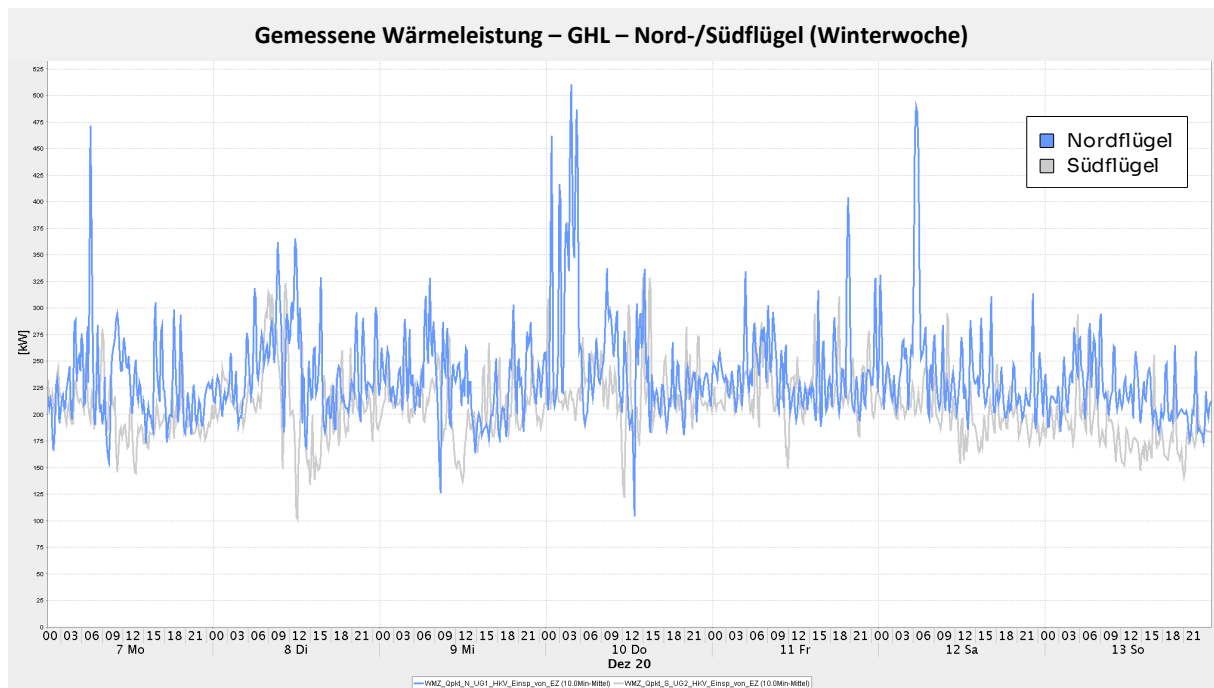


Abbildung 128: Gemessene Wärmeleistung im GHL – Nord- und Südflügel (Sommerwoche)

4.8.4.2 Kälteenergieverbrauch

In Abbildung 129 ist zunächst die Kälteenergieerzeugung in monatlicher Auflösung im GHG dargestellt (Bilanzjahr). Der Großteil des Bedarfs wird durch die Absorptionskältemaschine gedeckt. Im Frühjahr und Herbst wird der zusätzliche Bedarf durch die Freie Kühlung bereitgestellt. Lediglich während der Sommermonate kommt die Kompressionskältemaschine zur Deckung der Spitzenlast zum Einsatz. Von der ZWRG-Anlage wird zurzeit keine zurückgewonnene Kälte eingespeist. Die Kombination aus Erdsonden und BTA wurden aufgrund von technischen Ursachen nicht zur Klimatisierung eingesetzt.

Alle Abbildungen dieses Kapitels befinden sich auch in 17_Anhang_Ergebnisse\Kälteversorgung.

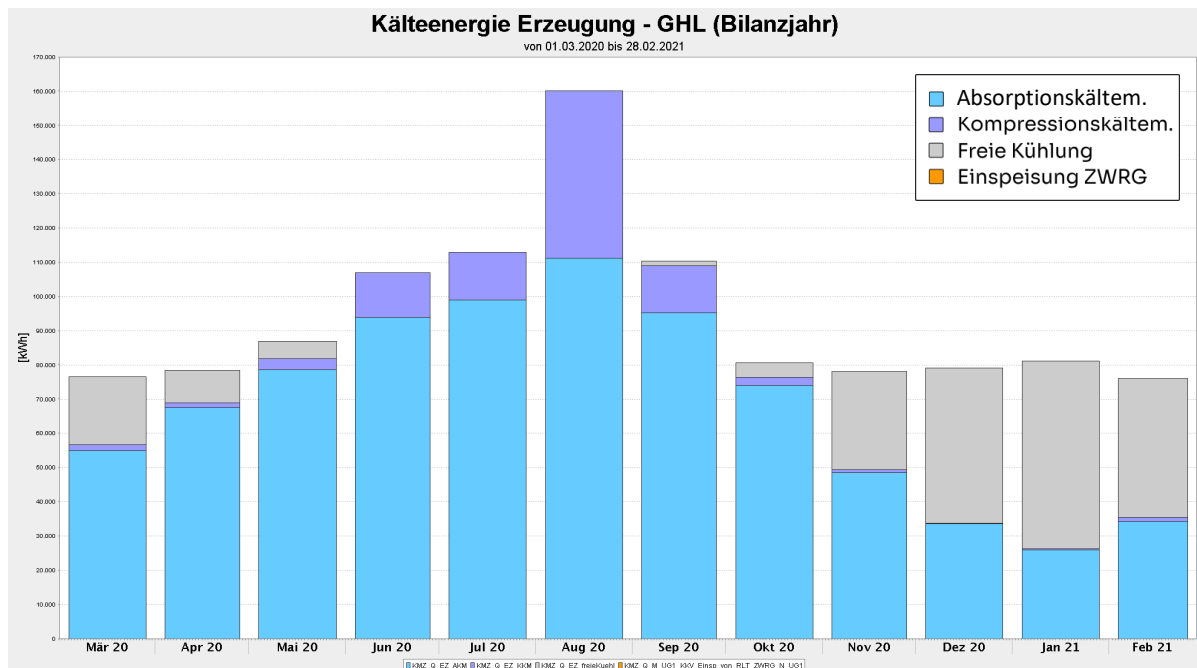


Abbildung 129: Kälteenergie Erzeugung im GHG im Bilanzjahr

Abbildung 130 zeigt den monatlich aufgelösten Kälteenergieverbrauch des GHG Neubaus im Bilanzjahr (März 2020 bis Februar 2021) in kWh. Die Messung erfolgt am Haupt-Kältekreisverteiler. Angeschlossene Verbraucher sind

- Bauteilaktivierung (BTA)
- Medizinische Großgeräte
- Umluftkühlgeräte (UMK)
- EDV-Kühlung
- RLT-Kühlregister

Die BTA war nur im August und September im Betrieb (vgl. Abbildung 130: Kälteenergieverbrauch GHG Neubau im Bilanzjahr). Der Kälteenergieverbrauch der RLT-Kühlregister zeigt eine gewisse saisonale Abhängigkeit, mit einer Zunahme während der Sommermonate. Die medizinischen Großgeräte, die Umluftkühlgeräte und die EDV-Kühlung bilden die Grundlast. Dort scheint es kaum witterungsbedingte Einflüsse zu geben.

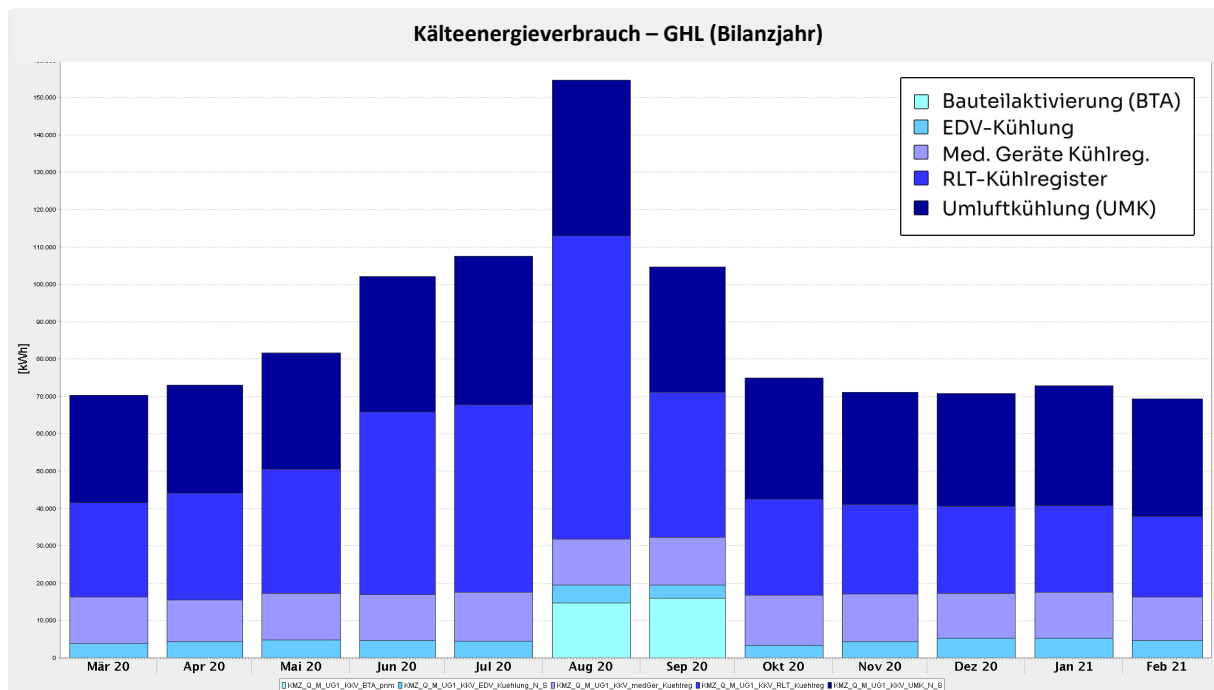


Abbildung 130: Kälteenergieverbrauch GHL Neubau im Bilanzjahr

In Abbildung 131 wird der gleiche Sachverhalt dargestellt, nur sind die Verbrauchswerte auf die Bettengesamtzahl bezogen (276 Betten).

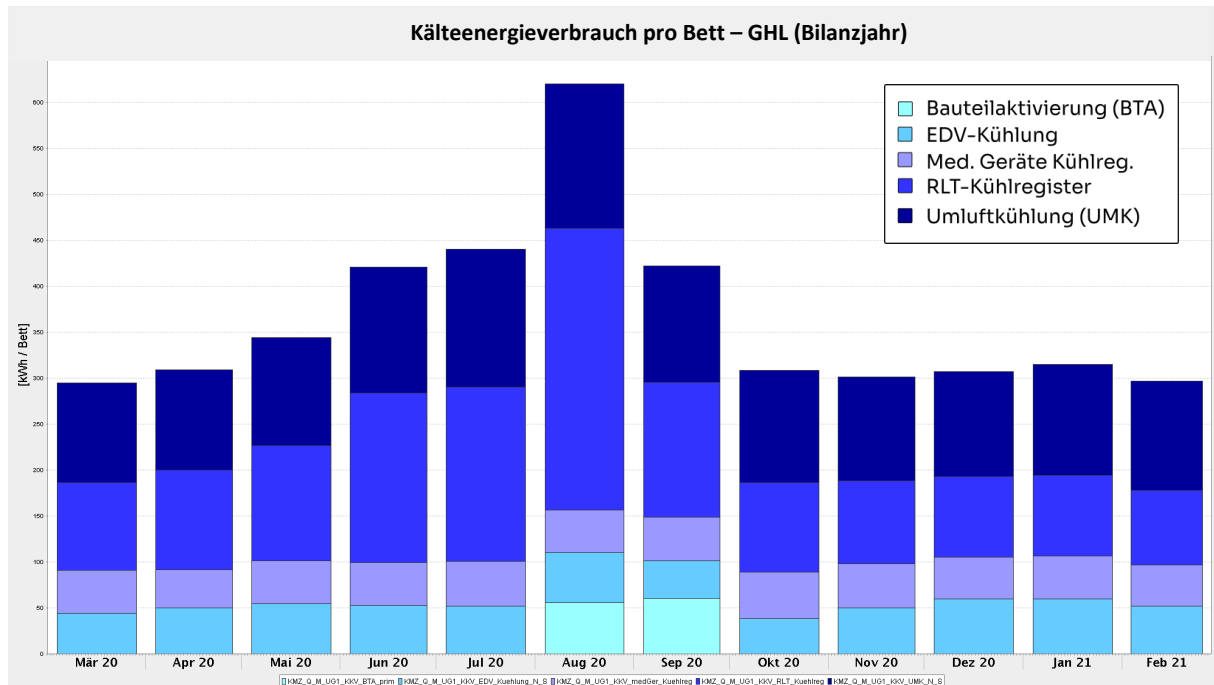


Abbildung 131: Kälteenergieverbrauch pro Bett GHL Neubau im Bilanzjahr

In Abbildung 132 ist die gemessene Kühlleistung für die verschiedenen Kälteverbraucher des GHL im Bilanzjahr visualisiert sowie in Abbildung 133 eine typische Sommerwoche (8. bis 14. Juni 2020) und in Abbildung 134 eine typische Winterwoche (7. bis 13. Dezember 2020). Die EDV-Kühlung verhält sich wie ein Grundlastverbraucher, während bei den übrigen Verbrauchern neben den saisonalen / witterungsbedingten Einflüssen ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Werktagen und Wochenendtagen zu erkennen ist. Tagsüber (09 Uhr bis 21 Uhr) ist die gemessene Kälteleistung deutlich größer. Am Abend und in der Nacht ist eine starke Abnahme erkennbar.

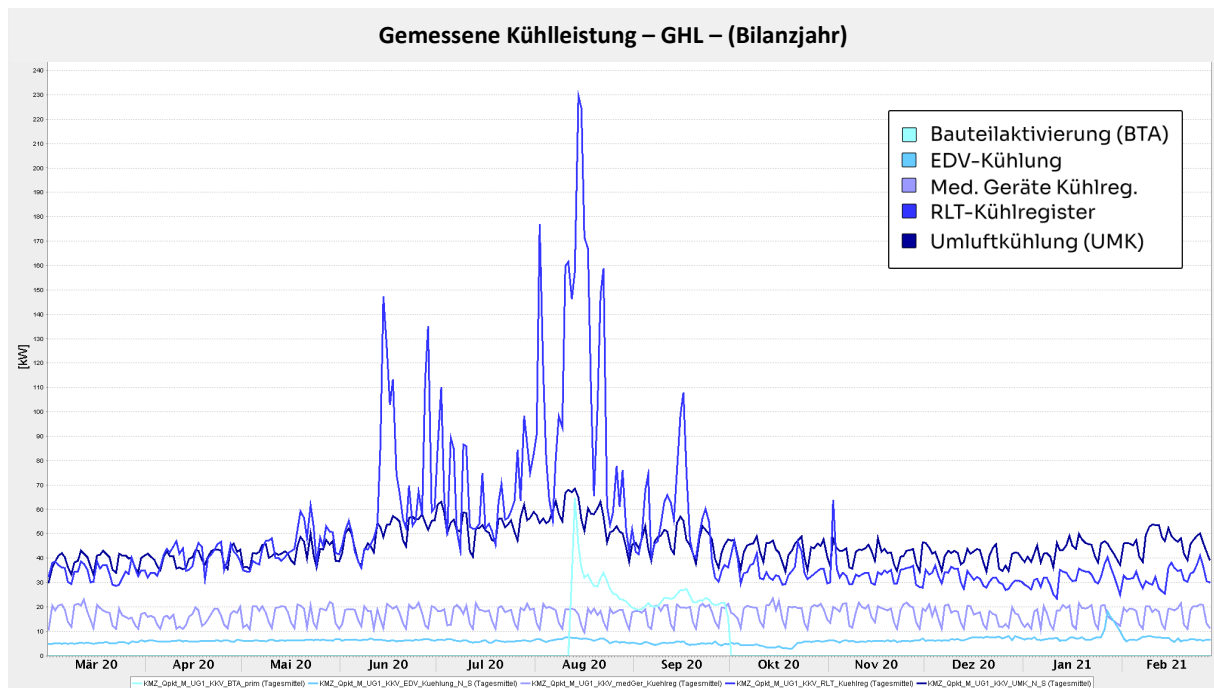


Abbildung 132: Gemessene Kälteleistung GHL Neubau im Bilanzjahr

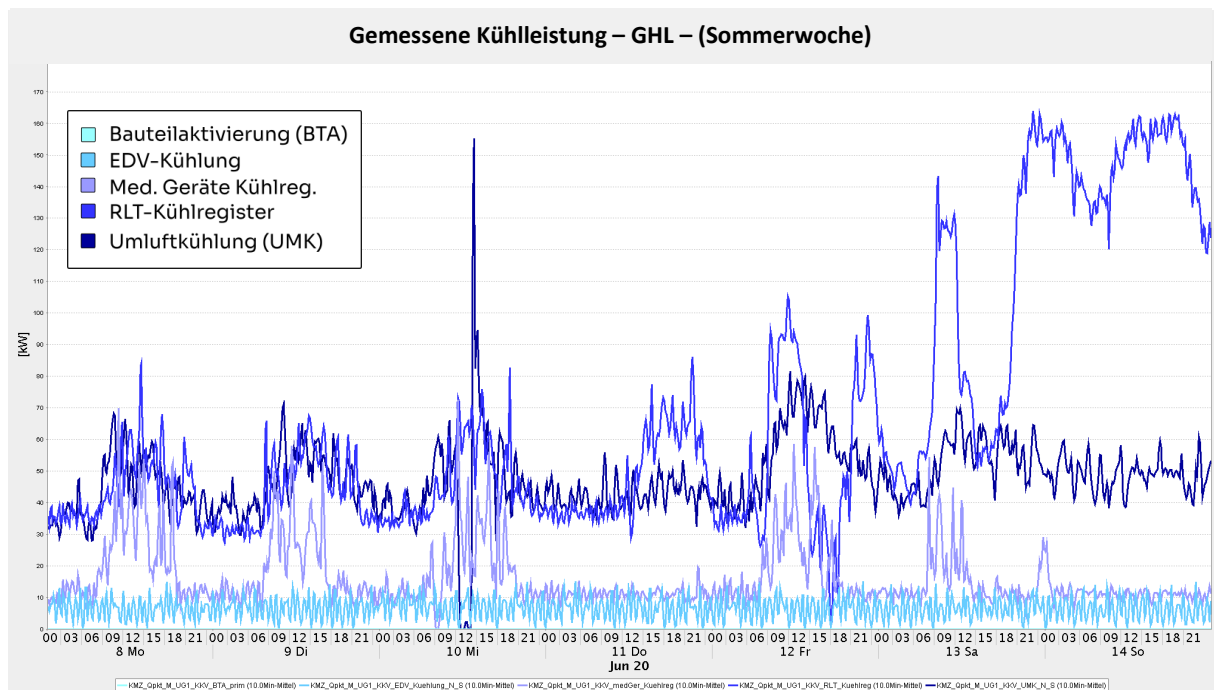


Abbildung 133: Gemessene Kälteleistung GHL Neubau – Sommerwoche

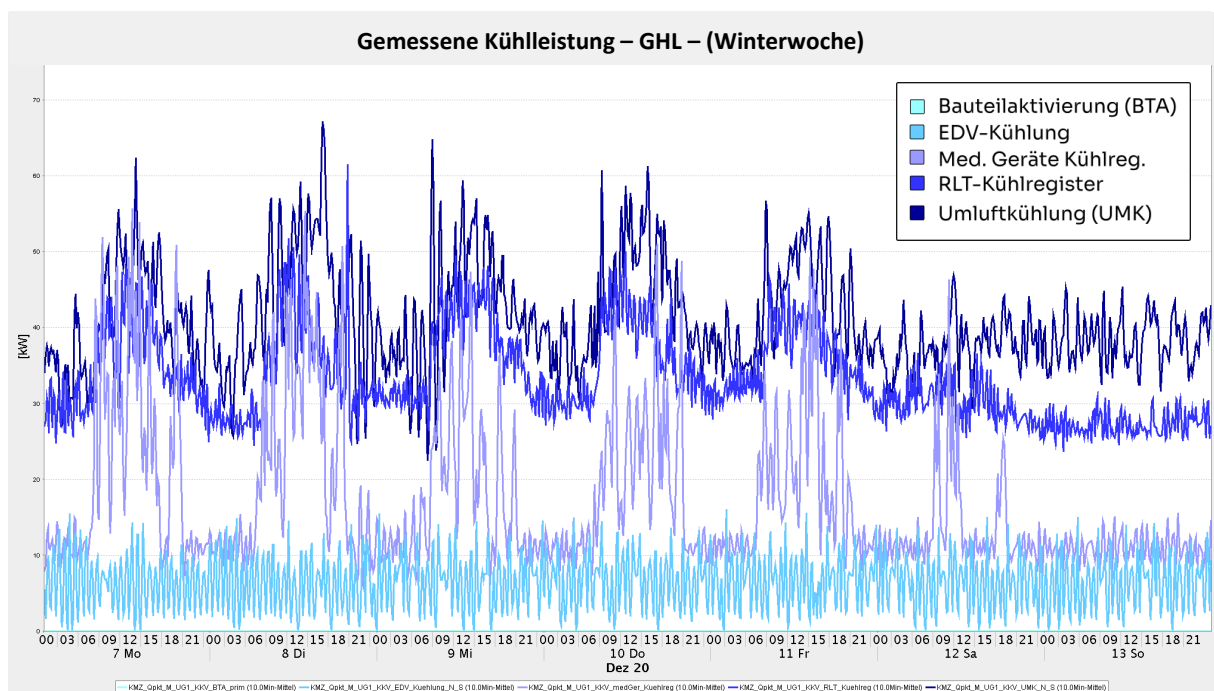


Abbildung 134: Gemessene Kälteleistung GHL Neubau – Winterwoche

4.8.5 Elektrischer Energieverbrauch

In der Abbildung 135 ist die vom Versorger bereitgestellte (Trafo 1, Trafo 2) und die selbst erzeugte elektrische Energie (BHKW1, BHKW2, Photovoltaik, Netzersatzanlage NEA) monatlich dargestellt (Erzeuger). Weiterhin sind die elektrischen Hauptverbraucher (ISP's (Informationsschwerpunkte), UV's (Unterverteilungen) und GG's (Großgeräte)) dargestellt (Verbraucher). Die Differenz zwischen bereitgestellter elektrischer Energie und Hauptverbrauchern wird als „delta“ der Verbrauchsseite zugeordnet und ist u. a. auf Verbraucher zurückzuführen, für die keine Zähler verbaut wurden.

Die Datengrundlagen finden sich in 17_Anhang_Ergebnisse\Elektrischer_Energieverbrauch.

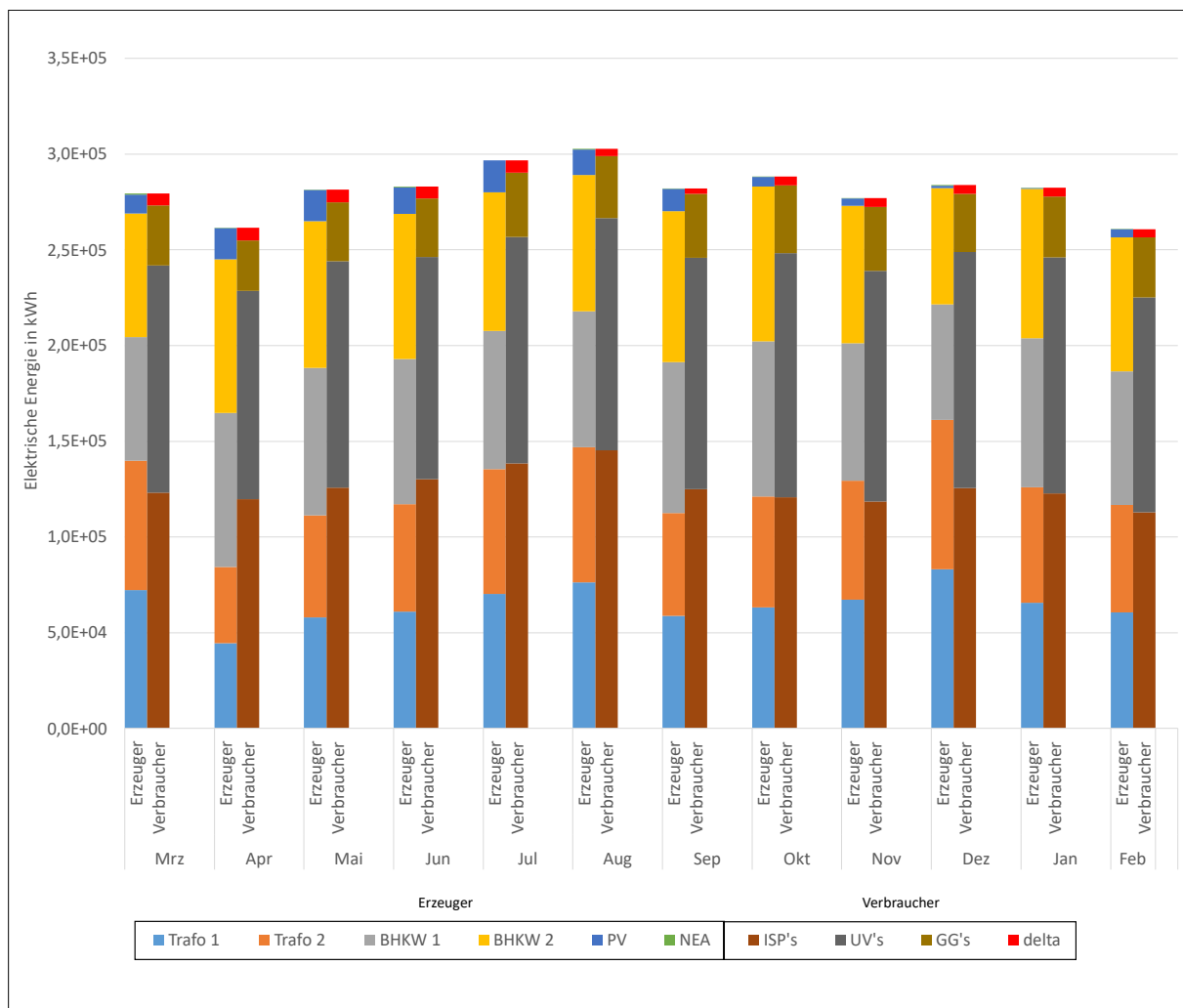


Abbildung 135: Monatliche Darstellung der vom Versorger bereitgestellten und der selbst erzeugten elektrischen Energie sowie der elektrischen Hauptverbraucher

Im Betrachtungszeitraum (01.03.20 bis 01.03.21) scheint es bei den monatlichen elektrischen Energieverbräuchen keine ausgeprägten saisonalen Witterungseinflüsse zu geben. Die größten Verbraucher stellen die Informationsschwerpunkte (ISP) gefolgt von den nicht näher ausgeführten Unterverteilern (UV) und den Großgeräten (GG) dar. Detaillierte Diagramme zum Verbrauch der Informationsschwerpunkte sind in der Abbildung 138, der UV's in Abbildung 140 und der Großgeräte in Abbildung 139 dargestellt. Die BHKW's stellen durchgehend über den betrachteten Zeitraum elektrische Energie zur Verfügung. Der Beitrag der PV-Anlage

schwankt jahreszeitlich bedingt. Der restliche elektrische Energieverbrauch wird vom Versorger über die Trafos 1 und 2 gedeckt.

In der Abbildung 136 ist der elektrische Energieverbrauch des GHL örtlich nach Gebäudeteilen (Nordflügel (Nord), Mitte (Mitte), Südflügel (Süd), Energiezentrale (EZ)) aufgelöst. Die Differenz zwischen bereitgestellter elektrischer Energie und Summe des örtlich verteilten Verbrauchs wird wieder als „delta“ der Verbrauchsseite zugeordnet.

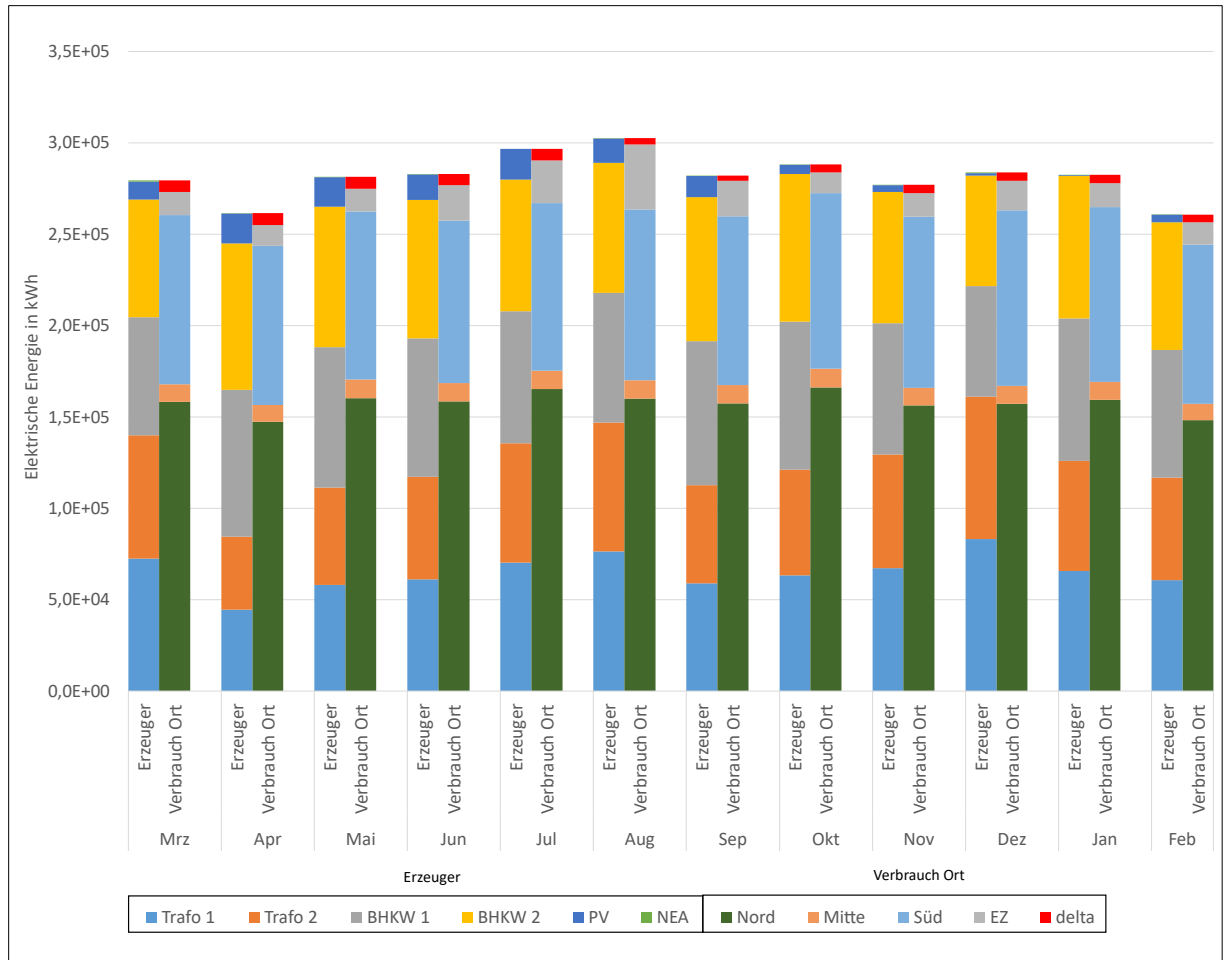


Abbildung 136: Monatliche Darstellung der vom Versorger bereitgestellten und der selbst erzeugten elektrischen Energie sowie des örtlich nach Gebäudeteilen aufgelösten Verbrauchs

In der Abbildung 137 ist der elektrische Energieverbrauch örtlich den Geschossen des Krankenhauses zugeordnet. Die Untergeschosse mit den Großgeräten und der Versorgungstechnik sind die größten Verbraucher. Die Obergeschosse, in denen sich meistens nur die Kleinverbraucher befinden, weisen einen geringeren Energieverbrauch auf.

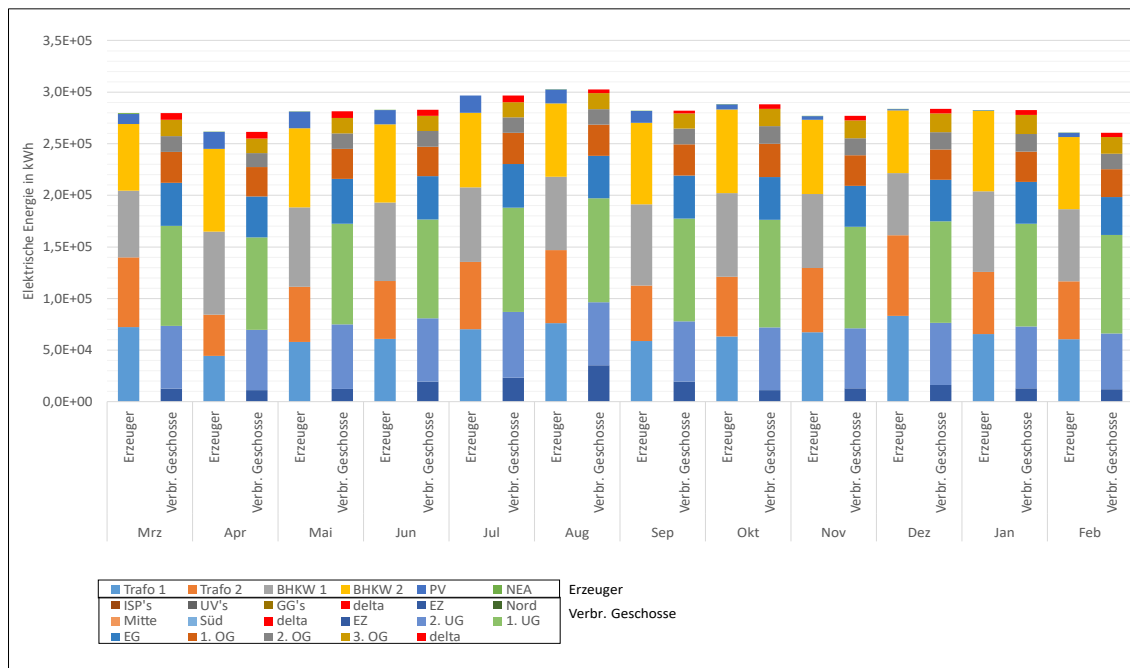


Abbildung 137: Monatliche Darstellung der vom Versorger bereitgestellten und der selbst erzeugten elektrischen Energie sowie des örtlich nach Geschossen aufgelösten Verbrauchs

Detaillierte Darstellung der Verbraucher

Im Folgenden sind die elektrischen Verbraucher detailliert dargestellt. Unterteilt werden diese nach Informationsschwerpunkten (Abbildung 138), medizinischen Großgeräten (Abbildung 139) und den Unterverteilern (Abbildung 140).

Bei den Informationsschwerpunkten kam es zu Differenzen zwischen der in die IPS's eingespeisten elektrischen Energie und dem Verbrauch der nachgeordneten einzelnen Verbraucher. Diese wurden als „delta“ der Verbrauchsseite zugeordnet. Die Abweichungen sind auf Verbraucher zurückzuführen, für die kein Zähler verbaut wurde. Auf eine Beschreibung der detaillierten Darstellungen soll an dieser Stelle verzichtet werden.

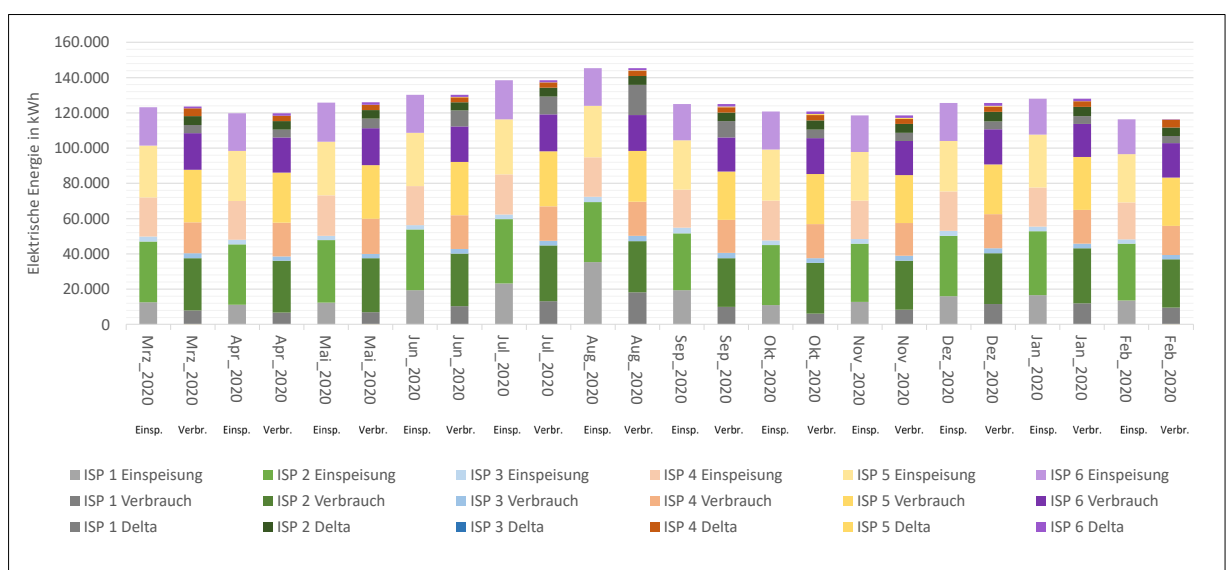


Abbildung 138: Detaillierte Darstellung der Informationsschwerpunkte (Einspeisung und Verbrauch ISP's) in Monatswerten

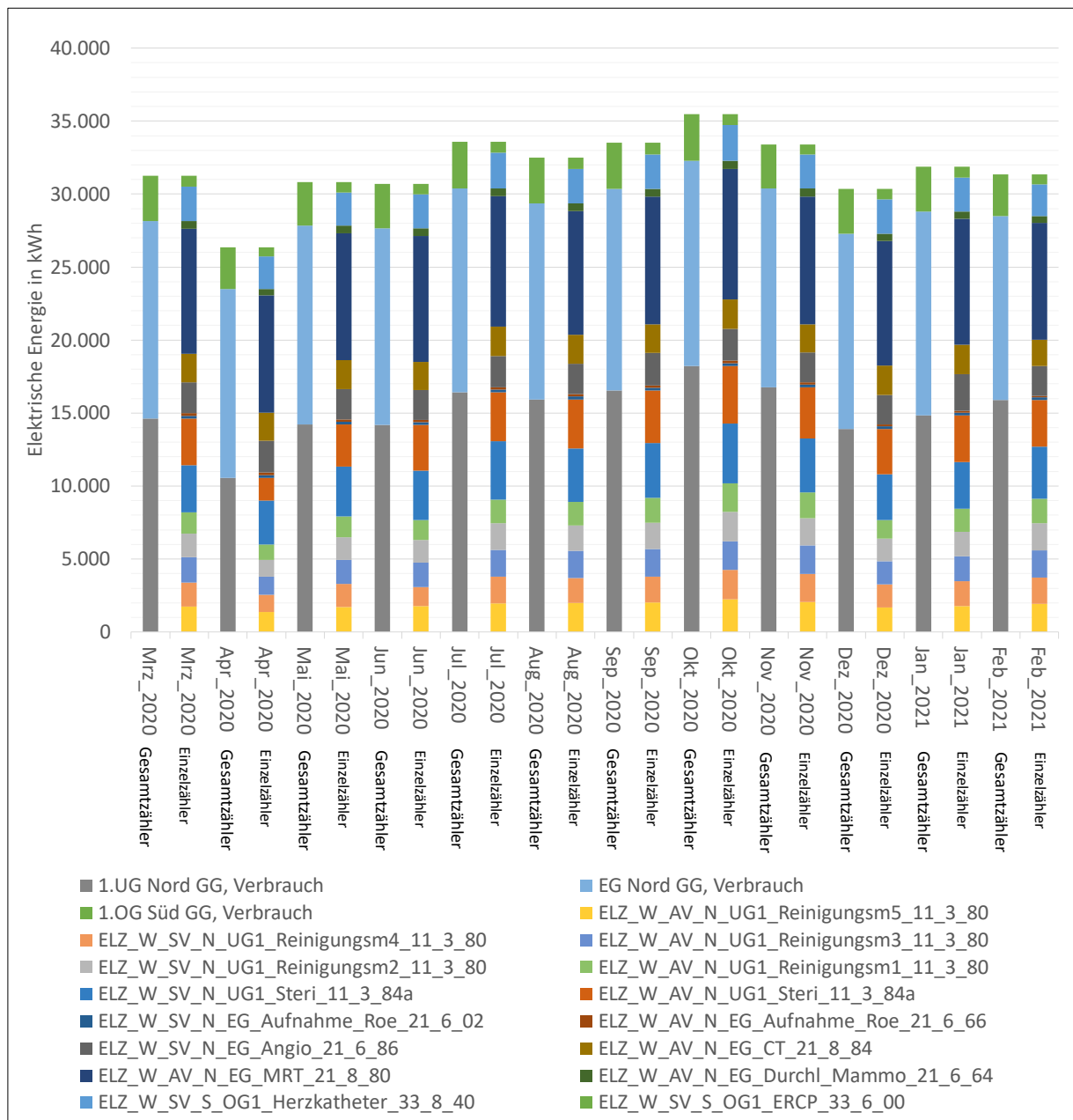


Abbildung 139: Detaillierte Darstellung (Gesamtzähler und Einzelzähler) der medizinischen Großgeräte in Monatswerten

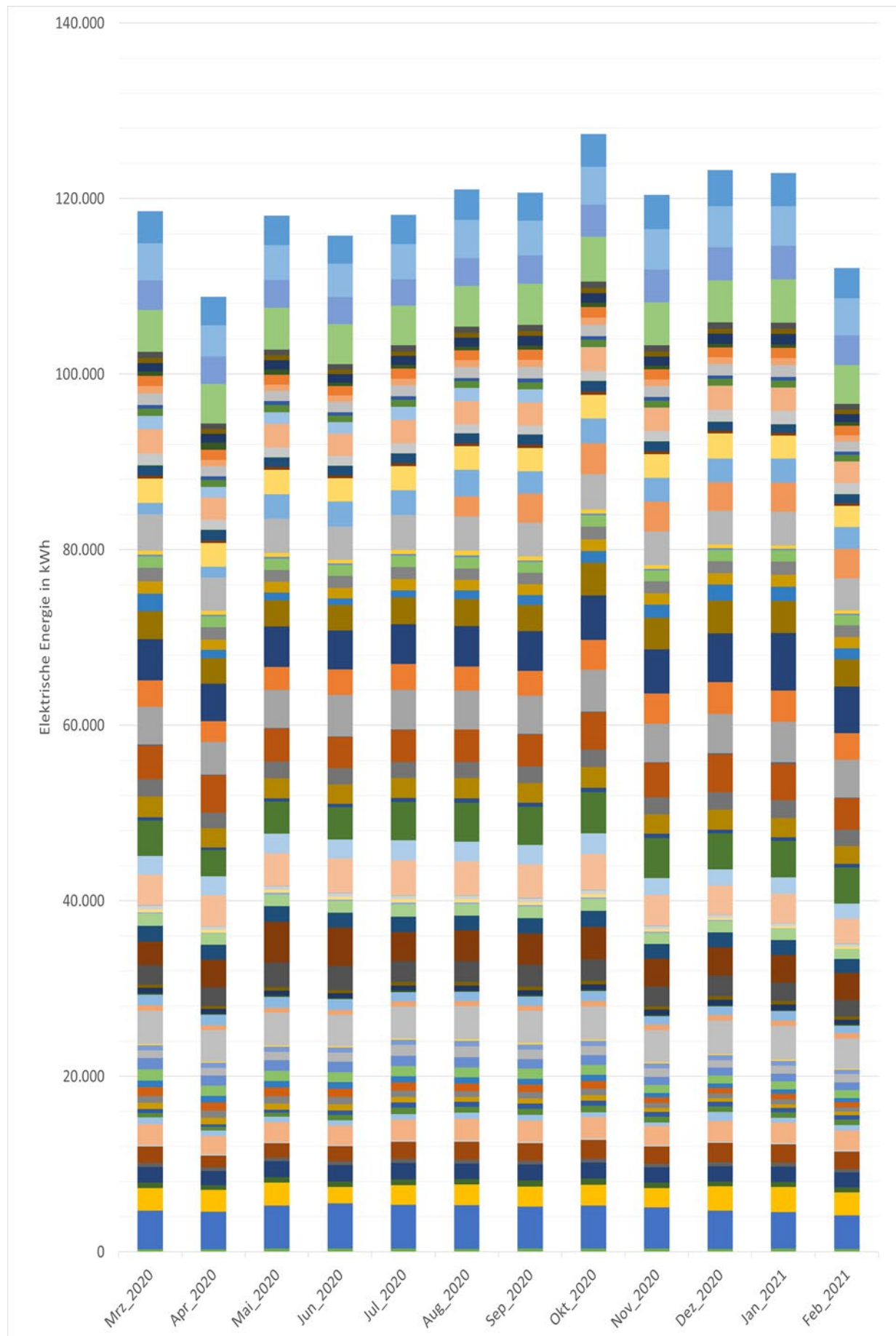


Abbildung 140: Detaillierte Darstellung der Unterverteiler in Monatswerten

Legende Abbildung 140:

* Erster Eintrag Legende entspricht oberster Wert Abbildung

3.OG Südflügel

- ELZ_W_AV_S_OG3_UV_Bettenstation
- ELZ_W_SV_S_OG3_UV_Bettenstation

2.OG Südflügel

- ELZ_W_AV_S_OG2_UV_Bettenstation
- ELZ_W_SV_S_OG2_UV_Bettenstation

1.OG Südflügel

- ELZ_W_SV_S_OG1_UV_Endoskopie
- ELZ_W_AV_S_OG1_UV_Entbindung
- ELZ_W_SV_S_OG1_UV_Entbindung
- ELZ_W_AV_S_OG1_UV_Herzkatheter_3_3_1
- ELZ_W_SV_S_OG1_UV_Herzkatheter_3_3_2
- ELZ_W_AV_S_OG1_UV_Innere_Medizin
- ELZ_W_SV_S_OG1_UV_Innere_Medizin

EG Südflügel

- ELZ_W_AV_S_EG_UV_Funktionsdiagnostik
- ELZ_W_SV_S_EG_UV_Funktionsdiagnostik
- ELZ_W_AV_S_EG_UV_Notfall
- ELZ_W_SV_S_EG_UV_Notfall
- ELZ_W_AV_S_EG_UV_Pforte
- ELZ_W_AV_S_UG1_Speisewaegen_13_4_72
- ELZ_W_AV_S_UG1_UV_Allgemein
- ELZ_W_SV_S_UG1_UV_Allgemein
- ELZ_W_AV_S_UG1_UV_Technik
- ELZ_W_SV_S_UG1_UV_Technik
- ELZ_W_SV_S_UG1_BSV_Batterie_13_8_28
- ELZ_W_AV_S_EG_UV_Chirurgie
- ELZ_W_SV_S_EG_UV_Chirurgie
- ELZ_W_SV_S_UG1_Aussenbel_UV_1_3_6

3.OG Nordflügel

- ELZ_W_AV_N_OG3_UV_Bettenstation
- ELZ_W_SV_N_OG3_UV_Bettenstation

2.OG Nordflügel

- ELZ_W_AV_N_OG2_UV_Bettenstation
- ELZ_W_SV_N_OG2_UV_Bettenstation
- 2.OG Nord MustR_Verbrauch
- ELZ_W_AV_N_OG2_MustR_NN
- ELZ_W_SV_N_OG2_MustR_NN
- ELZ_W_AV_N_OG2_MustR_NS
- ELZ_W_SV_N_OG2_MustR_NS

1.OG Nordflügel

- ELZ_W_AV_N_OG1_BV_IMC_ITS_3_1_8
- ELZ_W_SV_N_OG1_BV_IMC_ITS_3_1_8
- ELZ_W_AV_N_OG1_UV_ITS_IMC
- ELZ_W_SV_N_OG1_UV_ITS_IMC
- ELZ_W_AV_N_OG1_BV_OP_3_1_7
- ELZ_W_SV_N_OG1_BV_OP_3_1_7
- ELZ_W_AV_N_OG1_UV_OP_Bereich
- ELZ_W_SV_N_OG1_UV_OP_Bereich
- ELZ_W_SV_N_OG1_BSV_Batterie_OP_1_3_R_31_8_82
- ELZ_W_SV_N_OG1_BSV_Batterie_OP_4_5_R_31_8_82
- ELZ_W_AV_N_OG1_UV_Bereitschaft
- ELZ_W_SV_N_OG1_UV_Bereitschaft

EG Nordflügel

- ELZ_W_AV_N_EG_UV_Friseur
- ELZ_W_AV_N_EG_UV_Roentgendiagnostik
- ELZ_W_SV_N_EG_UV_Roentgendiagnostik
- ELZ_W_AV_N_EG_UV_Allgemein_2_1_9
- ELZ_W_SV_N_EG_UV_Allgemein_2_1_10
- ELZ_W_AV_N_EG_UV_Radiologische_Praxis
- ELZ_W_SV_N_EG_UV_Radiologische_Praxis
- ELZ_W_AV_N_EG_UV_Notfall_2_1_12
- ELZ_W_SV_N_EG_UV_Notfall_2_1_12
- ELZ_W_AV_N_EG_UV_Labor
- ELZ_W_SV_N_EG_UV_Labor
- ELZ_W_AV_N_EG_UV_Nuklearmedizin
- ELZ_W_SV_N_EG_UV_Nuklearmedizin

1.UG Nordflügel

- ELZ_W_SV_N_UG1_LuftZ_Osmose_11_8_80
- ELZ_W_AV_N_UG1_MaschRaum_11_4_24_UV_1_1_13
- ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Archiv_Verwaltung
- ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Archiv_Verwaltung
- ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Leitung_Verwaltung
- ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Leitung_Verwaltung
- ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Physiotherapie
- ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Physiotherapie
- ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Sterilgutversorgung
- ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Sterilgutversorgung
- ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Technik
- ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Technik
- ELZ_W_SV_N_UG1_Aufzuege_Steri

2.UG Nordflügel

- ELZ_W_SV_N_UG2_Druckluft1_01_8_64
- ELZ_W_SV_N_UG2_Druckluft2_01_8_64
- ELZ_W_SV_M_UG1_Aufzuege_Betten
- ELZ_W_SV_M_UG1_Aufzuege_Glas
- ELZ_W_AV_Fahrradladestation
- ELZ_W_AV_M_UG2_Flur_01_9_00_UV_01_1_1
- ELZ_W_SV_M_UG2_Flur_01_9_00_UV_01_1_2
- ELZ_W_SV_M_UG2_Rohrpost_01_9_00

Anschließend ist die **elektrische Energieerzeugung des GHL** (Blockheizkraftwerke, Photovoltaikanlage, Netzersatzanlage/Notstromgenerator) im Jahresverlauf (Abbildung 141) und für eine Sommerwoche (Abbildung 142, 8 bis 14. Juni 2020) und eine Winterwoche (Abbildung 143, 7 bis 13. Dezember 2021) dargestellt.

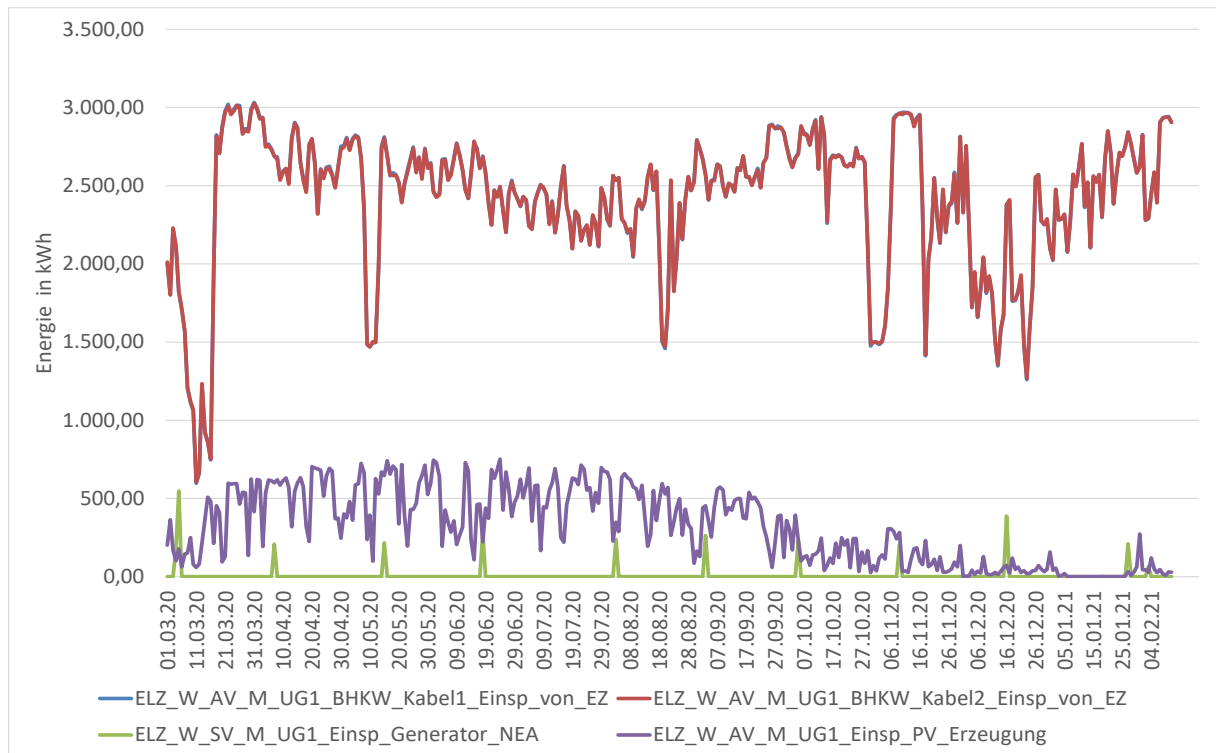


Abbildung 141: Elektrische Energieerzeugung GHL im Jahresverlauf (BHKW 1 und 2 laufen ca. identisch)

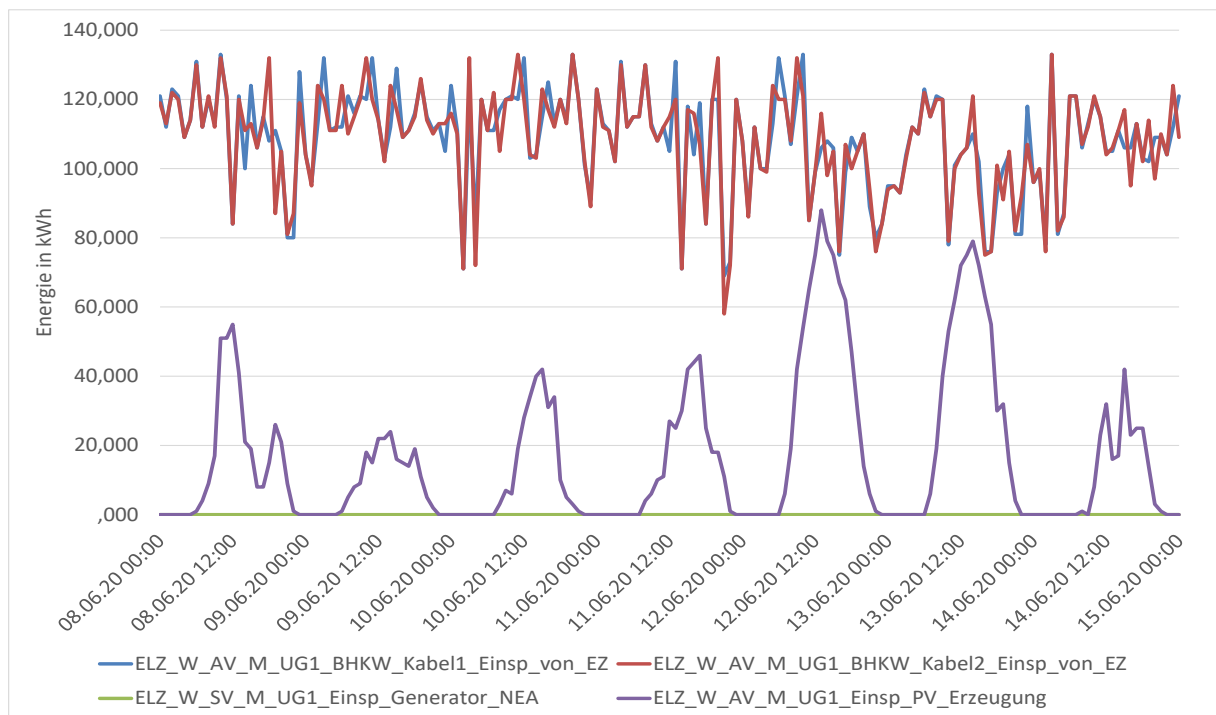


Abbildung 142: Elektrische Energieerzeugung GHL in der Sommerwoche



Abbildung 143: Elektrische Energieerzeugung GHL in der Winterwoche

4.8.6 Analyse RLT-Anlagen

Ein Überblick über alle 20 RLT-Anlagen, die im GHL verbaut wurden, ist u. a. in Kapitel 3.2.5 zu finden. Im Folgenden werden einige vergleichende Analysen zu den RLT Anlagen durchgeführt.

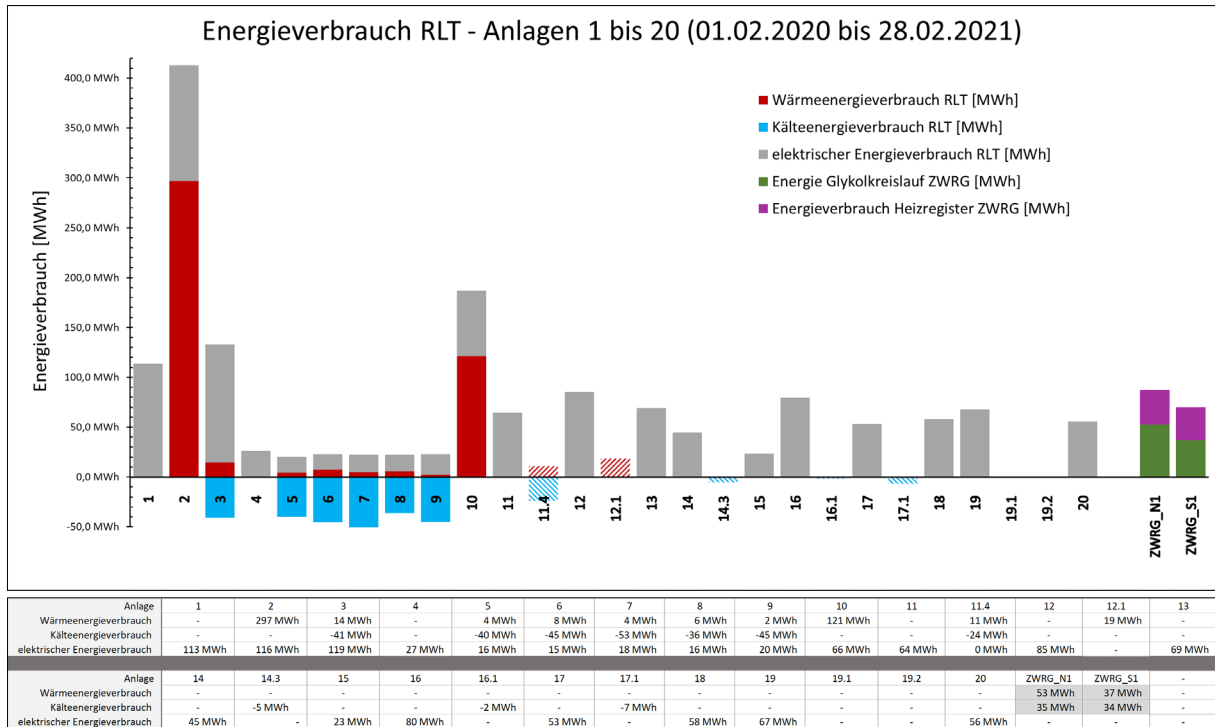


Abbildung 144: Jahres-Energieverbrauch RLT-Anlagen und ZWRG-Anlagen im Bilanzjahr

In Abbildung 144 wird der Jahres-Energieverbrauch der jeweiligen RLT-Anlagen (Wärmeenergieverbrauch, Kälteenergieverbrauch, elektrischer Energieverbrauch) und von zwei zentralen Wärmerückgewinnungsanlagen (ZWRG) (Energie Glykolkreislauf, Energieverbrauch Heizregister) im Bilanzjahr dargestellt. Die dritte ZWRG-Anlage (Süd UG2) hat leider einen defekten Wärmemengenzähler und konnte somit nicht ausgewertet werden.

Der Wärmeenergieverbrauch der RLT-Heizregister wird durch die roten Säulen und der Kälteenergieverbrauch der RLT-Anlage durch blaue Säulen, als negativer Wert, dargestellt. Die grauen Säulen visualisieren den elektrischen Energieverbrauch der jeweiligen Zu- und Abluftventilatoren. Bei den schraffierten Säulen handelt es sich um „Sub-Anlagen“. Die Ventilator-technik befindet sich dabei in der jeweiligen Hauptanlage, während die Sub-Anlage (z. B. 11.4) über zusätzliche Komponenten verfügt. Dies können z. B. Heiz- und Kühlregister, Volumenstromregler oder zusätzliche Filter sein.

Die RLT-Anlagen 2,3 und 10 sind in der Summe für 86 % des Heizenergieverbrauchs, bezogen auf alle RLT-Anlagen, verantwortlich. Der elektrische Energieverbrauch beträgt rund 27 %.

Die lilafarbenen Säulen stellen den Energieverbrauch der Heizregister der ZWRG-Anlagen dar. Die grünen Säulen visualisieren den Energieanteil, der aus der Raumabluft in den Glykol-Kreislauf innerhalb der ZWRG-Anlage übertragen wurde. Dadurch lassen sich aber keine direkten Rückschlüsse auf den Wirkungsgrad der ZWRG ziehen, da ein Großteil der Ab- und Zuluft im

Umluftbetrieb ohne Wärmerückgewinnung bewegt wird. Die ZWRG kann aber lediglich den Fortluftanteil nutzen. Energetisch betrachtet ist dies ein sinnvolles Vorgehen, da selbst bei hohen Wirkungsgraden ein größerer Verlust entstehen würde. Es wird lediglich der Anteil mit Außenluft ausgetauscht, der zur Erhaltung der Raumlufthqualität nötig ist.

Im Folgenden werden exemplarisch für 3 RLT Anlagen die gemessenen Leistungen von Heiz- und, wenn vorhanden, Kühlregister sowie der entsprechenden Zu- und Abluftventilatoren für eine Sommerwoche (08 bis 14.6.2020) und eine Winterwoche (07 bis 13.12.2020) dargestellt. Die zugehörigen versorgten Zonen befinden sich alle im Nordflügel und sind der ZWRG-Anlage 1 Nord zugeordnet:

- RLT2: Bettenstation – Nordflügel OG2 + OG3 (Abbildung 145 und Abbildung 146)
- RLT10: OP-Abteilung / Bereitschaftsdienst – Nordflügel 1. OG (Abbildung 147 und Abbildung 148)
- RLT3: Intensivmedizin – Nordflügel 1. OG (Abbildung 149 und Abbildung 150)

Die rote Kurve stellt die gemessene Leistung des Heizregisters, die blaue Kurve die gemessene Leistung des Kühlregisters und die beiden grauen Kurven die gemessene elektrische Leistung der Zu- und Abluftventilatoren dar.

Der elektrische Verbrauch unterliegt keiner saisonalen Abhängigkeit, da die Luftwechselraten bzw. Volumenströme konstant bleiben. Auf der Bettenstation (RLT2) ist der gemessene Verbrauch der Heizleistung, in der Spitze, in etwa gleich. Betrachtet man die Abend- und Nachstunden und die Wochenenden in der Sommerwoche, so sind dort deutlich geringere Leistungsaufnahmen erkennbar.

Der OP-Bereich verhält sich eher so, wie man es erwartet hätte. In der Winterwoche ist der gemessene Verbrauch fast doppelt so hoch wie in der Sommerwoche und ist dabei annähernd konstant.

Die gemessene Kühlleistung auf der Intensivstation (RLT3) ist im Sommer deutlich ausgeprägter, während im Winter kein Verbrauch vorliegt. Die Heizleistung im Winter ist konstant, mit einzelnen und stark ausgeprägten Peaks.

Genauere Informationen zu diesem Kapitel siehe auch 17_Anhang_Ergebnisse\RLT.

Organisation: Hochschule Coburg

Start date: 08.06.20 00:00

End date: 14.06.20 00:00

Resolution: bei Ablesungen

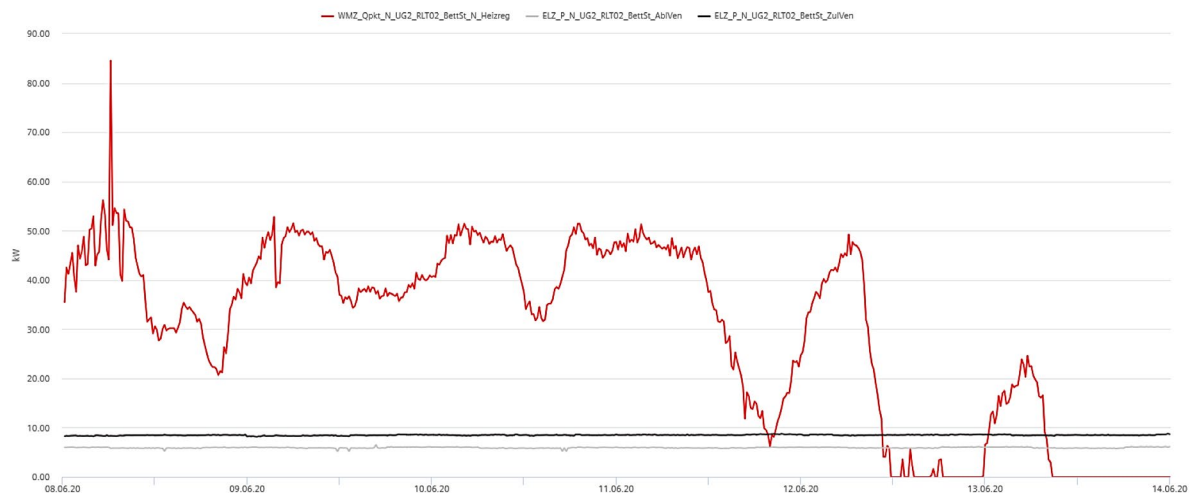


Abbildung 145: RLT2 - Bettenstation – Sommerwoche

Organisation: Hochschule Coburg

Start date: 07.12.20 00:00

End date: 13.12.20 00:00

Resolution: bei Ablesungen

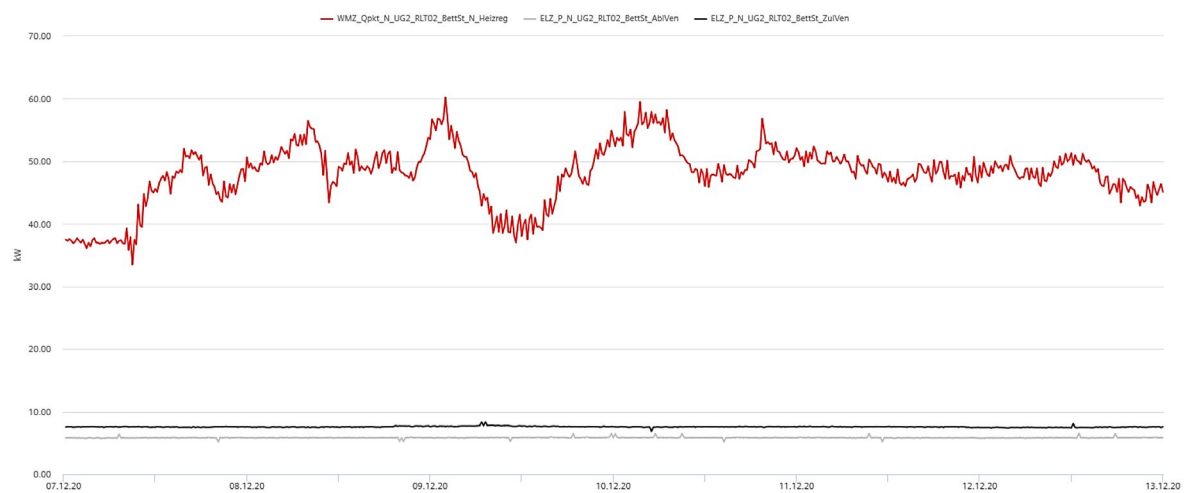


Abbildung 146: RLT2 - Bettenstation – Winterwoche

Organisation: Hochschule Coburg

Start date: 08.06.20 00:00

End date: 14.06.20 00:00

Resolution: bei Ablesungen

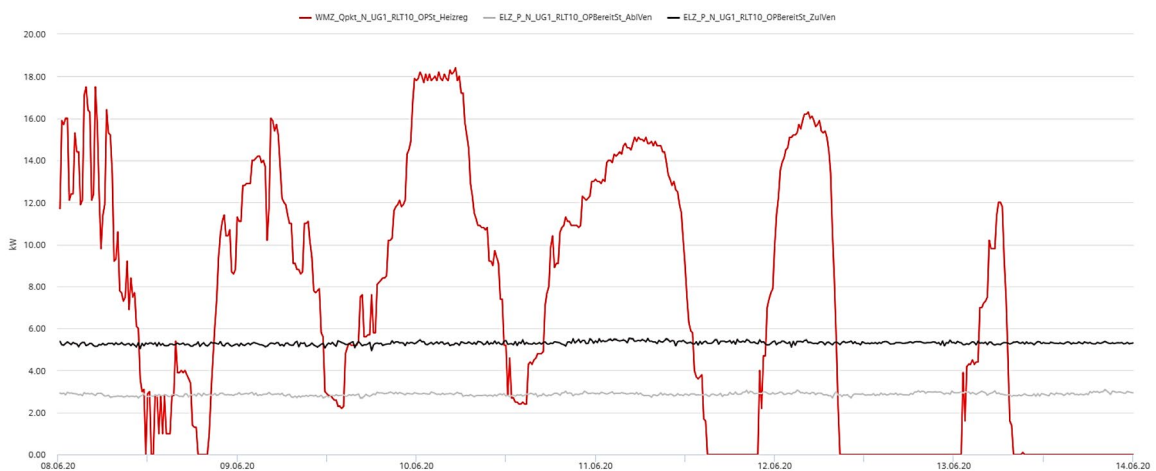


Abbildung 147: RLT10 - OP Vorbereitung / Bereitschaftsdienst - Sommerwoche

Organisation: Hochschule Coburg

Start date: 07.12.20 00:00

End date: 13.12.20 00:00

Resolution: bei Ablesungen



Abbildung 148: RLT10 - OP Vorbereitung / Bereitschaftsdienst - Winterwoche

Organisation: Hochschule Coburg

Start date: 08.06.20 00:00

End date: 14.06.20 00:00

Resolution: bei Ablesungen

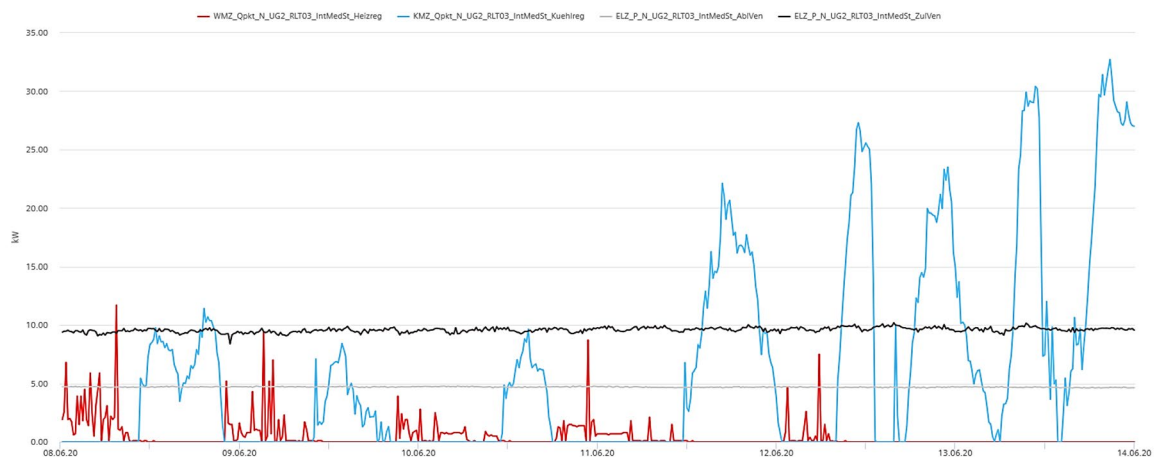


Abbildung 149: RLT3 - Intensivmedizin - Sommerwoche

Organisation: Hochschule Coburg

Start date: 07.12.20 00:00

End date: 13.12.20 00:00

Resolution: bei Ablesungen



Abbildung 150: RLT3 – Intensivmedizin - Winterwoche

4.8.7 Musterräume

Im Rahmen des „Green Hospital“ Projektes wurden zwei Funktionsräume (MRT, OP septisch) und 2 Patientenzimmer als Musterräume mit Sensoren zur **Messung der Raumluftqualität** und zur **Erfassung des Energieverbrauches** ausgestattet. Hinsichtlich der Raumluft werden die Parameter Raumtemperatur, relative Feuchte, Kohlendioxidgehalt und das Fensteröffnungsverhalten (Patientenzimmer) erfasst. Die Beheizung erfolgt in Abhängigkeit des Raumes über eine Fußbodenheizung (FBH) oder über die Raumlufttechnik (RLT). Auch eine Kombination beider Technologien ist möglich. Der Kühlbedarf kann ebenfalls über die RLT abgedeckt werden. In besonders stark belasteten Bereichen (z. B. MRT) kommen zusätzlich Umluftkühlgeräte zum Einsatz. Die Patientenzimmer werden im Sommer über Bauteilaktivierung (BTA) gekühlt. Die Stromversorgung gliedert sich in die allgemeine Versorgung (AV) und in die Sicherheitsversorgung (SV). Bei der SV-Versorgung wird im Netzspannungsausfall eine Versorgung über das hauseigene Notstromaggregat sichergestellt. Zusätzlich gibt es noch Verbraucher, die über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) verfügen. Diese werden in unserem Fall nicht betrachtet. Eine genaue Aufschlüsselung des Frischwasserverbrauchs ist aufgrund fehlender Zähler nicht möglich.

RLT-Anlagen benötigen neben der Energie für die Heiz- und Kühlregister auch elektrische Energie für den Betrieb der Zuluft- und Abluftventilatoren. Diese wird direkt gemessen bzw. anteilig über die entsprechenden Teilvolumenströme berechnet. Die nachgeschaltete „Zentrale Wärmerückgewinnung“ (ZWRG) wird bei der energetischen Betrachtung der Patientenzimmer nicht berücksichtigt. Die in den folgenden Kapiteln verwendeten Schemata und Grafiken befinden sich in 17_Anhang_Ergebnisse\Musterräume.

Lage der Musterräume

Sämtliche Musterräume sind im Nordflügel des Klinikums lokalisiert:

- Musterräume „Patientenzimmer Nord-Süd“ (2×2 Betten); Raumnummer: 41.6.12 und 41.6.20; 2. OG (MustR_NS)
- Musterräume „Patientenzimmer Nord-Nord“ (2×2 Betten); Raumnummer: 41.6.58 und 41.6.62; 2. OG (MustR_NN)
- Musterraum Funktionsraum „MRT“ Raumnummer: 21.6.80; Erdgeschoss Nord (MustR_MRT)
- Musterraum Funktionsraum „OP septisch“ Raumnummer: 31.6.80; 1. Obergeschoss Nord (MustR_OPSt)

In Abbildung 151 bis Abbildung 153 sind die Grundrisspläne der entsprechenden Musterräume bzw. Stationen/Geschosse dargestellt (vgl. 17_Anhang_Ergebnisse\Musterräume\Grundrisspläne)



Abbildung 151: Übersichtsplan 2. Obergeschoss Nordflügel - Bettenstation mit den Musterräumen "Patientenzimmer NN/NS "



Abbildung 152: Übersichtsplan Erdgeschoss Nordflügel – Röntgendiagnostik mit Musterraum "MRT" (Markierung)



Abbildung 153: Übersichtsplan 1. Obergeschoss Nordflügel - OP-Abteilung mit Musterräumen "OP septisch" (Markierung)

Darstellung der Wärme und Kälteverteilung hinsichtlich der Musterräume

In Abbildung 154 ist schematisch die Wärme- und Kälteverteilung der Musterräume dargestellt. Die gelben Kästchen enthalten die entsprechenden MoniSoft-Schlüsselnummern (MS).

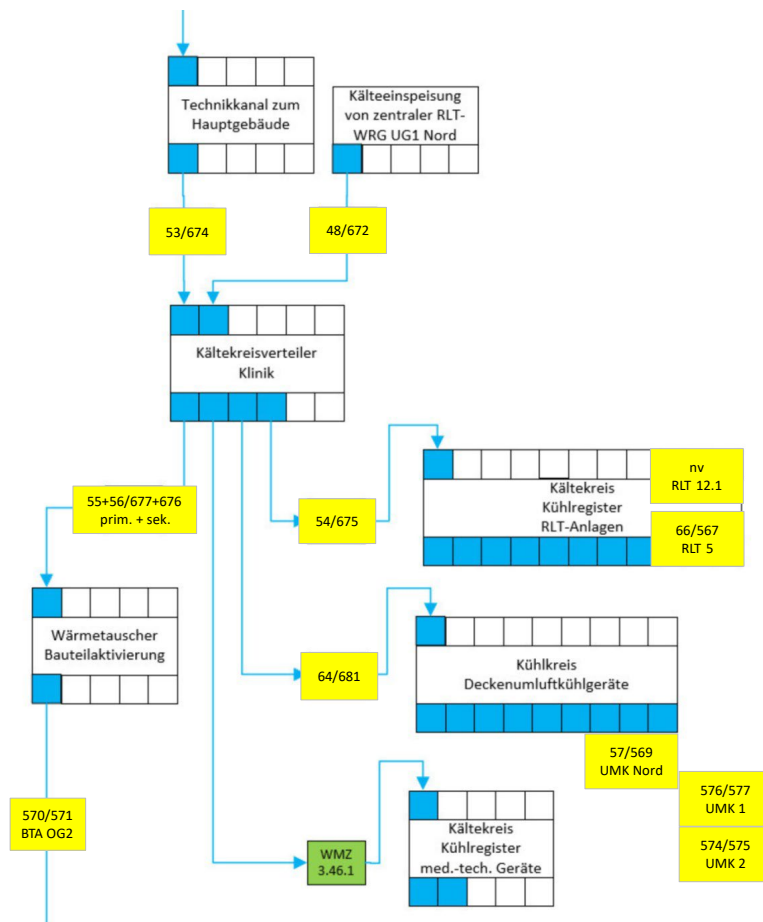
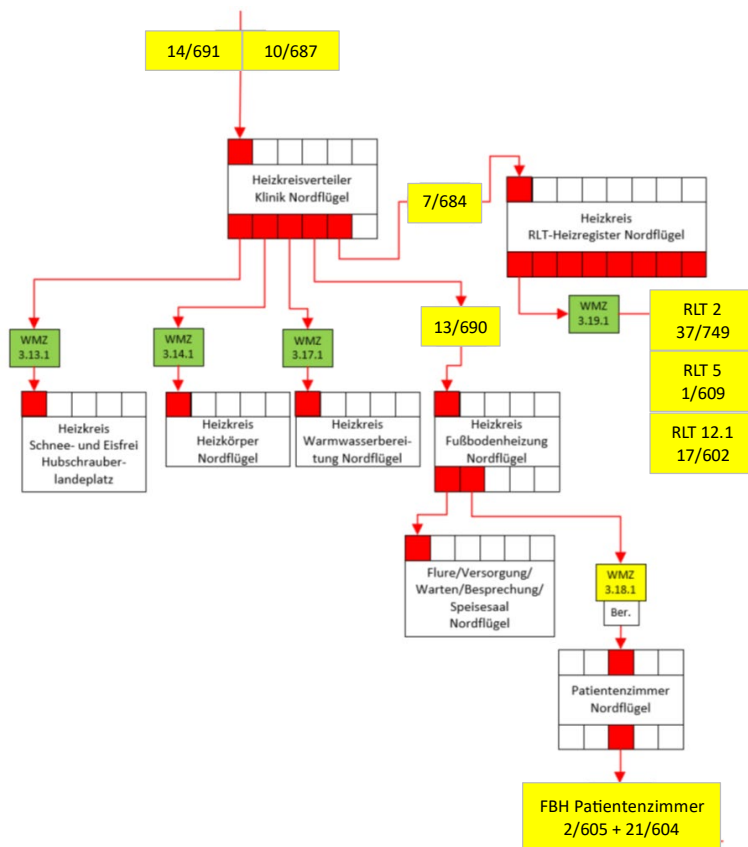


Abbildung 154: Schematische Darstellung der Wärme und Kälteverteilung der Musterräume

4.8.7.1 Musterräume „Patientenzimmer“

Im folgenden Abschnitt wird die in den Patientenzimmern verwendete Versorgungstechnik und Sensorik genauer beschrieben. Diese ist schematisch in den Abbildung 155 und Abbildung 156 dargestellt. Tabelle 73 listet alle Datenpunkte auf, die im Zusammenhang mit den Musterräumen „Patientenzimmern“ stehen.

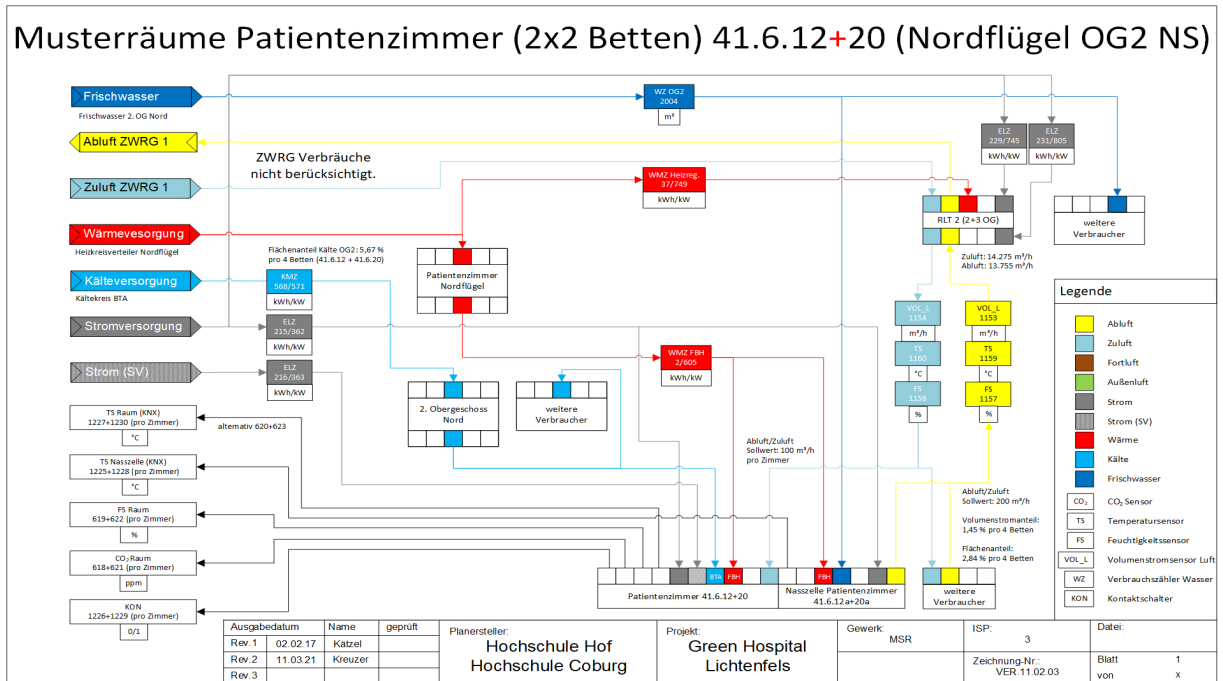


Abbildung 155: Schematische Darstellung der Versorgungstechnik und Sensorik der Musterräume 41.6.12 + 20

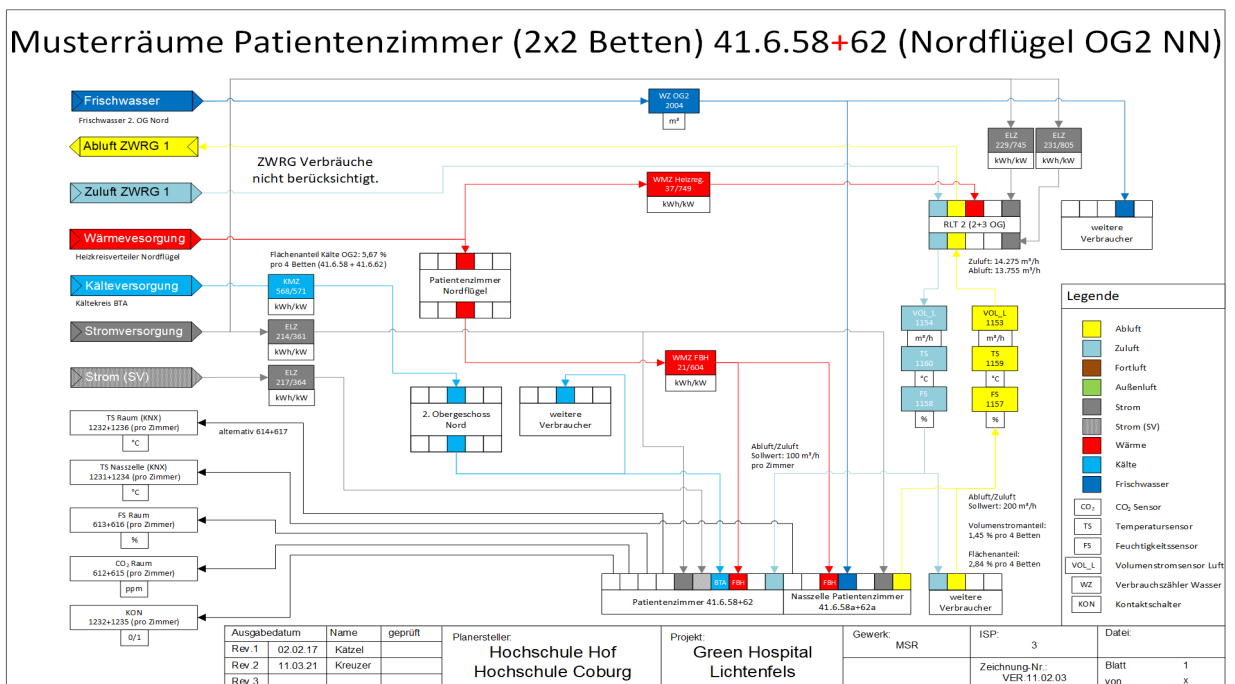


Abbildung 156: Schematische Darstellung der Versorgungstechnik und Sensorik der Musterräume 41.6.58 + 62

Frischwasserversorgung

Der Frischwasserverbrauch wird nicht betrachtet, da für das 2. Obergeschoss nur ein virtueller Wasserzähler vorhanden ist (MS 2004). Eine eindeutige Zuordnung des Wasserverbrauchs auf einen einzelnen Raum ist somit nicht möglich. Auch eine flächenanteilige Berechnung ist in diesem Fall wenig sinnvoll, da sich im 2. Obergeschoss auch Zimmer befinden, die einer anderen Nutzung unterliegen.

Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung erfolgt über die Fußbodenheizung und über die Raumluftheizung. Die Leistung bzw. der Verbrauch der FBH wird jeweils für 2 Zimmer gemeinsam erfasst (MS: 2/605 und 21/604). Die Fußbodenheizung wird vom Verteiler „Heizkreisverteiler FBH Nord“ gespeist.

RLT

Die RLT-Anlage 2 ist für die Versorgung des 2. und 3. Obergeschosses zuständig. Das Heizregister verfügt über einen Wärmemengenzähler (MS: 37/749). Die Versorgung aller Heizregister findet über den Heizkreisverteiler „RLT-Heizregister Nordflügel“ statt. Eine separate Erfassung der Zu- Ablufttemperatur und des Volumenstroms für den jeweiligen Musterraum ist nicht möglich. Um den Energieverbrauch der RLT-Anlage trotzdem berücksichtigen zu können, erfolgt eine anteilige Berechnung/Abschätzung über den Abluftvolumenstrom des jeweiligen Zimmers bezogen auf den Gesamtvolumenstrom der RLT 2. Dieser Anteil beträgt pro Zimmer 0,7 % (vgl. Abbildung 155 und Abbildung 156). Eine Berücksichtigung der Himmelsrichtung erfolgt nicht.

Kälteversorgung

Die Kühlung der Patientenzimmer wird durch eine Betonkernaktivierung erreicht. Die Versorgung wird über den Kältekreisverteiler im 2. Obergeschoss Nord gewährleistet. Der Kältemengenzähler (MS: 570/571) erfasst das gesamte 2. Obergeschoss. Auch in diesem Fall wird der Energieverbrauch anteilig berechnet. Die Abschätzung erfolgt über die Grundfläche der jeweiligen Räume in Bezug zur Gesamtgrundfläche der mit BTA versorgten Räume im 2. Obergeschoss (vgl. 17_Anhang_Ergebnisse\Musterräume\2019-11-07 Projektarbeit_Schricker). Der Anteil pro Zimmer beträgt 2,8 %.

Stromversorgung

Die Stromversorgung gliedert sich in die Allgemeine Stromversorgung (AV) und in die Sicherheitsstromversorgung (SV). Diese wird jeweils durch separate Zähler überwacht. Auch in diesem Fall werden je zwei Zimmer gebündelt erfasst (vgl. Tabelle 73). Hier gilt es zu beachten, dass bei den gemessenen Werten der elektrischen Leistung wahrscheinlich ein falscher Vorfaktor im Siemens System gesetzt wurde. Es gibt Abweichungen ca. um den Faktor 10, die in dieser Betrachtung berücksichtigt und korrigiert wurden. Der elektrische Energieverbrauch

der Abluft- und Zuluftventilatoren wird wieder entsprechend anteilig berücksichtigt (Vgl. Unterpunkt Wärmeversorgung und RLT).

Verwendete Datenpunkt

In Tabelle 73 werden alle Datenpunkte bzw. die dazugehörigen Datenpunkt-Namen (Siemens Navigator Namen siehe Tabelle), die im Zusammenhang mit der Datenaufnahme in den Musterräumen „Patientenzimmer“ stehen, aufgelistet.

Tabelle 73: Datenpunkte im Zusammenhang mit den Musterräumen „Patientenzimmer“

MS	Siemens Navigator Name	Zähler	Einheit	Zuordnung
2004	WZ_V_N_OG2_vir	Wasserzähler	m³	OG2
37	WMZ_Q_N_OG2_RLT02_BettSt_N_Heizreg	Wärmemengenzähler RLT 2	kWh	RLT-Heizregister Nordflügel UG2
749	WMZ_Qpkt_N_OG2_RLT02_BettSt_N_Heizreg	Wärmemengenzähler RLT 2	kW	RLT-Heizregister Nordflügel UG2
2	WMZ_Q_N_OG2_HK_FBH_MustR_41_6_12_u_20	Wärmemengenzähler FBH	kWh	Patientenzimmer 41.6.12 + 20 OG1
605	WMZ_Qpkt_N_OG2_HK_FBH_MustR_41_6_12_u_20	Wärmemengenzähler FBH	kW	Patientenzimmer 41.6.12 + 20 OG1
21	WMZ_Q_N_OG2_HK_FBH_MustR_41_6_58_u_62	Wärmemengenzähler FBH	kWh	Patientenzimmer 41.6.58 + 62 OG1
604	WMZ_Qpkt_N_OG2_HK_FBH_MustR_41_6_58_u_62	Wärmemengenzähler FBH	kW	Patientenzimmer 41.6.58 + 62 OG1
570	KMZ_Q_N_OG2_KKV_BTA	Kältemengenzähler Bauteilaktivierung	MWh	Kältekreisverteiler OG2
571	KMZ_Qpkt_N_OG2_KKV_BTA	Kältemengenzähler Bauteilaktivierung	kW	Kältekreisverteiler OG2
215	ELZ_W_AV_N_OG2_MustR_NS	Stromzähler (ISP3)	kWh	Patientenzimmer 41.6.12 + 20 OG1
362	ELZ_P_AV_N_OG2_MustR_NS	Stromzähler (ISP3)	kW	Patientenzimmer 41.6.12 + 20 OG1
216	ELZ_W_SV_N_OG2_MustR_NS	Stromzähler (ISP3)	kWh	Patientenzimmer 41.6.12 + 20 OG1
363	ELZ_P_SV_N_OG2_MustR_NS	Stromzähler (ISP3)	kW	Patientenzimmer 41.6.12 + 20 OG1
214	ELZ_W_AV_N_OG2_MustR_NN	Stromzähler (ISP3)	kWh	Patientenzimmer 41.6.58 + 62 OG1
361	ELZ_P_AV_N_OG2_MustR_NN	Stromzähler (ISP3)	kW	Patientenzimmer 41.6.58 + 62 OG1
217	ELZ_W_SV_N_OG2_MustR_NN	Stromzähler (ISP3)	kWh	Patientenzimmer 41.6.58 + 62 OG1
364	ELZ_P_SV_N_OG2_MustR_NN	Stromzähler (ISP3)	kW	Patientenzimmer 41.6.58 + 62 OG1
229	ELZ_W_N_OG2_RLT02_BettSt_ZulVen	Stromzähler (ISP5)	kWh	RLT-Anlage UG2
745	ELZ_P_N_OG2_RLT02_BettSt_ZulVen	Stromzähler (ISP5)	kW	RLT-Anlage UG3
231	ELZ_W_N_OG2_RLT02_BettSt_AblVen	Stromzähler (ISP5)	kWh	RLT-Anlage UG4
805	ELZ_P_N_OG2_RLT02_BettSt_AblVen	Stromzähler (ISP5)	kW	RLT-Anlage UG5
1227	T_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NS_41_6_12	Temperaturfühler	°C	Musterraum 41.6.12
1225	T_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NS_41_6_12a	Temperaturfühler	°C	Musterraum 41.6.12a (Nasszelle)
619	relF_Trnd_N_OG2_Mustr_NS_41_6_12	Feuchtefühler	%	Musterraum 41.6.12
618	CO2_Trnd_N_OG2_Mustr_NS_41_6_12	CO2-Sonde	ppm	Musterraum 41.6.12
1226	FenK_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NS_41_6_12	Fensterkontakt defekt	-	Musterraum 41.6.12
1230	T_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NS_41_6_20	Temperaturfühler	°C	Musterraum 41.6.20
1228	T_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NS_41_6_20a	Temperaturfühler	°C	Musterraum 41.6.20a (Nasszelle)
622	relF_Trnd_N_OG2_Mustr_NS_41_6_20	Feuchtefühler	%	Musterraum 41.6.20
621	CO2_Trnd_N_OG2_Mustr_NS_41_6_20	CO2-Sonde	ppm	Musterraum 41.6.20
1229	FenK_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NS_41_6_20	Fensterkontakt defekt	-	Musterraum 41.6.20
1233	T_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NN_41_6_58	Temperaturfühler	°C	Musterraum 41.6.58
1231	T_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NN_41_6_58a	Temperaturfühler	°C	Musterraum 41.6.58a (Nasszelle)
613	relF_Trnd_N_OG2_Mustr_NN_41_6_58	Feuchtefühler	%	Musterraum 41.6.58
612	CO2_Trnd_N_OG2_Mustr_NN_41_6_58	CO2-Sonde	ppm	Musterraum 41.6.58
1232	FenK_KNX_Trnd_N_OG2_Mustr_NN_41_6_58	Fensterkontakt defekt	-	Musterraum 41.6.58
1236	T_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NN_41_6_62	Temperaturfühler	°C	Musterraum 41.6.62
1234	T_Trnd_KNX_N_OG2_Mustr_NN_41_6_62a	Temperaturfühler	°C	Musterraum 41.6.62a (Nasszelle)
616	relF_Trnd_N_OG2_Mustr_NN_41_6_62	Feuchtefühler	%	Musterraum 41.6.62
615	CO2_Trnd_N_OG2_Mustr_NN_41_6_62	CO2-Sonde	ppm	Musterraum 41.6.62
1235	FenK_KNX_Trnd_N_OG2_Mustr_NN_41_6_62	Fensterkontakt defekt	-	Musterraum 41.6.62
7	WMZ_Q_N_OG1_HKV_RLT_Heizreg_N	Wärmemengenzähler RLT-Anl.	MWh	Heizkreisverteiler ⇒ RLT-Anlagen UG1
684	WMZ_Qpkt_N_OG1_HKV_RLT_Heizreg_N	Wärmemengenzähler RLT-Anl.	kW	Heizkreisverteiler ⇒ RLT-Anlagen UG1
13	WMZ_Q_N_OG1_HKV_FBH_N	Wärmemengenzähler Vert. FBH N	kWh	Heizkreisverteiler ⇒ FBH Nordfl. UG 1
690	WMZ_Qpkt_N_OG1_HKV_FBH_N	Wärmemengenzähler Vert. FBH N	kW	Heizkreisverteiler ⇒ FBH Nordfl. UG 1
10	WMZ_Q_N_OG1_HKV_Einsp_von_EZ	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord	MWh	Einspeisung ⇒ Heizkreisverteiler N
687	WMZ_Qpkt_N_OG1_HKV_Einsp_von_EZ	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord	kW	Einspeisung ⇒ Heizkreisverteiler N
14	WMZ_Q_N_OG1_HKV_Einsp_von_WP	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord WP	kWh	Einspeisung WP ⇒ Heizkreisverteiler N
691	WMZ_Qpkt_N_OG1_HKV_Einsp_von_WP	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord WP	kW	Einspeisung WP ⇒ Heizkreisverteiler N
166	ELZ_W_AV_N_OG2_UV_Bettenstation	Stromzähler (ISP3)	kWh	Elektroverteiler OG2
320	ELZ_P_AV_N_OG2_UV_Bettenstation	Stromzähler (ISP3)	kW	Elektroverteiler OG2
270	ELZ_W_SV_N_OG2_UV_Bettenstation	Stromzähler (ISP3)	kWh	Elektroverteiler OG2
430	ELZ_P_SV_N_OG2_UV_Bettenstation	Stromzähler (ISP3)	kW	Elektroverteiler OG2
53	KMZ_Q_M_OG1_Einsp_von_EZ	Kältemengenzähler Einspeisung	MWh	Einspis. Erzeug. ⇒ Kältekreisverteiler Mitte
674	KMZ_Qpkt_M_OG1_Einsp_von_EZ	Kältemengenzähler Einspeisung	kW	Einspis. Erzeug. ⇒ Kältekreisverteiler Mitte
48	KMZ_Q_M_OG1_KKV_Einsp_von_RLT_ZWRG_N_OG1	Kältemengenzähler ZWRG Einspeisung	MWh	Einspis. ZWRG ⇒ Kältekreisverteiler Mitte
672	KMZ_Qpkt_M_OG1_KKV_Einsp_von_RLT_ZWRG_N_OG1	Kältemengenzähler ZWRG Einspeisung	kW	Einspis. ZWRG ⇒ Kältekreisverteiler Mitte
56	KMZ_Q_M_OG1_KKV_BTA_prim	Wärmetauscher BTA	MWh	Kältekreisverteiler Mitte ⇒ BTA
677	KMZ_Qpkt_M_OG1_KKV_BTA_prim	Wärmetauscher BTA	kW	Kältekreisverteiler Mitte ⇒ BTA
55	KMZ_Q_M_OG1_KKV_BTA_sek	Wärmetauscher BTA	MWh	Kältekreisverteiler Mitte ⇒ BTA
676	KMZ_Qpkt_M_OG1_KKV_BTA_sek	Wärmetauscher BTA	kW	Kältekreisverteiler Mitte ⇒ BTA
54	KMZ_Q_M_OG1_KKV_RLT_Kuehlreg	Wärmetauscher BTA	MWh	Kältekreisverteiler Mitte ⇒ RLT-Anlagen
675	KMZ_Qpkt_M_OG1_KKV_RLT_Kuehlreg	Wärmetauscher BTA	kW	Kältekreisverteiler Mitte ⇒ RLT-Anlagen

Raumlufthqualität

Zur Darstellung der Raumlufthqualität werden die Raumtemperatur, die relative Feuchte, der Kohlendioxidgehalt und das Fensteröffnungsverhalten erfasst. Jedes Patientenzimmer verfügt in diesem Fall über eigenständige Sensoren (vgl. Tabelle 73). Zusätzlich wird in den Nasszellen der jeweiligen Räume noch die relative Feuchte gemessen. Die Abbildung 157 bis Abbildung 164 zeigen die Raumlufthqualität in den Musterräumen „Patientenzimmer“ (41.6.12 + 41.6.20 und 41.6.58 + 41.6.62).

Die beiden lilafarbenen Kurven bilden die Raumtemperaturen [°C] in den Patientenzimmern/Nasszellen ab, die blaue Kurve visualisiert die relative Feuchte [rel. F. %] und die grüne Kurve stellt den Kohlendioxidgehalt [ppm] dar. Die grauen Flächen zeigen das Fensteröffnungsverhalten, dabei wird nicht zwischen gekipptem und voll geöffnetem Fenster unterschieden. Es wird jeweils eine repräsentative Sommer- und Winterwoche dargestellt (Sommerwoche: 08.6 bis 14.6.2020 / Winterwoche: 07.12. bis 13.12.20). Entsprechenden Rohdaten und Diagramme siehe 17_Anhang_Ergebnisse\Musterräume ...

Der sprunghafte Anstieg der CO₂-Konzentration (> 450 ppm) im Raum (vgl. z.B. grüne Kurve Abbildung 160) lässt auf eine größere Anzahl von anwesenden Personen schließen (z. B. Besucher, Visiten, Reinigung ...). In der Regel sinkt nach einer Fensteröffnung (grauer Block) die CO₂-Konzentration wieder etwas ab. Bei einer annähernd konstanten Konzentration kann von einer Nichtbelegung ausgegangen werden.

Nach der Fensteröffnung kommt es meistens zu einem leichten Abfall der Raumtemperatur und zu einem kurzzeitigen Anstieg der relativen Feuchte (blaue Kurve). Dies ist durch den üblichen physikalischen Zusammenhang zwischen Temperatur und relativer Feuchte zu erklären. Ist dieser Effekt nicht vorhanden oder weniger ausgeprägt, könnte das Fenster nur in gekippter Weise geöffnet worden sein.

Die starken Ausschläge bei der relativen Feuchte (blaue Kurven) sind auf eine Benutzung der Nasszelle oder auf eine Reinigung des Patientenzimmers zurückzuführen.



Abbildung 157: Raumlufthqualität Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.12 – Sommerwoche

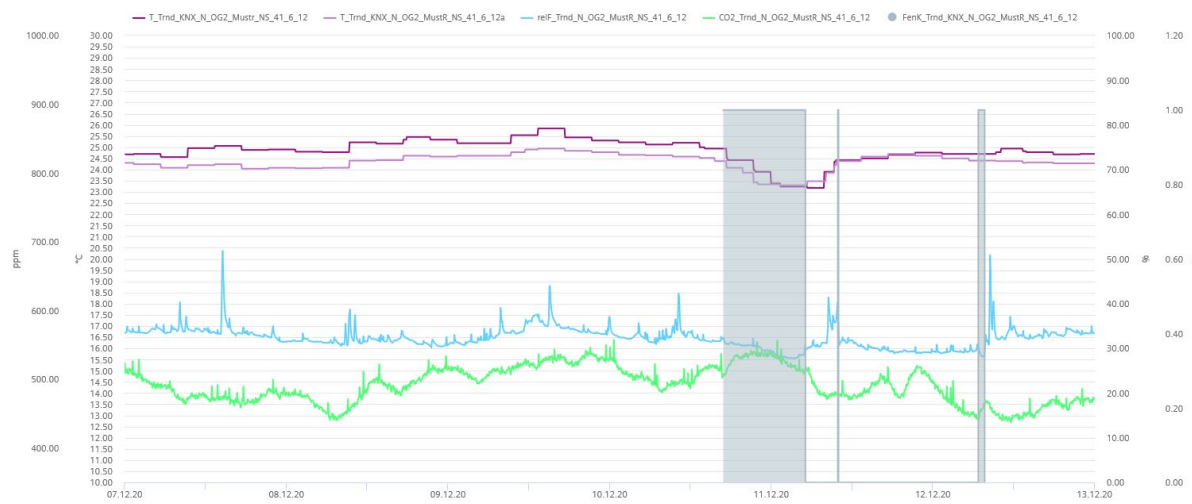


Abbildung 158: Raumlufthausqualität Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.12 - Winterwoche

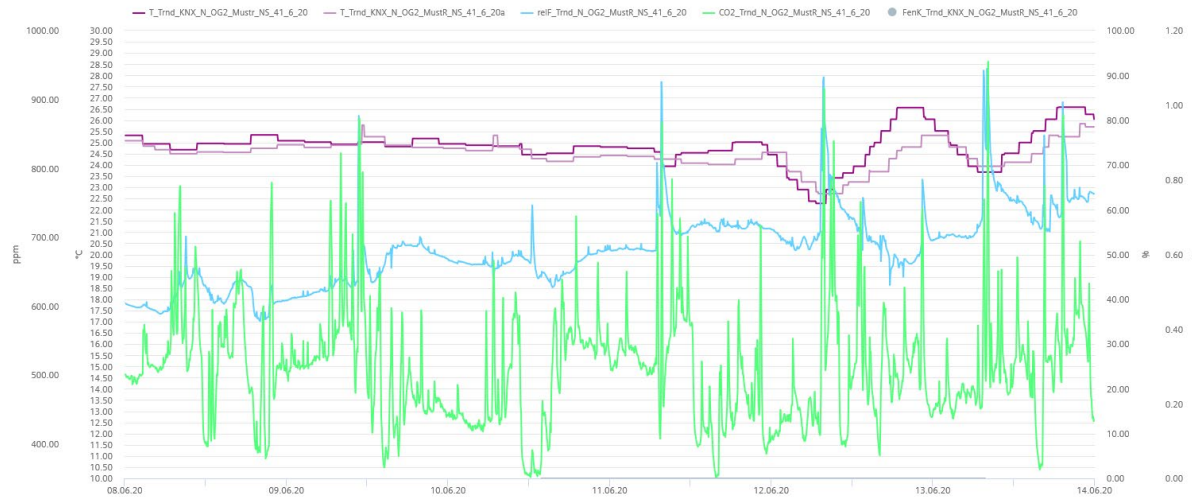


Abbildung 159: Raumlufthausqualität Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.20 – Sommerwoche

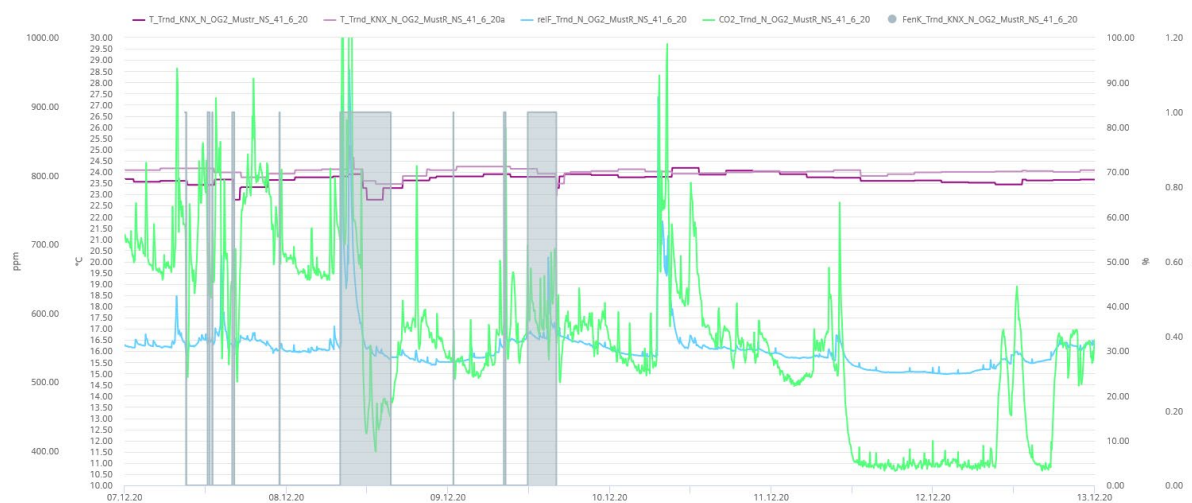


Abbildung 160: Raumlufthausqualität Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.20 – Winterwoche

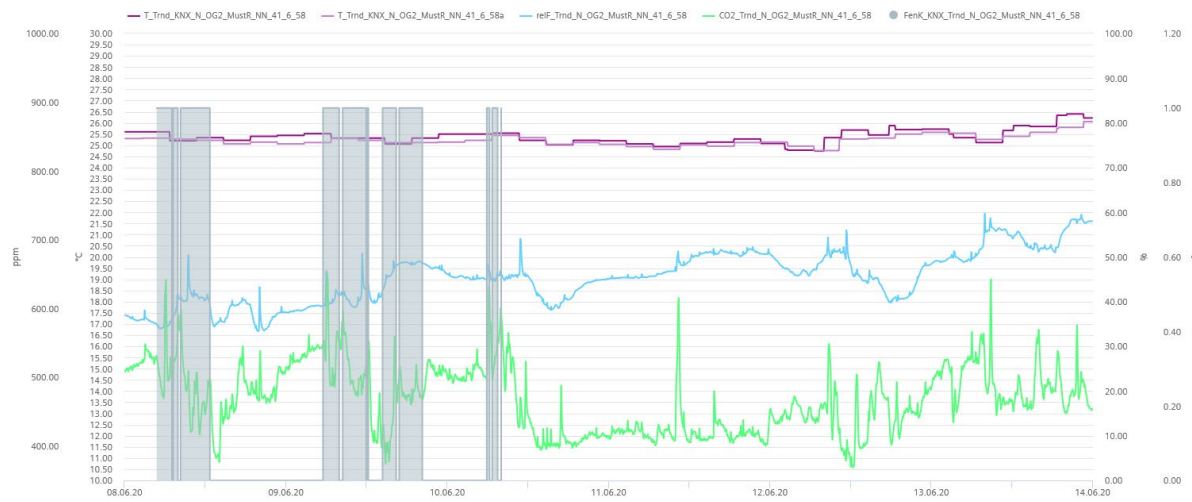


Abbildung 161: Raumlufthausqualität Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.58 - Sommerwoche



Abbildung 162: Raumlufthausqualität Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.58 – Winterwoche

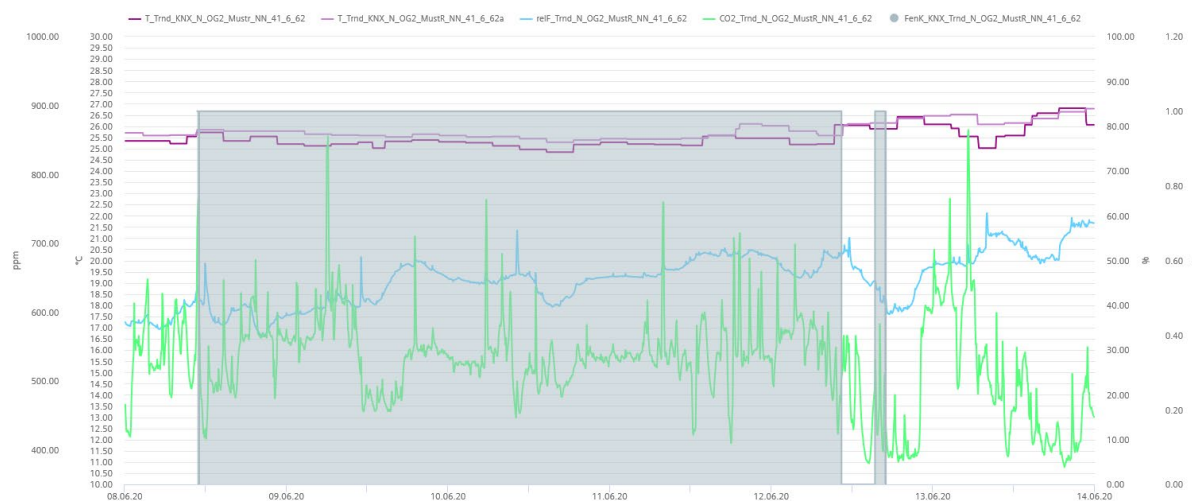


Abbildung 163: Raumlufthausqualität Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.62 – Sommerwoche

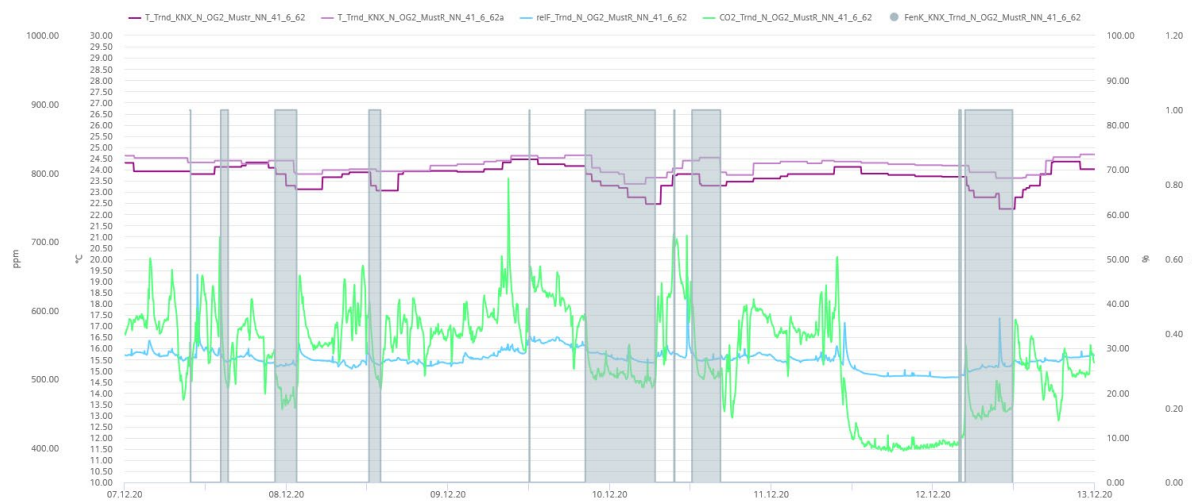


Abbildung 164: Raumlufthausqualität Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.62 - Winterwoche

Gemessene Leistungen

In den folgenden Abbildung 165 bis Abbildung 168 werden die gemessenen Heiz-/Kühlleistungen sowie die elektrischen Leistungen in den Musterräumen „Patientenzimmer“ als Verlaufsdiagramm dargestellt. Die Kühlleistung der Bauteilaktivierung und die Wärme- /elektrische Leistung der Raumlufthaustechnik wird anteilig berechnet. Zu diesem Zweck wurden virtuelle MoniSoft-Zähler eingerichtet (Anteile siehe Unterpunkte Wärmeversorgung, Kälteversorgung und Stromversorgung in diesem Kapitel). In Tabelle 74 sind die verwendeten virtuellen MoniSoft-Zähler und das dazugehörige Berechnungsverfahren aufgelistet. Die Darstellung erfolgt immer für je zwei Musterräume gemeinsam (NS: 41.6.12/20 und NN: 41.6.58/62). Die Heizleistung des RLT-Heizregisters und die elektrische Leistung der RLT-Ventilatoren werden entsprechend auf den Volumenstromanteil des Musterraumes bezogen (1,45 %). Die Bauteilaktivierung war aufgrund eines technischen Fehlers im Sommer deaktiviert und stand nicht zur Raumklimatisierung zur Verfügung (Flächenanteil gekühlte Grundfläche OG2 = 5,67 %).

Tabelle 74: Virtuelle Zähler MoniSoft bezüglich der Musterräume "Patientenzimmer"

MS	Siemens Navigator Name	Zuordnung	Einheit	Berechnung
2004	WZ_V_N_OG2_vir	Wasserzähler OG2	m³	$[WZ_V_N_OG2_plus_OG3_KWV] - [WZ_V_N_OG3_KWV]$
2100	KMZ_Q_N_OG2_KKV_BTA_41.6.12/20_oder_58/62_vir	Kältemengenzähler BTA anteilig 2 Zimmer	MWh	$[KMZ_Q_N_OG2_KKV_BTA] * 0.0567$
2101	KMZ_Qpkt_N_OG2_KKV_BTA_41.6.12/20_oder_58/62_vir	Kältemengenzähler BTA anteilig 2 Zimmer	kWh	$[KMZ_Qpkt_N_OG2_KKV_BTA] * 0.0567$
2102	WMZ_Q_N_UG2_RLT02_BettSt_N_Heizreg_41.6.12/20_oder_58/62_vir	Wärmemengenzähler RLT2 anteilig 2 Zimmer	MWh	$[WMZ_Q_N_UG2_RLT02_BettSt_N_Heizreg] * 0.0145$
2103	WMZ_Qpkt_N_UG2_RLT02_BettSt_N_Heizreg_41.6.12/20_oder_58/62_vir	Wärmemengenzähler RLT2 anteilig 2 Zimmer	kWh	$[WMZ_Qpkt_N_UG2_RLT02_BettSt_N_Heizreg] * 0.0145$
2104	ELZ_W_N_UG2_RLT02_BettSt_Ven_41.6.12/20_oder_58/62_vir	Musterraum Anteil elektrischer Verbrauch RLT-Ventilation 2	kWh	$[(ELZ_W_N_UG2_RLT02_BettSt_ZulVen) + (ELZ_W_N_UG2_RLT02_BettSt_AbiVen)] * 0.0145$
2105	ELZ_P_N_UG2_RLT02_BettSt_Ven_41.6.12/20_oder_58/62_vir	Musterraum Anteil elektrischer Verbrauch RLT-Ventilation 2	kWh	$[(ELZ_P_N_UG2_RLT02_BettSt_ZulVen) + (ELZ_P_N_UG2_RLT02_BettSt_AbiVen)] * 0.0145$

Die farbliche Kennzeichnung der Linien in den folgenden Abbildungen kann der folgenden Legende entnommen werden:

-  Leistung Fußbodenheizung
-  Wärmeleistung RLT anteilig
-  Kälteleistung BTA anteilig
-  Elektrische Leistung Allgemeinversorgung
-  Elektrische Leistung Sicherheitsversorgung
-  Elektrische Leistung Ventilatoren RLT anteilig

Die Fußbodenheizung (rote durchgezogene Linie) ist während der Sommermonate nicht in Betrieb. Ist kurzfristiger Heizenergiebedarf vorhanden (z. B. nach einer Fensteröffnung), wird dieser über die RLT-Anlage (rot gestrichelte Linie) abgedeckt. Es ist auffällig, dass auch im Winter größtenteils mit der Raumluftheizung geheizt wird. Die FBH wird nur kurzzeitig aktiviert und schaltet sich im Anschluss sofort wieder ab. Diese scheint keinen Einfluss auf die Steuerung des RLT-Heizregisters zu haben. Dies ist aber dem Umstand geschuldet, dass die FBH-Leistung für jeweils zwei Patientenzimmer gemessen wird, während die RLT-Heizleistung nur anteilig gemittelt über alle Zimmer auf der Bettenstation erfasst wird.

Der Stromverbrauch der RLT-Ventilatoren (gelbe Linie) bleibt während des gesamten Jahres nahezu konstant.

Der elektrische Leistungsbedarf (graue Linie) ist von den persönlichen Vorlieben der Patienten geprägt (Beleuchtung, TV-Konsum ...) und tritt meist nur tagsüber auf, während die grau gestrichelte Linie (Sicherheitsversorgung) etwas mit den elektrischen Verbrauchern zur Patientenbehandlung zu tun hat (24h Abnahme).

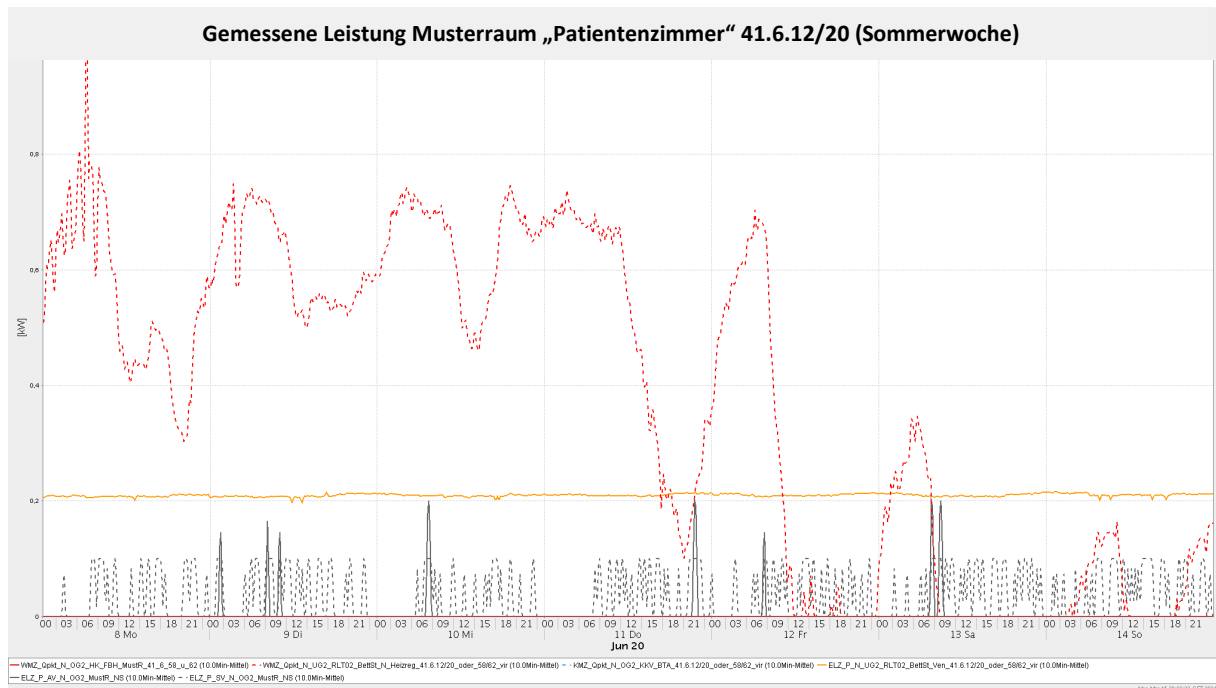


Abbildung 165: Gemessene Leistung Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.12/20 - Sommerwoche

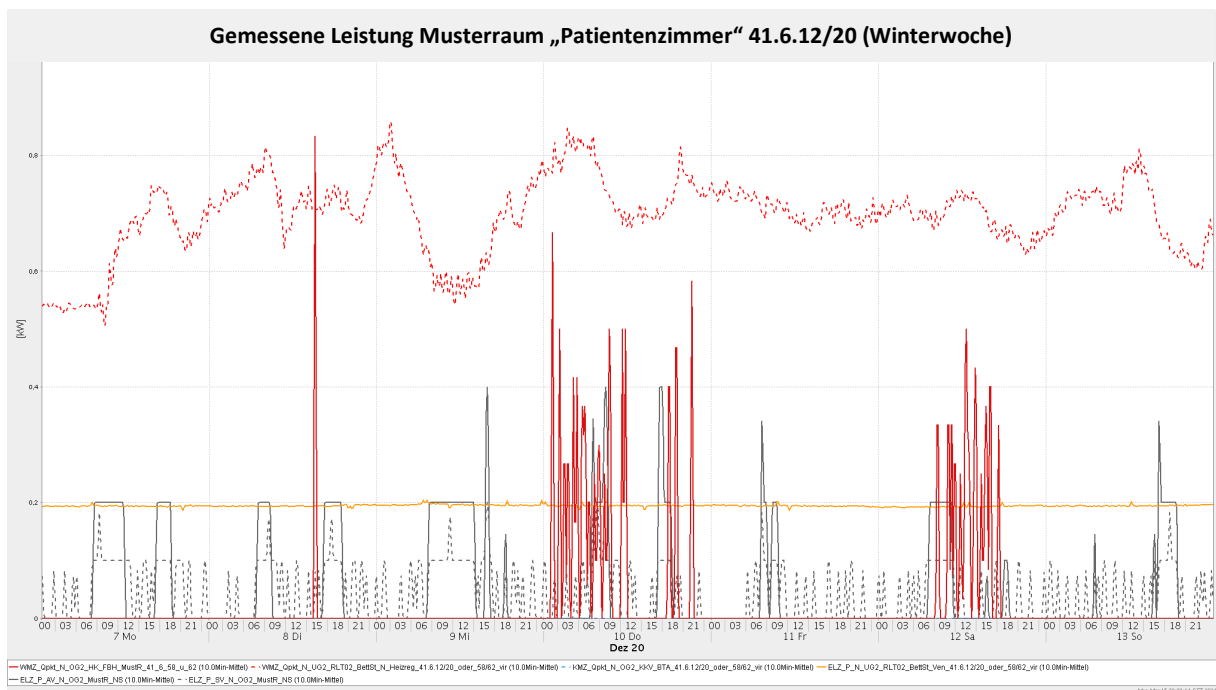


Abbildung 166: Gemessene Leistung Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.12/20 - Winterwoche

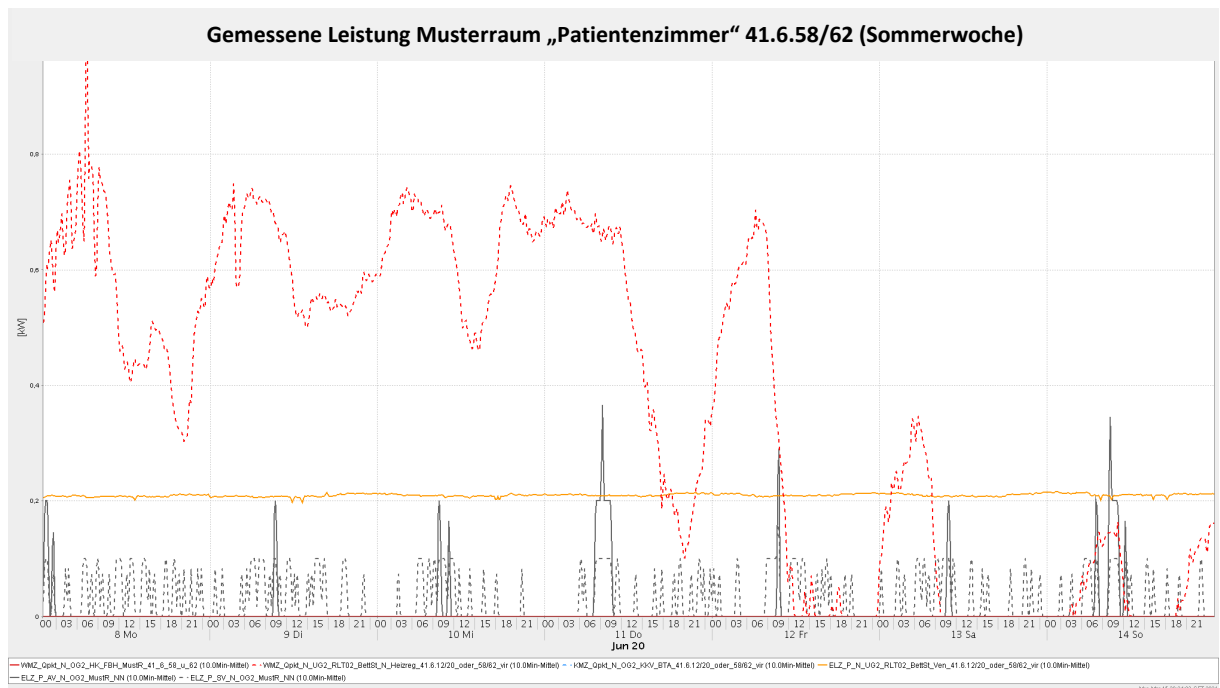


Abbildung 167: Gemessene Leistung Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.58/62 - Sommerwoche

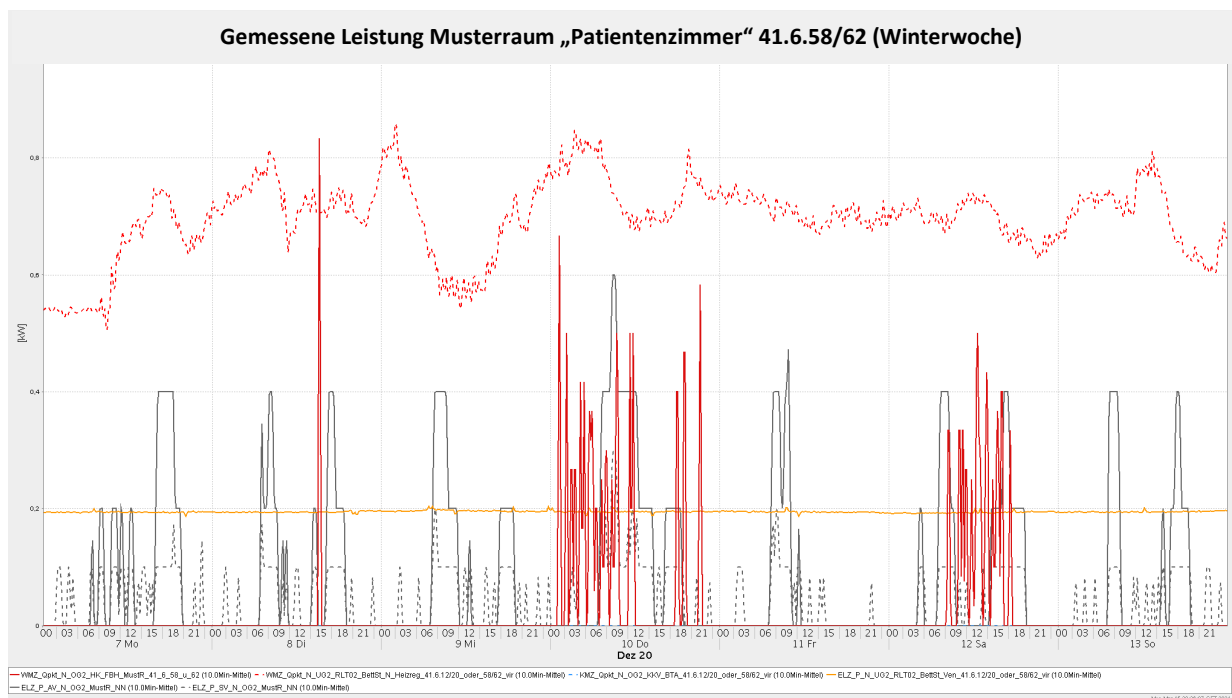


Abbildung 168: Gemessene Leistung Musterraum „Patientenzimmer“ 41.6.58/62 - Winterwoche

4.8.7.2 Musterraum Funktionsraum „MRT“

Im folgenden Abschnitt wird die im Musterraum „MRT“ verwendete Versorgungstechnik und Sensorik genauer beschrieben. Diese ist schematisch in Abbildung 169 dargestellt (Vgl. 17_Anhang_Ergebnisse\Musterräume). Tabelle 75 listet alle Datenpunkte auf, die im Zusammenhang mit dem Musterraum „MRT“ stehen.

Wärmeversorgung:

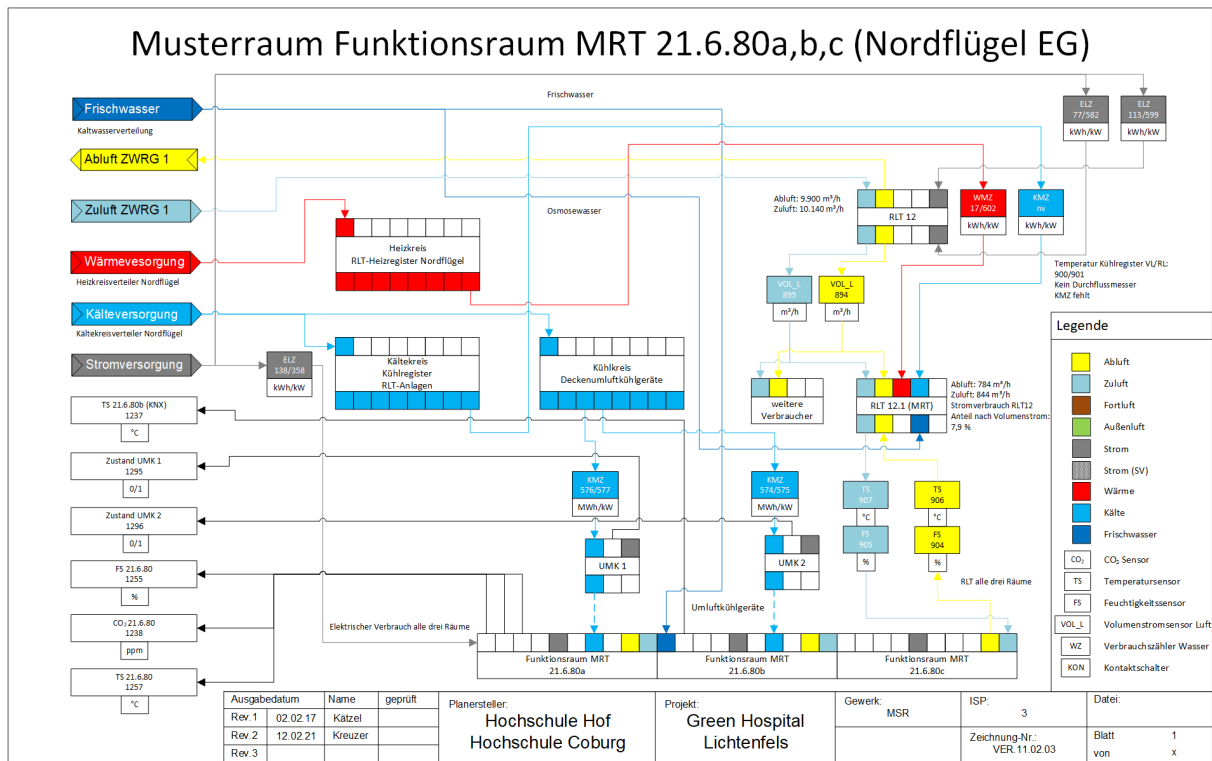


Abbildung 169: Schematische Darstellung der Versorgungstechnik und Sensorik im Musterraum MRT (21.6.80)

Die Wärmeversorgung erfolgt komplett über die Raumluftechnik (MS 17/602). Bei der RLT-Anlage 12.1 handelt es sich lediglich um ein Sub-System. Die Ventilatoren sind der RLT-Anlage 12 zugordnet, während das Heiz- und Kühlregister und der Volumenstromregler in der Einheit 12.1 untergebracht sind. Das Heizregister wird vom Heizkreisverteiler „RLT-Heizregister Nordflügel“ gespeist. Eine zusätzliche Erfassung der Zu- Ablufttemperatur wäre in diesem Fall möglich.

Kälteversorgung

Die Kühlung der Raumlufte erfolgt ebenfalls über die Raumluftechnik. Die Versorgung wird über den Kältekreisverteiler „Kühlregister RLT-Anlagen“ gewährleistet. Das Kühlregister 12.1 verfügt über keinen eigenen Kältemengenzähler.

Der Musterraum MRT besitzt aber zusätzliche Umluftkühlgeräte, die über eigene Kältemengenzähler verfügen (MS: UMK1: 576/577 und UMK2: 574/575). Die Deckenumluftkühlgeräte sind am Kältekreisverteiler „Deckenumluftgeräte“ angebunden.

Stromversorgung

Der elektrische Energiezähler ist dem Raum 21.8.80 zugeordnet (MS: 138/358). Von diesen aus wird die gesamte Technik in den Räumen 21.6.80 a bis b versorgt. Der elektrische Energieverbrauch der Abluft- und Zuluftventilatoren (RLT 12) wird wieder entsprechend anteilig berücksichtigt ($784 \text{ m}^3/\text{h}$ dividiert durch $9.900 \text{ m}^3/\text{h} = 7,9 \%$; vgl. Abbildung 169).

Verwendete Datenpunkte

In Tabelle 75 werden alle Datenpunkte bzw. die dazugehörigen Datenpunkt-Namen (Siemens Navigator Namen siehe Tabelle), die im Zusammenhang mit der Datenaufnahme im Musterraum „MRT“ stehen, aufgelistet.

Tabelle 75: Datenpunkte im Zusammenhang mit dem Musterraum „MRT“

MS	Siemens Navigator Name	Zähler	Einheit	Zuordnung
17	WMZ_Q_N_UG1_RLT12_1_RoentSt_MRT_Heizreg	Wärmemengenzähler RLT 12.1	kWh	RLT-Heizregister 12.1 Nordflügel UG1
602	WMZ_Qpkt_N_UG1_RLT12_1_RoentSt_MRT_Heizreg	Wärmemengenzähler RLT 12.1	kW	RLT-Heizregister 12.1 Nordflügel UG1
576	KMZ_Q_N_EG_KKV_UMK_MRT_21_6_80a	Kältemengenzähler Umluftkühlung	MWh	RLT-Anlage 12 UG1
577	KMZ_Qpkt_N_EG_KKV_UMK_MRT_21_6_80a	Kältemengenzähler Umluftkühlung	kW	RLT-Anlage 12 UG1
574	KMZ_Q_N_EG_KKV_UMK_MRT_21_6_80b_N_EG	Kältemengenzähler Umluftkühlung	MWh	RLT-Anlage 12 UG1
575	KMZ_Qpkt_N_EG_KKV_UMK_MRT_21_6_80b_N_EG	Kältemengenzähler Umluftkühlung	kW	RLT-Anlage 12 UG1
138	ELZ_W_AV_N_EG_MRT_21_8_80	Stromzähler (ISP3)	kWh	MRT 21.6.80 EG
358	ELZ_P_AV_N_EG_MRT_21_8_80	Stromzähler (ISP3)	kW	MRT 21.6.80 EG
77	ELZ_W_N_UG1_RLT12_RoentSt_AblVen	Stromzähler (ISP2)	kWh	RLT-Anlage 12 UG1
582	ELZ_P_N_UG1_RLT12_RoentSt_AblVen	Stromzähler (ISP2)	kW	RLT-Anlage 12 UG1
113	ELZ_W_N_UG1_RLT12_RoentSt_ZulVen	Stromzähler (ISP2)	kWh	RLT-Anlage 12 UG1
599	ELZ_P_N_UG1_RLT12_RoentSt_ZulVen	Stromzähler (ISP2)	kW	RLT-Anlage 12 UG1
1237	T_Trnd_KNX_N_EG_MustR_MRT_21_6_80b	Temperaturfühler	°C	Musterraum 21.6.80b
1295	BA_Trnd_N_EG_KKV_UMK1_MRT_21_6_80b_N_EG	Zustandsanzeige	0/1	UMK1 - Musterraum 21.6.80
1296	BA_Trnd_N_EG_KKV_UMK2_MRT_21_6_80b_N_EG	Zustandsanzeige	0/1	UMK2 - Musterraum 21.6.80
1255	relF_Trnd_N_EG_MustR_MRT_21_6_80	Feuchtefühler	%	Musterraum 21.6.80
1238	CO2_Trnd_N_EG_MustR_MRT_21_6_80	CO2-Sonde	ppm	Musterraum 21.6.80
1257	T_Trnd_N_EG_MustR_MRT_21_6_80	Temperaturfühler	°C	Musterraum 21.6.80
7	WMZ_Q_N_UG1_HKV_RLT_Heizreg_N	Wärmemengenzähler RLT-Anl.	MWh	Heizkreisverteiler $\Rightarrow$ RLT-Anlagen UG1
684	WMZ_Qpkt_N_UG1_HKV_RLT_Heizreg_N	Wärmemengenzähler RLT-Anl.	kW	Heizkreisverteiler $\Rightarrow$ RLT-Anlagen UG1
10	WMZ_Q_N_UG1_HKV_Einsp_von_EZ	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord	MWh	Einspeisung $\Rightarrow$ Heizkreisverteiler N
687	WMZ_Qpkt_N_UG1_HKV_Einsp_von_EZ	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord	kW	Einspeisung $\Rightarrow$ Heizkreisverteiler N
14	WMZ_Q_N_UG1_HKV_Einsp_von_WP	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord WP	kWh	Einspeisung WP $\Rightarrow$ Heizkreisverteiler N
691	WMZ_Qpkt_N_UG1_HKV_Einsp_von_WP	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord WP	kW	Einspeisung WP $\Rightarrow$ Heizkreisverteiler N
53	KMZ_Q_M_UG1_Einsp_von_EZ	Kältemengenzähler Einspeisung	MWh	Einspeis. Erzeug. $\Rightarrow$ Kältekreisverteiler Mitte
674	KMZ_Qpkt_M_UG1_Einsp_von_EZ	Kältemengenzähler Einspeisung	kW	Einspeis. Erzeug. $\Rightarrow$ Kältekreisverteiler Mitte
48	KMZ_Q_M_UG1_KKV_Einsp_von_RLT_ZWRG_N_UG1	Kältemengenzähler ZWRG Einspeisung	MWh	Einspeis. ZWRG $\Rightarrow$ Kältekreisverteiler Mitte
672	KMZ_Qpkt_M_UG1_KKV_Einsp_von_RLT_ZWRG_N_UG1	Kältemengenzähler ZWRG Einspeisung	kW	Einspeis. ZWRG $\Rightarrow$ Kältekreisverteiler Mitte
54	KMZ_Q_M_UG1_KKV_RLT_Kuehlreg	Verteiler Kühlregister RLT-Anlagen	MWh	Kältekreisverteiler Mitte $\Rightarrow$ RLT-Anlagen
675	KMZ_Qpkt_M_UG1_KKV_RLT_Kuehlreg	Verteiler Kühlregister RLT-Anlagen	kW	Kältekreisverteiler Mitte $\Rightarrow$ RLT-Anlagen

Raumluftqualität

Zur Darstellung der Raumluftqualität werden die Raumtemperatur, die relative Feuchte und der Kohlendioxidgehalt erfasst.

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 170 und Abbildung 171) zeigen die Raumluftqualität des Musterraumes „MRT“ (Raum: 21.6.80). Die beiden lilafarbenen Kurven bilden die Raumtemperaturen [°C] in den Räumen 21.6.80 und 21.6.80b ab, die blaue Kurve visualisiert die relative Feuchte [rel. F. %] und die grüne Kurve stellt den Kohlendioxidgehalt [ppm] dar. Es wird jeweils eine repräsentative Sommer- und Winterwoche dargestellt (Sommerwoche: 08.6

bis 14.6.2020 / Winterwoche: 07.12. bis 13.12.20). Die entsprechenden Rohdaten und Diagramme sowie Jahresverläufe befinden sich in 17_Anhang_Ergebnisse/Musterräume/Raumluftqualität.

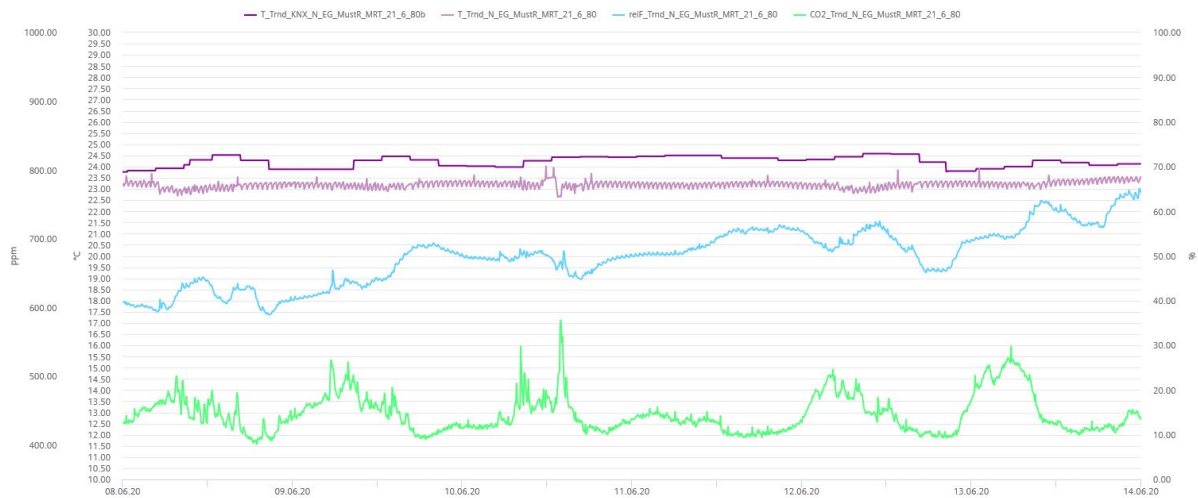


Abbildung 170: Raumlufthqualität Musterraum „MRT“ 21.6.80 - Sommerwoche

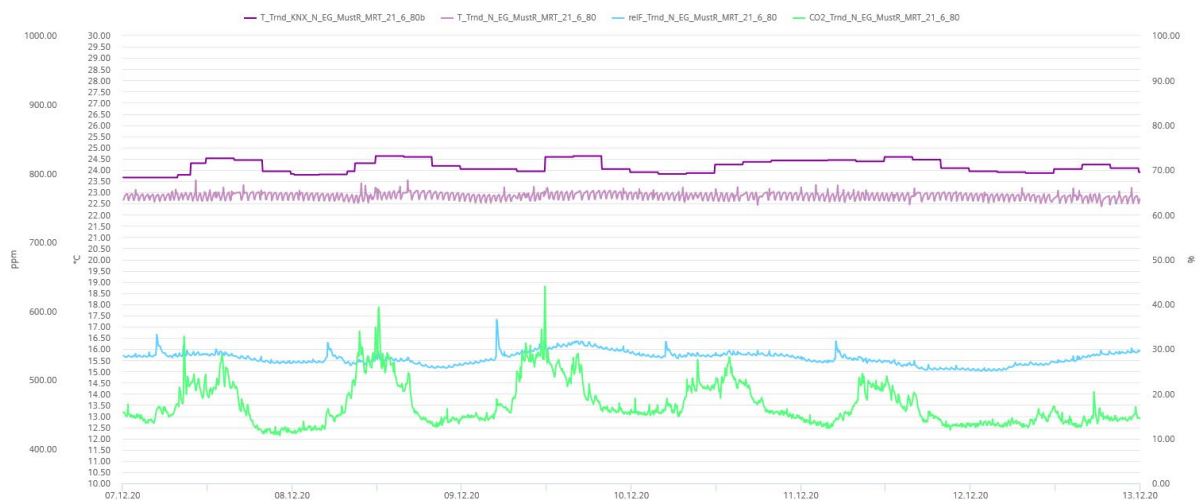


Abbildung 171: Raumlufthqualität Musterraum „MRT“ 21.6.80 - Winterwoche

Temperatur und Feuchte bleiben ganzjährig nahezu konstant. Im Sommer ist die Konzentration der relativen Feuchte üblicherweise etwas erhöht. Da das MRT-Gerät meist tagsüber genutzt wird, kommt es durch die anwesenden Patienten und Bediener zu einer leicht erhöhten CO₂-Konzentration. Diese sinkt während der Nachtstunden dann wieder ab.

Gemessene Leistungen

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 172 und Abbildung 173) werden die gemessenen Heiz-/Kühlleistungen sowie die elektrischen Leistungen im Musterraum „MRT“ als Verlaufsdiagramm dargestellt. In Tabelle 76 sind die verwendeten virtuellen MoniSoft-Zähler aufgelistet und das dazugehörige Berechnungsverfahren. Die elektrischen Leistungen der RLT-Ventilatoren werden entsprechend auf den Volumenstromanteil des Musterraumes bezogen (7,9 %).

Tabelle 76: Virtuelle Zähler MoniSoft bezüglich des Musterraumes "MRT"

MS	Siemens Navigator Name	Zuordnung	Einheit	Berechnung
2106	ELZ_W_N_UG2_RLT012_MRT_Ven_41.6.80_vir	Musterraum Anteil elektrischer Verbrauch RLT-Ventilation 12	KWh	$((ELZ_W_N_UG1_RLT12_RoentSt_AbfVen) + (ELZ_W_N_UG1_RLT12_RoentSt_ZuVen)) * 0.079$
2107	ELZ_P_N_UG2_RLT012_MRT_Ven_41.6.80_vir	Musterraum Anteil elektrischer Verbrauch RLT-Ventilation 12	kW	$((ELZ_P_N_UG1_RLT12_RoentSt_AbfVen) + (ELZ_P_N_UG1_RLT12_RoentSt_ZuVen)) * 0.079$

Die farbliche Kennzeichnung erfolgt wieder entsprechend:

- Wärmeleistung RLT
- Kälteleistung Umluftkühlung (UMK)
- Elektrische Leistung Allgemeinversorgung
- Elektrische Leistung Ventilatoren RLT anteilig

Die gemessenen Leistungen für Kühlung und Heizung und die elektrische Leistung des RLT-Ventilators unterliegen keiner saisonalen Abhängigkeit. Der Raum wird also ganzjährig, witterungsunabhängig, gleichzeitig gekühlt und beheizt. Die Leistungselektronik des MRT muss ausreichend mit Kühlluft versorgt werden. Um ein Absinken der Raumtemperatur zu vermeiden, muss durch die RLT-Anlage gegengeheizt werden.

Wird der MRT aktiviert, ist eine gemessene elektrische Leistung von bis zu 75 kW sichtbar. Dabei kommt es aber zu keinem vermuteten Anstieg bei der gemessenen Kühlleistung. Dies muss noch genauer geklärt werden.

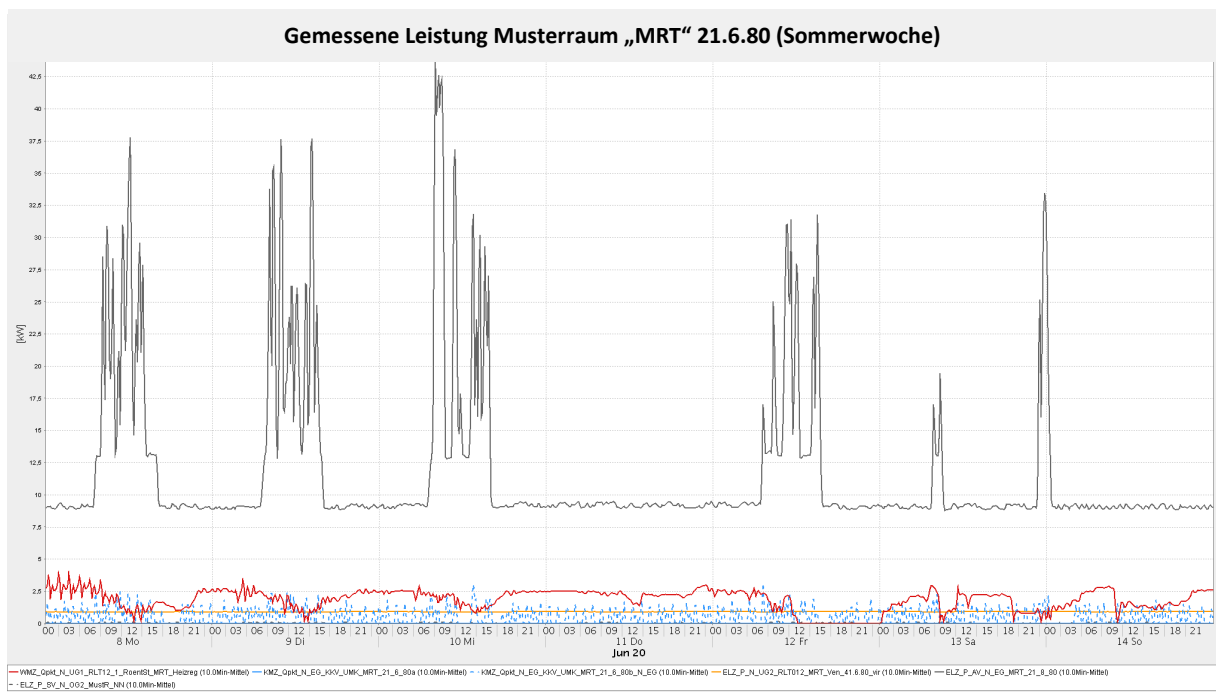


Abbildung 172: Gemessene Leistungen Musterraum „MRT“ 21.60.80 – Sommerwoche

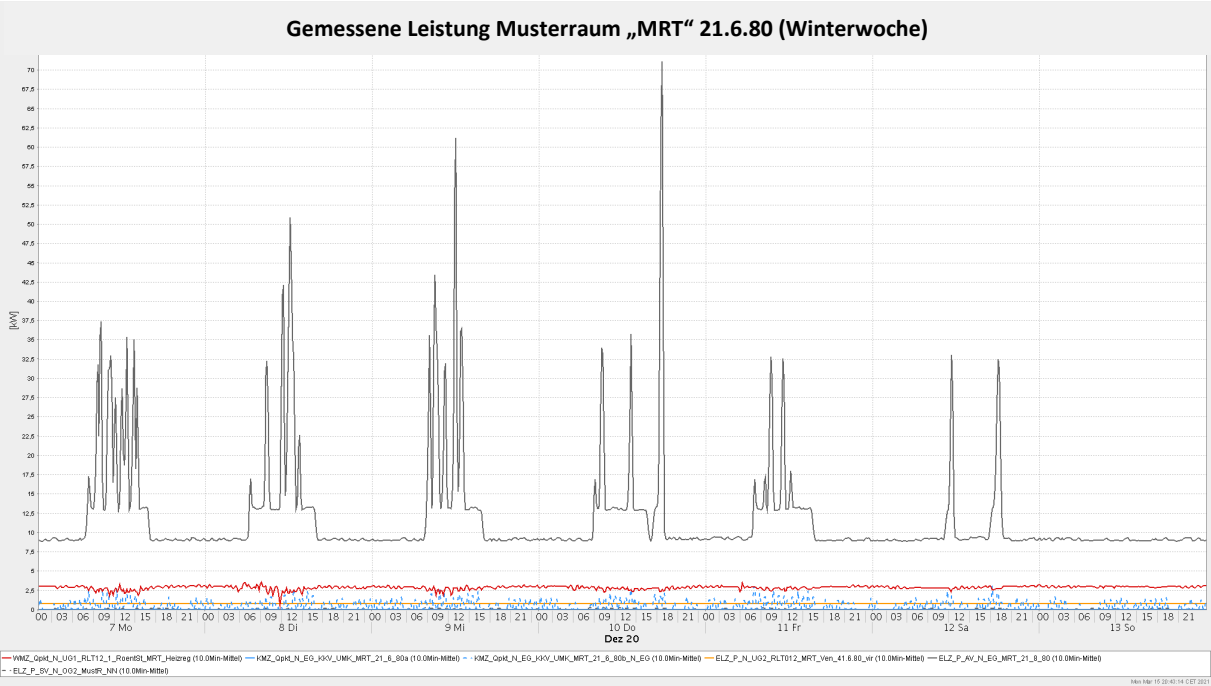


Abbildung 173: Gemessene Leistungen Musterraum „MRT“ 21.60.80 – Winterwoche

4.8.7.3 Musterraum Funktionsraum „OP septisch“

Dieser Abschnitt beschreibt die Versorgungstechnik und Sensorik des Musterraumes „OP septisch“. Diese ist schematisch in Abbildung 174 dargestellt. Tabelle 77 listet alle Datenpunkte, die im Zusammenhang mit dem Musterraum „OP septisch“ stehen, auf.

Wärmeversorgung

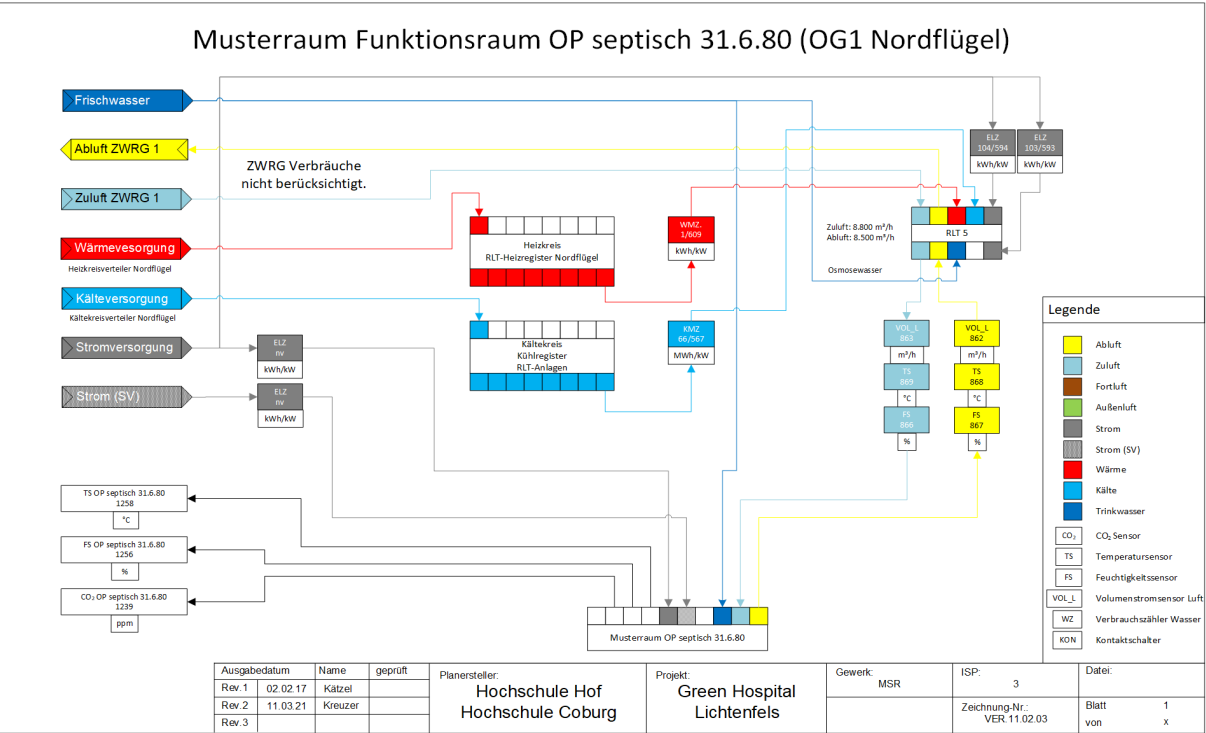


Abbildung 174: Schematische Darstellung der Versorgungstechnik und Sensorik im Musterraum OP septisch (31.6.80)

Die Wärmeversorgung erfolgt ausschließlich über die Raumluftechnik. Dieser Musterraum verfügt über eine separate RLT-Anlage (RLT 5). Das Heizregister verfügt über einen Wärmemengenzähler (MS: 1/609). Die Versorgung aller Heizregister findet über den Heizkreisverteiler „RLT-Heizregister Nordflügel“ statt. Eine Erfassung der Zu- Ablufttemperatur und der Volumenströme wäre in diesem Fall möglich (vgl. Abbildung 174).

Kälteversorgung

Die Klimatisierung des Raumes erfolgt nur über die Raumluftechnik. Die Versorgung wird über den Kältekreisverteiler „Kühlregister RLT-Anlagen“ gewährleistet. Das Kühlregister 5 verfügt über einen eigenen Kältemengenzähler (MS: 66/567).

Stromversorgung

Die Stromversorgung gliedert sich in die Allgemeine Stromversorgung (AV) und in die Sicherheitsstromversorgung (SV; inklusive USV-Versorgung). Eine gesonderte Erfassung des Operationssaals („OP septisch“) ist nicht möglich, da keine geeigneten Zähler vorhanden sind.

Verwendete Datenpunkte

In Tabelle 77 werden alle Datenpunkte bzw. die dazugehörigen Datenpunkt-Namen (Siemens Navigator Namen siehe Tabelle), die im Zusammenhang mit der Datenaufnahme in dem Musterraum Funktionsraum „OP septisch“ stehen, aufgelistet.

Tabelle 77: Datenpunkte im Zusammenhang mit dem Musterraum „OP septisch“

MS	Siemens Navigator Name	Zähler	Einheit	Zuordnung
1	WMZ_Q_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_Heizreg	Wärmemengenzähler RLT 5	kWh	RLT-Heizregister 5 Nordflügel UG1
609	WMZ_Qpkt_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_Heizreg	Wärmemengenzähler RLT 5	kW	RLT-Heizregister 5 Nordflügel UG1
66	KMZ_Q_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_Kuehlreg	Kältemengenzähler Umluftkühlung	MWh	RLT-Kühlregister 5 UG1
567	KMZ_Qpkt_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_Kuehlreg	Kältemengenzähler Umluftkühlung	kW	RLT-Kühlregister 5 UG1
104	ELZ_W_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_AblVen	Stromzähler (ISP2)	kWh	RLT-Anlage 12 UG1
594	ELZ_P_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_AblVen	Stromzähler (ISP2)	kW	RLT-Anlage 12 UG1
103	ELZ_W_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_ZulVen	Stromzähler (ISP2)	kWh	RLT-Anlage 12 UG1
593	ELZ_P_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_ZulVen	Stromzähler (ISP2)	kW	RLT-Anlage 12 UG1
1258	T_Trnd_N_OG1_MustR_OPSt_31_6_80	Temperaturfühler	°C	Musterraum 31.6.80
1256	relF_Trnd_N_OG1_MustR_OPSt_31_6_80	Feuchtefühler	%	Musterraum 31.6.80
1239	CO2_Trnd_N_OG1_MustR_OPSt_31_6_80	CO2-Sonde	ppm	Musterraum 31.6.80
7	WMZ_Q_N_UG1_HKV_RLT_Heizreg_N	Wärmemengenzähler RLT-Anl.	MWh	Heizkreisverteiler ⇒ RLT-Anlagen UG1
684	WMZ_Qpkt_N_UG1_HKV_RLT_Heizreg_N	Wärmemengenzähler RLT-Anl.	kW	Heizkreisverteiler ⇒ RLT-Anlagen UG1
10	WMZ_Q_N_UG1_HKV_Einsp_von_EZ	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord	MWh	Einspeisung ⇒ Heizkreisverteiler N
687	WMZ_Qpkt_N_UG1_HKV_Einsp_von_EZ	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord	kW	Einspeisung ⇒ Heizkreisverteiler N
14	WMZ_Q_N_UG1_HKV_Einsp_von_WP	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord WP	kWh	Einspeisung WP ⇒ Heizkreisverteiler N
691	WMZ_Qpkt_N_UG1_HKV_Einsp_von_WP	Wärmemengenzähler Einspeisung Nord WP	kW	Einspeisung WP ⇒ Heizkreisverteiler N
53	KMZ_Q_M_UG1_Einsp_von_EZ	Kältemengenzähler Einspeisung	MWh	Einspeis. Erzeug. ⇒ Kältekreisverteiler Mitte
674	KMZ_Qpkt_M_UG1_Einsp_von_EZ	Kältemengenzähler Einspeisung	kW	Einspeis. Erzeug. ⇒ Kältekreisverteiler Mitte
48	KMZ_Q_M_UG1_KKV_Einsp_von_RLT_ZWRG_N_UG1	Kältemengenzähler ZWRG Einspeisung	MWh	Einspeis. ZWRG ⇒ Kältekreisverteiler Mitte
672	KMZ_Qpkt_M_UG1_KKV_Einsp_von_RLT_ZWRG_N_UG1	Kältemengenzähler ZWRG Einspeisung	kW	Einspeis. ZWRG ⇒ Kältekreisverteiler Mitte
54	KMZ_Q_M_UG1_KKV_RLT_Kuehlreg	Verteiler Kühlregister RLT-Anlagen	MWh	Kältekreisverteiler Mitte ⇒ RLT-Anlagen
675	KMZ_Qpkt_M_UG1_KKV_RLT_Kuehlreg	Verteiler Kühlregister RLT-Anlagen	kW	Kältekreisverteiler Mitte ⇒ RLT-Anlagen

Raumluftqualität

Zur Darstellung der Raumluftqualität werden die Raumtemperatur, die relative Feuchte und der Kohlendioxidgehalt erfasst. Die folgenden Abbildungen (Abbildung 175 und Abbildung 176) zeigen die Raumluftqualität im Musterraum „OP septisch“ (31.6.80). Die lilafarbene Kurve bildet die Raumtemperatur [°C] ab, die blaue Kurve visualisiert die relative Feuchte [rel. F. %] und die grüne Kurve stellt den Kohlendioxidgehalt [ppm] dar. Es wird jeweils eine repräsentative Sommer- und Winterwoche dargestellt (Sommerwoche: 08.6 bis 14.6.2020 / Winterwoche: 07.12. bis 13.12.20).

Die entsprechenden Rohdaten und Diagramme sowie Jahresverläufe befinden sich in 17_Anhang_Ergebnisse/Musterräume/Raumluftqualität.

Für die Raumluftqualität gelten die gleichen Zusammenhänge, wie sie bereits im Abschnitt Patientenzimmer und MRT hergestellt wurden.

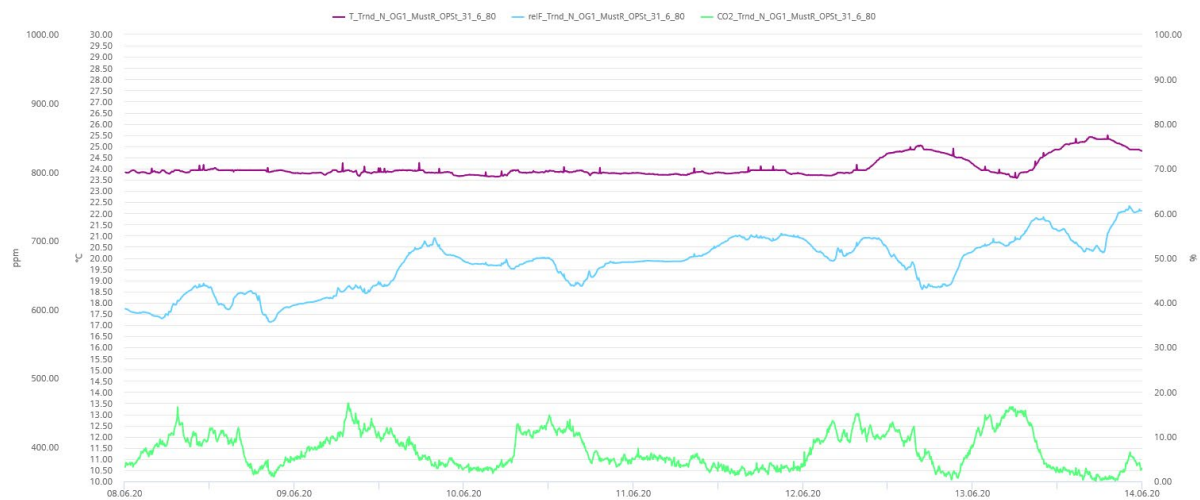


Abbildung 175: Raumluftqualität Musterraum „OP septisch“ 31.6.80 - Sommerwoche

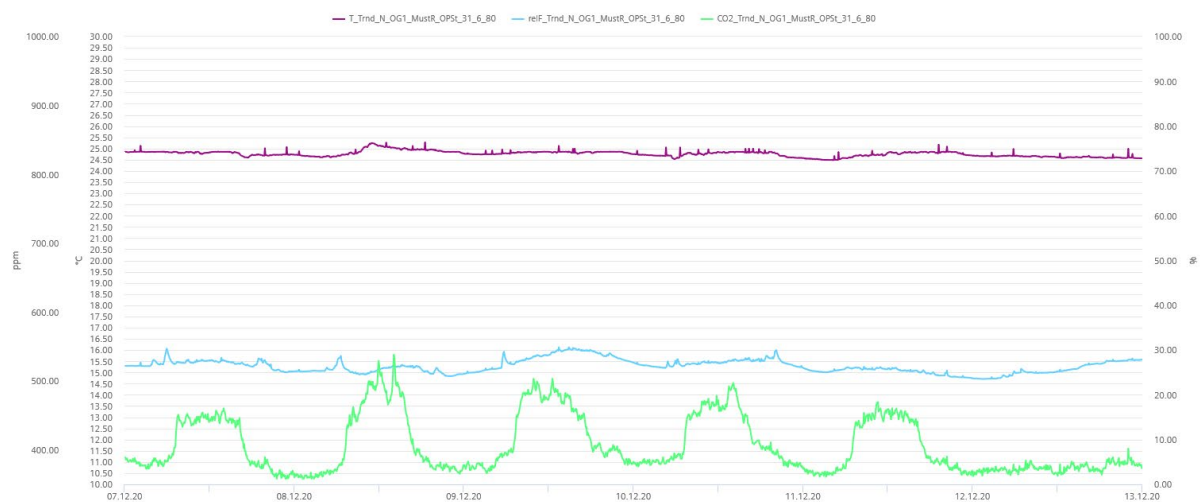


Abbildung 176: Raumluftqualität Musterraum „OP septisch“ 31.6.80 - Winterwoche

Gemessene Leistungen

In Abbildung 177 und Abbildung 178 werden die gemessenen Heiz- und Kühlleistungen im Musterraum „OP septisch“ als Verlaufsdiagramm dargestellt. In Tabelle 78 sind die verwendeten virtuellen MoniSoft-Zähler aufgelistet und das dazugehörige Berechnungsverfahren. Die Heiz- und Kühlleistung des RLT-Registers und die elektrische Leistung der RLT-Ventilatoren können direkt gemessen werden, da dieser Raum über eine eigenständige Raumluftechnik verfügt. Eine Messung der elektrischen Verbraucher inklusive Beleuchtung ist nicht möglich.

Hinweis: Operationssäle müssen als Besonderheit im Winter gegen die angrenzenden Räume gekühlt und auch im Sommer geheizt werden können.

Tabelle 78: Virtuelle Zähler MoniSoft bezüglich des Musterraumes „OP septisch“

MS	Siemens Navigator Name	Zuordnung	Einheit	Berechnung
2108	ELZ_W_N_UG1_RLT5_OP_Ven_31.6.80_vir	Musterraum Anteil elektrischer Verbrauch RLT-Ventilation 5	KWh	$[ELZ_W_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_AbVen] - [ELZ_W_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_ZulVen]$
2109	ELZ_P_N_UG2_RLT5_OP_Ven_31.6.80_vir	Musterraum Anteil elektrischer Verbrauch RLT-Ventilation 5	kW	$[ELZ_P_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_AbVen] + [ELZ_P_N_UG1_RLT05_OPSt_31_6_80_ZulVen]$

Die farbliche Kennzeichnung erfolgt wieder entsprechend:

- Wärmeleistung RLT
- Kälteleistung RLT
- Elektrische Leistung Ventilatoren RLT

Auffällig ist, dass im „OP-Saal septisch“ ganzjährig eine Kühlleistung gemessen wird. In der Winterwoche wird keine Heizleistung abgefragt. Die gemessene Kühlleistung liegt bei rund 5 kW. In der Sommerwoche steigt sie in der Spitze auf bis zu 19 kW. Um den strengen Anforderungen an das Raumklima zu genügen, muss gegengeheizt werden, um ein Absinken der Raumtemperatur zu vermeiden. Durch eine verbesserte Regelung könnte eventuell Energie eingespart werden.

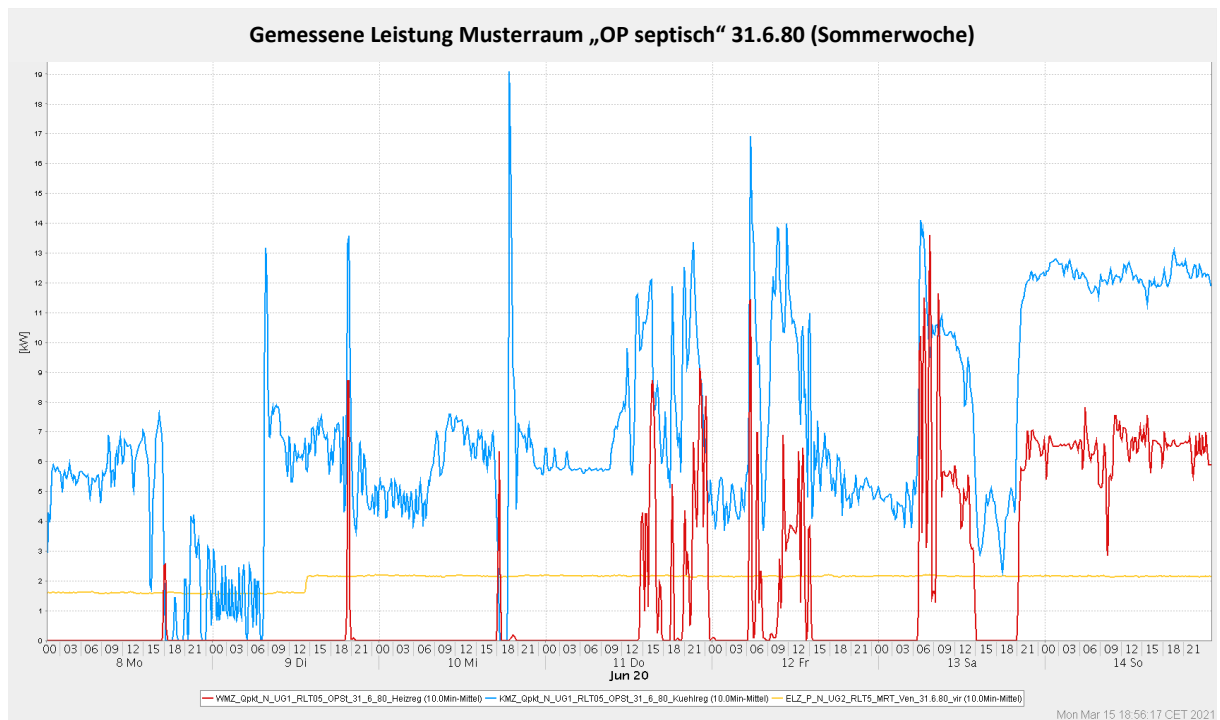


Abbildung 177: Gemessene Leistungen Musterraum „OP septisch“ 31.60.80 – Sommerwoche

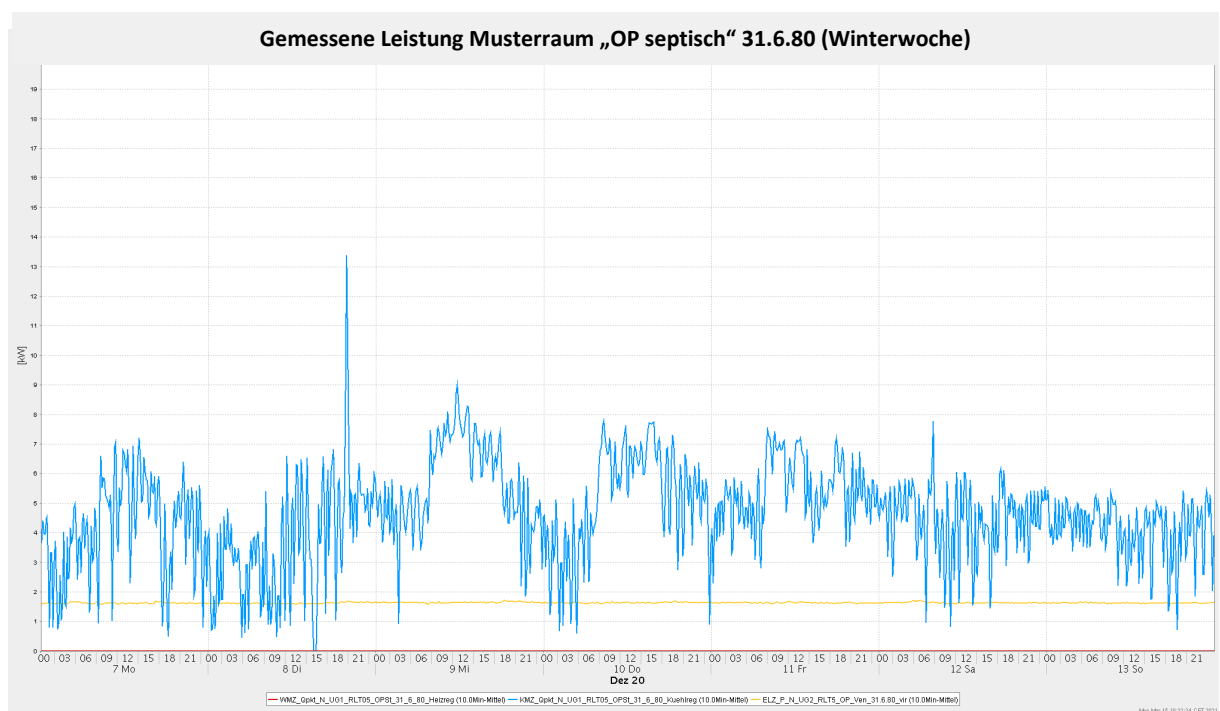


Abbildung 178: Gemessene Leistungen Musterraum „OP septisch“ 31.60.80 - Winterwoche

4.8.8 Gesamtenergieverbrauch

In diesem Kapitel werden noch einmal die gesamten Energieströme des GHL im Bilanzjahr (01.03.20 bis 01.03.21) als Sankey-Diagramm in vereinfachter Form dargestellt (vgl. Abbildung 179). Außerdem erfolgt eine Darstellung der Nutzenergie (Abbildung 180), der Endenergie (Abbildung 181) und der benötigten Primärenergie (Abbildung 182). (siehe auch Kapitel 4.5.2 und 4.5.3). Die Datengrundlagen (auch für Nutz-, End- und Primärenergie) finden sich in 17_Anhang_Ergebnisse\Gesamtenergieverbrauch.

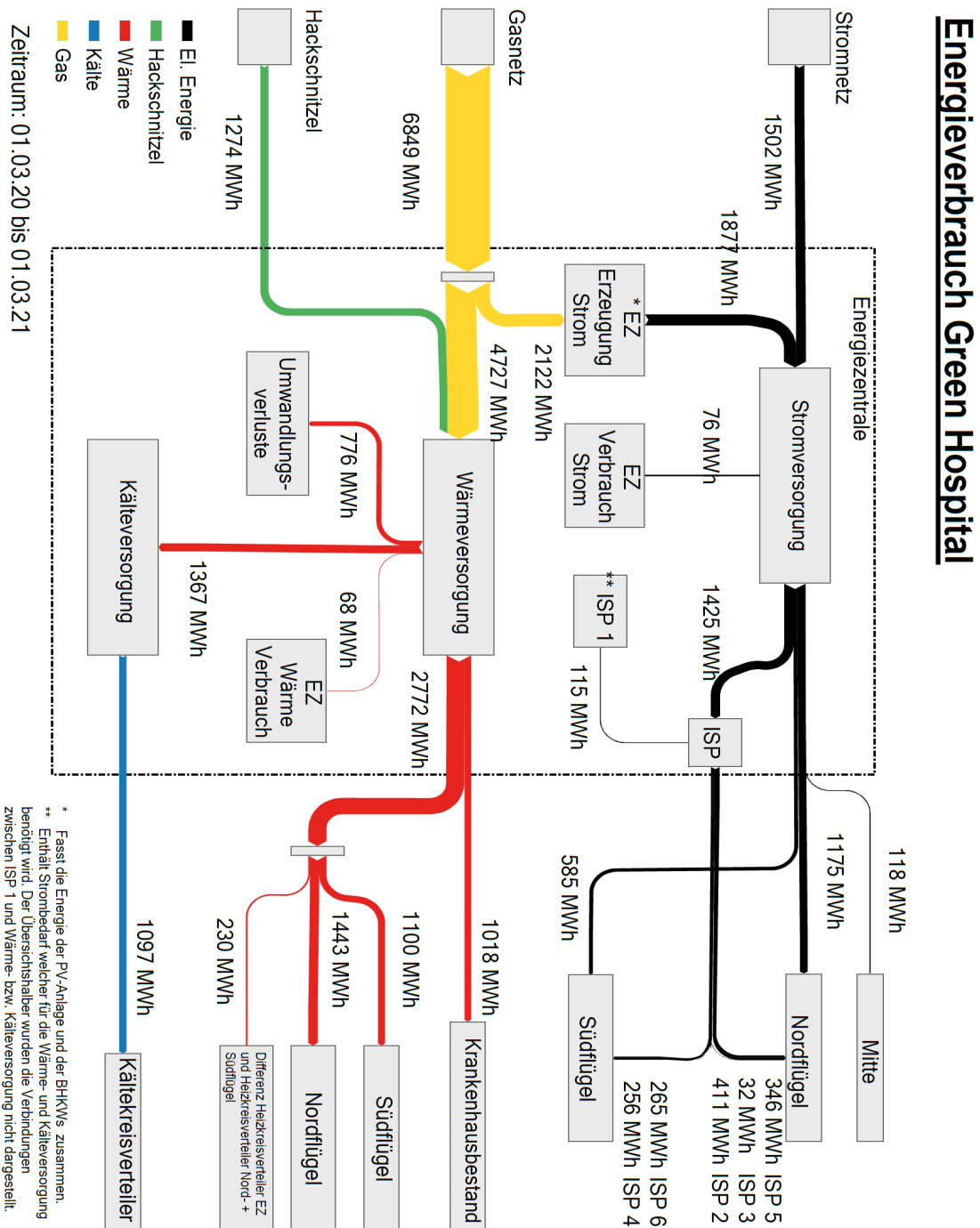


Abbildung 179: Sankey-Diagramm GHL (01.03.20 bis 01.03.21)

4.8.8.1 Nutzenergie

Die Nutzenergie wird hier in elektrischen und thermischen Verbrauch unterteilt. Zum elektrischen Verbrauch gehören Beleuchtung, RLT und Hilfsenergien, die für den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung, usw.) benötigt werden. Medizinische Großgeräte sowie die EDV, Aufzüge usw. werden hier für die Ermittlung des elektrischen Nutzenergieverbrauchs nicht betrachtet. Der thermische Nutzenergieverbrauch für das GHL (Süd & Nordflügel) setzt sich einerseits aus der Kältebereitstellung und andererseits aus der Summe Warmwasserversorgung plus Heizwärme zusammen, wobei die Energiezentrale extra ausgewiesen ist. In der Abbildung 181 ist die Aufteilung des Jahres-Gesamtnutzenergieverbrauchs (Zeitraum März 2020 bis Februar 2021) des GHL von 5400 MWh (100 %) prozentual dargestellt.

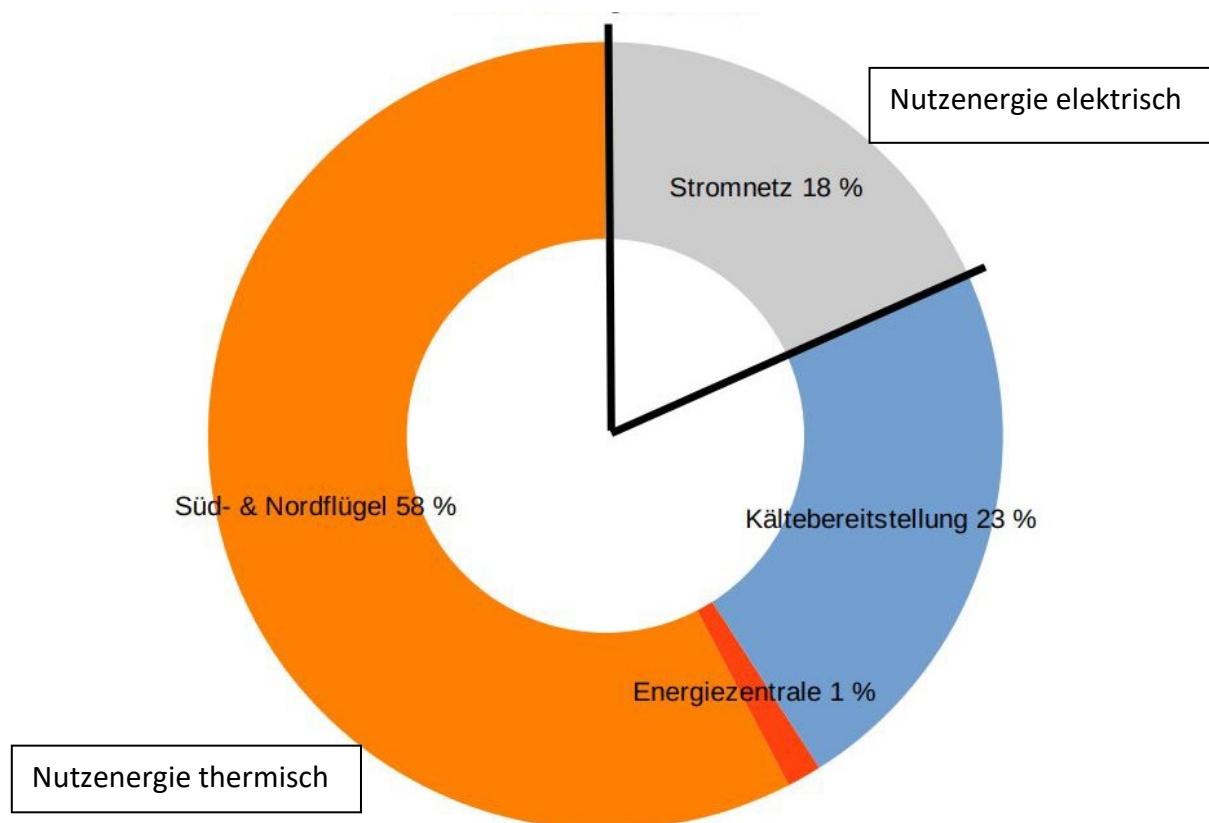


Abbildung 180: Prozentuale Aufteilung des Jahres-Gesamtnutzenergieverbrauchs des GHL (03.20 – 02.21)

Die thermische Nutzenergie macht mit 82 % den größten Anteil der Nutzenergie aus, während der Anteil der elektrischen Nutzenergie nur 18 % beträgt. Der Anteil des Wärmeverbrauchs (Heizwärme und Warmwasser) ist mit ca. 60 % ca. dreimal so hoch wie die Kältebereitstellung (23 %).

4.8.8.2 Endenergie

Die Endenergie wird hier in Anteile für die elektrische Versorgung (Gas für KWK-Strom und Bezug von Strom aus dem Stromnetz) und die thermische Versorgung (Hackschnitzel, Gas für Kessel, Gas für KWK-Wärme) unterteilt. Die Abbildung 181 zeigt die prozentuale Aufteilung des Jahres-Gesamtendenergieverbrauchs (Zeitraum März 2020 bis Februar 2021) des GHL von 7925 MWh (100 %) in die Energieträger Hackschnitzel, Gas für Kessel, Gas für KWK-Wärme, Gas für KWK-Strom und Bezug von Strom aus dem Stromnetz.

Der größte Teil (70 %) der Endenergie wird in Form von Erdgas (53 % für Wärme, 17 % für elektrische Energie) verbraucht. Der Anteil der Hackschnitzel beträgt 17 % und die elektrische Energie aus dem Stromnetz macht ca. 13 % des Endenergieverbrauchs aus. Bei der Betrachtung der Endenergie wird hier keine Umweltenergie (Photovoltaik etc.) mitbilanziert.

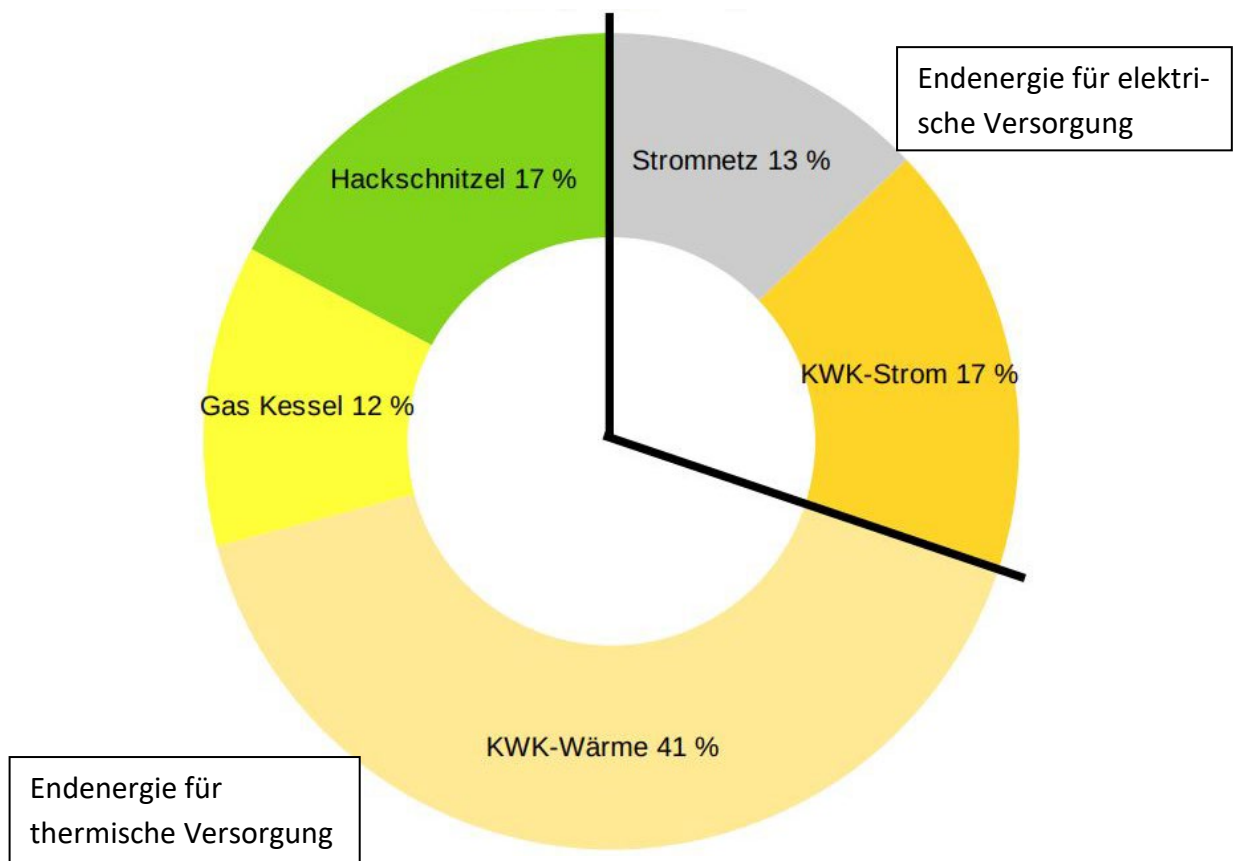


Abbildung 181: Prozentuale Aufteilung des Jahres-Gesamtendenergieverbrauchs des GHL (03.20 – 02.21)

4.8.8.3 Primärenergie

Die Primärenergie ergibt sich aus der Umrechnung der Endenergie mithilfe von Primärenergiefaktoren, die in Tabelle 79 aufgeführt sind.

Tabelle 79: Primärenergiefaktoren der eingesetzten Energieträger

	Faktor	Anmerkungen
Erdgas	1,1	
Biomasse	0,2	
KWK-Wärme	0,67	Ergibt sich aus der Gutschriftmethode für die Stromerzeugung der KWK Anlage
KWK-Strom	2,4	
Stromnetz	2,4	Der Energieausweis wurde im Jahr 2018 ausgestellt. Damit die Vergleichbarkeit gegeben ist, wurde nicht der aktuelle Wert von 1,8, sondern 2,4 gewählt.

Die Primärenergie wird hier wieder entsprechend in Anteile für die elektrische Versorgung (Gas für KWK-Strom und Bezug von Strom aus dem Stromnetz) und die thermische Versorgung (Hackschnitzel, Gas für Kessel, Gas für KWK-Wärme) unterteilt. Abbildung 182 zeigt die prozentuale Aufteilung des Jahres-Gesamtprimärenergieverbrauchs (Zeitraum März 2020 bis Februar 2021) des GHG von 9344 MWh (100 %) in die Energieträger Hackschnitzel, Gas für Kessel, Gas für KWK-Wärme, Gas für KWK-Strom und Bezug von Strom aus dem Stromnetz.

Der größte Teil der Primärenergie (69 %) wird in Form von Erdgas (35 % für Wärme, 34 % für elektrische Energie) bereitgestellt, die elektrische Energie aus dem Stromnetz macht ca. 28 % aus, während der Anteil der Hackschnitzel als Biomasse nur 3 % beträgt. Bei der Betrachtung der Primärenergie wird hier wie bei der Endenergie keine Umweltenergie (Photovoltaik etc.) mitbilanziert.

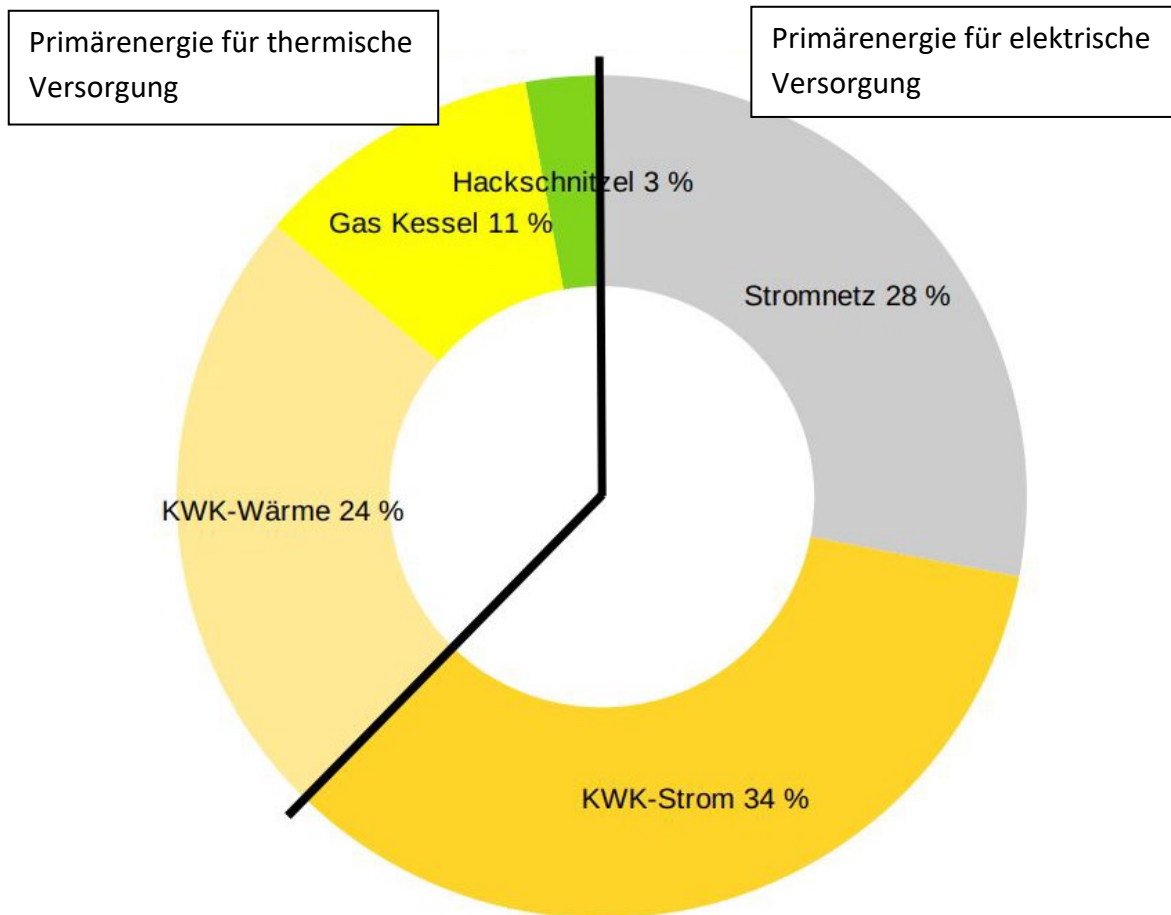


Abbildung 182: Prozentuale Aufteilung des Jahres-Gesamtprimärenergieverbrauch des GHF (03.20 – 02.21)

4.8.9 Langzeitmonitoring

Das Monitoring-Projekt GHL ist in vier Phasen gegliedert (siehe Abbildung 183, 0_Anhang_Sta-
tusberichte\2017_Nov_Statusbericht\).

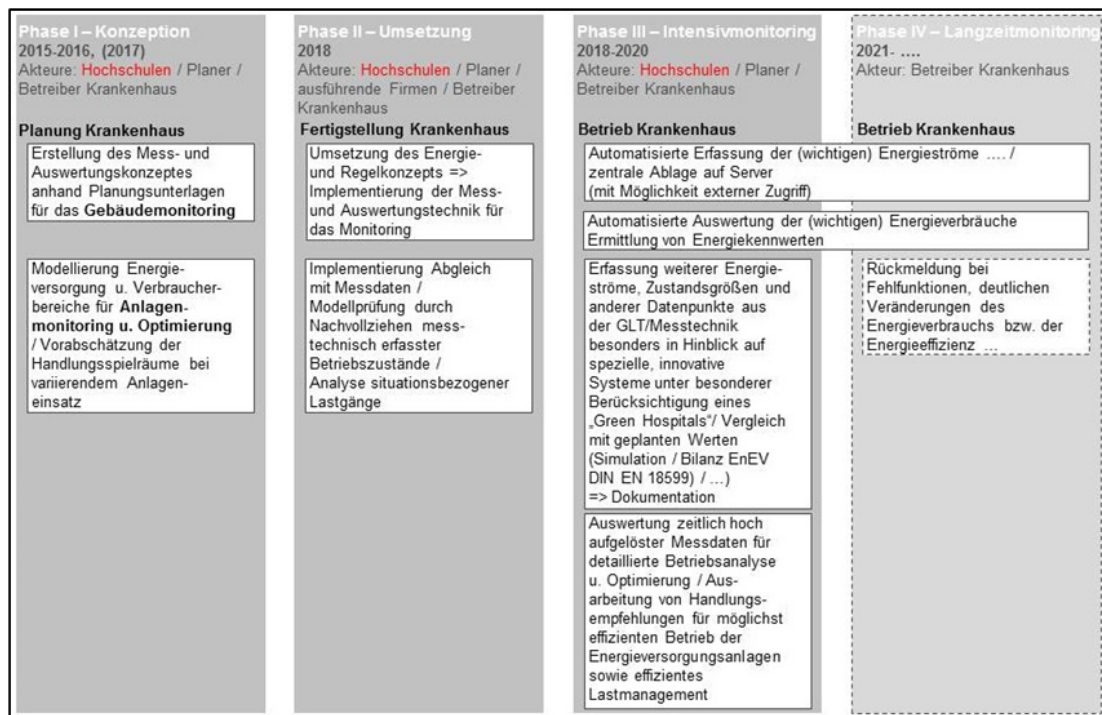


Abbildung 183: GHLProjektphasen

Für die Phase 4 sollte ein Konzept für ein Langzeitmonitoring erstellt werden, mit dem das Krankenhaus nach der Intensivmonitoringphase selbstständig arbeiten und seine Daten sinnvoll auswerten kann.

Um vom Intensivmonitoring zum Langzeitmonitoring zu gelangen, musste geklärt werden, welche von den ca. 1200 aufgeschalteten Datenpunkten der Intensivmonitoringphase wirklich notwendig für ein „Betriebsmonitoring“ sind. Dabei sollen grundsätzlich so viele Datenpunkte wie nötig, aber so wenig Datenpunkte wie möglich in das Langzeitmonitoringkonzept einfließen, auch deswegen, weil bei der Auswertesoftware Siemens Navigator jeder aufgeschaltete Datenpunkt monatlich Miete* kostet.

Ausgangspunkt ist das Auswerte-/Bilanzkonzept des Intensivmonitorings, das mit den entsprechenden Datenpunkten beim Siemens Navigator in den sogenannten Strukturen/Topologien (Standard, Gewerke) abgebildet ist. Während in der Struktur „Standard“ im Wesentlichen Energie- und Medienzähler entsprechend ihrer Verortung in der Liegenschaft (z.B. Zentrale, Nordflügel, Südflügel, Mitte) dargestellt sind (ca. 630 Datenpunkte), sind in der Struktur „Gewerke“ zusätzlich ca. 570 sogenannte Trend-Datenpunkte (Temperaturen, etc.) geordnet nach technischen Gesichtspunkten (Gewerke) vorhanden (gesamt ca. 630 + 570 = 1200 Datenpunkte).

* Lt. Rückfrage bei Siemens zählen selbst angelegte virtuelle Datenpunkte nicht zu aufgeschalteten Zählern. Die virtuellen Zähler sollten aber nur für wichtige benötigte Umrechnungen etc. (z. B. „Bettenzahl“) verwendet werden.

Bei der Erarbeitung eines Vorschlags für eine „abgespeckte“ Version wurde hier in mehreren Schritten vorgegangen. Grundsätzlich wurde auf die Struktur „Standard“ mit den entsprechenden Energie- und Medienzählern zurückgegriffen, da entsprechende Trenddatenpunkte (Temperaturen etc.) der Struktur Gewerke für ein Langzeitmonitoring (Jahresvergleiche etc.) i. d. R. nicht relevant sind. Der Vorschlag zielt darauf ab, dem Krankenhaus nur die wichtigsten Informationen und Daten zu liefern, um in Zukunft den Informationsgehalt und die Übersichtlichkeit zu gewährleisten und mit wenig Datenpunkten auch Kosten zu sparen.

Entsprechend wurden aus der Struktur „Standard“ folgende Datenpunkte aussortiert:

- Angesichts der im Kapitel 4.7.2.3 erläuterten Berechnung der elektrischen Leistung aus den Arbeitswerten und der Problematik der (zeitlichen) Vergleichbarkeit mit Leistungsmessungen des Versorgers sowie der Nichtverwendung entsprechender Leistungszählerdaten in entsprechenden Berichten des Navigators wurden alle 281 aufgeschalteten Leistungszähler (*ELZ_P_...*, *WMZ_Qpkt_...*, *KMZ_Qpkt_...*) aussortiert.
- Alle 26 Reservezähler *ELZ_W...Reserve* (*ELZ_W_AV_Reserve_...*; *ELZ_W_SV_Reserve_...*) wurden aussortiert.
- 10 Volumenstromdatenpunkte aus Wärmemengenzählern (*WMZ_Vpkt_...*) wurden aussortiert.
- 3 „defekte“ Zähler wurden aussortiert.
- vier Helligkeitssensoren wurden aussortiert.

Mit diesen Maßnahmen konnte die Anzahl der ca. 634 Datenpunkte in der Struktur „Standard“ auf 310 Datenpunkte reduziert werden. Von diesen Datenpunkten sind 12 selbst angelegte virtuelle Zähler.

Die verbliebenen Datenpunkte wurden nach ihrem Gesamtverbrauch innerhalb eines Jahres und gleichzeitig auf ihre Wichtigkeit für das GHÜ überprüft. Wiesen Datenpunkte nur einen geringen oder keinen Verbrauch auf, wurde zunächst überprüft, wann der Zähler aufgeschaltet wurde und ob der geringe Verbrauch mit einer kurzen Laufzeit zusammenhängt. So wurden 6 Zähler mit keinem oder wenig Verbrauch identifiziert, wovon die 4 Zähler:

- *WZ_V_EZ_WC*
- *ELZ_W_EZ_Rohrbegleitheizung_HybrK*
- *ELZ_W_AV_Fahrradladestation*
- *ELZ_W_AV_N_UG1_MaschRaum_11_4_24_UV_1_1_13*

auch aus inhaltlichen Gründen aussortiert werden können, während die Zähler

- *WZ_V_EZ_NotWT*
- *KMZ_Q_N_EG_KKV_UMK_MRT_21_6_80a*

inhaltlich wichtig erscheinen und nicht aussortiert werden sollten.

Inwieweit einige zusätzliche Trenddatenpunkte aus der „Gewerke“-Topologie auch für das LZM sinnvoll sind (z.B. Daten der Musterräume) muss noch mit dem Krankenhaus abgestimmt werden. Die ausgearbeiteten Varianten befinden sich in 16_Anhang_LZM.

Quellenverzeichnis für Kapitel 4

- ¹ VDI 6041:2017-07. Facility-Management - Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen, Berlin: Beuth-Verlag.
- ² Fraunhofer ISE et al., „Leitfaden für das Monitoring der Demonstrationsbauten im Förderkonzept EnBau und EnSan,“ Oktober 2014. [Online]. Available: http://www.enob.info/fileadmin/media/Forschungsfelder/Begleitforschung_EnOB/Materialien_fuer_Projektteams/141021_EnOB_Leitfaden_Monitoring_x.pdf. [Zugriff am 25 Juli 2016].
- ³ [<https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/neubau/kriterien/geordnete-inbetriebnahme/index.php>].
- ⁴ Hahn, Jakob. Entwicklung und Anwendung von Methoden des Technischen Monitorings, VDI Fortschritt-Berichte 23 Nr. 4, Albert-Tichelmann-Reihe Bd. 11, Düsseldorf, VDI-Verlag, 2014.
- ⁵ Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), „Messgeräte für Energie und Medien (EnMess 2001),“ 2001. [Online]. Available: <http://amev-online.de/AMEVInhalt/Betriebsfuehrung/Energie%20und%20Medien/EnMess%202001/en-mess2001.pdf>. [Zugriff am 28 Juli 2016].
- ⁶ Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW, „Planungsvorgabe Zählerstruktur im BLB NRW und technischer Anhang,“ Oktober 2015. [Online]. Available: https://www.blb.nrw.de/Downloads/Planungsvorgabe_Zaehlerstruktur.pdf. [Zugriff am 28 Juli 2016].
- ⁷ Siemens AG, Building Technologies / BAU; Unterlagen zu EMC, 2011.
- ⁸ Siemens AG, Projektdokumentation 24.02.2020, Frankfurt, 2020.
- ⁹ Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), BACnet in öffentlichen Gebäuden, (BACnet 2007), Lfd. Nr. 099, Berlin, 2007
- ¹⁰ Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), „Energie 2010 Hinweise zum Energiemanagement in öffentlichen Gebäuden,“ 2010. [Online]. Available: <http://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Betriebsfuehrung/Energie%20und%20Medien/Energie%202010/energie2010.pdf>. [Zugriff am 29 Juli 2016].
- ¹¹ U. Eicker, „Schlussbericht EnSim: Rationelle Gebäudeenergienutzung durch simulationsgestützte Automation,“ [Online]. Available: http://www.enob.info/fileadmin/media/Projektberichte/Software_und_Tools/0327475B_EnSimx.pdf. [Zugriff am 28 Juli 2016].
- ¹² M. Tritschler, J. Hahn, B. Krockenberger, R. Grob und C. Luft, „Abschlussbericht des Forschungsvorhabens Energieoptimiertes Bauen: Monitoring und Betriebsoptimierung der Kreissparkasse Göppingen,“ September 2014. [Online]. Available: http://www.enob.info/fileadmin/media/Projektbilder/EnBau/Kreissparkasse_Goeppingen/EnBau-V-40_MonitoringAB1_p2_KSK-Goeppingen.pdf. [Zugriff am 28 Juli 2016].
- ¹³ Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e.V., „Planungsleitfaden energetisches Monitoring von gebäudetechnischen Anlagen,“ 31 Oktober 2012. [Online]. Available: http://btga.de/fachbereich-technik/Downloads/Anlage01_Monitoring_20121031.pdf. [Zugriff am 29 Juli 2016].
- ¹⁴ S. Burhenne, S. Zehnle, N. Réhault, D. Kalz, M. Miara und S. Herkel, „Monitoring-Projekte des Fraunhofer ISE,“ 26.-28. März 2012. [Online]. Available: https://tu-dresden.de/bu/architektur/ibk/ressourcen/dateien/institute/events/2012_EnOB_Symposium/32_monitoring_projekte_fraunhofer_ise_burhenne.pdf?lang=de. [Zugriff am 28 Juli 2016].
- ¹⁵ Siemens AG, Building Technologies; Navigator - Handbuch - Basisdokumentation. Frankfurt am Main, 2016 / Vers 2.1 Nov. 2017.

- ¹⁶ Siemens AG, Building Technologies, Navigator - Handbuch - Berichtsübersicht Grundpaket. Frankfurt am Main, Vers 2.0 Dez. 2017.
- ¹⁷ Siemens AG, Building Technologies, Navigator Handbuch - Witterungsreinigung. Frankfurt am Main, Vers 1.1 April 2017.
- ¹⁸ VDI 3807 Blatt 1 bis 5: Verbrauchskennwerte für Gebäude Berlin; Beuth-Verlag.
- ¹⁹ Siemens AG, Building Technologies, Navigator - Handbuch - Dashboard. Frankfurt am Main, Vers 2.1 Juni 2018
- ²⁰ Siemens AG, Building Technologies, Navigator - Handbuch - Analysewidget. Frankfurt am Main, Vers 2.0 Dez. 2017
- ²¹ Spindler, Uli und Wambsganß, Mathias. Weiterentwicklung der Software "MoniSoft". [Onli-ne] 2015. [Zitat vom: 2. April 2021.] <https://www.th-rosenheim.de/forschung-entwicklung/kompetenzfelder-und-projekte/energietechnik-und-energieeffizienz/monisoft-20/>.
- ²² Rosenheim, HS. MoniSoft für Gebäudemonitoring und energetische Betriebsoptimierung. [Online] 10. Mai 2017. [Zitat vom: 2. April 2021.] <https://projektinfos.energiewendebauen.de/projekt/monisoft-fuer-gebaeudemonitoring-und-energetische-betriebsoptimierung/>.
- ²³ KIT, MoniSoft Handbuch, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Gropp.
- ²⁴ Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand, vom 7. April 2015; https://www.energieausweis-vorschau.de/uploads/media/Energieverbrauchskennwerte_WG_EnEV2014-1.pdf
- ²⁵ DIN V 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Beuth-Verlag; div. Blätter und Ausgabedaten
- ²⁶ Pellets oder Hackschnitzel? SBZ Monteur; <https://www.sbz-monteur.de/gut-zu-wissen/pellets-oder-hackschnitzel> abgerufen am 17.02.2021.
- ²⁷ VEGA. (9. Juni 2020). URL: <https://www.vega.com/-/media/pdf-files/industry-brochures/28414-de-fuellstand-und-druckmesstechnik-fuer-die-papierindustrie.pdf> abgerufen am 17.02.2021.
- ²⁸ Mall AG. Prospekt Unterirdische Lagersysteme für Pellets und Biomasse URL: https://www.mall.ch/fileadmin/user_upload/produkte/neue-energien/prospekte/planerhandbuch-neue-energien.pdf abgerufen am 17.02.2021.
- ²⁹ EBITSCHenergietechnik GmbH. URL: <https://www.ebitsch-energietechnik.de/ebitsch-waerme/holzheizung/pellet-heizung/> abgerufen am 11.08.2020.
- ³⁰ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). URL: http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/leitfadenfestebiobrennstoffe_web.pdf abgerufen am 11.08.2020.
- ³¹ Berufsgenossenschaft Holz und Metall. (Juni 2015). URL: 4 abgerufen am 11.08.2020.
- ³² Janitza. UMG 96RM, Multifunktionaler Netzanalysator URL: <https://www.janitza.de/umg-96rm-downloads.html?file=files/download/leaflets/umg-96rm/janitza-umg-96rm-de.pdf> abgerufen am 19.08.2020.
- ³³ Janitza (Juni 2019). Power Analyser UMG 96RM, Modbus-Adressenliste und Formelsammlung. URL: <https://www.janitza.de/betriebsanleitungen.html?file=files/download/manuals/current/UMG96RM/Basic/janitza-mal-umg96rm-de.pdf> abgerufen am 19.08.2020.
- ³⁴ Viessmann Werke GmbH&Co KG. (2015). Technische Beschreibung VITOBLOC 200.

- ³⁵ Seite "Absorptionskältemaschine". In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 21. November 2020, 05:11 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Absorptionsk%C3%A4ltemaschine&oldid=205770000> abgerufen am 15.02.2021.
- ³⁶ Fraunhofer UMSICHT, Steckbriefe zu Kältetechnologien, Oberhausen 2020, https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/referenzen/flexkaelte/K%C3%A4ltetechnik_in_Deutschland-Steckbriefe_zu_K%C3%A4ltetechnologien.pdf abgerufen am 15.02.2021.
- ³⁷ Quaschnig, V. (2001). URL: <https://www.volker-quaschnig.de/artikel/solarstrahlung2/index.php> abgerufen am 11.08.2020.
- ³⁸ Zollo, B., & Dipl.-Ing. (FH) Härter, H. (7. Januar 2010). URL: www.elektronikpraxis.vogel.de/messen-der-abgabeleistung-von-solarzellen-mit-standardgeraeten-a-245148/# abgerufen am 11.08.2020.
- ³⁹ www.solaranlage-ratgeber.de/. URL: <https://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-leistung/photovoltaik-leistungsangaben> abgerufen am 11.08.2020.
- ⁴⁰ Dipl.-Ing. Orlik, G., & Dipl.-Ing. Twardowski, I. URL: <https://www.energieagentur.nrw/energieeffizienz/krankenhaus/waermeversorgung?mm=Thema-Energie#ts> abgerufen am 11.08.2020.
- ⁴¹ A+S Gesellschaft für Heizkostenmessung und Abrechnung mbH. URL: <https://www.as-gmbh.de/wissenswertes/fragen-zur-abrechnung/messdifferenzen> abgerufen am 19.08.2020.
- ⁴² Sprengel, J. (26. September 2019). URL: https://www.inspiriert-sein.de/die-7-nachteile-einer-umkehr-osmose-anlage#Nachteil_6_Erhoehter_Wasserverbrauch_durch_UOAnlage abgerufen am 11.08.2020.
- ⁴³ Beck, T. Väterchen Frost die Stirn bieten (24.11.2019). URL: <https://www.ikz.de/nc/detail/news/detail/vaeterchen-frost-die-stirn-bieten/> abgerufen am 11.08.2020.
- ⁴⁴ Diemer, R., Wirtschaftliche Wärme- und Kälteversorgung in Krankenhäusern; Vortrag Energiecampus Nürnberg, 2017; URL: https://been-i.de/wp-content/uploads/2017/06/04_Diemer_Wirtschaftliche-W%C3%A4rme-und-K%C3%A4lteversorgung.pdf abgerufen am 11.08.2020.
- ⁴⁵ Dipl.-Ing. (FH) Wulf, O. (April 2009). URL: <https://www.elektrofachkraft.de/sicheres-arbeiten/elektrotechnische-versorgung-im-krankenhaus> abgerufen am 11.08.2020.
- ⁴⁶ EnergieAgentur.NRW; Energieeffizienz Branchen.Kompass Krankenhaus - Stromversorgung; <https://www.energieagentur.nrw/energieeffizienz/krankenhaus/stromversorgung?mm=Thema-Energie#ts>
- ⁴⁷ EnergieAgentur.NRW; Energieeffizienz Branchen.Kompass Krankenhaus - Wasser/Abwasser; <https://www.energieagentur.nrw/energieeffizienz/krankenhaus/wasserabwasser#ts>
- ⁴⁸ Dr. Braun, A., Dr. Rijkers-Defrasne, S., & Dr. Seitz, H., Ressourceneffiziente Wasserkonzepte für Krankenhäuser; VDI (April 2015). URL: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2015-Kurzanalyse-11-VDI-ZRE-Krankenhaus%20user.pdf abgerufen am 11.08.2020
- ⁴⁹ Fraunhofer UMSICHT, Hospital Engineering - Teilprojekt "Energieeffizienz", Abschlussbericht, 2017; <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2017/hospital-engineering-energieeffizienz-abschlussbericht.pdf>
- ⁵⁰ Dipl.-Ing. Carsten Beier, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Abschlussbericht Analyse des Energieverbrauchs und exemplarische Best-practice-Lösungen für relevante Verbrauchssektoren in Krankenhäusern, Juni 2009; <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-23472.pdf>

- ⁵¹ EnergieAgentur.NRW Effiziente Energienutzung in Krankenhäusern, Stand 11/2010; <https://docplayer.org/17374639-Effiziente-energienutzung-in-krankenhaeusern-nuetzliche-informationen-und-praxisbeispiele.html>, abgerufen am 02.04.2021
- ⁵² H. Roth; Energie und Technische Medien im Gesundheitswesen -Verbräuche, Kosten, Umweltbilanzen und Einsparungen in Krankenhäusern; 2004; <https://docplayer.org/79063051-Energie-und-technische-medien-im-gesundheitswesen-verbraeuche-kosten-umweltbilanzen-und-einsparungen-in-krankenhaeusern.html>
- ⁵³ Tippkötter, Schüwer, EnergieAgentur.NRW. Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, 2010 https://www.energieagentur.nrw/content/anlagen/B_EA002.pdf
- ⁵⁴ BUND-Gütesiegel "Energie sparendes Krankenhaus". <https://energiesparendes-krankenhaus.de/>
- ⁵⁵ Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Vom 7. April 2015, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/bekanntmachung-nwg-regeln-verbrauchswerte-2015.pdf
- ⁵⁶ Dena; Leitfaden Energieausweis. Teil 3 - Energieverbrauchsausweise für Wohn- und Nichtwohngebäude. 2015; https://www.powerfuels.org/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/2057_Leitfaden_Energieausweis_Teil_3_-_Energieverbrauchsausweise._Download.pdf
- ⁵⁷ Energieeinsparverordnung -Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (EnEV); <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Gesetze/Energie/EnEV.html>
- ⁵⁸ Stadt Nürnberg, Hochbauamt, Kommunales Energiemanagement: Vergleich des berechneten Energiebedarfs nach PHPP und DIN V 18599 mit dem realen Energieverbrauch, März 2019; https://www.nuernberg.de/imperia/md/hochbauamt/dokumente/KEM/projektinfo_vergleich_energiebedarf_und_-_verbrauch.pdf
- ⁵⁹ BMWi, 7-03-17 Untersuchung zu Primärenergiefaktoren, Endbericht, 2018; <https://www.gih.de/wp-content/uploads/2019/05/Untersuchung-zu-Prim%C3%A4renergiefaktoren.pdf>
- ⁶⁰ Schüwer et al., Wuppertal Institut: Konsistenz und Aussagefähigkeit der Primärenergie-Faktoren für Endenergieträger im Rahmen der EnEV. Diskussionspapier; Dez. 2015; https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6267/file/6267_PEF_EnEV.pdf
- ⁶¹ Fachportal Energieeffizientes Bauen und Sanieren, <https://www.febs.de/faq>

5 Anlagenmonitoring

In diesem Kapitel werden die vorläufigen Ergebnisse des Anlagenmonitorings und der Anlagensimulation durch die Universität Bayreuth vorgestellt. Zunächst werden die Grundlagen für die Modellierung sowie Kriterien zur Bewertung des Anlagenbetriebs dargestellt. Im weiteren Verlauf wird die Struktur und der Ablauf der Simulation erklärt, worauf folgend der reale Anlagenbetrieb unter Verwendung entsprechender gemessener Daten aus dem Energiemonitoring und die Simulationsergebnisse unterschiedlicher Anlagenfahrweisen untersucht werden. Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit der vorläufigen Ableitung von Handlungsempfehlungen und einem Ausblick hinsichtlich der Projektverlängerung.

5.1 Grundlagen der Modellierung

Um das Betriebsverhalten der Anlagen analysieren und optimieren zu können, wird zunächst auf die Grundlagen der Modellierung eingegangen werden, bevor die Umsetzung im darauffolgenden Teilkapitel erläutert wird. Hierzu werden die Funktionsprinzipien sowie die Annäherungen durch numerische Modelle dargelegt. Abgeschlossen wird dieses Unterkapitel durch eine Vorstellung der verwendeten Software MATLAB, Simulink und der CARNOT-Toolbox.

Es soll nicht das Ziel der Modellierung sein, sämtliche physikalische Teilprozesse abzubilden, sondern vielmehr das charakteristische Verhalten nachzubilden. Dabei findet stets eine Abwägung zwischen Nutzen und Detaillierungsgrad statt, siehe Abbildung 184.

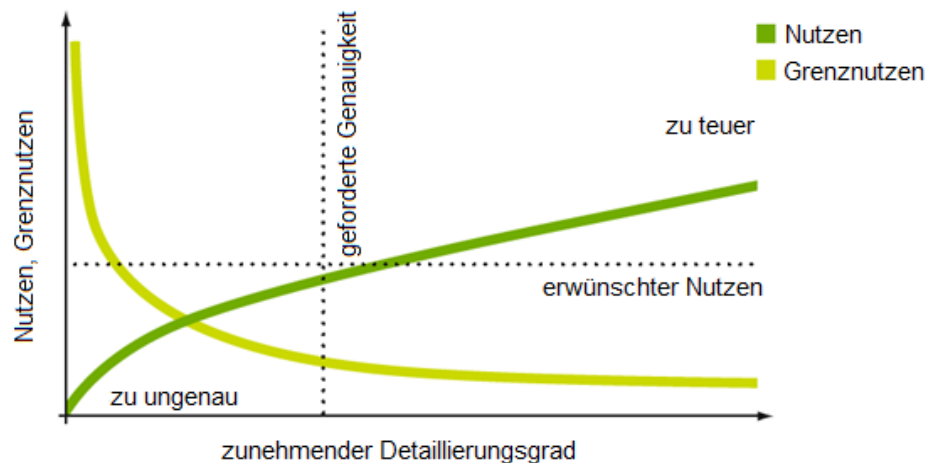


Abbildung 184: Zusammenhang zwischen Nutzen und Detaillierungsgrad nach¹ (bearbeitet)

Eine vollständige Modellierung sämtlicher Teilprozesse würde eine bedeutend große Datenmenge erfordern. Zudem wäre dies nicht zielführend, da Prozesse modelliert und simuliert würden, welche für die Optimierung der Energieversorgung nicht benötigt werden. Damit würde neben einer drastischen Erhöhung des Modellierungsaufwands auch die Simulationszeit unnötig stark ansteigen.

Abhilfe soll durch Modelle geschaffen werden, welche auf physikalischen Prozessen beruhen, die aber durch Näherungen deutlich vereinfacht wurden. Somit können Parametervariationen gezielter berücksichtigt werden.

Eine Übersicht über die Energieversorgung des GHL findet sich in Kapitel 3.2. Es folgt eine Beschreibung der in der Simulation verwendeten Komponenten mit Hinweisen zu den verwendeten numerischen Modellen sowie eine kurze Beschreibung der verwendeten Simulationssoftware MATLAB Simulink und der CARNOT-Toolbox.

5.1.1 Verteilung und Speicherung

Die Wärmeverteilung im Gebäude erfolgt durch drei 4-stufige Zortström-Speicher. Wie in Abbildung 185 ersichtlich, speisen alle Erzeuger (bis auf die Wärmepumpe) zunächst den Hauptwärmeverteiler in der Energiezentrale des Gebäudes. Bei dem Hauptwärmeverteiler handelt es sich um einen Zortström-Speicher mit 15.000 l Fassungsvermögen. Dieser versorgt die Bestandsgebäude, die AbKM, sowie einen kleinen Heizkreis zum Heizen der Energiezentrale. Zudem versorgt der Hauptverteiler die beiden Unterverteiler im Nord- und Südflügel.

Aus den Auslegungsdaten (Tabelle 80 / Tabelle 81) ist ersichtlich, dass im Nordflügel mit 991 kW ein höherer Bedarf an Wärme vorliegt als im Südflügel (533 kW). Daher ist der Speicher Nord mit ca. 4000 l größer dimensioniert als der Speicher Süd mit ca. 2000 l.

Funktionsprinzip

Durch die Verwendung von hydraulischen Weichen oder Pufferspeichern kann eine hydraulische Entkopplung von Erzeuger- und Verbraucherkreisen erreicht werden. Somit sind Massenströme von Erzeuger- und Verbraucherkreisen voneinander unabhängig. Dadurch kann beispielsweise ein Erzeugerkreis mit einem deutlich höheren Massenstrom arbeiten, während ein Verbraucherkreis, bedingt durch einen schwankenden Wärmebedarf, mit einem geringeren Massenstrom auskommt.²

In Tabelle 80 bis Tabelle 82 sind die Anschlüsse mit ihren Temperaturniveaus des Hauptspeichers, des Speichers Süd und Nord zu entnehmen. Die Trennung der Stufen ist dabei jedoch nicht als ideal zu verstehen. Die verschiedenen Temperaturniveaus reichen im Hauptspeicher von 40 bis 90 °C und in den Unterverteilern von 30 bis 80 °C.

Ein weiterer Vorteil der mehrstufigen Speicher ist die Minimierung von thermischen Verlusten durch Mischung von wärmeren und kälteren Rücklauftemperaturen. In Abbildung 185 wird der Pufferspeicher des Nordflügels in einer technischen Zeichnung des Herstellers Zortea beispielhaft verbildlicht.

Tabelle 80: Anschlüsse Pufferspeicher Süd³

Anschluss	Temperaturlevel Vorlauf in °C	Temperaturlevel Rück- lauf in °C	VL-Temperatur in °C	RL-Temperatur in °C
Heizkörper Süd	60	40–50	55	45
RLT Süd	60	40–50	60	40
WWB Süd	80	30	80	50
FBH Süd	40–50	30	35	30

Tabelle 81: Anschlüsse Pufferspeicher Nord³

Anschluss	Temperaturlevel Vorlauf in °C	Temperaturlevel Rück- lauf in °C	VL-Temperatur in °C	RL-Temperatur in °C
Heizkörper Nord	60	40–50	55	45
RLT Nord	60	40–50	60	40
WWB Nord	80	30	80	50
FBH Nord	40–50	30	35	30
Hubschrauber LP	40–50	30	32	17

Tabelle 82: Anschlüsse Hauptspeicher³

Anschluss	Temperaturlevel Vorlauf in °C	Temperaturlevel Rück- lauf in °C	VL-Temperatur in °C	RL-Temperatur in °C
BHKW 1	90	70–90 und 40	90	70
BHKW 2	90	70–90 und 40	90	70
Gaskessel 560 kW	90	70–90	80	60
Gaskessel 1600 kW	90	70–90	80	60
Biomasseheizkessel	90	70	90	70
Absorptionskältemaschine	90	70	90	70
Nahwärme	90	40	85	65
Heizkreis EZ	90	40	55	45
Heizkanal (Süd/Nord)	90	40	90	40

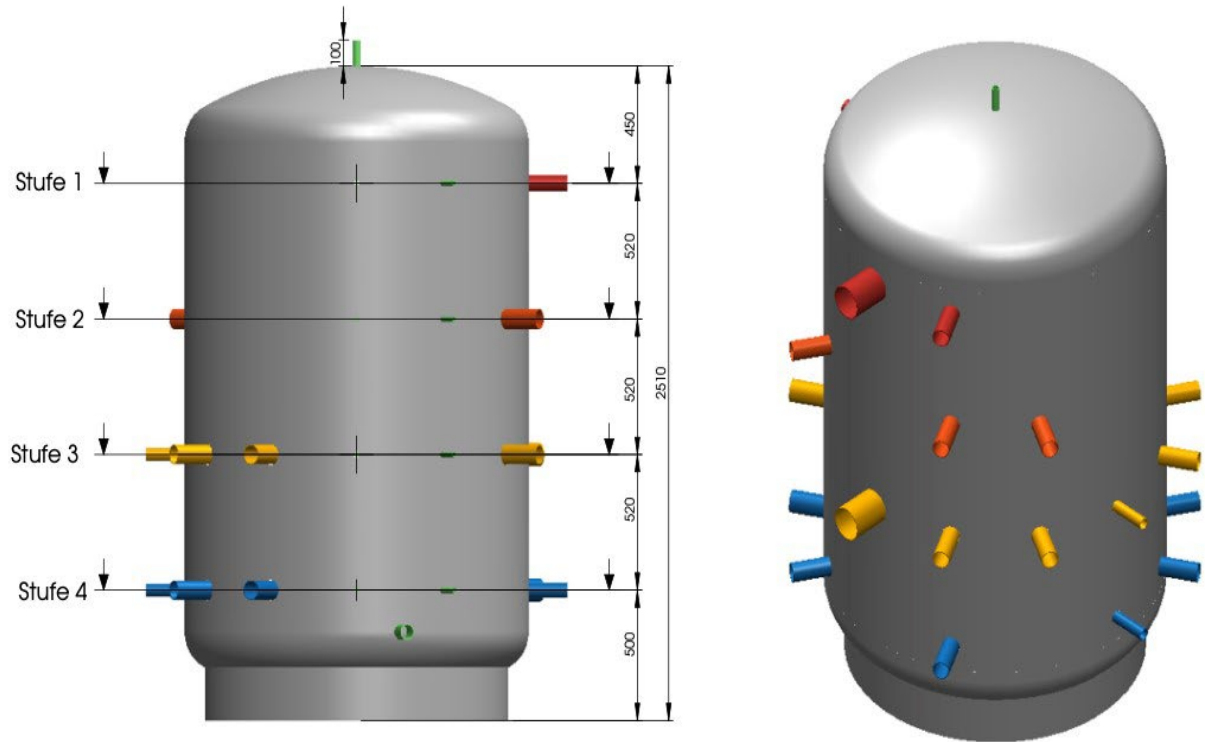


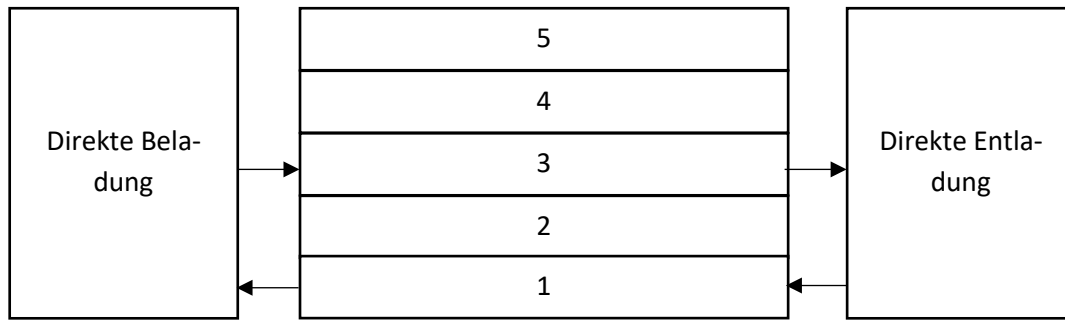
Abbildung 185: CAD-Modell des 4-stufigen Pufferspeichers im Nordflügel³

Numerisches Modell

Das verwendete Speichermodell basiert auf einem numerischen Modell nach Patankar⁴, welches in der CARNOT-Bibliothek hinterlegt ist (siehe Abschnitt 5.1.8). Hierbei wird das Modell mit einem direkten Be- und Entladesystem in unterschiedliche Knoten (engl. nodes) diskretisiert (siehe Abbildung 186), für welche jeweils die folgende Energiebilanz gelöst wird:

$$\begin{aligned}
 \rho \cdot c_P \frac{dT}{dt} = U \cdot \frac{A_{loss}}{V_{node}} \cdot (T_{amb} - T_{node}) &+ \frac{cond}{d_h^2} \cdot (T_{node-above} - T_{node}) + \frac{cond}{d_h^2} \\
 &\cdot (T_{node-below} - T_{node}) + \frac{m_{dot-up} \cdot c_P}{V_{node}} \cdot (T_{node-below} - T_{node}) \\
 &+ \frac{m_{dot-down} \cdot c_P}{V_{node}} \cdot (T_{node-above} - T_{node}) \\
 &+ \frac{U_{hx} \cdot A_{hx}}{V_{node}} \cdot (T_{hx-node} - T_{node}) + cond_itc
 \end{aligned} \quad (1)$$

Die Energien der jeweiligen Schichten werden addiert und ergeben die Gesamtenergie des Systems. Hierbei kommen mehrere Variablen zum Einsatz, die in Tabelle 83 dargestellt sind. Der tiefgestellte Index „hx“ bezeichnet einen Wärmetauscher (engl. heat exchanger), „up“ oder „down“ bezeichnet oben oder unten und „amb“ bezeichnet die Umgebung.⁵

Abbildung 186: Schematische Darstellung des verwendeten Speichermodells⁵Tabelle 83: Parameter der Differentialgleichung des Speichermodells aus der CARNOT-Bibliothek⁵

Parameter	Beschreibung	Einheit
A_{loss}	Oberfläche für Verluste pro Knoten	m^2
A_{hx}	Oberfläche des Wärmetauschers pro Knoten	m^2
$COND_ITC$	Wärmeübertragung durch „inversed thermocline“	$W \cdot m^3 / kg$
λ	Effektive axiale Wärmeleitfähigkeit	$W / m \cdot K$
cp	Wärmekapazität	$J / kg \cdot K$
d_h	Abstand zwischen den Knoten	m
$\dot{m}$	Massenstrom	kg / s
ρ	Dichte	kg / m^3
T	Temperatur	K
U_{loss}	Wärmeverlustkoeffizient	$W / m^2 \cdot K$
U_{hx}	Wärmeübergangskoeffizient	$W / m^2 \cdot K$
V_{node}	Knotenvolumen	m^3

5.1.2 Gasbrennwertkessel

Funktionsprinzip

Moderne Gasbrennwertkessel stellen eine effiziente Komponente zur Wärmeerzeugung dar. Wie bei konventionellen Heizkesseln entsteht bei der Verbrennung von Erdgas Wasserdampf im Abgas. Statt das Abgas inklusive des Wasserdampfes bei hoher Temperatur ungenutzt an die Umgebung abzuführen, wird bei Brennwertkesseln das Abgas über die Rücklaufrohrleitung des Kessels geleitet. Durch das darin strömende kältere Wasser kann der Wasserdampf abgekühlt und bei Unterschreiten der Abgas-Taupunkttemperatur kondensiert werden. Die hierdurch freigesetzte Wärme wird zur Wärmebereitstellung genutzt, wodurch die Effizienz steigt.

Numerisches Modell

Das verwendete Modell aus der CARNOT-Bibliothek⁵ ist auf der Heizwasserseite wie auch das Speichermodell beliebig diskretisierbar. Mithilfe der folgenden Differentialgleichung wird das charakteristische Verhalten des Kessels abgebildet:

$$\frac{m \cdot c}{N} \cdot \frac{dT_{Node}}{dt} = \frac{U_1 \cdot (T_{amb} - T_{Node})}{N} + \dot{m} \cdot c_f \cdot (T_{in} - T_{Node}) + \frac{P_{act}}{N} \quad (2)$$

wobei die tatsächliche Leistung P_{act} mithilfe einer Lookup-Tabelle wie folgt bestimmt wird:

$$P_{act} = \eta_{lookuptable} \cdot P_{gas} \cdot ctrl \quad (3)$$

In Tabelle 84 ist eine Übersicht der verwendeten Parameter dargestellt.

Tabelle 84: Parameter des Numerischen Modells des Brennwertkessels⁵

Parameter	Beschreibung	Einheit
m	Masse des Gaskessels	kg
c	Wärmekapazität des Gaskessels	$J/(kg \cdot K)$
$ctrl$	Steuerungssignal [0 ...1]	-
c_f	Wärmekapazität des Fluids	$J/(kg \cdot K)$
T	Temperatur Kesselwasser	K
T_{amb}	Umgebungstemperatur	K
U_1	Wärmeverlustkoeffizient	W/K
T_{Node}	Knotentemperatur	K
T_{in}	Knoteneingangstemperatur des Fluids	K
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/s
N	Anzahl der Knoten	-
P_{act}	Tatsächliche Leistung Gaskessel	W
P_{gas}	Zugeführte Leistung	W

5.1.3 Blockheizkraftwerk

Funktionsprinzip

Ein Blockheizkraftwerk dient zur Gewinnung von elektrischer Energie und Wärme. Hierfür wird das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung genutzt. Dabei wird über einen Verbrennungsmotor der Generator zur Stromerzeugung angetrieben. Die mit dem Abgas oder Kühlwasser abgeführte Abwärme kann über einen Wärmetauscher als Nutzwärme in ein Nah- oder auch Fernwärmenetz eingespeist werden. Durch die gleichzeitige Erzeugung von Nutzwärme und elektrischer Energie lässt sich ein wesentlich größerer Brennstoffausnutzungsgrad realisieren, als dies bei reiner Erzeugung von elektrischer Energie möglich ist.

Numerisches Modell

Die Vorlauftemperatur T_{VL} des BHKW-Modells wird nach der folgenden Gleichung basierend auf Mouhcin⁶ berechnet:

$$T_{VL} = T_{RL} + \frac{\dot{Q}_{th}}{\dot{m} \cdot c_p} \quad (4)$$

In dem erweiterten Modell wird die thermische Leistung $\dot{Q}_{th}$, welche anhand der Betriebscharakteristik in einer Lookup-Tabelle hinterlegt ist, wie folgt berechnet:

$$\dot{Q}_{th} = f_{Q_{th}} \cdot Q_{th} \quad (5)$$

Die elektrische Leistung P_{el} wird analog bestimmt:

$$P_{el} = f_{P_{el}} \cdot P_{el} \quad (6)$$

In Tabelle 85 ist eine Übersicht der verwendeten Parameter dargestellt.

Tabelle 85: Parameter des Numerischen Modells des BHKW⁶

Parameter	Beschreibung	Einheit
T_{VL}	Vorlauftemperatur	°C
T_{RL}	Rücklauftemperatur	°C
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/s
c_p	Wärmekapazität	J/kg · K
$\dot{Q}_{th}$	Thermische Leistung	kW
$f_{Q_{th}}$	Thermischer Leistungsfaktor	-
$f_{P_{el}}$	Elektrischer Leistungsfaktor	-
Q_{th}	Thermische Nennleistung	kW

5.1.4 Kompressionskältemaschine

Funktionsprinzip

Bei einer Kompressionskältemaschine handelt es sich um einen geschlossenen Kältekreislauf. Das darauf beruhende Verfahren stellt die meist verbreitetste Art zur Kältebereitstellung dar. Die Bereitstellung von Nutzkälte erfolgt durch Wärmezufuhr an das Kältemittel im Verdampfer. Die benötigte Verdampfungswärme des Kältemittels wird dabei dem Kaltwasser entzogen. Das Druckniveau des gasförmigen Kältemittels wird in einem elektrisch betriebenen Verdichter daraufhin angehoben. Durch einen externen Kühlmittelkreislauf wird das Kältemittel im Kondensator verflüssigt. Mithilfe eines Expansionsventils wird der Kältemittelkreislauf geschlossen.

Numerisches Modell

Aus thermodynamischer Sicht kann eine KKM auch als Wärmepumpe (WP) angesehen werden. Es ändern sich lediglich die Bezeichnungen der Wärmeströme: Der Nutzwärmestrom einer WP entspricht dem Abwärme-Strom an das Kühlwasser einer KKM. Die Wärmequelle einer WP entspricht demzufolge dem Kaltwasser einer KKM, welchem die Wärme entzogen wird.

Das verwendete empirische Modell basiert auf den Eigenschaften einer Wärmepumpe nach DIN 8900⁷. Die in dieser Normung beschriebenen Leistungsdiagramme einer WP werden durch Schwamberger linear angenähert⁸

Mithilfe numerischer Berechnung der Parameter k_1 bis k_9 lassen sich die auftretenden Leistungen einer KKM linear berechnen. Hierzu werden die Leistungsdaten für unterschiedliche Temperaturen des Kalt- und Kühlwassers einer KKM benötigt. Dabei entspricht $t_{cold,in}$ der Rücklauftemperatur des Kaltwassers und $t_{hot,out}$ der Vorlauftemperatur des Kühlwassers.

Durch folgende Gleichung kann die an das Kühlwasser abgegebene Leistung Q_{heat} berechnet werden:

$$Q_{heat} = k_1 \cdot t_{cold,in} + k_2 \cdot t_{hot,out} + k_3 \quad (7)$$

Die dafür benötigte elektrische Leistung P_{el} kann wie folgt bestimmt werden:

$$P_{el} = k_4 \cdot t_{cold,in} + k_5 \cdot t_{hot,out} + k_6 \quad (8)$$

Die für den Anwendungsfall Kühlen entscheidende Kühlleistung Q_{source} kann durch folgende Beziehung ermittelt werden:

$$Q_{source} = k_7 \cdot t_{cold,in} + k_8 \cdot t_{hot,out} + k_9 \quad (9)$$

5.1.5 Absorptionskältemaschine

Funktionsprinzip

Im Gegensatz zu mechanisch oder elektrisch betriebenen Kältemaschinen wird eine Absorptionskältemaschine mit Wärme angetrieben. Die Bereitstellung von Nutzkälte erfolgt analog zur KKM durch Wärmezufuhr an das Kältemittel im Verdampfer.

Ungleich zu konventionellen Kältemaschinen findet ein thermischer Verdichter Anwendung. Dessen Funktionsprinzip beruht auf dem Sorptionsmechanismus, also der Anreicherung von Molekülen aus der Gasphase in einer Flüssigkeit. Bei der Bildung einer homogenen Mischphase findet eine Wärmeabfuhr im Absorber statt. Die darauffolgende Desorption, also das Austreiben des gebundenen Sorptivs, benötigt eine Wärmezufuhr, welche durch das Heizwasser bereitgestellt wird. Hierdurch wird das Druckniveau des Kältemittels angehoben. Im Kondensator findet eine erneute Verflüssigung des Kältemittels statt. Dieser wird mit dem Absorber durch einen externen Kühlmittelkreislauf versorgt. Analog zur KKM wird der Kreislauf durch ein Expansionsventil geschlossen, welches das Druckniveau des Kältemittels auf den ursprünglichen Wert hinabsetzt.⁹

Numerisches Modell

Das empirische Modell basiert auf der charakteristischen Temperaturfunktion $\Delta\Delta t$ von Ziegler. Diese besteht aus Differenzen der Generatortemperatur t_G , der Absorber-Temperatur t_A , der Kondensatortemperatur t_C und der Verdampfer-Temperatur t_E . Der Parameter R dient als Faktor der Isosteren* des Kälte- und Lösungsmittelgemischs. Angenähert werden kann die Formel durch folgende Beziehung, in welcher t_{AC} dem arithmetischen Mittelwert zwischen Absorber und Kondensator entspricht¹⁰:

$$\Delta\Delta t = (t_G - t_A) - R \cdot (t_C - t_E) \approx t_G - (1 + R) \cdot t_{AC} + R \cdot t_E \quad (10)$$

In dem verwendeten Modell von Kühn wird diese Annäherung angewendet. Statt des Faktors R werden die Parameter A und E verwendet:

$$\Delta\Delta t' = t_G - A \cdot t_{AC} + E \cdot t_E \quad (11)$$

Daraus kann die Leistung am Verdampfer $\dot{Q}_E$, also die Leistung der Nutzkälte durch folgende Beziehung ermittelt werden¹¹:

$$\dot{Q}_E = s_E \cdot \Delta\Delta t' + r_E \quad (12)$$

Die Leistung des Generators $\dot{Q}_G$, also die zugeführte Heizleistung, kann durch die nachstehende Gleichung berechnet werden¹¹:

$$\dot{Q}_G = s_G \cdot \Delta\Delta t' + r_G \quad (13)$$

Die Parameter s_E , s_G , r_E und r_G sind abhängig von internen Wärmeübertragungs- und Enthalpiekoeffizienten. Deren Berechnung erfolgt numerisch aus Leistungswerten der jeweiligen Anlage.

5.1.6 Trockenkühler

Funktionsprinzip

Ein Trockenkühler (TK) stellt die einfachste Form eines geschlossenen Rückkühlwerks dar. Im Wesentlichen besteht ein TK aus einem mit Kühlmittel durchströmten Wärmeübertrager. Zur Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten werden im Allgemeinen Ventilatoren eingesetzt. Die Wärme des Kühlwassers wird dabei durch Konvektion an die Umgebungsluft abgegeben. Der Energieverbrauch wird hauptsächlich durch den elektrischen Energiebedarf der Ventilatoren bestimmt, welcher von der Temperaturdifferenz von Kühlwasser und Umgebungstemperatur abhängig ist.

* *Isosteren: Linien konstanter Beladung und damit konstanter Konzentration des Kältemittels (z. B. Wasser) im Lösungsmittel (z. B. wässrige LiBr-Lösung)*¹⁰

Bei einer ausreichenden Temperaturdifferenz kann in kalten Jahreszeiten ein Trockenkühler zur direkten Kältebereitstellung genutzt werden. Diese Nutzung der Umgebungskälte wird Freie Kühlung (FK) genannt. Um den Trockenkühler bei günstigen Umgebungsbedingungen zur Freien Kühlung zu nutzen, ist der Wasser-Glykol-Kreislauf durch einen Platten-Wärmeübertrager mit dem Kaltwassernetz der Klinik verbunden.

Numerisches Modell

Der Trockenkühler soll als Kennlinienfeldmodell in die Simulationsumgebung implementiert werden. Hierfür werden Messdaten für sämtliche Lastzustände bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen benötigt. Da diese Messdaten, wie oben erläutert, nicht vorlagen, kann dieses Modell erst im Rahmen der Projektverlängerung umgesetzt werden.

Für die spätere Referenzsimulation in Abschnitt 5.4.1 wird daher nur ein stark vereinfachtes Blackbox Modell zur Berechnung des elektrischen Leistungsbedarfs verwendet. Dieses ist nicht ausreichend, um die Betriebscharakteristik des Rückkühlwerks hinreichend genau abzubilden, weshalb in den weiteren Simulationen die Möglichkeit der FK nicht berücksichtigt werden kann.

5.1.7 Hybridkühler

Funktionsprinzip

Bei nicht ausreichender Temperaturdifferenz kann ein Hybridkühler als Erweiterung des herkömmlichen Trockenkühlers eingesetzt werden. Zu geringe Temperaturunterschiede zwischen Kühlwasser und Umgebungstemperatur entstehen vorwiegend durch niedrige Temperaturniveaus des Kühlwassers. In den Sommermonaten wäre ein konventioneller Trockenkühler nicht in der Lage, die geforderte Vorlauftemperatur von ca. 27 °C zur Kühlung der ABKM bereitzustellen. Deshalb wird für diesen Kältekreislauf ein Hybridkühler eingesetzt, bei welchem die konvektive Wärmeabgabe durch Verdunstung von Wasser unterstützt werden kann. Bei Bedarf kann durch Versprühen von Frischwasser unmittelbar vor den Lamellen des Wärmeübertragers zusätzliche latente Wärme entzogen werden.

Numerisches Modell

Da eine physikalische Abbildung eines Hybridkühlers durch dessen Komplexität nicht zweckmäßig ist, wird dieser kennfeldbasierend modelliert. Analog zu dem Trockenkühler (siehe Abschnitt 5.1.6) konnte die Modellierung aufgrund fehlender Monitoring-Daten nicht abgeschlossen werden.

5.1.8 MATLAB Simulink und die CARNOT-Toolbox

Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Software MATLAB (MATrix LABoratory) des Herstellers MathWorks Inc.¹² verwendet. Das ursprünglich in der Sprache FORTRAN entwickelte Programm MATLAB ist eines der weltweit bekanntesten Tools zur Berechnung und Simulation komplexer mathematischer und technischer Probleme. Es basiert auf der Matrizenrechnung und wird insbesondere in der Regelungstechnik und technischen Mechanik eingesetzt. Sowohl in der Industrie als auch in der Wissenschaft findet diese Programmiersprache vielseitige Anwendung.¹³

Zur Erweiterung des Basismoduls von MATLAB sind zahlreiche Ergänzungen, wie beispielsweise die Optimization oder die Model-Based Calibration Toolbox erhältlich.¹² Die vom Hersteller MathWorks Inc. vertriebene, auf MATLAB aufgesetzte grafische Benutzeroberfläche Simulink kann zusätzlich durch Erweiterungen wie die CARNOT-Toolbox des Solar Institut Jülich⁵ ergänzt werden.

Simulink

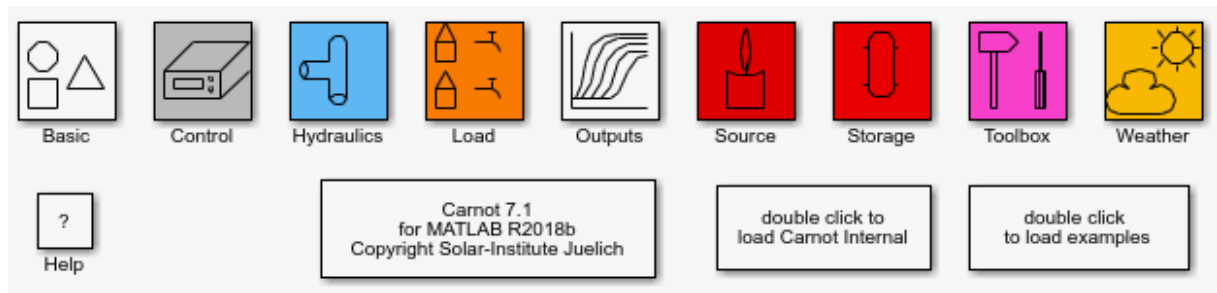
Simulink ist eine auf MATLAB basierende grafische Oberfläche, in welcher komplexe Systeme interaktiv modelliert und simuliert werden können. Mithilfe von unterschiedlichen Blöcken und Verbindungslinien können dabei Modelle erstellt werden. Die Blöcke befinden sich in einer grafischen Bibliothek und besitzen spezifische Eigenschaften¹³.

Sollten diese Blöcke für die jeweilige Problemstellung nicht ausreichen, kann Simulink wiederum durch spezifische Erweiterungspakete ergänzt werden. Häufig verwendete Systeme sind beispielsweise Stateflow, Simscape oder SimEvents¹².

CARNOT-Toolbox

Eine weitere Ergänzung von Simulink stellt die vom Solar Institut Jülich herausgegebene CARNOT-Toolbox dar. Der Name steht für Conventional And Renewable eNergy systems Optimization Toolbox. Diese wurde zur Simulation von thermischen Komponenten von Heizungssystemen auf konventioneller und regenerativer Basis entwickelt.⁵

Die grafische Oberfläche ermöglicht eine interaktive Modellierung innerhalb der Simulink Oberfläche. Die Toolbox besteht aus mehreren Bibliotheken, welche Blöcke mit individuell anpassbaren Parametern enthält, siehe Abbildung 187. Diese Blöcke können wiederum aus mehreren Subsystemen bestehen.⁵

Abbildung 187: Grafische Benutzeroberfläche der CARNOT-Toolbox⁵

Die Blöcke werden mithilfe des sogenannten Thermo Hydraulic Bus (THB) verbunden. Dieser enthält alle notwendigen Informationen und entspricht einer physischen Rohrverbindung zwischen den Komponenten. Dabei werden die Informationen durch den Vektor lediglich transportiert, eine Beeinflussung findet in den Blöcken statt. Der THB beinhaltet zwölf Komponenten, auf welche in Simulink durch sogenannte Bus Selector Blöcke zugegriffen werden kann. Eine Übersicht, der im THB vorhandenen Informationen ist in Tabelle 86 dargestellt.⁵

Tabelle 86: Übersicht der im Thermo Hydraulic Bus vorhandenen Informationen der CARNOT-Toolbox⁵

Nummer	Name im Bus	Beschreibung	Abkürzung	Einheit
1	ID	Flusskennung	ID	–
2	Temperature	Temperatur	T	°C
3	MassFlow	Massenstrom	mdot	kg/s
4	Pressure	Druck	p	Pa
5	FluidType	Fluidtyp	fluid_ID	–
6	FluidMix	Fluidmischung	fluid_mix	0...1
7	FluidMix2	Fluidmischung (3. Komponente)		
8	FluidMix3	Fluidmischung (4. Komponente)		
9	DiameterLastPiece	Rohrdurchmesser	d_last	m
10	DPConstant	Konstanter Druckverlust	C	Pa
11	DPLinear	Linearer Druckverlust	L	Pa s/kg
10	DPQuadratic	Quadratischer Druckverlust	Q	Pa s ² /kg ²
11	HydraulicInductance	Hydraulische Induktivität	L	1/m
12	GeodeticHeight	Geodätische Höhe	H	m

Eine Beeinflussung des Thermo Hydraulic Bus findet wie bereits erwähnt in den vorhandenen Blöcken der CARNOT-Bibliothek statt. Diese Blöcke stellen eine Blackbox dar, welche unterschiedliche physikalische Prozesse nachbildet. Die Blöcke wiederum können mehrere Subsysteme beinhalten, welche aus fundamentalen Komponenten der Simulink Bibliothek bestehen. In der CARNOT-Toolbox sind die vorhandenen Blöcke zu 10 Subsystemen zusammengefasst

(siehe Tabelle 87). Eine Anpassung der Parameter dieser Systeme kann über eine grafische Eingabemaske stattfinden. Um Modelle zu erstellen, können mehrere Blöcke miteinander kombiniert werden. Falls erforderlich, kann auch eine Ergänzung oder Veränderung der Blöcke stattfinden.⁵

Tabelle 87: Übersicht der Subsysteme der CARNOT-Toolbox⁵

Kategorie	Beschreibung	Beispiele
Basic	Unterkategorien zur Berechnung von Basiswerten: Materialeigenschaften, Kennzahlen, einfache thermische Modelle	Prandtl-Zahl, Grashof-Zahl oder Bewölkungsgrad
Control	Bauteile zum Aufbau von Regelungssystemen: Sensor, Regler	Temperatursensor, Leistungsmesser
Hydraulics	Hydraulische Komponenten: Ventile, Mischer, Pumpen und Rohre	Ventil, einfache Pumpe, Rohrisolierung
Load	Unterkategorien zur Berechnung von Heizungssystemen: Elektrisch, Allgemeines, Häuser und Warmwasserbedarf	Einfaches Hausmodell, Heizkörper, Warmwasser-Anzapfung
Outputs	Blöcke zur Visualisierung von Ausgangsdaten	Wetterdarstellung
Storage	Thermische und elektrische Energiespeicher	Untergrundspeicher
Source	Unterkategorien mit unterschiedlichen konventionellen und regenerativen Wärme- und Kälteerzeugern	Wärmepumpe, Absorptionskältemaschine und Wärmeübertrager
Toolbox	Verschiedene Werkzeuge zur Erleichterung der Simulation	Bildung von Durchschnittswerten
Weather	Unterschiedliche Wettermodelle	Einfaches Wettermodell
New_Blocks	Bisher nicht validierte neue Modelle	Untergrundspeicher U-Rohr

5.2 Kriterien zur Bewertung der Anlagenfahrweise

Dieses Kapitel bildet die Grundlage zur Untersuchung und Beurteilung unterschiedlicher Möglichkeiten der Anlagenfahrweise hinsichtlich verschiedener Bewertungsparameter. Für die numerische Simulation zur Optimierung der Anlagenfahrweise des Wärme- und Kälteverbundsystems stehen besonders die Kriterien Ökonomie, Ökologie und Energieeffizienz im Fokus.

5.2.1 Ökonomie

Um die unterschiedlichen Anlagenfahrweisen des Wärme- und Kälteverbundsystems miteinander sinnvoll zu vergleichen, sind hierfür ausschließlich variable Kosten relevant, da Fixkosten wie beispielsweise kapitalgebundene Kosten (Investitionskosten, Planungskosten etc.) für die einzelnen Energieerzeugereinheiten nur einmalig anfallen. Demnach sind die Gesamtkosten der Anlage, welche sich im Wesentlichen aus den bedarfsgebundenen Kosten K_v und den betriebsgebundenen Kosten K_b abzüglich der Erlöse A_E der einzelnen Anlagenkomponenten zusammensetzen, zu betrachten. Eine Übersicht der verwendeten Parameter ist in Tabelle 91 des Anhangs dargestellt.¹⁴

In den bedarfsgebundenen Kosten werden die Aufwendungen für die benötigten Energieträger K_E , für den verbrauchten Strom K_S und sonstige Kosten K_{SK} (u. a. Abwasser) berücksichtigt:

$$K_v = K_E + K_S + K_{SK} \quad (14)$$

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Ausgaben für Instandhaltung K_I , Wartung K_W und Personalkosten K_{PK} :

$$K_b = K_I + K_W + K_{PK} \quad (15)$$

Je nach Art der Anlagenkomponente können auch für die produzierte Wärme/Kälte $E_{W/K}$ bzw. für den produzierten Strom E_S Rückflüsse erwirtschaftet werden. Diese Rückflüsse werden bei der Betrachtung von den Gesamtkosten abgezogen.¹⁵ Ebenfalls werden hier Vergütungen K_Z , wie Energieeinspeisungsvergütung oder KWK-Zuschläge berücksichtigt¹⁶:

$$A_E = E_{W/K} + E_S + K_Z \quad (16)$$

Die Gesamtkosten K_{GHL} des Systemverbunds berechnet sich folglich aus der Summe der betriebs- und bedarfsgebundenen Kosten der einzelnen Anlagenkomponente abzüglich der Erlöse der Anlagenkomponente¹⁴:

$$K_{GHL} = \sum_{i=1}^n (K_{v,i} + K_{b,i}) - \sum_{i=1}^n A_{E,i} \quad (17)$$

5.2.2 Ökologie

Die Ökologie der Anlage in dem Betrachtungszeitraum wird anhand des Gesamt-CO₂-Ausstoßes des gesamten Versorgungssystems bewertet. Dieser setzt sich zusammen aus der Summe der einzelnen CO₂-Emissionen der jeweiligen Anlagenkomponente. Eine Übersicht der verwendeten Parameter ist Tabelle 92 des Anhangs zu entnehmen. Dabei wird zwischen drei Quellen von CO₂-Emission unterschieden:

CO₂-Emission A_{CO_2} , die aus dem Verbrennungsprozess von flüssigen, gasförmigen oder festen Energieträgern (z. B. Gas, Holz) entsteht¹⁷:

$$A_{CO_2} = V_g \cdot c_{CO_2} \quad (18)$$

CO₂-Emission, die aus der inneren Verbrennung des Kraftstoffs im Hubkolbenmotorprozess entsteht¹⁸:

$$A_{CO_2} = V_g \cdot c_{CO_2, BHKW} \quad (19)$$

CO₂-Emission, die aus dem Stromverbrauch der jeweiligen Anlage resultiert¹⁹:

$$A_{CO_2} = P_{el} \cdot a_{CO_2} \quad (20)$$

Der Gesamt-CO₂-Ausstoß des Systemverbunds in einer Periode ergibt sich somit aus der Summe der einzelnen CO₂-Ausstoßmengen der jeweiligen Anlagenmodule:

$$A_{CO_2, GHL} = \sum_{i=1}^n A_{CO_2, i} \quad (21)$$

5.3 Struktur und Ablauf der Simulation

In diesem Teilkapitel wird die Simulation des Verbundsystems beschrieben. Die grundlegende Struktur und der Ablauf sind in Abbildung 188 schematisch illustriert, wobei auf die einzelnen Punkte in den nachfolgenden Unterkapiteln dieses Abschnitts näher eingegangen wird.

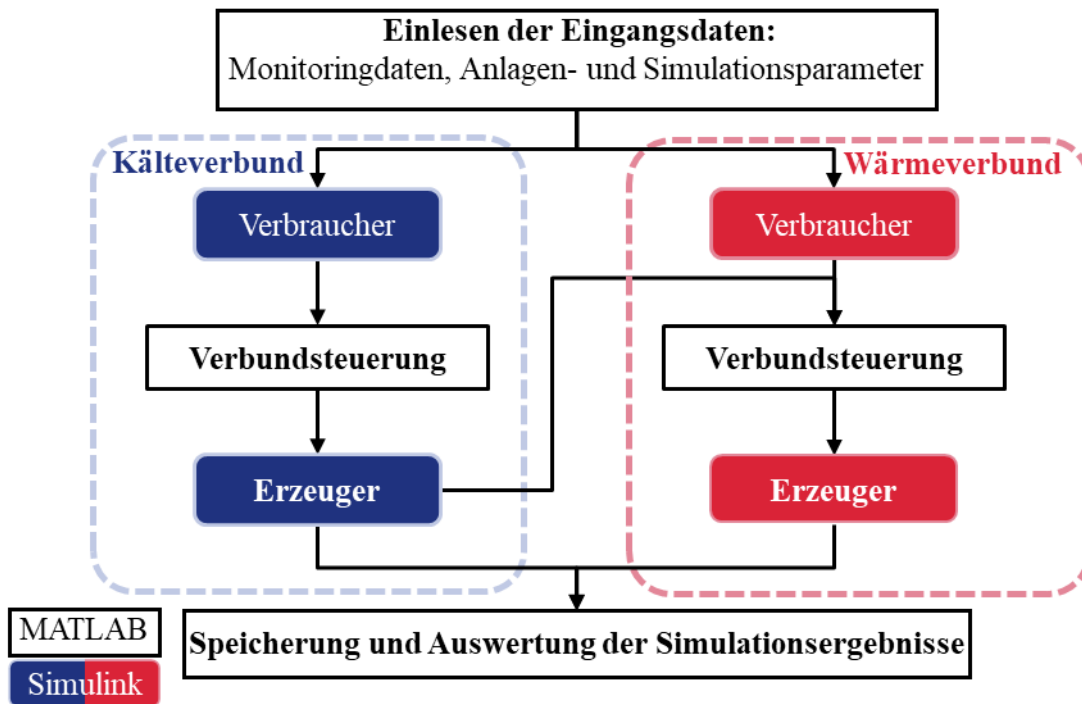


Abbildung 188: Simulationsablauf

Der Ablauf der Simulation erfolgt automatisiert durch ein MATLAB-Skript, in welchem zudem einige Operatoren ausgeführt werden. Zunächst werden die Eingangsdaten eingelesen und in dem Workspace von MATLAB hinterlegt. Dazu zählen neben den Daten des Monitorings Anlagen- und Simulationsparameter. Darin enthalten sind beispielsweise Kenngrößen zur Beschreibung des Verhaltens der einzelnen Anlagen oder Solver-Einstellungen wie der zulässige Zeitschritt.

Die Simulation des Verbundsystems erfolgt bedarfsgeregelt vom Verbraucher zum Erzeuger. Daher wird zunächst der Bedarf für sämtliche Kälteerzeuger anhand der realen Verbrauchsdaten bestimmt. Der berechnete Verlauf der erforderlichen Kühlleistung wird zur Berechnung des Anlageneinsatzes in die Kälteverbundsteuerung (KVB) übergeben. In dieser können unterschiedliche Varianten der Anlageneinsatzplanung festgelegt werden. Anhand der Auswahl findet eine Berechnung der Steuersignale der Kälteerzeuger statt. Der Wärmebedarf der AbKM wird zu dem Verbrauch der restlichen Wärmeverbraucher hinzugefügt. Mittels des somit berechneten Gesamtwärmebedarfs kann durch die Wärmeverbundsteuerung analog zur KVB der Anlageneinsatz der Wärmeerzeuger bestimmt werden, welche im darauffolgenden Schritt simuliert werden. Sämtliche relevante Daten zur Auswertung und Beurteilung der Auswirkungen unterschiedlicher Betriebsstrategien hinsichtlich verschiedener Bewertungsparameter werden in den Workspace von MATLAB übergeben und zur Auswertung abgespeichert.

5.3.1 Einbindung externer Daten

Die aufgenommenen Messdaten des Monitorings werden, wie in Abschnitt 4.6.3 beschrieben, durch die HS Hof übermittelt und auf dem Hochschulserver in wöchentlichen *.csv-Daten abgelegt. Das Vorgehen zur Einbindung der externen Daten ist schematisch in Abbildung 189 illustriert.

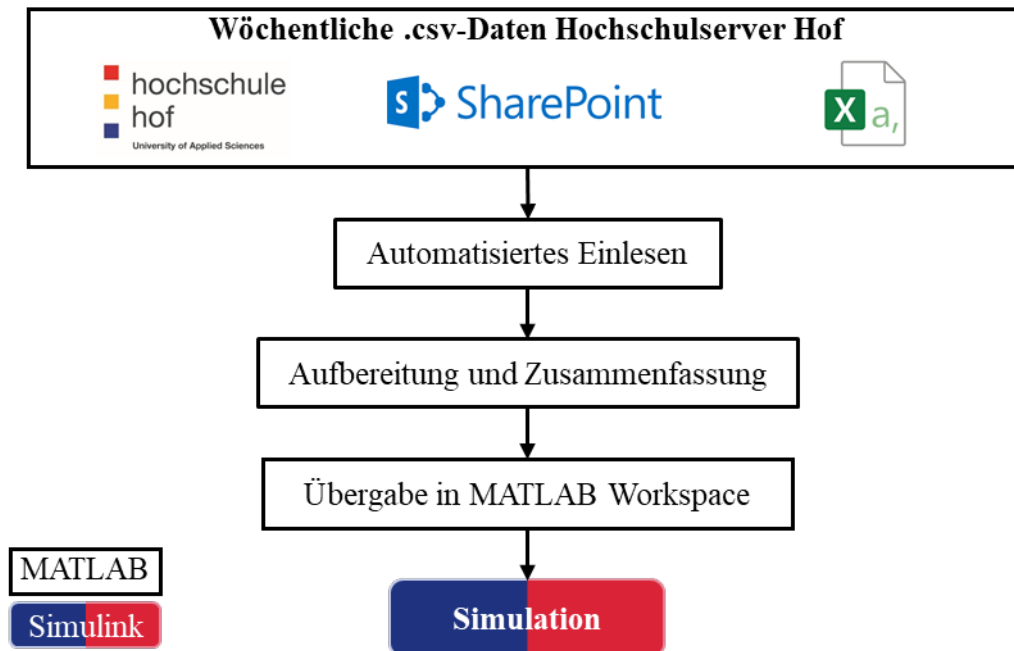


Abbildung 189: Einbindung externer Daten

Die ausführlichen Dateien für sämtliche Wochen mit jeweils über 1200 Datenpunkten werden durch ein automatisiertes MATLAB-Skript eingelesen. Den für die Anlagensimulation relevanten Datenpunkten wird der eindeutige Unix-Zeitstempel zugewiesen, statt das bisher vorhandene Format vom Typ „TT.MM.JJJJ hh:mm:ss“ zu verwenden, wodurch beispielsweise Probleme bei der Zeitumstellung vermieden werden. Nach einer Überprüfung und Aussortierung fehlerhafter und unvollständiger Daten werden diese nach Datentyp sortiert in den MATLAB-Workspace übergeben. Anschließend werden diese für die eigentliche Simulation in Simulink eingebunden.

5.3.2 Realisierung in Simulink

Die in den Kapiteln 5.1.1 bis 5.1.7 grundlegend beschriebenen Simulationsmodelle werden in der grafischen Oberfläche von Simulink realisiert. Exemplarisch ist in Abbildung 190 der Hauptwärmeverteiler der Energiezentrale mit den angeschlossenen Erzeuger- und Verbraucherkreisen dargestellt.

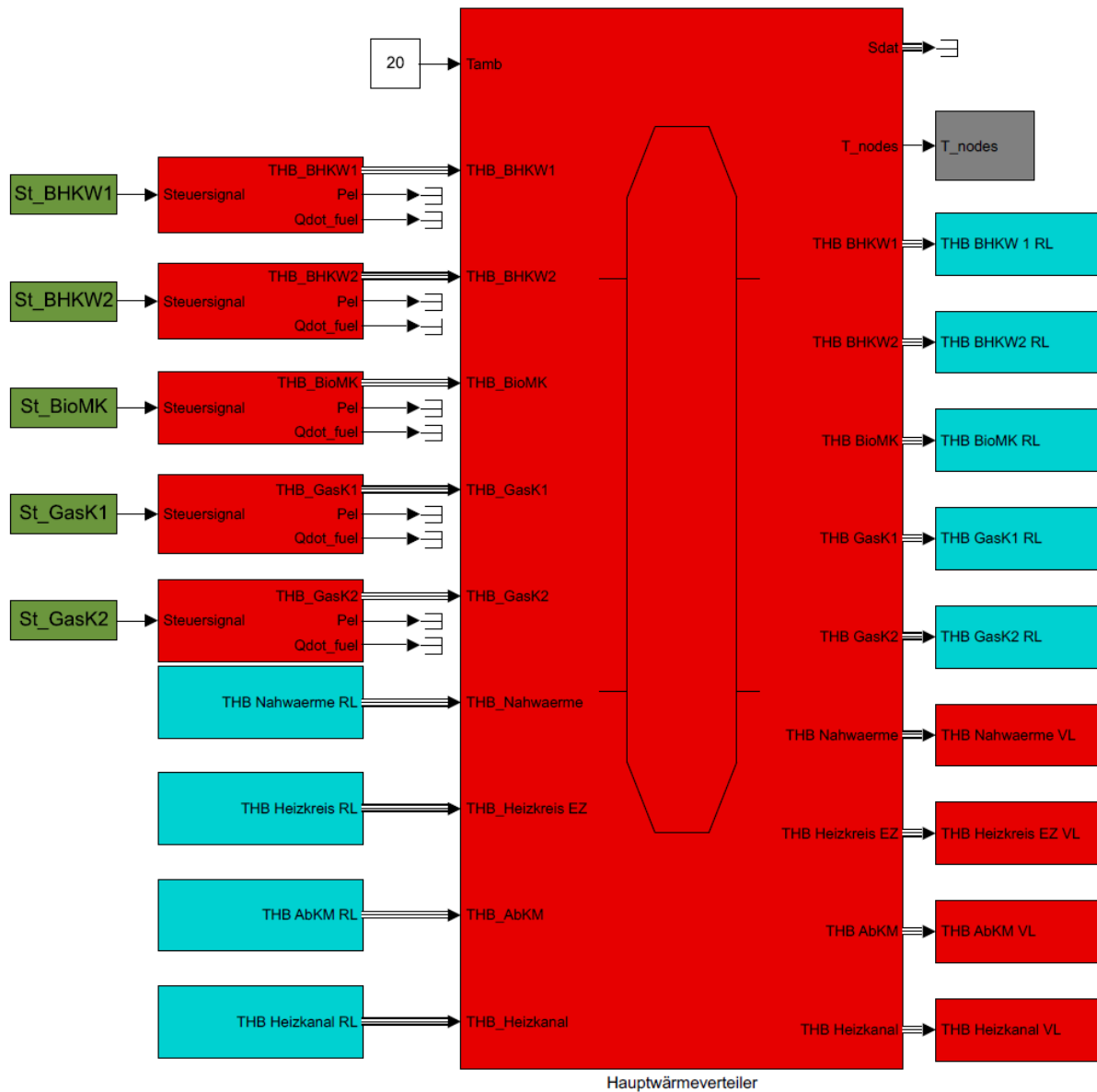


Abbildung 190: Hauptwärmeverteiler in Simulink

Hinter den dargestellten Kästen befinden sich sog. Subsysteme, welche auf darunterliegenden Ebenen weitere Subsysteme beinhalten können. Exemplarisch ist in Abbildung 191 das Subsystem der AbKM mit den unterschiedlichen Regelkreisen dargestellt.

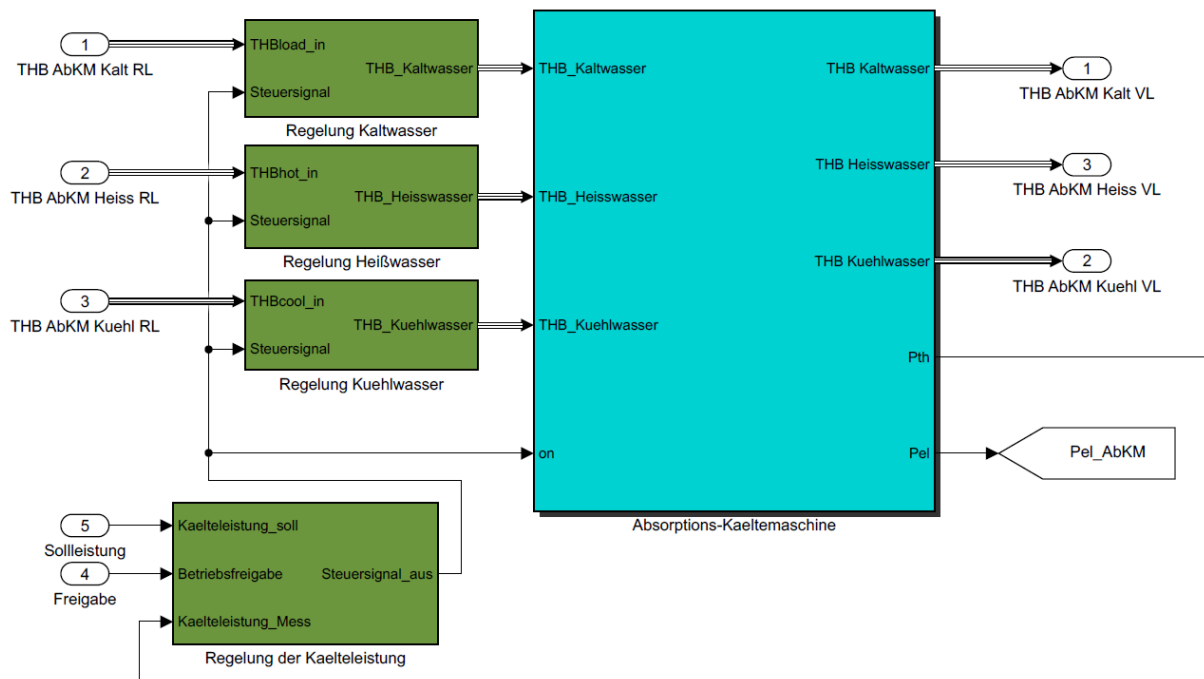


Abbildung 191: AbKM in Simulink

Durch die Schnittstelle zwischen MATLAB und Simulink können reale Daten direkt übernommen und eingelesen werden, aber auch die Simulationsergebnisse anschließend wieder in MATLAB übergeben werden.

5.3.3 Verifizierung der Modellierung

Die in einem ersten Schritt grundlegend nach verfügbaren Herstellerangaben parametrisierten Simulationsmodelle werden an die real verbauten Komponenten angepasst und im Weiteren verglichen. Hierzu werden zunächst Monitoringdaten aus dem Zeitraum 01.03.2020 bis 30.03.2020 verwendet. Neben Kenndaten wie der Effizienz für unterschiedliche Leistungsbe-
reiche werden zudem Anlagencharakteristika wie Trägheit oder Verluste angepasst. Einige Modelle wie beispielsweise die beiden Rückkühlwerke werden ausschließlich anhand von Messdaten als Kennlinienfeldmodell realisiert. Die Anpassung erfolgt mit den nachstehend genannten Einschränkungen:

BHKW1: Ein direkter Stromzähler am BHKW ist zum Zeitpunkt der Auswertung nicht vorhanden. Alternativ wird ein Zähler verwendet, bei welchem der Verbrauch der UV-Technik einfließt. Zukünftig soll ein direkter Zähler verwendet werden, dessen aufgezeichneter Wert als tendenziell besser einzustufen ist.

BHKW2: Ein direkter Stromzähler am BHKW ist zum Zeitpunkt der Auswertung nicht vorhanden. Alternativ wird ein Zähler verwendet, bei welchem der Verbrauch der UV-Technik einfließt. Zukünftig soll ein direkter Zähler verwendet werden, dessen aufgezeichneter Wert als tendenziell besser einzustufen ist.

Gaskessel 1600 kW: Der Kessel wurde im gesamten Betrachtungszeitraum nur selten eingesetzt und zu keinem Zeitpunkt unter Volllast betrieben.

Biomassekessel: Der Brennstoffeinsatz ist bisher nicht zuverlässig bestimmbar, siehe 4.7.2.2

Hybridkühler: Aufgrund Verzögerungen bei der Messdatenübermittlung konnte die Modellbildung noch nicht abgeschlossen werden.

Trockenkühler: Aufgrund Verzögerungen bei der Messdatenübermittlung konnte die Modellbildung noch nicht abgeschlossen werden. Zudem erscheint der Stromverbrauch mit durchschnittlich ca. 18 kW hoch, da laut Datenblatt die Anlage eine elektrische Nennleistung von ca. 5 kW aufweist.

Kompressionskältemaschine: Der Stromverbrauch ist unrealistisch niedrig. Daher wird das Modell KKM ausschließlich anhand verfügbarer Herstellerangaben mit Angabe zu unterschiedlichen Teillastwirkungsgraden parametrisiert.

Wärmepumpe: nicht in Betrieb.

Erdsondenfeld: Kaum zu Kühl- und nie zu Heizzwecken genutzt.

Um die Qualität der Simulationsergebnisse zu beurteilen, erfolgt in Abschnitt 5.4.1 ein Vergleich zwischen den aufgezeichneten Verbrauchswerten des Monitorings für den Betrachtungszeitraum von einem Jahr und einer Referenzsimulation, in welcher der Anlageneinsatz wie in der Realität gestaltet wird.

5.3.4 Verbundsteuerung und Übersicht der Szenarien

Mithilfe der Wärme- und Kälteverbundsteuerung wird der Anlageneinsatz für die Simulationsmodelle berechnet. Um die Auswirkungen unterschiedlicher Betriebskonzepte näher untersuchen zu können, werden drei Szenarien formuliert, siehe Tabelle 88.

Tabelle 88: Übersicht der untersuchten Szenarien

Szenario	Szenario	Kälte	Wärme
I-a-b	Referenzsimulation	Anlageneinsatz nach realen Messdaten bestimmt	
II-a-c	Rangreihenfolge	Priorisierung AbKM	Variation der Rangreihenfolgen
III-a-c	Rangreihenfolge	Priorisierung KKM	Variation der Rangreihenfolgen

In Szenario I wird der reale Anlageneinsatz anhand der aus dem Monitoring gewonnenen Daten bestimmt. Anhand der Sollleistung der realen Erzeuger wird in der Wärme- und Kälteverbundsteuerung das Steuersignal für die unterschiedlichen Erzeuger berechnet. Zu Vergleichszwecken werden in Szenario I-a die realen Verbrauchsdaten des Betrachtungszeitraums verwendet. In Szenario I-b wird der Verbrauch für den gleichen Anlageneinsatz numerisch in der Referenzsimulation bestimmt. Durch einen Vergleich können in Abschnitt 5.4.1 Aussagen über die Qualität der Simulation getroffen werden (siehe Tabelle 90).

In Szenario II wird die AbKM bevorzugt eingesetzt, währenddessen in den Fällen a bis c unterschiedliche Rangreihenfolgen der Wärmeerzeuger untersucht werden (siehe Tabelle 89). In Szenario III wird die Rangreihenfolge der Wärmeerzeuger auf analoge Art variiert, wobei die KKM bevorzugt zur Kältebereitstellung eingesetzt wird.

Tabelle 89: Übersicht der Rangreihenfolgen

Szenario	Rangreihenfolge							
	Kälte			Wärme				
	1	2	3	1	2	3	4	5
I-a	–	–	–	–	–	–	–	–
I-b	–	–	–	–	–	–	–	–
II-a	AbKM	KKM	–	BHKW1	BHKW2	GasK1	GasK2	–
II-b	AbKM	KKM	–	BHKW1	GasK1	BHKW2	GasK2	–
II-c	AbKM	KKM	–	GasK1	BHKW1	BHKW2	GasK2	–
III-a	KKM	AbKM	–	BHKW1	BHKW2	GasK1	GasK2	–
III-b	KKM	AbKM	–	BHKW1	GasK1	BHKW2	GasK2	–
III-c	KKM	AbKM	–	GasK1	BHKW1	BHKW2	GasK2	–

Die Umsetzung des Steuerungskonzepts in MATLAB wird exemplarisch für das Szenario II-a ausführlich beschrieben. Die Berechnung der Steuerungsdaten der weiteren Szenarien erfolgt in analoger Weise.

Die Kälteverbundsteuerung berechnet anhand des ermittelten Kältebedarfs Steuerungssignale für die einzelnen zur Verfügung stehenden Kälteerzeuger. Da in diesem Szenario die AbKM die Priorität 1 besitzt, soll diese bevorzugt zur Kältebereitstellung eingesetzt werden, bis diese den Bedarf nicht mehr allein decken kann. In diesem Fall wird die KKM mit der Priorität 2 hinzugeschaltet. Da die Mindestleistung der KKM berücksichtigt werden muss, wird ggf. die Leistungsanforderung der AbKM reduziert. Anhand des simulierten Wärmeverbrauchs der AbKM und der restlichen Verbraucher kann anschließend der Anlageneinsatz der Wärmeerzeuger analog umgesetzt werden. In diesem Szenario wird daher das BHKW1 (Priorität 1) zuerst eingesetzt. Sollte dieses als alleiniger Wärmeversorger den Bedarf nicht decken können,

wird BHKW2 (Priorität 2) hinzugeschaltet. Hierbei wird ebenfalls dessen festgelegte Mindestleistung berücksichtigt, wodurch ggf. BHKW1 gedrosselt betrieben werden muss. Übersteigt der Bedarf die maximal erzeugbare Leistung der Erzeuger 1 und 2 wird Erzeuger 3 (hier: GasK_560kW), wieder unter Berücksichtigung der Mindestleistung (ggf. verbunden mit Leistungsreduzierung von Erzeuger 2) hinzugeschaltet. Sollten die 3 Erzeuger nicht den gesamten Bedarf versorgen können, wird der vierte Erzeuger (hier: GasK_1600kW) auf gleiche Weise hinzugeschaltet. Die Berechnung der Steuerungssignale für die weiteren Szenarien erfolgt in analoger Weise.

Da die Bearbeitung der Modelle des Trockenkühlers sowie des Biomassekessels aufgrund der Herausforderung bei der Messdatenübermittlung (siehe Abschnitt 5.3.3) nicht abgeschlossen werden konnten, werden diese bei der Variation der Rangreihenfolgen außer Acht gelassen. Insbesondere die als allgemein sehr effizient bekannte Freie Kühlung kann somit erst in der Projektverlängerung implementiert werden.

Für die Referenzsimulation (I-b) wurde für den Trockenkühler und den Biomassekessel ein einfaches Blackbox-Modell hinterlegt, welches die geforderte Leistung bereitstellt, ohne physikalische Prozesse zu berücksichtigen. Die elektrische Leistungsaufnahme des Trockenkühlers wird dabei anhand einer Lookup-Tabelle bestimmt.

5.4 Ergebnisse der Anlagensimulation

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Simulation und des Anlagen-Monitorings ausführlich dargelegt. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich vom 01.03.2020 bis 28.02.2021. Zur detaillierten Illustration der Anlagenbetriebsweise wird zudem exemplarisch eine Sommer- und eine Winterwoche gezeigt. Hierfür werden die Zeiträume 08. bis zum 14.06.2020 (KW24) und 07. bis zum 13.12.2020 (KW50) herangezogen. Die detaillierten Verläufe des Anlageneinsatzes der Wochenbetrachtung sind zur besseren Übersicht im Anhang dargestellt.

Zunächst wird der durch die aufgezeichneten Messdaten ermittelte Referenzzustand mit einer Referenzsimulation verglichen, um die Qualität der Simulation zu beurteilen. Zudem dient dieser Referenzzustand als Vergleichsgrundlage für die darauffolgenden Untersuchungen. In diesen werden unterschiedliche Rangreihenfolgen der Anlageneinsatzplanung der Wärme- und Kälteseite berücksichtigt. Abgeschlossen wird dieses Kapitel durch eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie einer Darlegung der Auswirkung unterschiedlicher Betriebsstrategien hinsichtlich verschiedener Bewertungsparameter.

5.4.1 Szenario I: Referenz

In dem ersten Szenario I-a wird der reale Anlageneinsatz und die daraus folgenden Verbrauchswerte aus den Monitoring-Daten verwendet. Anhand der Referenzsimulation I-b findet ein Vergleich zu berechneten Verbrauchswerten der Anlagensimulation bei gleicher Einsatzplanung statt, siehe Kapitel 5.3.4.

In Abbildung 192 ist der Verlauf der Kälteerzeugung des Monitorings und in Abbildung 193 der Verlauf der dazugehörenden Referenzsimulation dargestellt. Beide Abbildungen illustrieren die im Versorgungssystem gewählte Betriebsweise deutlich. Die AbKM wird als bevorzugter Erzeuger eingesetzt, wobei deren Leistung reduziert wird, wenn die Umgebungsbedingungen die Freie Kühlung zulassen. Da dies technisch nur bei Temperaturen unterhalb von 6 °C möglich ist, wird die FK außerhalb der Wintermonate nahezu durchgehend gesperrt. Innerhalb der möglichen Betriebszeit kann diese einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Kälteerzeugung leisten. Im Bereich Februar 2021 beispielsweise kann der gesamte anfallende Kältebedarf an mehreren Tagen ausschließlich durch die FK bereitgestellt werden. Durch eine Kältebereitstellung von insgesamt ca. 209 MWh beträgt der Anteil am Gesamtkältebedarf von ca. 1125 MWh ca. 18,6 %, vgl. Tabelle 90. Konträr dazu wird die elektrisch betriebene KKM hauptsächlich in den Sommermonaten zur Deckung des Spitzenlastbedarfs eingesetzt. Mit ca. 101 MWh entfällt auf diese ein Anteil von ca. 8,9 % des Gesamtbedarfs. Der Hauptanteil mit ca. 816 MWh entfällt auf die AbKM, welche somit ca. 72,5 % des jährlichen Kältebedarfs bereitstellt.

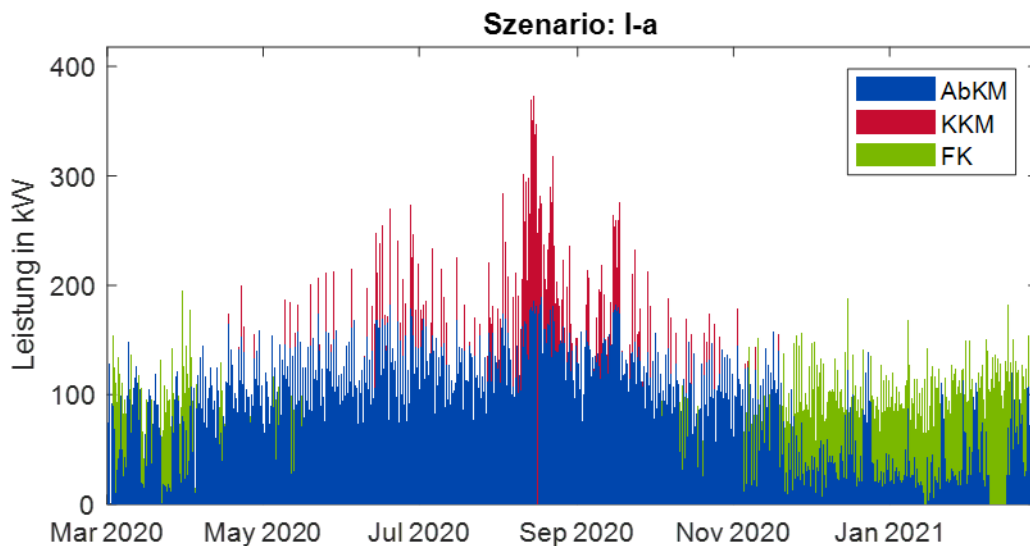


Abbildung 192: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung (Szenario: Referenz I-a)

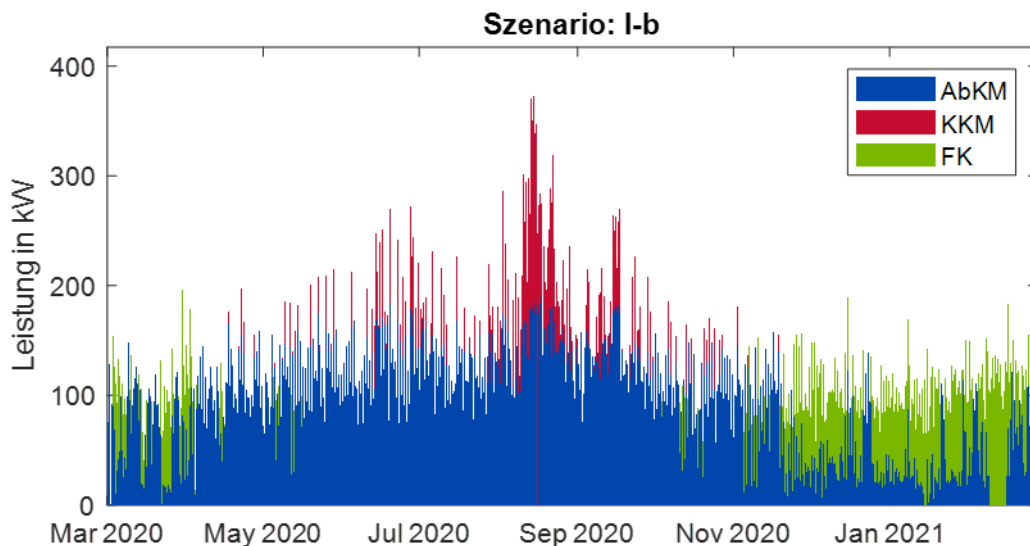


Abbildung 193: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung (Szenario: Referenzsimulation I-b)

Ein Vergleich der Verläufe der bereitgestellten Kälteleistung zeigt eine gute Übereinstimmung, welche von einer Abweichung von deutlich unter 1 % bei der jährlichen Energiemenge der Erzeuger unterstrichen wird. Ein Vergleich der hierfür erforderlichen Antriebsenergien zeigt die folgenden Übereinstimmungen. Die Heizenergie der hauptsächlich durch Wärme angetriebene AbKM weist eine Abweichung von ca. 5 % auf. Bei der elektrisch betriebenen KKM fällt die Abweichung mit über 130 % sehr hoch aus. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass der aufgezeichnete Wert höchstwahrscheinlich fehlerhaft ist. Eine Plausibilitätsprüfung ergibt eine Leistungszahl von ca. 8,5. Im Gegensatz zu diesem unrealistischen Wert ergibt die Simulation eine Leistungszahl von ca. 3,7, welche mit den Angaben zu unterschiedlichen Teillastwirkungsgraden des Herstellers korreliert. Für sinnvolle Vergleiche wird deshalb im Folgenden dieser als realistisch einzustufender Wert verwendet. Die Abweichungen der benötigten Energiemenge des Kühlwassers fällt bei beiden Erzeugern deutlich höher aus. Da aus den in Abschnitt 5.3.3 genannten Gründen eine Berücksichtigung der beiden Rückkühlwerte derzeit

nicht möglich ist, werden die Auswirkungen dieser Abweichungen zum derzeitigen Stand als weniger kritisch eingestuft. Der elektrische Leistungsbedarf für das vereinfachte Modell zur Freien Kühlung kann hingegen trotz der vereinfachten Annahme mit einer Abweichung von ca. 3,2 % bestimmt werden.

Analog zur Kältebereitstellung sind in Abbildung 194 und Abbildung 195 der Anlageneinsatz der Wärmeerzeuger als gestapelter Verlauf dargestellt. Darin ist deutlich die Abschaltung des Biomassekessels im Zeitraum vom 17.03. bis zum 17.11.2020 ersichtlich. Aufgrund der anlagenspezifischen hohen Trägheit und der damit verbundenen unzureichenden Fähigkeit auf schnelle Lastwechsel zu reagieren, kann dieser nur betrieben werden, wenn ein ausreichender Leistungsbedarf vorliegt. Da das An- und Abfahren des BioMK mit erheblichem zeitlichem und personellem Aufwand verbunden ist, wird dieser nur in den Wintermonaten betrieben, in welchen die Voraussetzung voraussichtlich für mindestens mehrere Wochen erfüllt ist. Trotz dieser Einschränkung kann der BioMK durch ca. 1266 MWh ca. 24,3 % des jährlichen Wärmebedarfs der Klinik decken. Ein höherer Anteil ist auf die beiden BHKWs zurückzuführen, welche mit ca. 1513 und ca. 1501 MWh jeweils ca. 29,1 und 28,8 % des Gesamtbedarfs bereitstellen. Sollte die Leistung der beiden BHKWs und ggf. des BioMKs nicht ausreichen, wird i. d. R. der kleinere Gaskessel hinzugeschaltet, welcher mit ca. 904 MWh ca. 17,4 % des jährlichen Bedarfs versorgt. Ausnahme bilden mehrere Tage im Mai, August, Oktober und November, an welchen BHKW1 und GasK_560kW die alleinigen sich in Betrieb befindenden Erzeuger sind, was deutlich in dem dargestellten Verlauf ersichtlich ist. Der größere GasK_1600kW wird im gesamten Betrachtungszeitraum sehr selten genutzt. Durch die bereitgestellten ca. 17 MWh ergibt sich ein nahezu vernachlässigbarer Anteil von lediglich ca. 0,3 % an der Gesamtmenge. Da die Wärmepumpe im gesamten Betrachtungszeitraum außer Betrieb war, trägt diese folglich nicht zur Wärmebereitstellung bei.

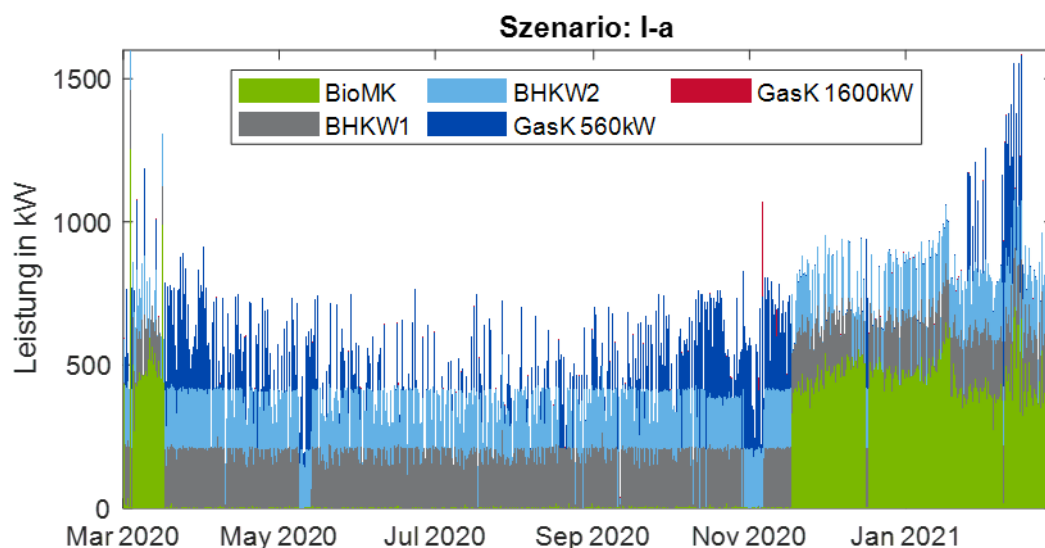


Abbildung 194: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: Referenz I-a)

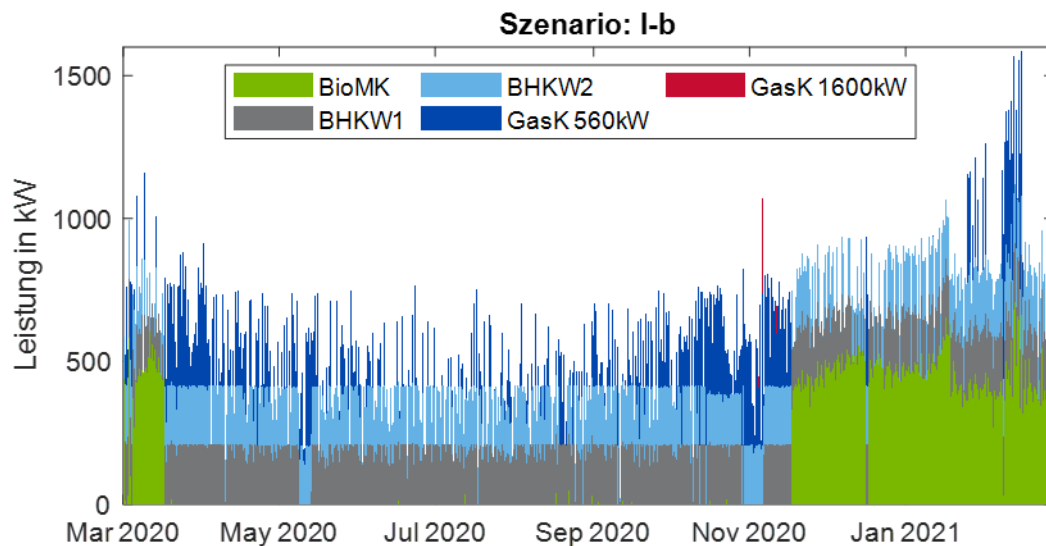


Abbildung 195: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: Referenzsimulation I-b)

Der Vergleich zwischen den numerisch berechneten Verbrauchswerten und realen Messdaten zeigt, sofern sinnvoll möglich, gute Übereinstimmung. Der Gasverbrauch des kleineren Kessels kann mit einer Abweichung von lediglich ca. 1,3 % bei nahezu identischer Wärmemenge bestimmt werden. Bei dem größeren Gaskessel hingegen ist eine höhere Abweichung von ca. 11,2 % festzustellen. Dies ist u. a. insbesondere darauf zurückzuführen, dass der Kessel kaum und zu keinem Zeitpunkt unter Vollast betrieben wurde. Hierdurch konnte das Modell aufgrund fehlender Betriebsdaten nicht vollständig parametrisiert werden. Hingegen kann der Gasverbrauch der beiden BHKWs mit einer Abweichung von ca. 1,5 und 1,1 % sehr genau bestimmt werden. Die erzeugte Strommenge weist eine Abweichung von 3,6 bzw. 5,9 % auf, wobei diese Werte mit Vorsicht zu betrachten sind. Wie in Abschnitt 5.3.3 erläutert, befinden sich die bisher verwendeten Zähler nicht direkt am BHKW, weshalb die Messung verfälscht wird. Es wird erwartet, dass zukünftig durch die nachgerüsteten Zähler belastbarere Vergleiche durchgeführt werden können. Ein Vergleich des Brennstoffeinsatzes des BioMKs kann bisher nicht durchgeführt werden, da der Wert nicht zuverlässig bestimmbar ist (siehe Abschnitt 5.3.3). Da die Wärmepumpe nicht in Betrieb war, können keine Aussagen zur Modellgüte getroffen werden.

Tabelle 90: Vergleich zwischen gemessenen Verbrauch und berechneten Verbrauch der Referenzsimulation

Komponente	Bezug	Endwert		Einheit	Relative Abweichung in %	Kommentar
		Mess	Sim			
GasK_560kW	Gas	102991	101672	m ³	1,28	–
	Wärme	904160	905126	kWh	0,11	–
	Strom	2422	2298	kWh	5,11	–
GasK_1600kW	Gas	2161	1918	m ³	11,23	Kaum genutzt
	Wärme	17290	17383	kWh	0,54	Kaum genutzt
	Strom	54	39	kWh	27,29	Kaum genutzt
BHKW1	Gas	283040	278712	m ³	1,53	–
	Wärme	1513140	1503301	kWh	0,65	–
	Strom	878685	847413	kWh	3,56	Stromzähler nicht direkt am BHKW
BHKW2	Gas	283634	280534	m ³	1,09	–
	Wärme	1500832	1489719	kWh	0,74	–
	Strom	878159	826509	kWh	5,88	Stromzähler nicht direkt am BHKW
BioMK	Hackschnitzel	–	–	–	–	Nicht möglich
	Wärme	12655356	1262260	kWh	–	Nicht möglich
	Strom	15726	–	kWh	–	Nicht möglich
AbKM	Kälte	815358	816329	kWh	0,12	–
	Heizwasser	1364214	1293721	kWh	5,17	–
	Kühlwasser	1717726	2115288	kWh	23,14	–
	Strom	20324	19046	kWh	6,29	–
KKM	Kälte	100540	99909	kWh	0,63	Parametriert nach Datenblatt
	Kühlwasser	146840	124458	kWh	15,24	Parametriert nach Datenblatt
	Strom	11865	27339	kWh	130,41	Messwert unplausibel
FK	Kälte	208840	209149	kWh	0,15	Nicht möglich
	Strom	26992	27851	kWh	3,18	Nicht möglich
HK	Strom	–	–	kWh	–	Nicht möglich
	Kälte	–	–	kWh	–	Nicht möglich
	Wasser	–	–	m ³	–	Nicht möglich
WP	Wärme	–	–	kWh	–	Nicht möglich, da nicht in Betrieb
	Kälte	–	–	kWh	–	Nicht möglich, da nicht in Betrieb
	Strom	–	–	kWh	–	Nicht möglich, da nicht in Betrieb

5.4.2 Szenario II: Variation der Rangreihenfolgen: Priorisierung AbKM

In diesem Szenario wird stets die AbKM bevorzugt zur Kältebereitstellung eingesetzt. In Zeiträumen, in welchen die AbKM als alleiniger Erzeuger nicht ausreicht, wird die KKM unterstützend zugeschaltet. Dieses Szenario entspricht im Wesentlichen der Realisierung im Krankenhaus, mit der Voraussetzung, dass die FK durchgehend gesperrt ist. Somit können bereits vor der abschließenden Modellentwicklung des Trockenkühlers im Rahmen der Projektverlängerung und dessen Implementierung die Vorzüge der FK aufgezeigt werden. Die detaillierten Simulationsergebnisse sind in Tabelle 93 des Anhangs zu entnehmen.

Der gestapelte Verlauf der Kälteerzeugung ist in Abbildung 196 für die Szenarien II a bis c dargestellt. Da diese sich kälteseitig nicht unterscheiden, ist im Gegensatz zur Wärmeversorgung ein Diagramm ausreichend. Verglichen mit dem Referenzfall lässt sich ein ähnlicher Verlauf mit zwei Unterschieden feststellen. Die hier nicht durch die FK bereitgestellte Kälteleistung wird nahezu vollständig durch die AbKM kompensiert. Zudem kann laut dem Simulationsmodell eine höhere – mit Herstellerangaben korrelierende – Kälteleistung bereitgestellt werden. Verglichen zum Referenzfall erhöht sich daher der Anteil der AbKM von 69,9 % mit nun ca. 1083 MWh auf ca. 96,3 % des Gesamtkältebedarfs. Lediglich ca. 3,7 % (entspricht ca. 41 MWh) entfallen hingegen auf die KKM.

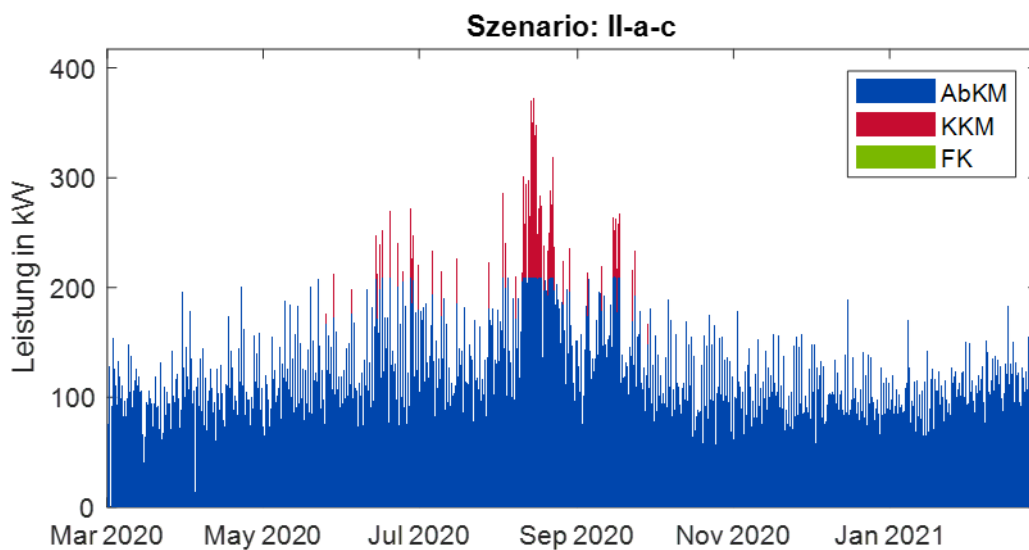


Abbildung 196: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung (Szenarien: II-a-c)

Der ermittelte Wärmebedarf der AbKM dient mit den Verbrauchsdaten der restlichen Wärmeverbraucher als Eingangsdaten für die Wärmeverbundsteuerung (siehe Tabelle 89). Durch diese wird der Anlageneinsatz für die folgenden drei Szenarien bestimmt.

In Szenario II-a wird zunächst bevorzugt BHKW1 eingesetzt, wodurch dieses nahezu ganzjährig unter Volllast betrieben werden kann (vgl. Abbildung 197). Die bereitgestellten ca. 1791 MWh entsprechen ca. 8650 Volllaststunden und betragen somit ca. 32,4 % des jährlichen Wärmebedarfs der Klinik. Stillstandszeiten aufgrund von geplanter Wartung und Inspektion werden in dem Model nicht berücksichtigt. Durch BHKW2 können 1680 MWh des Bedarfs versorgt

werden, welche 30,4 % des Gesamtbedarfs entsprechen. Mit der Priorität 3 wird bei einer höheren Leistungsanforderung folglich GasK_560kW eingesetzt, welcher vorwiegend in den Wintermonaten benötigt wird. Der Anteil am Gesamtenergiebedarf beträgt ca. 34,6 % (entspricht 1911 MWh). Eine weitere Steigerung des Bedarfs führt zu einer Anforderung von GasK_1600kW, was hauptsächlich in Q1* 2021 auftritt. Da ein derart hoher Leistungsbedarf selten benötigt wird, beträgt der Anteil an dem Gesamtbedarf mit ca. 142 MWh lediglich ca. 2,6 %.

In Szenario II-b wird GasK_560kW eine höhere Priorität als BHKW2 zugewiesen, siehe Abbildung 198. Während sich der Anteil von BHKW1 nur geringfügig auf 32,8 % (1811 MWh) verändert, sinkt der Anteil des BHKW2 rapide auf 6,5 % (356 MWh), welches in der wärmeren Jahreshälfte von ca. April-Oktober dauerhaft außer Betrieb ist. Kompensiert wird dies durch GasK_560kW, dessen Anteil auf nunmehr 58,2 % ansteigt (entspricht 3217 MWh). Der Einsatz von GasK_1600kW ist gegenüber dem Fall II-a unverändert bei 2,6 % (142 MWh).

In Szenario III-c besitzt GasK_560 kW die höchste Priorität, gefolgt von BHKW1 und BHKW2. In dem Zeitraum zwischen April-Oktober können BHKW1 und BHKW2 kaum betrieben werden, vgl. Abbildung 199. In der Jahresbilanz sinkt der Wert auf eine anteilige Erzeugung von ca. 12,8 % (ca. 704 MWh) für BHKW1 und ca. 6,5 % (ca. 356 MWh) für BHKW2. Zur Kompensation beträgt der Anteil von GasK_560kW ca. 78,1 % (ca. 4280 MWh). GasK_1600kW trägt nach wie vor einen geringen Anteil von 2,6 % (ca. 142 MWh).

* Q1 = 1. Quartal im Jahr (Jan., Feb. März)

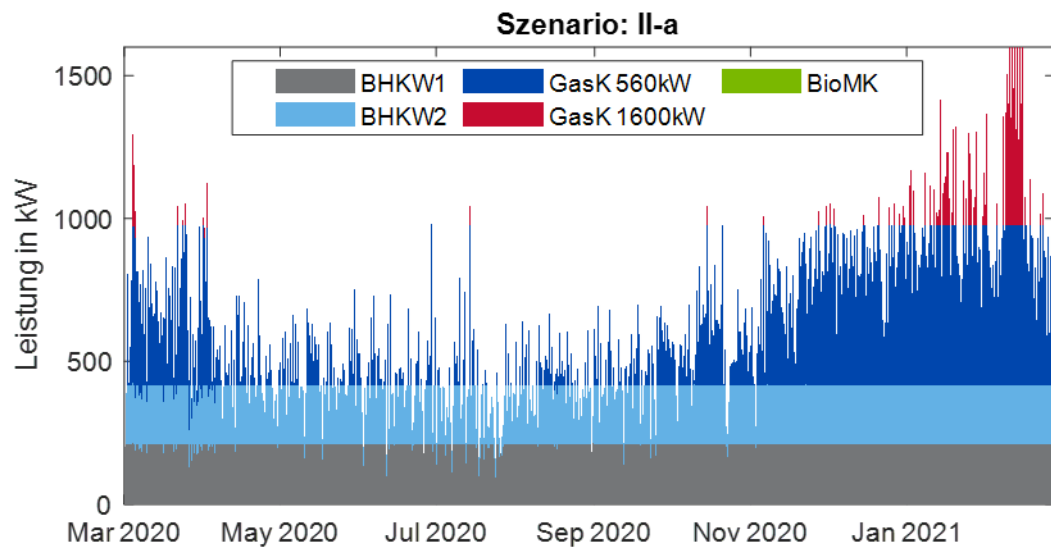


Abbildung 197: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: II-a)

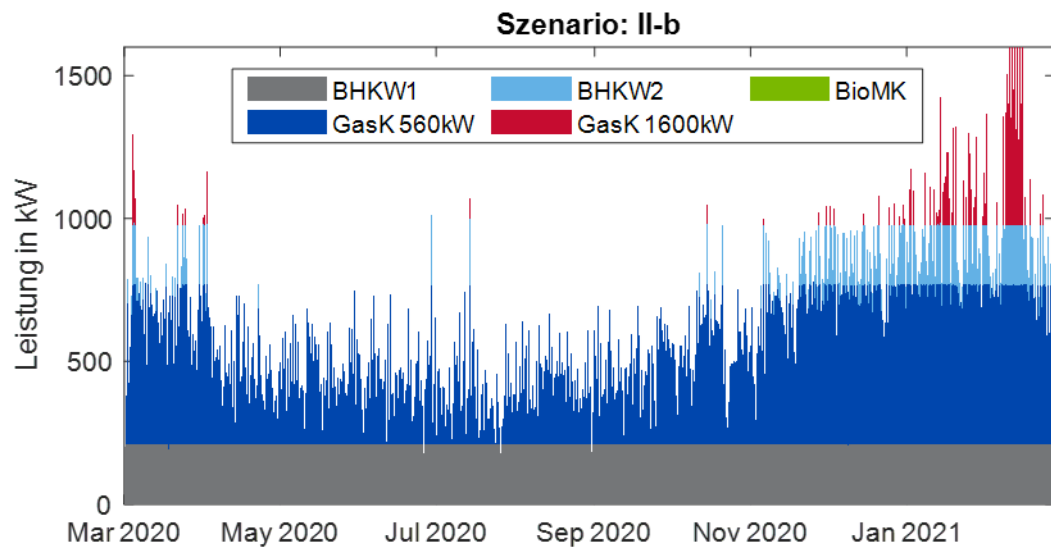


Abbildung 198: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: II-b)

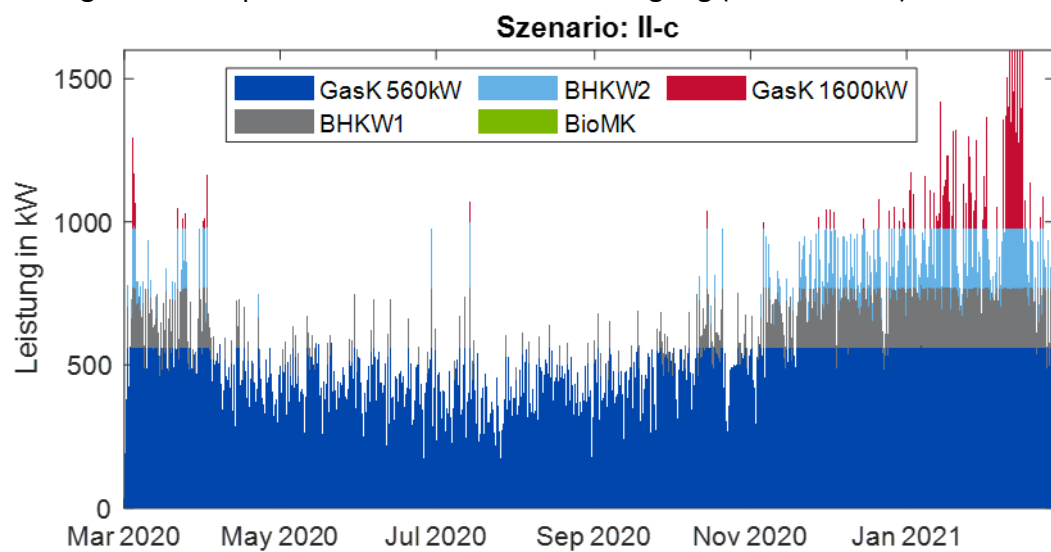


Abbildung 199: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: II-c)

5.4.3 Szenario III: Variation der Rangreihenfolgen: Priorisierung KKM

In Szenario III wird konträr zum Vorherigen die KKM priorisiert zur Kältebereitstellung eingesetzt. Lediglich in Spitzenlastphasen wird die AbKM unterstützend angefordert. Die Freie Kühlung ist über den gesamten Betrachtungszeitraum deaktiviert. Die detaillierten Simulationsergebnisse sind in Tabelle 93 des Anhangs zu entnehmen.

Der gestapelte Verlauf der Kälteerzeugung ist in Abbildung 200 für die Fälle a bis c illustriert. Durch die höhere Nennleistung von ca. 269 kW kann die KKM als alleiniger Erzeuger bereits ca. 99 % (ca. 1114 MWh) des Gesamtbedarfs decken. Lediglich ca. 1 % (12 MWh) entfällt auf die AbKM.

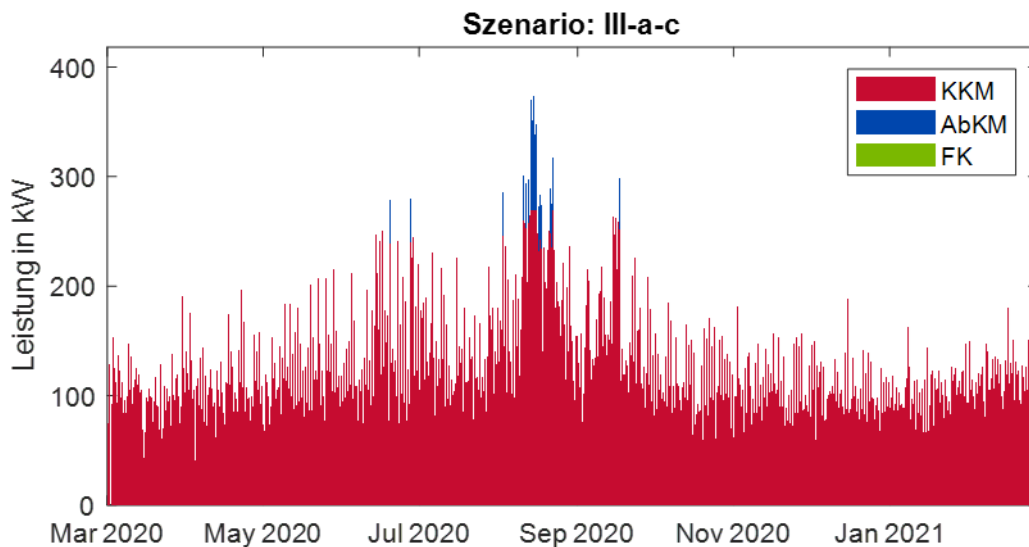


Abbildung 200: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung (Szenarien: III-a-c)

Folglich reduziert sich der Gesamtwärmebedarf, wodurch ein ausgeprägter saisonaler Verlauf entsteht, welcher in Abbildung 201 dargestellt wird. Insbesondere in den Sommermonaten herrscht eine deutlich niedrigere benötigte Wärmeleistung vor. Daher kann selbst BHKW1 in Szenario III-a mit der höchsten Priorität deutlich seltener und häufig nur bei gedrosselter Last betrieben werden. Trotz einer Verringerung der Wärmemenge auf ca. 1534 MWh führt der niedrigere Gesamtwärmebedarf dazu, dass BHKW1 ca. 40,7 % deckt. Der nächsthöhere Anteil von ca. 30,3 % (1143 MWh) wird durch BHKW2 mit der nächsthöheren Priorität bereitgestellt. Während in der wärmeren Jahreshälfte die beiden BHKWs nahezu den kompletten Wärmebedarf versorgen können, muss in der kälteren Periode Gask_560kW trotz Wegfall der AbKM vermehrt zugeschaltet werden. Dieser erzeugt 1038 MWh, was einem Anteil von ca. 27,5 % entspricht. Auf Gask_1600kW entfallen 56 MWh, welche ca. 1,5 % entsprechen.

In Szenario III-b wird dem Gask_560kW eine höhere Priorität als BHKW2 zugeordnet, siehe Abbildung 202. Da durch den selteneren Einsatz von BHKW2 das BHKW1 zu selteneren Zeitpunkten mit gedrosselter Leistung betrieben werden muss, um die Mindestleistung einzuhalten, kann der Anteil auf 42,6 % (1596 MWh) gesteigert werden. Der Anteil des BHKW2 sinkt

hingegen auf 3,4 % (128 MWh), da dieses praktisch nur in Spitzenlastsituationen im Dezember eingesetzt werden kann. Der Anteil von GasK_560kW hingegen steigt auf ca. 52,5 % (1969 MWh), während der Anteil von GasK_1600kW unverändert bei 1,5 % (56 MWh) bleibt.

In Abbildung 203 ist der gestapelte Verlauf der Leistung für Szenario III-c dargestellt, in welchem GasK_560kW die höchste Priorität besitzt. Dadurch kann dieser mit 3237 MWh ca. 85,1 % des jährlichen Wärmebedarfs decken. Beide BHKWs werden vorwiegend nur im Winter eingesetzt, wodurch deren Anteil auf ca. 10,1 % (382 MWh) bzw. 3,4 % (129 MWh) sinkt. Der Anteil von GasK_1600kW bleibt unverändert bei 1,5 % (56 MWh).

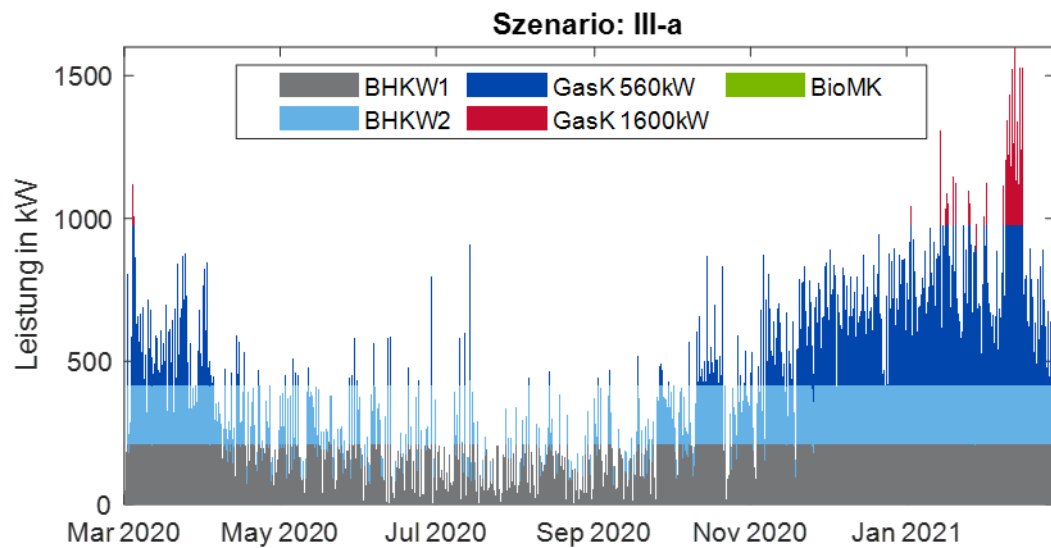


Abbildung 201: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: III-a)

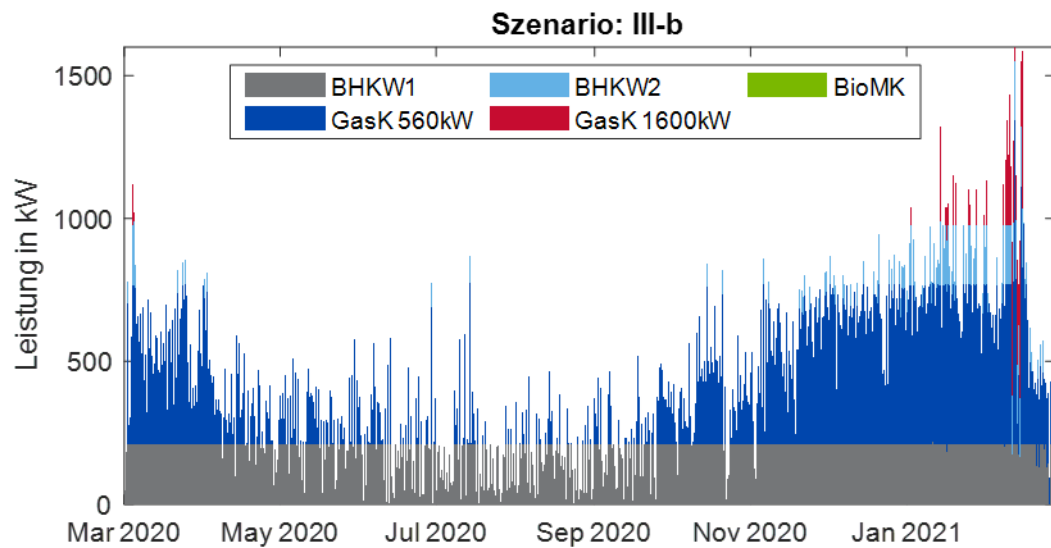


Abbildung 202: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: III-b)

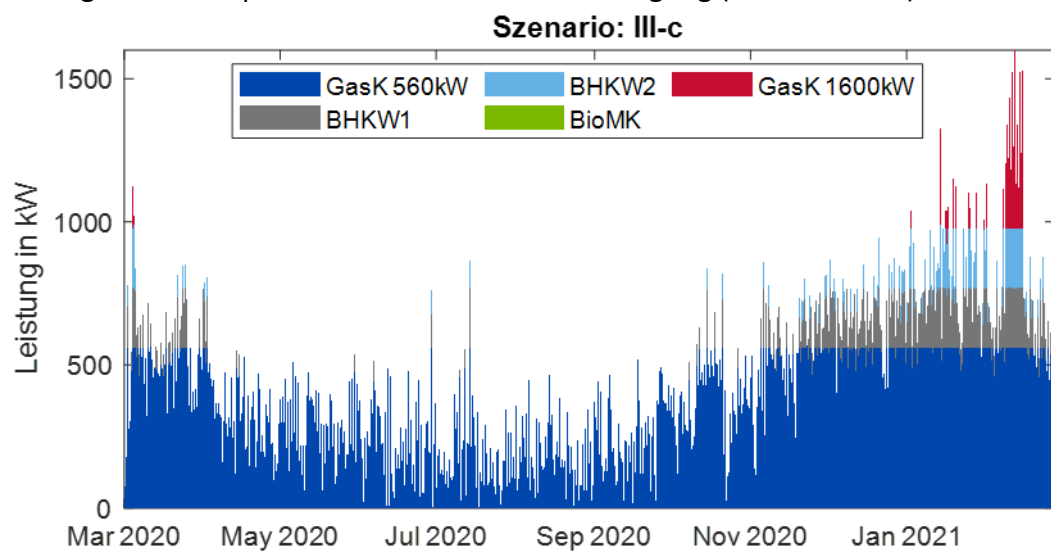


Abbildung 203: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: III-c)

5.4.4 Zusammenfassung und Bewertung der Simulationsergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der untersuchten Szenarien kurz zusammengefasst und hinsichtlich unterschiedlicher Parameter bewertet. Des Weiteren findet eine kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen und der Methodik statt. Die detaillierten Zahlenwerte der Bewertungsparameter sind Tabelle 94 bis Tabelle 95 des Anhangs zu entnehmen.

Zunächst ist in Abbildung 204 die bereitgestellte Nutzkälte für die untersuchten Szenarien aufgeschlüsselt nach den jeweiligen Erzeugern dargestellt. In Szenario I, welches den realen Anlageneinsatz repräsentiert, stellt die AbKM den Großteil der benötigten Kälte bereit. Der nächsthöhere Anteil wird durch die FK bereitgestellt, wobei der Anteil der KKM am geringsten ausfällt. In den Szenarien II und III wird die Möglichkeit zur Nutzung der FK aus den in Abschnitt 5.3.3 genannten Gründen außer Acht gelassen. Durch die bevorzugte Nutzung der AbKM kann diese in Szenario II nahezu den jährlichen Kältebedarf vollständig versorgen, wohingegen die KKM einen sehr geringen Anteil trägt. Konträr dazu kann die KKM in Szenario III, in welchem diese die höchste Priorität besitzt, annähernd den gesamten Jahreskältebedarf decken, während die AbKM lediglich einen sehr geringen Anteil trägt.

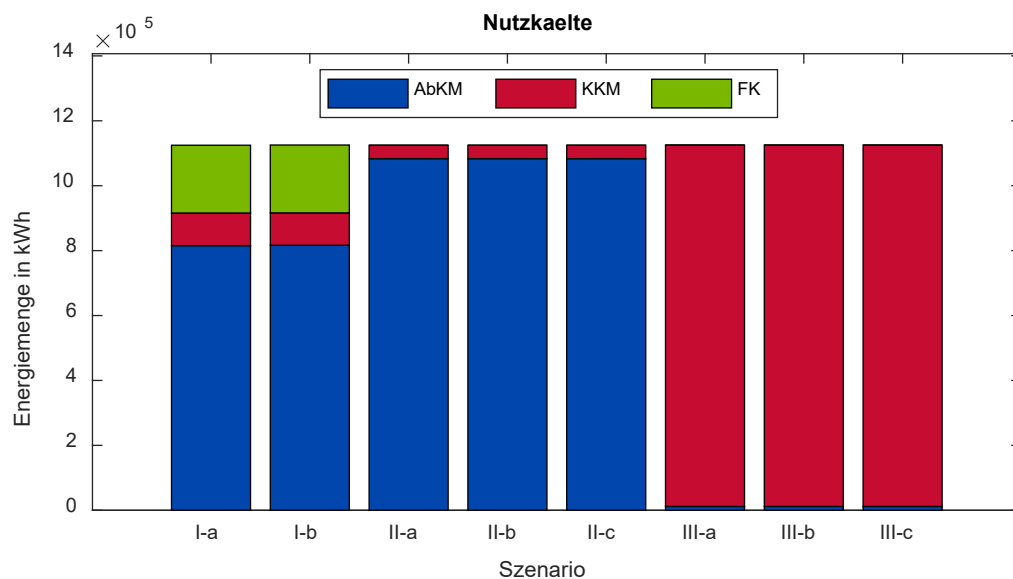


Abbildung 204: Zusammenfassung der Energiemenge Nutzkälte der Kälteerzeuger für sämtliche Szenarien

Die erforderliche elektrische und thermische Antriebsenergie für die Kältebereitstellung der unterschiedlichen Szenarien ist in Abbildung 205 dargestellt. Der auffallend niedrige Wert für die elektrische Aufnahme der KKM in den realen Messdaten ist als unplausibel einzustufen (siehe Abschnitt 5.3.3). In diesem Fall werden insgesamt ca. 59 MWh elektrische Energie zur Kältebereitstellung benötigt (FK: 45,6 %, KKM: 20,1 % und AbKM: 34,3 %). Zudem entfallen ca. 1364 MWh auf die Bereitstellung von Wärme für die AbKM. In der dazugehörigen Referenzsimulation werden insgesamt ca. 74 MWh elektrische Energie benötigt (FK: 37,5 %, KKM: 36,8 % und AbKM: 25,7 %) während die AbKM ca. 1294 MWh bedarf. In Szenario II benötigt die priorisierte AbKM ca. 1717 MWh Wärme sowie insgesamt ca. 33 MWh Strom (KKM: 34,9 %, FK: 65,1 %).

AbKM: 65,1 %). Dahingegen werden in Szenario III ca. 304 MWh (KKM: 99,9 %, AbKM: 0,1 %) elektrischer Energie und ca. 18,5 MWh Wärme benötigt.

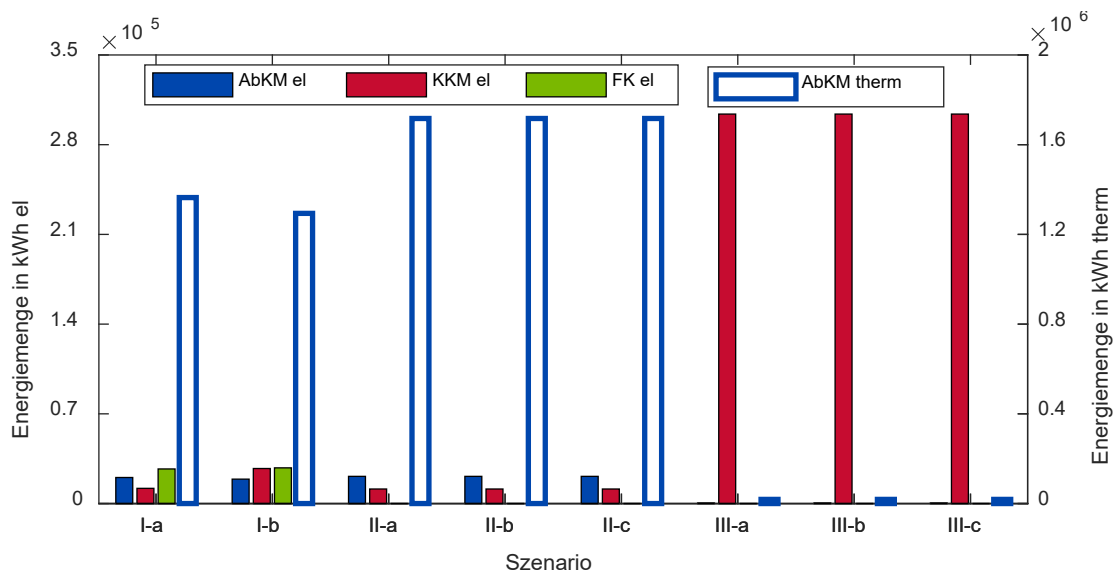


Abbildung 205: Zusammenfassung der Energiemenge Strom und Wärme der Kälteerzeuger für sämtliche Szenarien

Analog zur Kälteseite ist in Abbildung 206 die Zusammensetzung der erzeugten Wärmemenge dargestellt. In Szenario I, dem in der Realität umgesetzten Anlageneinsatzplan, tragen die beiden BHKWs den größten Anteil der erzeugten Wärme, gefolgt von dem BioMK. Ein kleinerer Anteil entfällt auf Gask_560kW, während der Beitrag von Gask_1600kW nahezu zu vernachlässigen ist. In Szenario II fällt allgemein der Wärmebedarf höher aus, da durch die ausbleibende FK die AbKM häufiger in Betrieb ist. Der Einsatz beider BHKWs kann in Fall II-a gegenüber dem Referenzfall gesteigert werden. Verbunden ist dies mit einer deutlichen Steigerung der von Gask_560kW angeforderten Energiemenge sowie einem kleinen Beitrag von Gask_1600kW. Die Priorisierung des kleineren Gaskessels führt zu einer drastischen Reduktion der Energiemenge von BHKW2 in Szenario II-b. Die Differenz wird durch Gask_560kW kompensiert. In Fall II-c ist eine weitere deutliche Steigerung des Anteiles des kleineren Gaskessels festzustellen, welcher hier die höchste Priorität besitzt. Unterdessen reduziert sich die Energiemenge beider BHKWs erheblich. In Szenario III wird durch die Priorisierung der elektrisch betriebenen KKM eine deutliche Verringerung des Gesamtwärmebedarfs erzielt. Die anteilige Menge der beiden BHKWs an der Gesamterzeugung fällt in Szenario III-a am höchsten aus, während die restliche Energiemenge hauptsächlich durch den kleineren Gaskessel zur Verfügung gestellt wird. In Fall III-b findet BHKW2 kaum Anwendung, währenddessen der größte Anteil auf Gask_560kW entfällt. Dieser Anteil steigt in Fall III-c beträchtlich, während auch BHKW1 kaum eingesetzt wird.

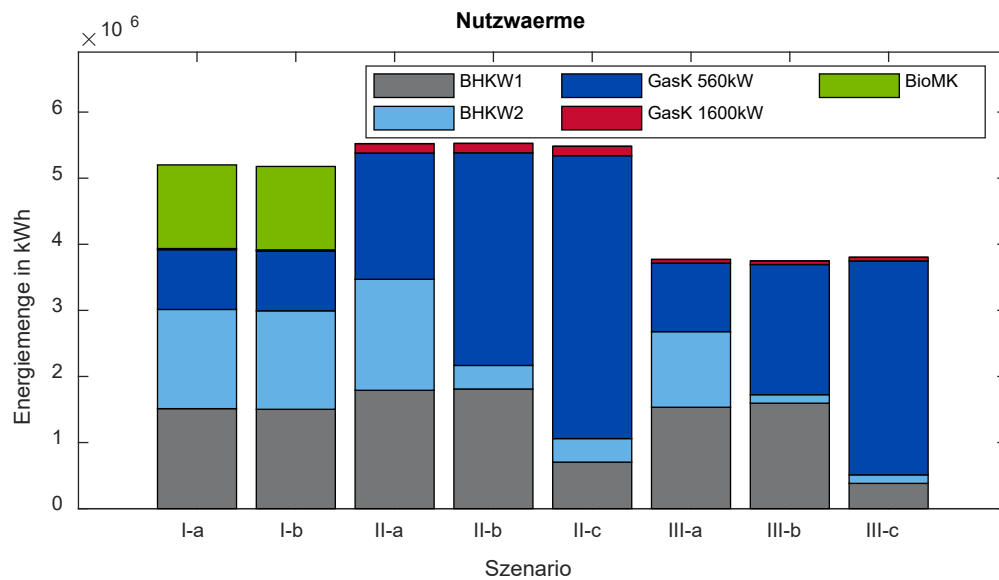


Abbildung 206: Zusammenfassung der Energiemenge Nutzwärme der Wärmeerzeuger für sämtliche Szenarien

Die elektrische Energiemenge der Wärmeseite für die unterschiedlichen Szenarien ist in Abbildung 207 illustriert, wobei die Energiemengen der beiden BHKWs als Erzeugung zu verstehen sind. Der Wert der Referenzsimulation I-b fällt, verglichen mit dem Referenzfall I-a, geringer aus. Eine mögliche Ursache kann der Messwert, welcher noch nicht an der richtigen Stelle aufgenommen wird, sein (vgl. Abschnitt 5.3.3). Während in Fall II-a ein höherer Wert feststellbar ist, zeigt sich in den Szenarien II-b und II-c deutlich der Einfluss der höheren Priorität des kleinen Gaskessels. Ein ähnliches Verhalten lässt sich in den Fällen III-a bis III-c festhalten, wobei diese drei Werte aufgrund des insgesamt niedrigeren Wärmebedarfs geringer ausfallen.

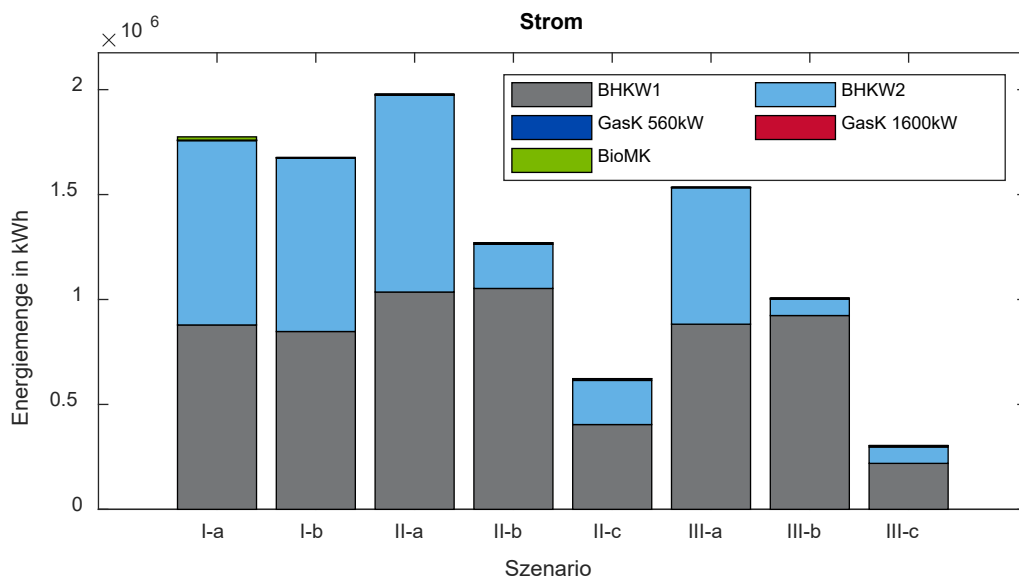


Abbildung 207: Zusammenfassung der Energiemenge Strom der Wärmeerzeuger für sämtliche Szenarien

Als weiterer Verbrauchswert ist in Abbildung 208 der Gasverbrauch für die unterschiedlichen Szenarien dargestellt. Die Werte der Referenz I-a und der dazugehörigen Referenzsimulation I-b fallen sehr ähnlich aus. In Szenario II-a ist insbesondere durch den Wegfall der Biomasse zunächst ein höherer Gasverbrauch zu verzeichnen. In den Fällen II-a und II-b ist durch den vermehrten Einsatz von GasK_560kW ein sinkender Gasverbrauch feststellbar, verbunden mit einer geringeren elektrischen Energiemenge. In Szenario III ist generell, durch den geringeren Wärmebedarf verursacht, ein verminderter Gasverbrauch zu verzeichnen. Der Unterschied zwischen Szenario III-a und III-b fällt hingegen geringer aus. Letztlich ist in Fall III-c, in welchem vorwiegend die KKM als Kälte- und GasK_560kW als Wärmeerzeuger eingesetzt wird, der geringste Gasverbrauch zu verbuchen.

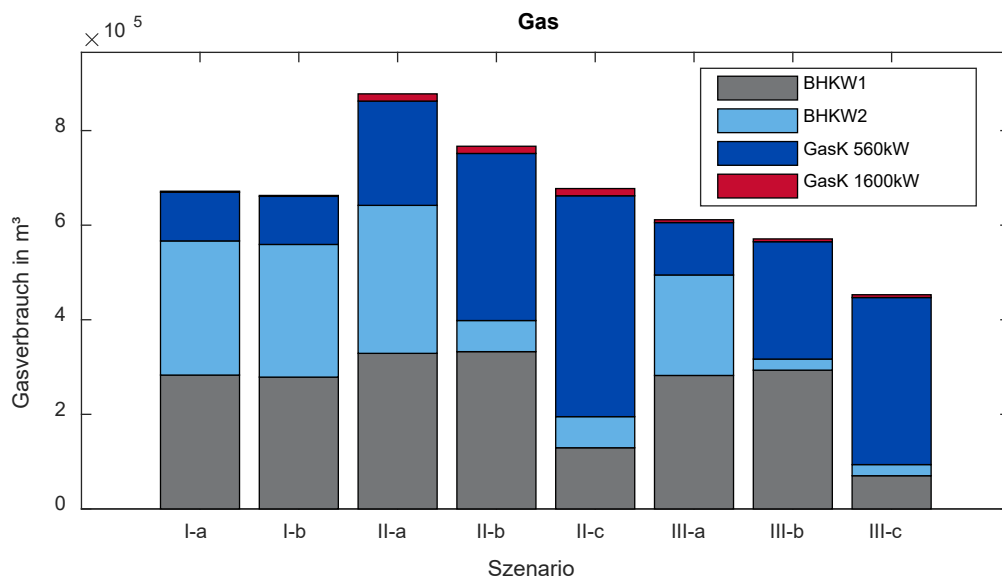


Abbildung 208: Zusammenfassung des Gasverbrauchs der Wärmeerzeuger für sämtliche Szenarien

Zur Bewertung der unterschiedlichen Anlagenstrategien sollen im Folgenden die laufenden Kosten sowie der CO₂-Ausstoß herangezogen werden.

Zunächst ist in Abbildung 209 ein Vergleich der laufenden Kosten, welche nach der Methodik aus Kapitel 5.2.1 bestimmt werden, dargestellt. Es ist klar ersichtlich, dass die Wahl der Betriebsstrategie einen erheblichen Einfluss auf die resultierenden Kosten hat. Ein Vergleich zwischen dem Referenzzustand I-a und der dazugehörigen Referenzsimulation zeigt insbesondere in der betrachteten Winterwoche eine gute Übereinstimmung. In der Sommerwoche hingegen entsteht in der Referenzsimulation ein deutlich höherer Wert. Als Hauptursache hierfür kann neben der Abweichung der elektrischen Energiemenge der BHKWs der Unterschied der elektrischen Energiemenge der KKM identifiziert werden. In dem Simulationsmodell fällt dieser Wert mehr als doppelt so hoch wie in den Monitoring-Daten aus. Hierdurch entsteht u. a. ebenso bei der Jahresbetrachtung ein höherer Wert. Da dieser Wert jedoch als realistischer einzustufen ist, sollte zum Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Betriebsstrategien die Referenzsimulation II-b herangezogen werden.

Variante II-a, in welcher der BioMK nicht als Wärmeerzeuger berücksichtigt wird, ist aus ökonomischen Bewertungsgründen der Referenz zu bevorzugen, obwohl die Möglichkeit der besonders kostengünstigen Freien Kühlung nicht berücksichtigt wird. Dieser finanzielle Vorteil zeigt sich insbesondere bei Betrachtung der Winterwoche, in welcher ein nicht zu vernachlässigender Anteil der Kälte durch die FK bereitgestellt wird und Szenario II-a deutlich schlechter abschneidet. Der ökonomische Vorteil durch den vermehrten Einsatz der BHKWs überwiegt jedoch bei Jahresbetrachtung.

Der ökonomische Vorteil des vermehrten BHKW-Einsatzes ist zudem in beiden Szenarien ersichtlich. Jeweils in Variante a wird den BHKWs die höchste Priorität zugewiesen, wohingegen in Variante b der kleine Gaskessel als zweiter Erzeuger folgt. In der aus ökonomischer Sicht schlechtesten Variante c wird Gask_560kW die Priorität 1 zugewiesen, wodurch die Kosten erheblich erhöht werden.

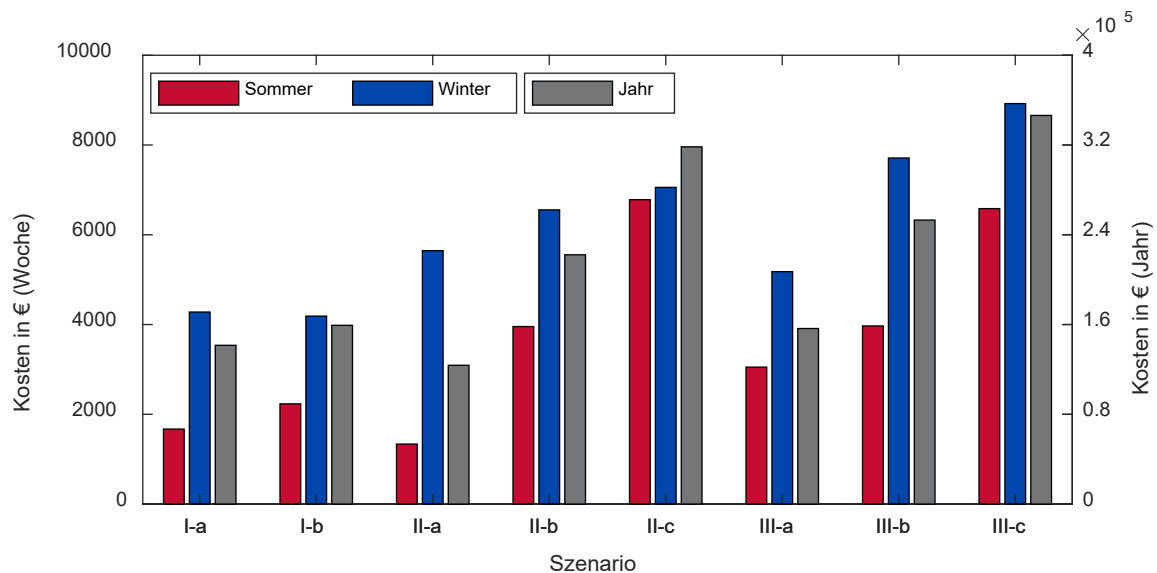


Abbildung 209: Betriebskosten des Anlagenverbunds für sämtliche untersuchte Fälle bei jährlicher Betrachtung sowie der exemplarischen Sommer- und Winterwoche

Der ökonomische Vorteil geht allerdings nicht zwangsläufig mit einer ökologischen Verbesserung einher (siehe Abbildung 210). Vielmehr ist ersichtlich, dass durch den vermehrten BHKW-Einsatz die CO₂-Emissionen steigen. Ein Vergleich zwischen Referenz I-a und Referenzsimulation I-b zeigt gute Übereinstimmung.

Bei jährlicher Betrachtung stellt sich der Referenzfall I als Optimum heraus. Dies ist insbesondere auf den Einsatz des BioMKs zurückzuführen, welcher aus ökologischer Sicht stets zu bevorzugen ist. Besonders deutlich ist dies bei Betrachtung der Winterwoche ersichtlich, in welcher zudem die Nutzung der FK zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes beiträgt. Hingegen im Sommer kann durch den Einsatz der elektrisch betriebenen KKM in Szenario III generell ein besserer Wert erzielt werden. Grund hierfür ist der geringere Gesamtwärmebedarf. Zudem ist in beiden Szenarien ersichtlich, dass eine Bevorzugung des kleinen Gaskessels gegenüber den

BHKWs aus ökologischer Sicht vorteilhaft ist, wohingegen dies bei ökonomischer Betrachtung stets einen Nachteil darstellt, siehe oben.

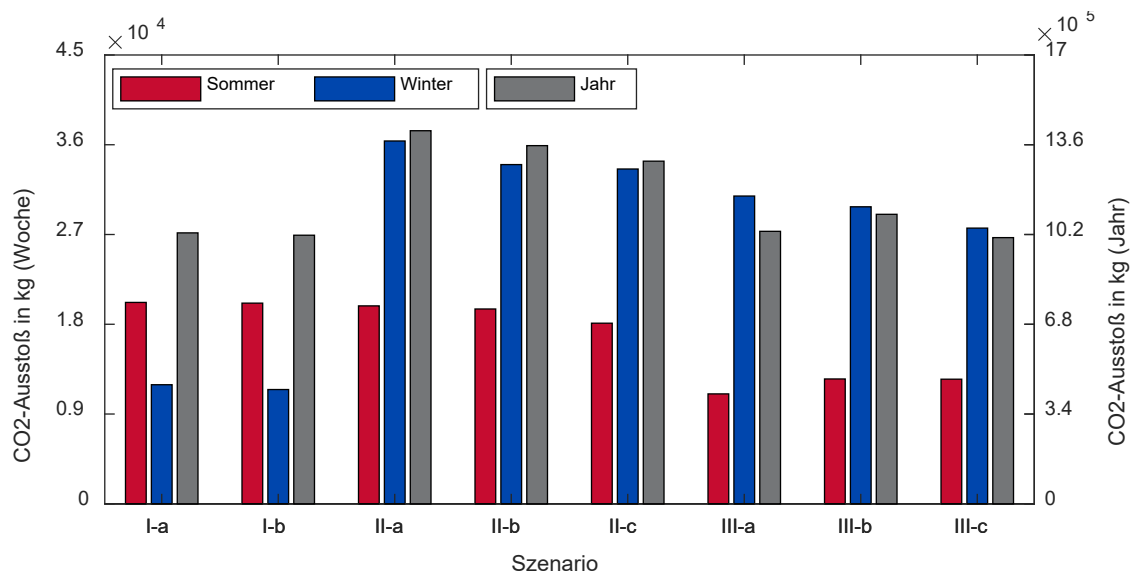


Abbildung 210: CO₂-Ausstoß des Anlagenverbunds für sämtliche untersuchte Fälle bei jährlicher Betrachtung sowie der exemplarischen Sommer- und Winterwoche

Die Ergebnisse der untersuchten Szenarien sind aus den nachfolgend genannten Gründen als bedingt übertragbar einzustufen:

- In Szenario II und III kann der Biomassekessel, welcher aus ökologischer Sicht als besonders vorteilhaft einzustufen ist, nicht eingesetzt werden (siehe Abschnitt 5.3.3). Hierdurch wird die Konkurrenzfähigkeit hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes gegenüber dem Referenzfall vornehmlich in den Wintermonaten deutlich eingeschränkt.
- In Szenario II und III kann die Freie Kühlung, welche hinsichtlich sämtlicher Bewertungsparameter als vorteilhafte Möglichkeit zur Kältebereitstellung einzustufen ist, nicht genutzt werden (siehe Abschnitt 5.3.3). Hierdurch wird die Konkurrenzfähigkeit hinsichtlich sämtlicher Bewertungsparameter gegenüber dem Referenzfall vorwiegend in den Wintermonaten deutlich eingeschränkt.
- In sämtlichen betrachteten Fällen werden der Trocken- und Hybridkühler als Rückkühlwerke der Kältemaschinen nicht berücksichtigt (siehe Abschnitt 5.3.3).
- Der Verbrauch des BioMK kann nicht zuverlässig bestimmt werden. Da der Hackschnitzelverbrauch nach der erzeugten Wärmemenge abgerechnet wird, können die Verbrauchskosten zuverlässig bestimmt werden. Die Anlageneffizienz und der CO₂-Ausstoß hingegen beruhen auf groben Annahmen und sind daher mit einer hohen Unsicherheit behaftet.

Die Untersuchung der realisierten Anlageneinsatzplanung sowie der Simulationsergebnisse zeigen, dass es keine generelle Betriebsstrategie gibt, welche zu einem universellen Optimum hinsichtlich diverser Bewertungskriterien führt. So sind teils Bewertungsparameter gegenläufig, weshalb beispielsweise die kostengünstigste Betriebsweise nicht zwangsläufig aus ökologischen Gesichtspunkten die beste Wahl darstellt. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass es selbst

hinsichtlich eines einzelnen Bewertungsparameters keine von der Jahreszeit und dem vorherrschenden Lastbedarf unabhängige optimale Betriebsweise gibt. Daher sollte vielmehr eine an den jeweiligen Lastfall und an die Jahreszeit angepasste Betriebsstrategie ermittelt werden, welche über das Jahr variabel umgesetzt wird. In ähnlicher Form wird dies im real umgesetzten Regelungskonzept bereits berücksichtigt, in welchem bei der statischen Last zwischen Sommer-, Übergangs- und Winterbetrieb unterschieden wird. Durch die Modellrechnungen könnten somit Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, welche eine Erweiterung des bestehenden Konzepts darstellen. Die Auswirkungen einer derartigen variablen Umsetzung auf die Optimierung des Gesamtsystems sollen u. a. im Rahmen der Projektverlängerung detailliert untersucht werden.

Bei der bisherigen Betrachtung wurden ausschließlich Daten aus einem Zeitbereich herangezogen, der für den Krankenhausbetrieb durch die Coronapandemie einen Ausnahmefall darstellt. Zudem wurden für die Bewertung ökonomische und politische Rahmenbedingungen aus dem Jahr 2020/2021 verwendet. In der weiteren Betrachtung sollten daher auch die Auswirkungen veränderlicher Rahmenbedingungen wie beispielsweise die Einführung der CO₂-Steuer für eine Langzeitbetrachtung herangezogen werden.

Quellenverzeichnis zu Kapitel 5

- ¹ Hesselbach, Jens: Energie- und klimaeffiziente Produktion: Grundlagen, Leitlinien und Praxisbeispiele. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2012. -ISBN 978-3-834-89956-9. S. 1-348.
- ² Seifert, J., Knorr, M., u. Oschatz, B.: Repetitorium Heizungstechnik: VDE-Verl., Berlin, Offenbach. 2015
- ³ Schwender Energie- und Gebäudetechnik GmbH & Co. KG: Montageplan, Schema Wärmeerzeugung und Verteilung
- ⁴ S. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Boca Raton, FL: CRC Press, 1980.
- ⁵ CARNOT Toolbox Ver. 7.1, 10/2020 for Matlab/Simulink 2018b, © Solar-Institut Jülich
- ⁶ D. Mouhcin, „Aufbereitung von zwei vorhandenen BHKW-Modellen zur Bereitstellung in der Carnot-User-Community“, Fachhochschule Düsseldorf, Düsseldorf.
- ⁷ Deutsches Institut für Normung eV, DIN 8900 „Wärmepumpen; Anschlußfertige Heiz-Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern“ Beuth Verlag Berlin Wien Zürich, 1987.
- ⁸ Schwamberger K.: Modellbildung und Regelung von Gebäudeheizungsanlagen mit Wärmepumpen, Fortschrittsberichte VDI Reihe 6, Nr. 263, VDI Verlag Düsseldorf, 1991.
- ⁹ Bollin, Elmar: Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden: Komponenten, Systeme, Anlagenbeispiele. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2009. -ISBN 978-3-834-89978-1. S. 1-248.
- ¹⁰ Ziegler F.: 1997. Sorptionswärmepumpen, Forschungsberichte des DKV Nr. 57, Habilitationsschrift, Erding, Germany.
- ¹¹ A. Kühn et al., Thermally driven heat pumps for heating and cooling. <https://doi.org/10.14279/depositonce-3726>.
- ¹² MathWorks Inc.: Matlab R2018b. USA: MathWorks Inc., MA, USA 2018.
- ¹³ U. Stein: Programmieren mit MATLAB: Programmiersprache, Grafische Benutzeroberflächen, Anwendungen. M: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2017. -ISBN 978-3-446-45423-1. S. 1-355.
- ¹⁴ M. Gebhardt et al., Ableitung von Kostenfunktionen für Komponenten der rationellen Energienutzung. Duisburg: Institut für Energie- und Umwelttechnik, 2002. S. VI.14-VI.16.
- ¹⁵ Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz - KWKG) vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498), das zuletzt durch Artikel 17 des Gesetzes vom 21. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3138) geändert worden ist.
- ¹⁶ Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3138) geändert worden ist.
- ¹⁷ R. Schießl, U. Maas, Die Verbrennung, Physik in unserer Zeit 44 (2013) 12–18. <https://doi.org/10.1002/piuz.201201312>.
- ¹⁸ R. van Basshuysen, F. Schäfer, Handbuch Verbrennungsmotor (2015). <https://doi.org/10.1007/978-3-658-04678-1>
- ¹⁹ Umweltbundesamt: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2019. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. 2020.

6 Zusammenfassung

Der Ersatzneubau für das Helmut-G.-Walter-Klinikums in Lichtenfels (Green Hospital Lichtenfels, GHL) soll als Leuchtturmprojekt ein Best-Practice Beispiel für entsprechende nachhaltige „grüne“ Krankenhäuser sein und erhielt aus diesem Grund Fördergelder des Freistaats Bayern, wovon ein Teil für die wissenschaftliche Begleitung des Projektes vorgesehen war. Diese erfolgte seit 2015 durch die Hochschule Hof, die Hochschule Coburg und die Universität Bayreuth im Rahmen der Technologie Allianz Oberfranken (TAO) und hat die Gewinnung neuer Erkenntnisse zum Konzept „Green Hospital“ zur Aufgabe. Die Schwerpunkte liegen dabei im Gebäude(energie)monitoring, welches von den Hochschulen Hof und Coburg durchgeführt wird, sowie im Anlagenmonitoring durch die Universität Bayreuth. Durch das Energie- und Anlagenmonitoring soll untersucht werden, ob sich entsprechende geplante Maßnahmen für das grüne Krankenhaus im Betrieb als sinnvoll erweisen und z. B. in zukünftigen Krankenhaus-Neubauten bzw. Sanierungen eingesetzt werden sollten. Bei der Bearbeitung des Projektes GHL wurden zeitlich vier Phasen unterschieden:

- Phase 1 Konzeption des Mess- und Auswertungskonzeptes (in der Planungsphase)
- Phase 2 Umsetzung der Mess- und Auswertungstechnik (in der Ausführungsphase)
- Phase 3 Intensivmonitoring (in der Betriebsphase durch die Hochschulen, geplante Dauer 2 Jahre)
- Phase 4 Langzeitmonitoring (in der Betriebsphase durch das Krankenhaus)

Am Anfang dieses Berichts werden kurz die allgemeinen und technischen Daten des Gebäudes GHL dargestellt. Es folgt der Schwerpunkt Energiemonitoring. Neben der Definition des Monitorings wird auf Zähler/Datenpunkte, Datenerfassung- und Übermittlung, Datenpunktbezeichnungen, das Mess- und Monitoringkonzept mit ca. 1200 Datenpunkten und entsprechende Auswertungsprogramme eingegangen. Weiterhin werden die Plausibilitätsüberprüfungen dargestellt, die im Rahmen der Umsetzung der Mess- und Auswertungstechnik (Phase 2) unter verschiedenen Aspekten mit den Messwerten der 1200 Datenpunkte durchgeführt wurden. Aufgrund der Überprüfung wurden u. a. Zählerfaktoren berichtigt, defekte Zähler getauscht oder noch fehlende Zähler identifiziert, eingebaut und in Betrieb genommen.

Gegenüber dem geplanten Zeitablauf kam es bei der technischen Umsetzung des Messkonzeptes und bei der Inbetriebnahme des Krankenhauses zu erheblichen Verzögerungen, so dass die geplanten Messungen (Intensivmonitoring) mit über einem Jahr Verzögerung starteten. In dieser Arbeit konnten deshalb nur Messergebnisse aus 12 Monaten (März 2020 – Februar 2021) ausgewertet werden, die allerdings wegen Corona bedingten Auswirkungen auf die Betriebsweise des Krankenhauses u.U. nur bedingt repräsentativ für einen „normalen“ Krankenhausbetrieb sind. Um wie geplant auch Messdaten aus 2 Jahren miteinander vergleichen und wissenschaftlich bewerten zu können, wurde deshalb eine Projektverlängerung bis Herbst 2022 beantragt. Entsprechende Ergebnisse werden dann aufbauend auf diesem Bericht in einem weiteren Bericht dargestellt.

Mit den Messwerten des Zeitabschnitts März 2020 – Februar 2021 wurden Vergleiche mit empirischen energetischen Kennwerten nach VDI 3807 und berechneten Werten nach DIN V

18599 (Energiebedarfsausweis) vorgenommen. Weiterhin wurde der Energieverbrauch des neuen Krankenhauses GHL mit dem des alten Krankenhauses verglichen.

Beim Vergleich der Verbrauchswerte des GHL mit den Richt- bzw. Mittelwerten der VDI 3807 und mit den Werten des alten Krankenhauses zeigte sich, dass der Verbrauchskennwert Wärme des GHL um 18,5 % unter dem Richtwert der VDI 3807 liegt und 46 % unter dem Wert des alten Krankenhauses. Beim Kennwert Strom wird allerdings der Richtwert der VDI 3807 um 244 % und der Wert des alten Krankenhauses um 25 % überschritten. Der niedrigere Verbrauch an Heizenergie des GHL ist u. a. auf die im Vergleich zum alten Gebäude bzw. entsprechender Vergleichsgebäude der VDI 3807 besseren Dämmwerte der Gebäudehülle zurückzuführen. Beim höheren Stromverbrauch des GHL ist u. a. die im Verhältnis zum alten Gebäude umfangreichere technische Ausstattung (RLT, MRT, etc.) zu beachten. Entsprechendes kann auch für die Mittel-/Richtwerte der VDI 3807 gelten, da die Werte der verwendeten Vergleichsgebäude schon vor längerer Zeit erhoben wurden. Die Gründe für den hohen Stromverbrauch des GHL sollten aber auf alle Fälle noch genauer analysiert werden. Der Wasserverbrauch des GHL liegt deutlich unter den Vergleichskennwerten. Dies könnte aber u. a. auch auf die veränderte Nutzung bedingt durch die Coronapandemie zurückzuführen sein.

Auch wenn ein direkter Vergleich zwischen gemessenen Verbrauchswerten und nach DIN V 18599 berechneten Werten (Energieausweis) u. a. aufgrund der angenommenen Randbedingungen methodisch nicht sinnvoll und aussagekräftig ist, wurden hier entsprechende Betrachtungen (unter Beachtung der eingeschränkten Interpretationsmöglichkeiten der Ergebnisse) durchgeführt. Es zeigte sich bei der gesamten Nutzenergie ein um 28 % höherer gemessener Verbrauch gegenüber dem berechneten Wert des Energieausweises und bei der Endenergie eine Abweichung von 43 %. Die Bewertung der ökologischen Effizienz erfolgt im Energieausweis mithilfe der Primärenergie und hängt u. a. von den verwendeten (z. T. auch von energiepolitischen Vorgaben beeinflussten und sich ändernden) Primärenergie-Faktoren (PE-Faktoren) der jeweiligen Energieträger ab. So wird z. B. die Verwendung von Erdgas zur Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung ungünstiger bewertet als z. B. die Verwendung eines Biomasse-Kessels in Kombination mit einer PV-Anlage. Der Vergleich des im Energieausweis des GHL angegebenen (berechneten) gesamten Primärenergiebedarfs ergab für die entsprechend gemessene Jahres-Endenergie, die mit unterschiedlichen PE-Faktor-Ansätzen auf Primärenergie umgerechnet wurde, je nach Ansatz um 22 %, 64 % bzw. 88 % höhere Werte als im Energieausweis.

Mit den bis Februar 2021 zur Verfügung stehenden Messwerten wurden dann noch Betrachtungen zu ausgewählten Erzeugern und Verbrauchern (Wärme, Kälte, elektrische Energie, RLT, Musterräume) und zum Gesamtenergieverbrauch durchgeführt.

Für den zweiten Schwerpunkt Anlagenmonitoring bildeten die Daten und gewonnenen Erkenntnisse des Energiemonitorings eine wertvolle Grundlage. Ein Ziel des Anlagenmonitorings ist, den Betrieb der Energieversorgung des GHL hinsichtlich verschiedener Kriterien zu optimieren. Dafür wurde ein modulares Modell für die Simulation der Wärme- und Kälteversorgung entwickelt, mit dem die Auswirkungen von unterschiedlichen Anlagenfahrweisen miteinander verglichen, analysiert und energetisch optimiert werden können.

Im Kapitel Anlagenmonitoring werden zu Beginn die Grundlagen der Modellierung erklärt und neben einer kurzen Beschreibung der Funktionsprinzipien der unterschiedlichen Wärme- und Kälteerzeuger die angewandten numerischen Modelle und die verwendete Software MATLAB, Simulink und die CARNOT-Toolbox vorgestellt. Es folgt eine Darstellung der zur Bewertung der Anlagenfahrweise herangezogenen Kriterien Ökonomie und Ökologie. Dann werden das zur Bestimmung der Auswirkungen unterschiedlicher Betriebsweisen verwendete modulare Simulationsmodell sowie die Einbindung der hierfür essenziellen Monitoringdaten erläutert. Durch eine flexibel gestaltete Wärme- und Kälteverbundsteuerung können unterschiedliche Szenarien numerisch untersucht und mit dem Referenzzustand verglichen werden. So können das Betriebsverhalten der Anlagen analysiert und Optimierungsszenarien untersucht werden.

Die Ergebnisse der Anlagensimulation können aufgrund der oben genannten Projektverzögerungen nur als vorläufiger Zwischenstand betrachtet werden, wobei sich unter Berücksichtigung entsprechender Einschränkungen folgende Tendenzen erkennen lassen:

- Aufgrund fehlender Effizienz sollte aus Sicht sämtlicher Bewertungsparameter die Absorptionskältemaschine nur eingesetzt werden, wenn deren benötigte Heizleistung vollständig durch die beiden BHKWs gedeckt werden kann. In Perioden wie beispielsweise im Herbst 2020 wurde die Wärme über mehrere Tage durch ein BHKW und den kleineren Gaskessel bereitgestellt. Von der Reihenfolge entspricht dies dem Szenario II-b, welches als nicht vorteilhaft einzustufen ist. Beispielsweise führt dies in der betrachteten Sommerwoche nahezu zu einer Verdreifachung der Betriebskosten gegenüber dem Szenario II-a, in welchem beide BHKWs die höchste Priorität zugewiesen wird.
- Aus ökonomischer Sicht kann eine Erhöhung des BHKW-Einsatzes zu einem finanziellen Vorteil führen. Wird der Einsatz jedoch durch eine Reduzierung des Anlageneinsatzes des Biomassekessels erkaufte, muss eine Erhöhung des CO₂-Ausstoßes hingenommen werden. Trotz der Einschränkung, dass die Freie Kühlung in Szenario II-a der Simulation aufgrund der genannten Verzögerungen nicht berücksichtigt werden kann, können gegenüber dem Referenzfall I-a die Betriebskosten bei jährlicher Betrachtung um ca. 12,6 % reduziert werden. Um dies zu erreichen, muss jedoch ein ca. 37,7 % höherer CO₂-Ausstoß akzeptiert werden. Dieser Anstieg ist größtenteils darauf zurückzuführen, dass der Biomassekessel durchgehend außer Betrieb ist.
- Der Einsatz des Biomassekessels führt zu einer erheblichen Reduktion des CO₂-Ausstoßes. Eine weitere Steigerung des Einsatzes des Biomassekessels kann zu einer ökologischen Verbesserung führen.
- Insbesondere durch die Erweiterung des Simulationsmodells um den Biomassekessel und den Trockenkühler zur Nutzung der Freien Kühlung ist mit einer erheblichen Steigerung der Variabilität und Konkurrenzfähigkeit entsprechender Szenarien zu rechnen.

Die Untersuchung der realisierten Anlageneinsatzplanung sowie der Simulationsergebnisse zeigen, dass es keine generelle Betriebsstrategie gibt, welche zu einem universellen Optimum

hinsichtlich diverser Bewertungskriterien führt. So sind teils Bewertungsparameter gegenläufig, weshalb beispielsweise die kostengünstigste Betriebsweise nicht zwangsläufig aus ökologischen Gesichtspunkten die beste Wahl darstellt. Selbst hinsichtlich nur eines Bewertungsparameters gibt es keine von der Jahreszeit und dem vorherrschenden Lastbedarf unabhängige optimale Betriebsweise. Daher sollte vielmehr eine an den jeweiligen Lastfall und an die Jahreszeit angepasste Betriebsstrategie ermittelt werden, welche über das Jahr variabel umgesetzt wird. In ähnlicher Form wird dies im real umgesetzten Regelungskonzept bereits berücksichtigt, in welchem bei der statischen Last zwischen Sommer-, Übergangs- und Winterbetrieb unterschieden wird. Durch die Modellrechnungen könnten somit Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, welche eine Erweiterung des bestehenden Konzepts darstellen. Die Auswirkungen einer derartigen variablen Umsetzung auf die Optimierung des Gesamtsystems sollen u.a. im Rahmen der Projektverlängerung detailliert untersucht werden.

Zudem soll im Rahmen der Projektverlängerung die Bewertung um eine primärenergetische Betrachtung erweitert werden, welche allerdings neben den Simulationsmodellen eine präzise Bestimmung des Hackschnitzelverbrauchs voraussetzt.

Bei der bisherigen Betrachtung wurden ausschließlich Daten aus einem Zeitbereich herangezogen, der für den Krankenhausbetrieb durch die Corona-Pandemie einen Ausnahmefall darstellt. Zudem wurden für die Bewertung ökonomische und politische Rahmenbedingungen aus dem Jahr 2020/2021 verwendet. In der weiteren Betrachtung sollten daher auch die Auswirkungen veränderlicher Rahmenbedingungen wie beispielsweise die Einführung der CO₂-Steuer für eine Langzeitbetrachtung herangezogen werden.

Anhang

Entsprechende im Text angegebene Verweise finden sich als elektronischer Anhang auf dem beigelegte Speichermedium unter den folgenden Verzeichnissen:

- ✓ 0_Anhang_Statusberichte
- ✓ 1_Anhang_Pläne_Raumbuch
- ✓ 2_Anhang_Anlagentechnik
- ✓ 3_Anhang_Vorplanung
- ✓ 4_Anhang_MSR
- ✓ 5_Anhang_Strukturen
- ✓ 6_Anhang_div_Tabellen
- ✓ 7_Anhang_Doku_Datenpunkte
- ✓ 8_Anhang_Navigator
- ✓ 9_Anhang_MoniSoft
- ✓ 10_Anhang_Plausibilitätsprüfung
- ✓ 11_Anhang_Endenergie
- ✓ 12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger
- ✓ 13_Anhang_Nutzenergie_Verbraucher
- ✓ 14_Anhang_Kennwerte
- ✓ 15_Anhang_E_Ausweis
- ✓ 16_Anhang_LZM
- ✓ 17_Anhang_Ergebnisse

Abbildung 211: Inhaltsübersicht des elektronischen Anhangs

Im folgenden Abschnitt sind weitere Dokumente dargestellt. Diese befinden sich nicht im elektronischen Anhang und beziehen sich ausschließlich auf Kapitel 5.

Tabelle 91: Übersicht der Parameter zur ökonomischen Bewertung

Kategorie	Parameter	Wert	Einheit
Erdgaskessel	$K_{E,EGK}$	$M_{G,EGK} \cdot k_G^1$	€
	$K_{S,EGK}$	$kW_{S,EGK} \cdot k_S^1$	€
	$K_{SK,EGK}$	650	€
	k_G	0,54 ²	€/m ³
	k_S	0,2916 ³	€/kWh
	$K_{I,EGK}$	1150 ⁴	€
	$K_{W,EGK}$	2100 ⁵	€
	$K_{PK,EGK}$	5432 ⁵	€
	$A_{E,EGK}$	0	€
BHKW	$K_{E,BHKW}$	$M_{G,BHKW} \cdot k_G^1$	€
	$K_{S,BHKW}$	$kW_{S,BHKW} \cdot k_S^1$	€
	$K_{SK,BHKW}$	$730+0,002 \cdot kW_{th}^5$	€
	$K_{I,BHKW}$	$0,006 \cdot kW_{el}^6$	€
	$K_{W,BHKW}$	$0,01 \cdot kW_{el}^6$	€
	$K_{PK,BHKW}$	$(0,03+0,03+0,03+0,015) \cdot A_0^6$	€
	$A_{E,BHKW}$	$0,24 \cdot kW_{el}^7$	€
Biomasse- kessel	$K_{E,BMK}$	$M_{H,BMK} \cdot k_H^1$	€
	$K_{S,BMK}$	$M_{S,BMK} \cdot k_S^1$	€
	$K_{SK,BMK}$	2150 ⁵	€
	k_H	22,90 ⁵	€/MWh
	$K_{I,BMK}$	1050 ⁵	€
	$K_{W,BMK}$	1200 ⁵	€
	$K_{PK,BMK}$	19098 ⁵	€
	$A_{E,BMK}$	0	€
AbKM	$K_{E,AbKM}$	$M_{G,BHKW} \cdot k_G \cdot \frac{\dot{Q}_{N,BHKW}}{\dot{Q}_{v,AbKM}}^1$	€
	$K_{S,AbKM}$	$kW_{S,AbKM} \cdot k_S^1$	€
	$K_{SK,AbKM}$	1400 ⁸	€
	$K_{I,AbKM}$	500 ⁹	€
	$K_{W,AbKM}$	3000 ⁹	€
	$K_{PK,AbKM}$	8776 ⁹	€
	$A_{E,AbKM}$	0	€

Kategorie	Parameter	Wert	Einheit
KKM	$K_{E,KKM}$	0	€
	$K_{S,KKM}$	$kW_{S,AbKM} \cdot k_S^{-1}$	€
	$K_{SK,KKM}$	1300 ⁹	€
	$K_{I,KKM}$	3000 ⁹	€
	$K_{W,KKM}$	7000 ⁹	€
	$K_{PK,KKM}$	5092 ⁹	€
	$A_{E,KKM}$	0	€
FK	$K_{E,FK}$	0	€
	$K_{S,FK}$	$kW_{S,FK} \cdot k_S^{-1}$	€
	$K_{SK,FK}$	2750 ⁹	€
	$K_{I,FK}$	2000 ⁹	€
	$K_{W,FK}$	3000 ⁹	€
	$K_{PK,FK}$	5771 ⁹	€
	$A_{E,FK}$	0	€

Tabelle 92: Übersicht der Parameter zur ökologischen Bewertung

Kategorie	Parameter	Wert	Einheit
Erdgaskessel	$c_{CO_2,EGK}$	2,79 ⁹	kg CO ₂ /kg Gas
BHKW	$c_{CO_2,BHKW}$	$-0.00014 \cdot L^2 + 0.032L$ ¹⁰	kg CO ₂ /kg Gas
	$c_{CO,BHKW}$	0,3 ¹¹	mg CO/m ³ Gas
	$c_{NO_x,BHKW}$	0,25 ¹¹	mg NO _x /m ³ Gas
BMK	$c_{CO_2,BMK}$	329,4 ¹¹	kg CO ₂ /srm Holz
Strom (Strommix Deutschland)	$a_{CO_2,el}$	0,401 h ¹²	kg CO ₂ /kWh Strom

Tabelle 93: Ergebnisse der Jahressimulation für die Szenarien II und III

Komponente	Bezug	Szenario						Einheit
		II-a	II-b	II-c	III-a	III-b	III-c	
GasK_560kW	Gas	220517	353291	467076	110818	248126	353242	m ³
	Wärme	1910478	3217162	4280291	1037639	1969149	3236698	kWh
	Strom	4360	6733	8153	2384	4680	6674	kWh
GasK_1600kW	Gas	15251	15258	15265	5946	5954	5938	m ³
	Wärme	142366	142365	142365	55666	55635	55671	kWh
	Strom	315	315	315	123	123	123	kWh
BHKW1	Gas	328958	332577	129340	282230	293410	70191	m ³
	Wärme	1790474	1810511	703825	1534230	1595726	382294	kWh
	Strom	1035589	1052664	404121	882388	923552	219150	kWh
BHKW2	Gas	312926	65764	65749	212455	23450	23542	m ³
	Wärme	1679569	356273	356199	1143429	128403	128951	kWh
	Strom	937519	210301	210247	649640	77605	77885	kWh
BioMK	Hackschnitzel	–	–	–	–	–	–	–
	Wärme	0	0	0	0	0	0	kWh
	Strom	–	–	–	–	–	–	kWh
AbKM	Kälte	1083396	1083396	1083396	11690	11690	11690	kWh
	Heizwasser	1716802	1716802	1716802	18532	18532	18532	kWh
	Kühlwasser	2807726	2807726	2807726	30277	30277	30277	kWh
	Strom	21214	21214	21214	394	394	394	kWh
KKM	Kälte	41356	41356	41356	1113642	1113642	1113642	kWh
	Kühlwasser	51317	51317	51317	1391396	1391396	1391396	kWh
	Strom	11349	11349	11349	303879	303879	303879	kWh
FK	Kälte	0	0	0	0	0	0	kWh
	Strom	0	0	0	0	0	0	kWh
HK	Strom	–	–	–	–	–	–	kWh
	Kälte	–	–	–	–	–	–	kWh
	Wasser	–	–	–	–	–	–	m ³
WP	Wärme	–	–	–	–	–	–	kWh
	Kälte	–	–	–	–	–	–	kWh
	Strom	–	–	–	–	–	–	kWh

Tabelle 94: Berechnete Betriebskosten

Szenario	Jahr	Sommer	Winter	Einheit
I-a	141487	1671	4278	€
I-b	159313	2232	4188	€
II-a	123678	1336	5646	€
II-b	222160	3955	6555	€
II-c	318375	6782	7056	€
III-a	156450	3051	5178	€
III-b	253101	3968	7711	€
III-c	346373	6583	8923	€

Tabelle 95: Berechneter CO₂-Ausstoß

Szenario	Jahr	Sommer	Winter	Einheit
I-a	1026140	20190	11938	kg
I-b	1017292	20118	11455	kg
II-a	1413114	19843	36377	kg
II-b	1356642	19531	34011	kg
II-c	1297802	18107	33568	kg
III-a	1032026	11018	30856	kg
III-b	1096490	12515	29779	kg
III-c	1008187	12491	27641	kg

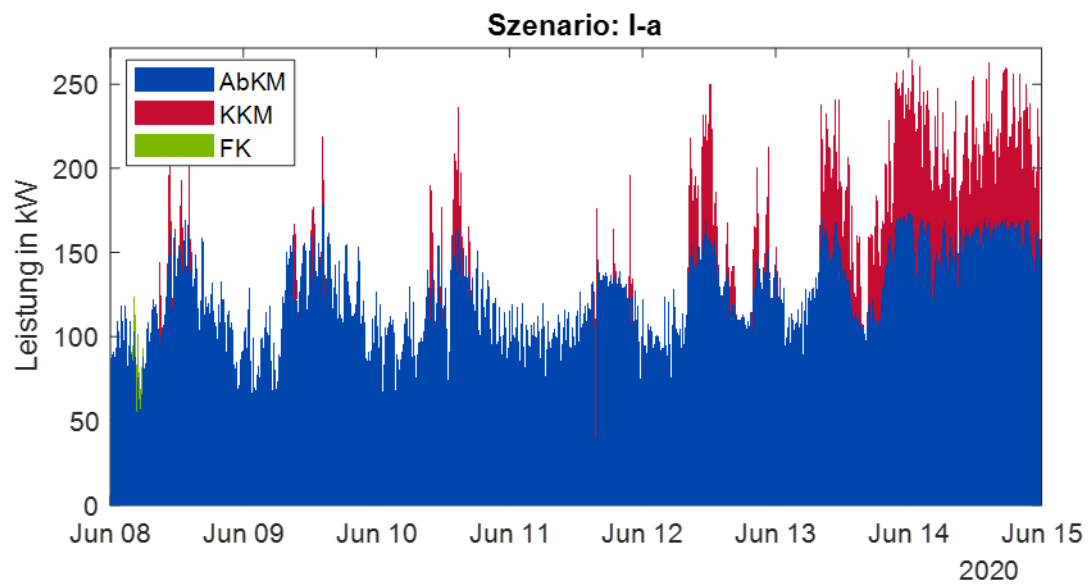


Abbildung 212: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung KW24 (Szenario: Referenz I-a)

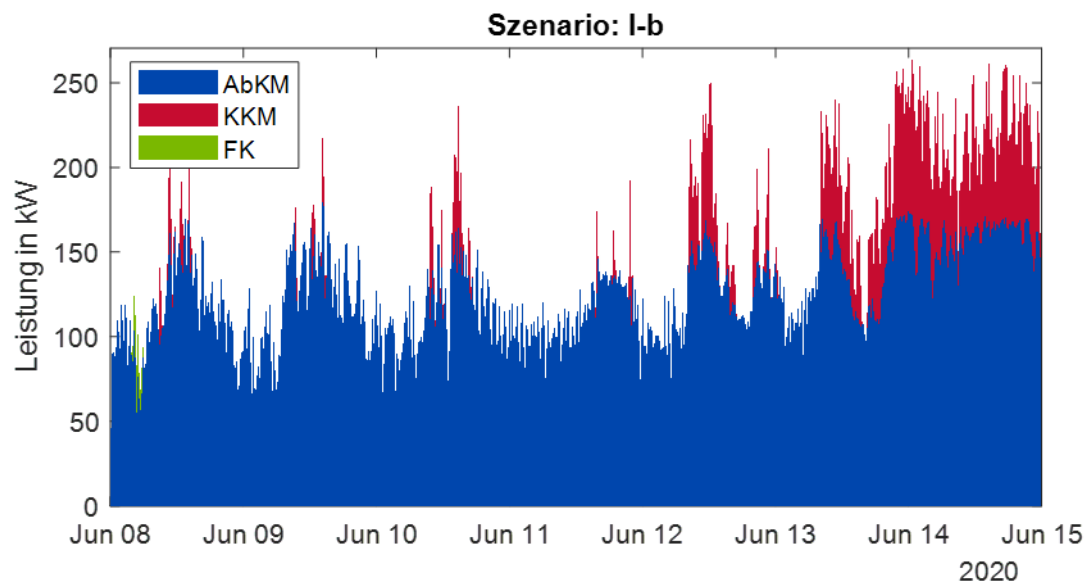


Abbildung 213: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung KW24 (Szenario: Referenzsimulation I-b)

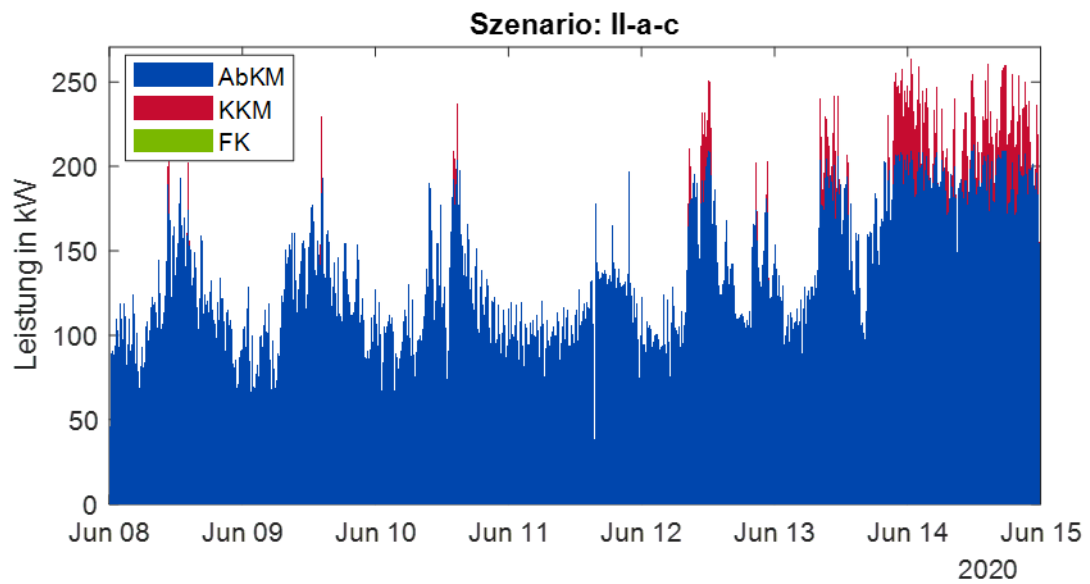


Abbildung 214: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung KW24 (Szenarien: II-a-c)

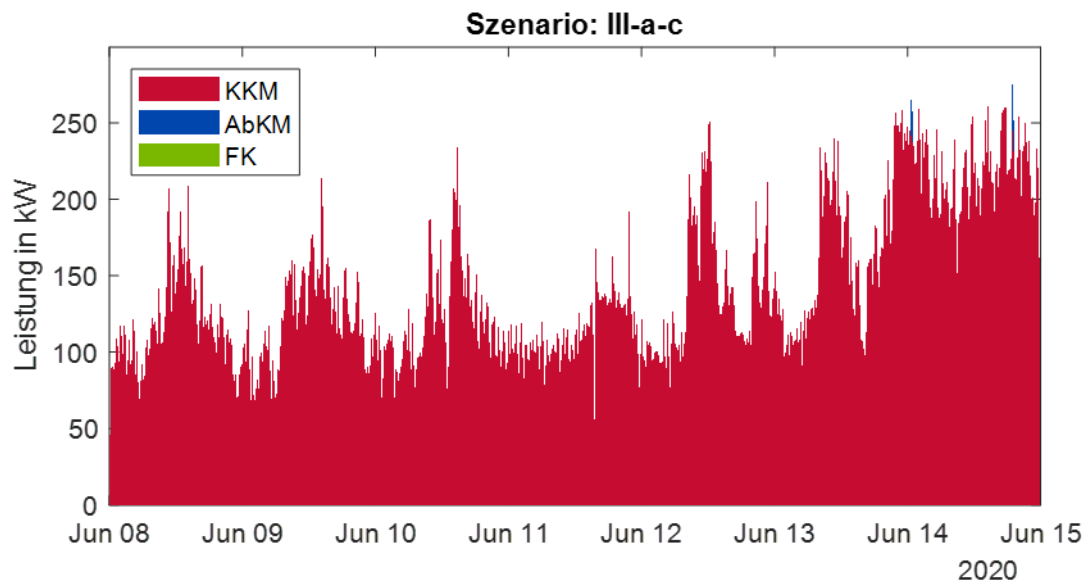


Abbildung 215: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung KW24 (Szenarien: III-a-c)

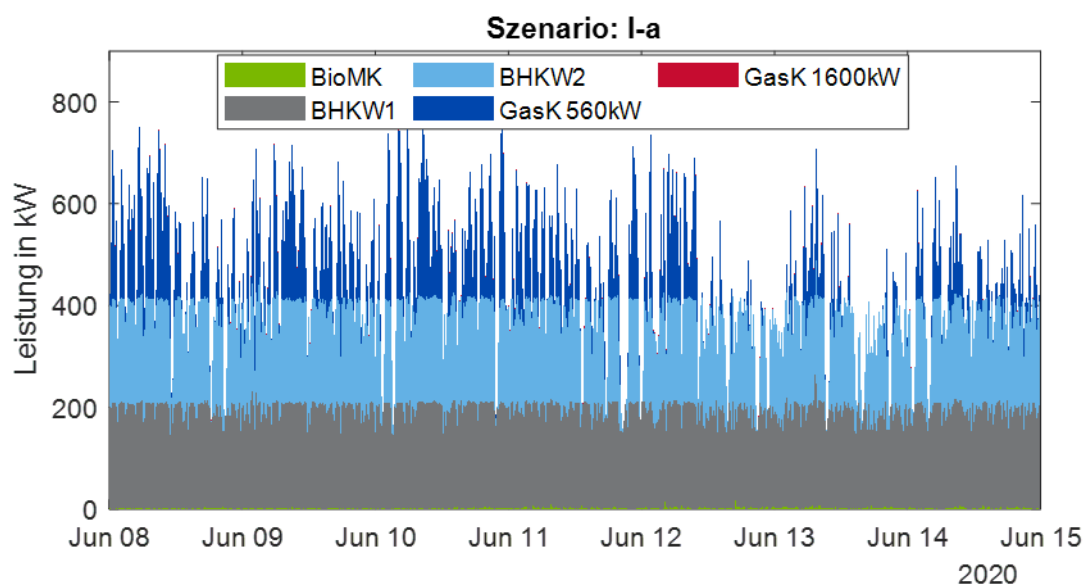


Abbildung 216: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW24 (Szenario: Referenz I-a)

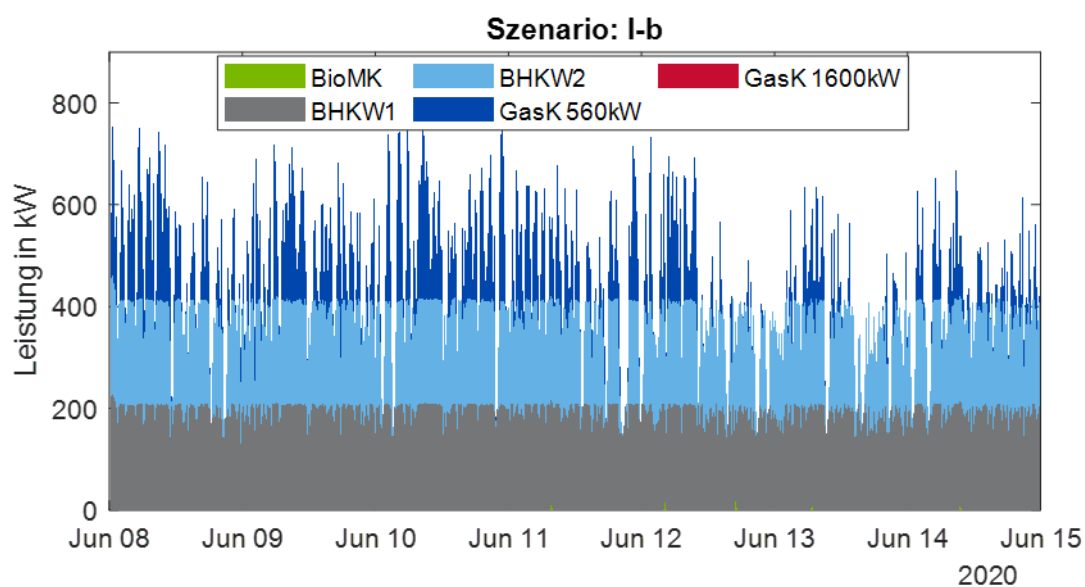


Abbildung 217: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW24 (Szenario: Referenzsimulation I-b)

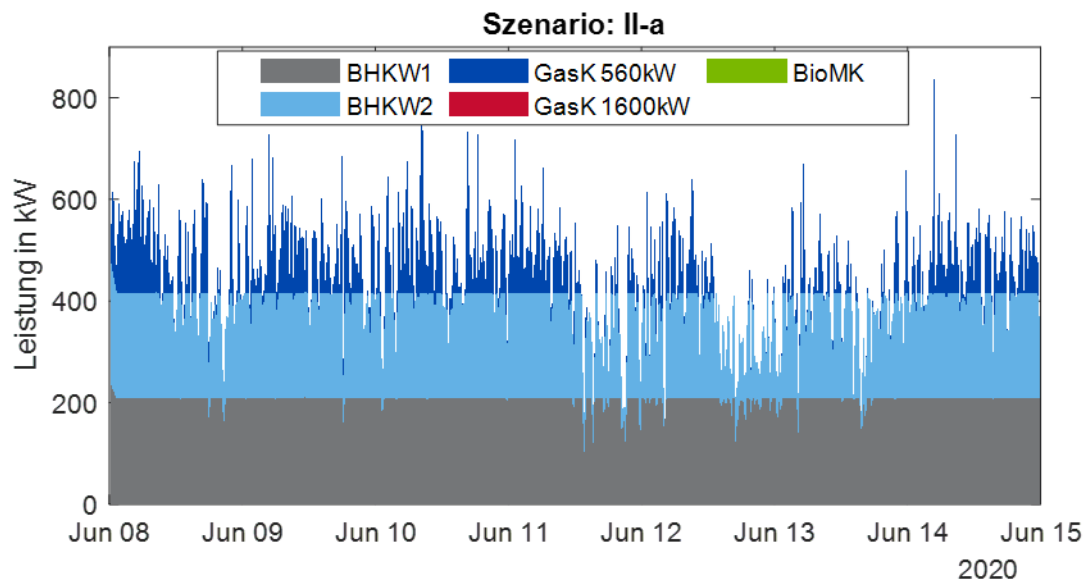


Abbildung 218: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW24 (Szenario: II-a)

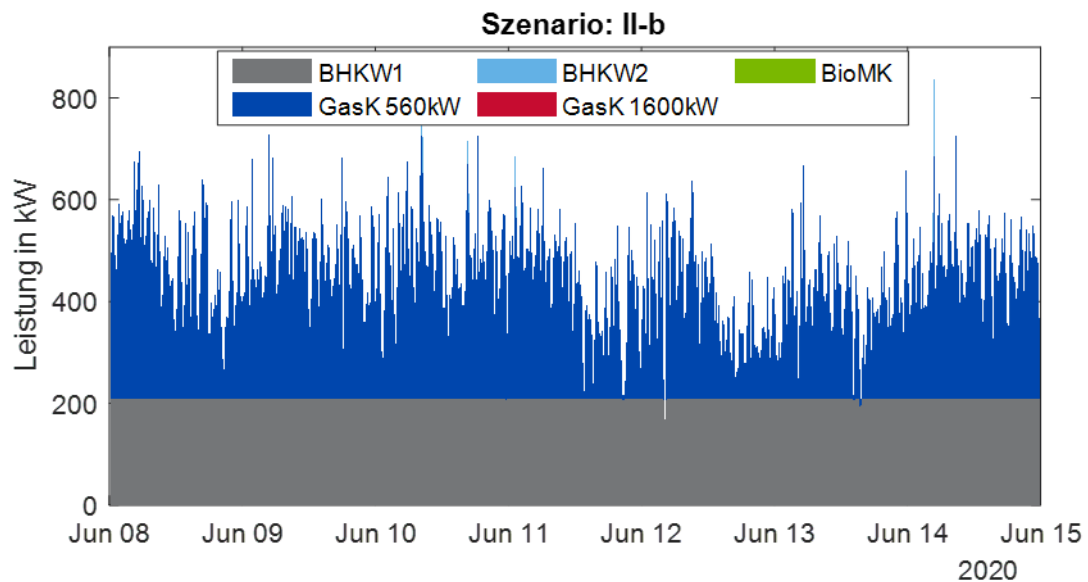


Abbildung 219: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW24 (Szenario: II-b)

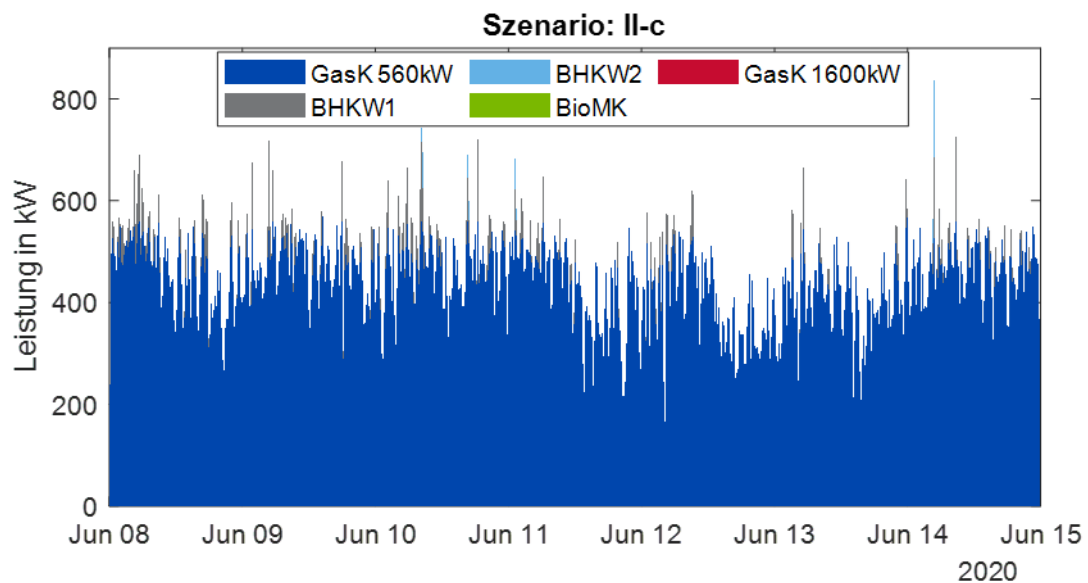


Abbildung 220: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW24 (Szenario: II-c)

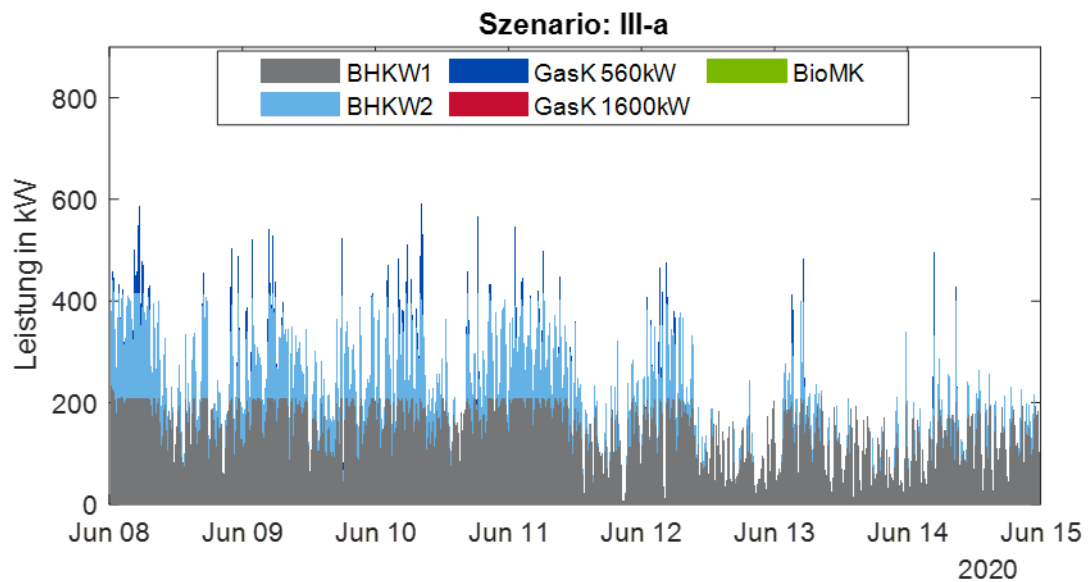


Abbildung 221: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW24 (Szenario: III-a)

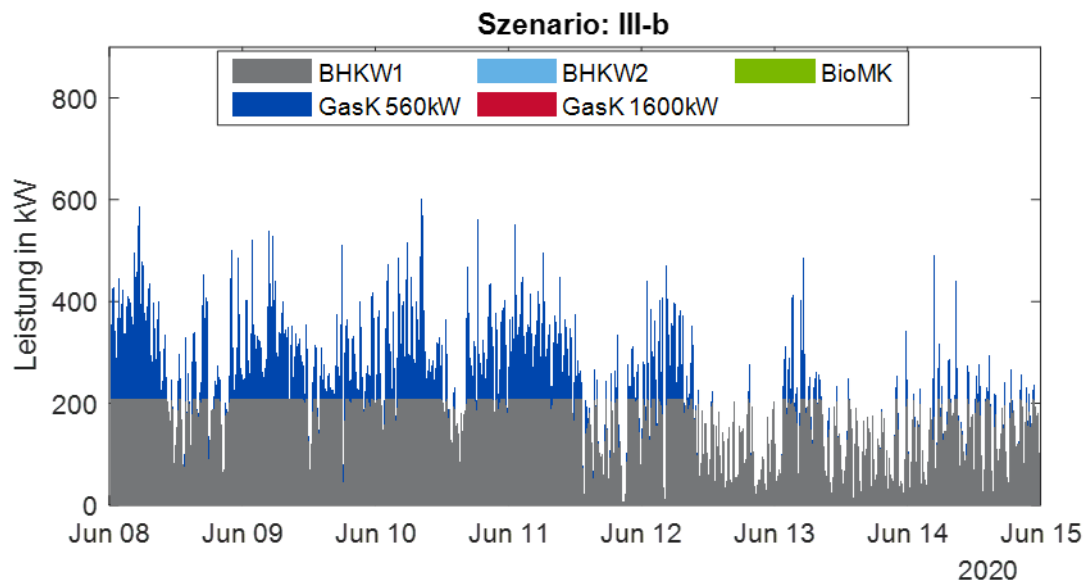


Abbildung 222: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW24 (Szenario: III-b)

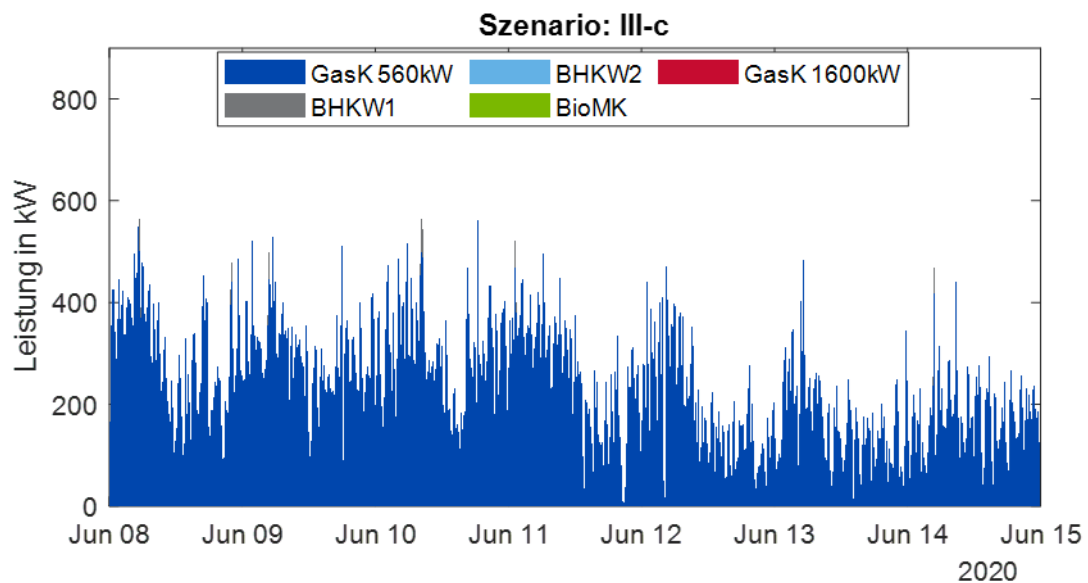


Abbildung 223: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW24 (Szenario: III-c)

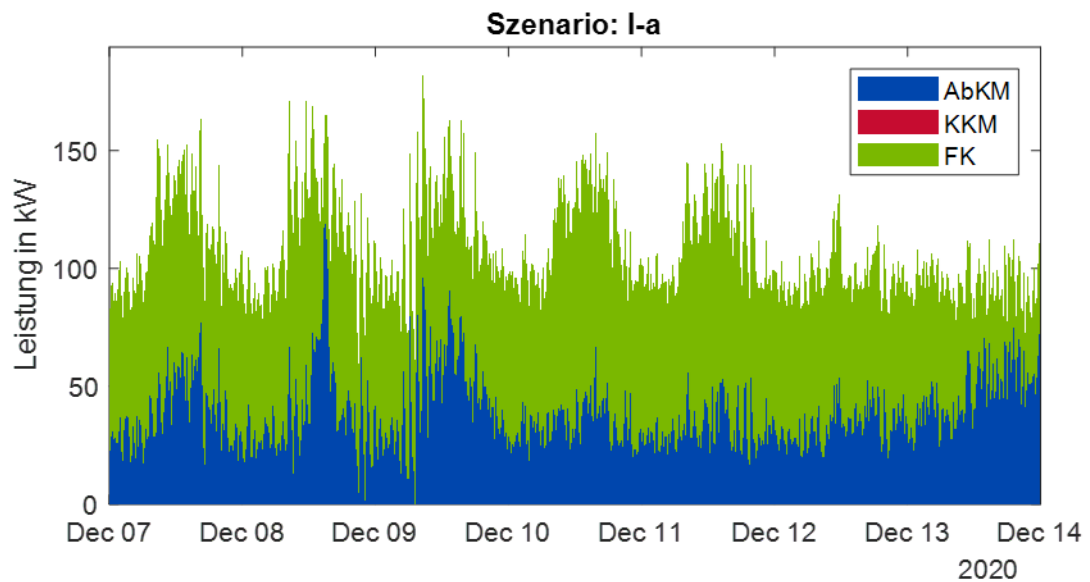


Abbildung 224: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung KW50 (Szenario: Referenz I-a)

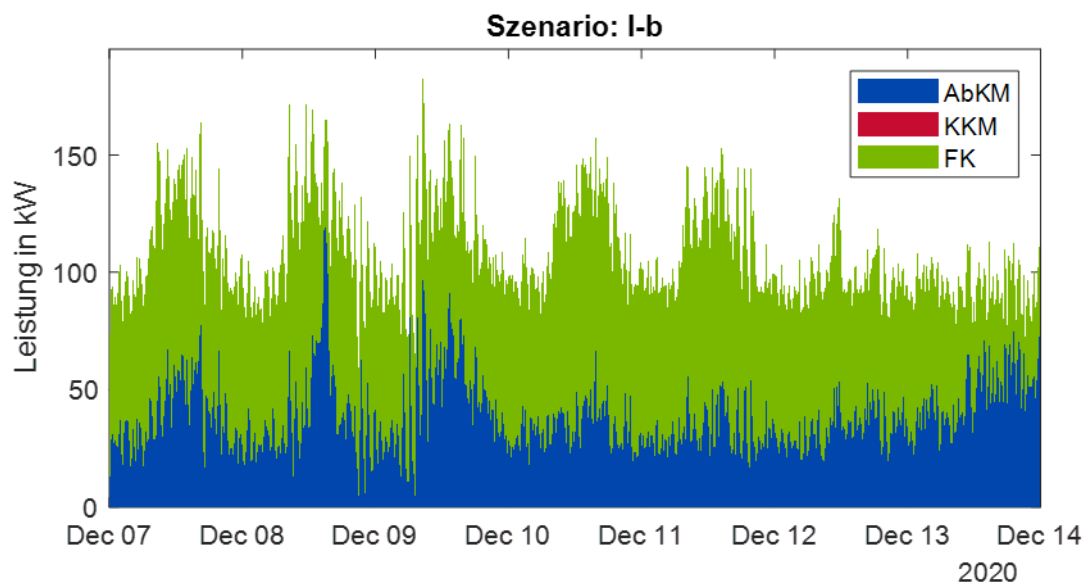


Abbildung 225: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung KW50 (Szenario: Referenzsimulation I-b)

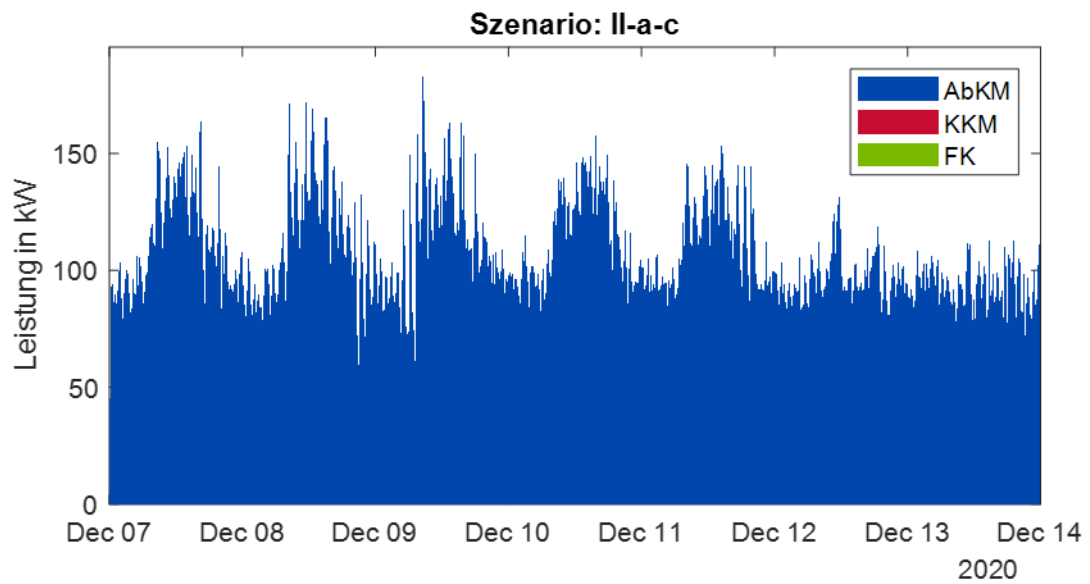


Abbildung 226: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung KW50 (Szenarien: II-a-c)

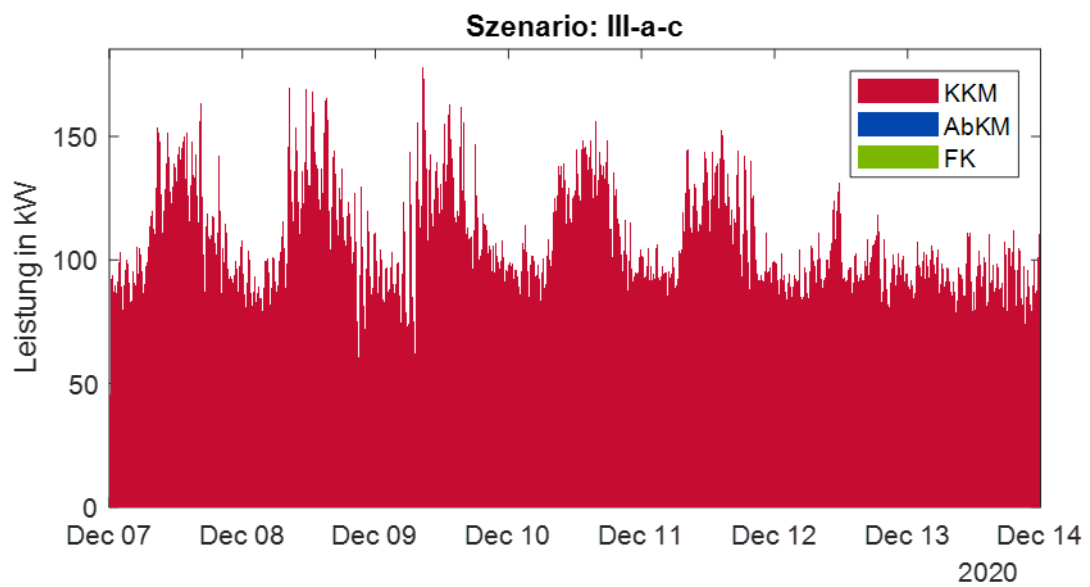


Abbildung 227: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung KW50 (Szenarien: III-a-c)

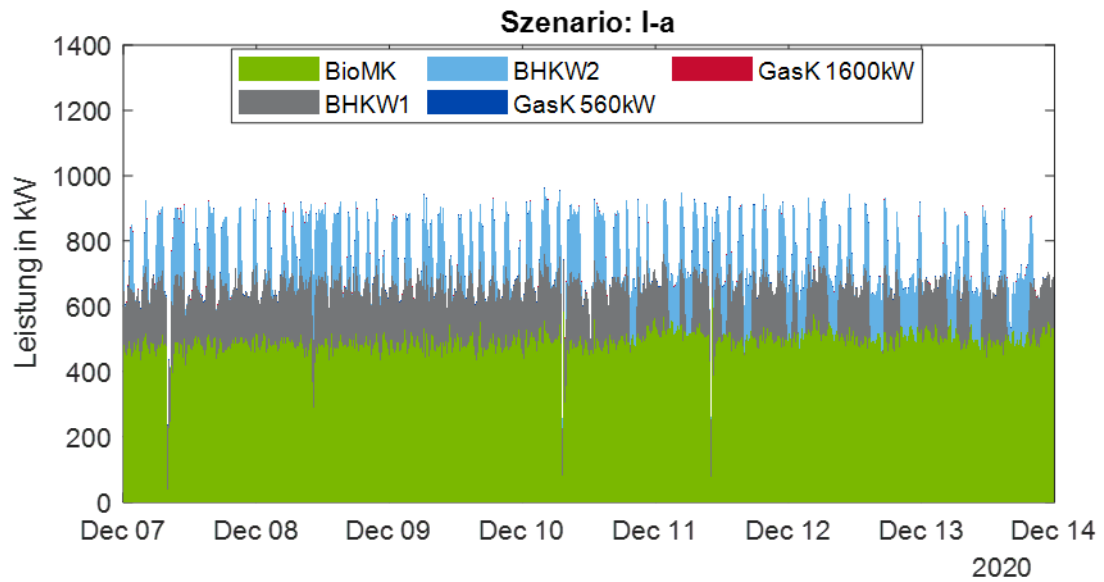


Abbildung 228: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW50 (Szenario: Referenz I-a)

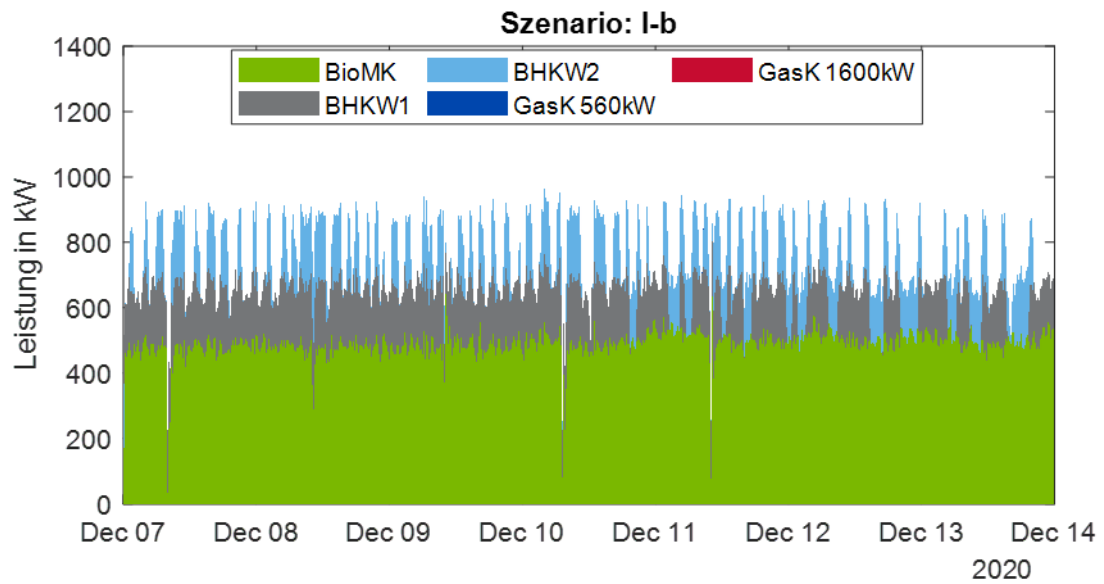


Abbildung 229: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW50 (Szenario: Referenzsimulation I-b)

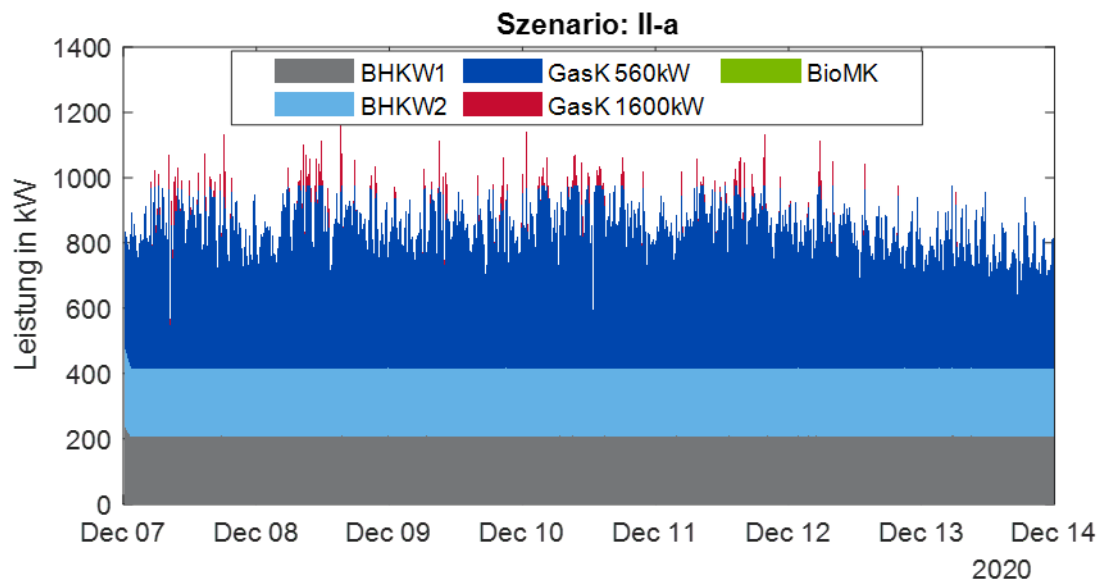


Abbildung 230: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW50 (Szenario: II-a)

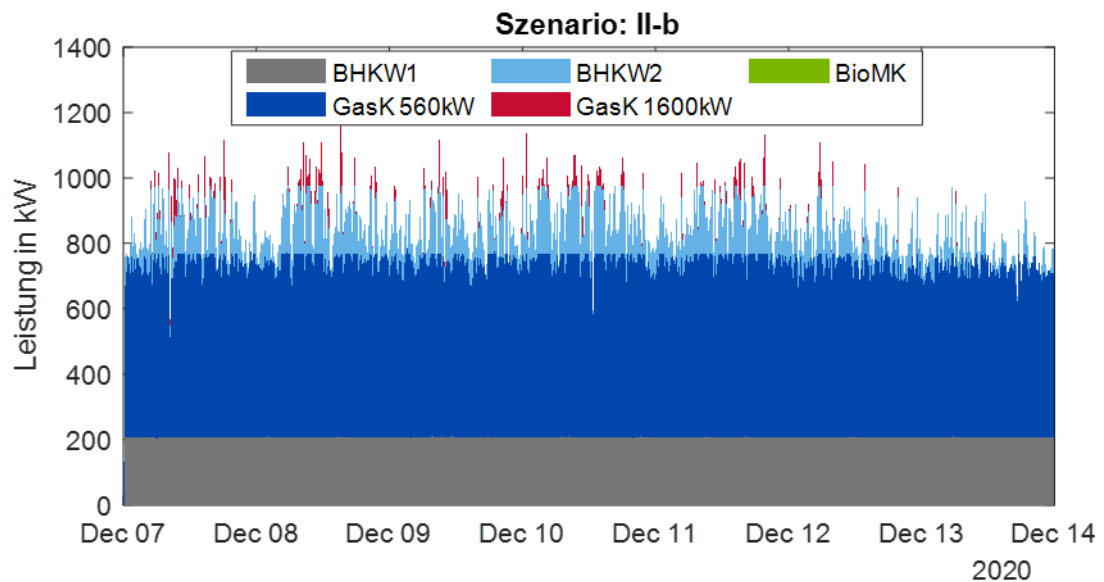


Abbildung 231: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW50 (Szenario: II-b)

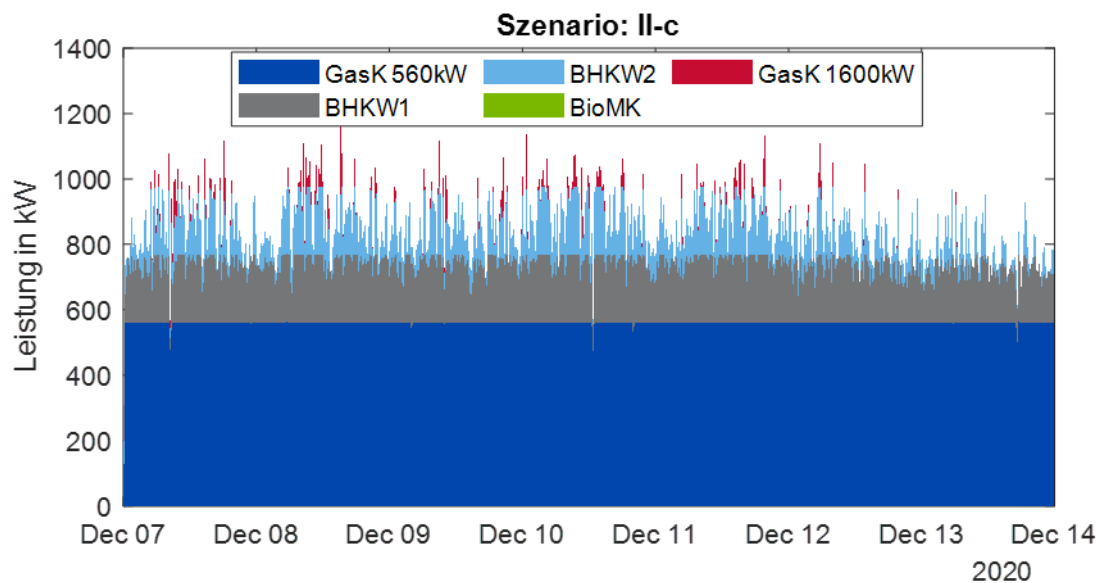


Abbildung 232: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW50 (Szenario: II-c)

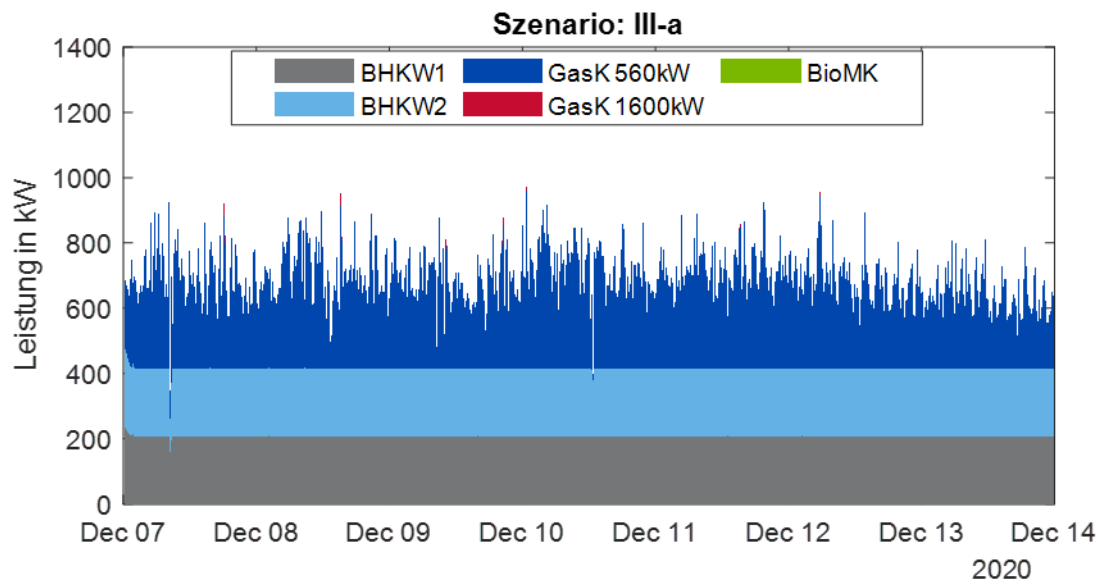


Abbildung 233: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW50 (Szenario: III-a)

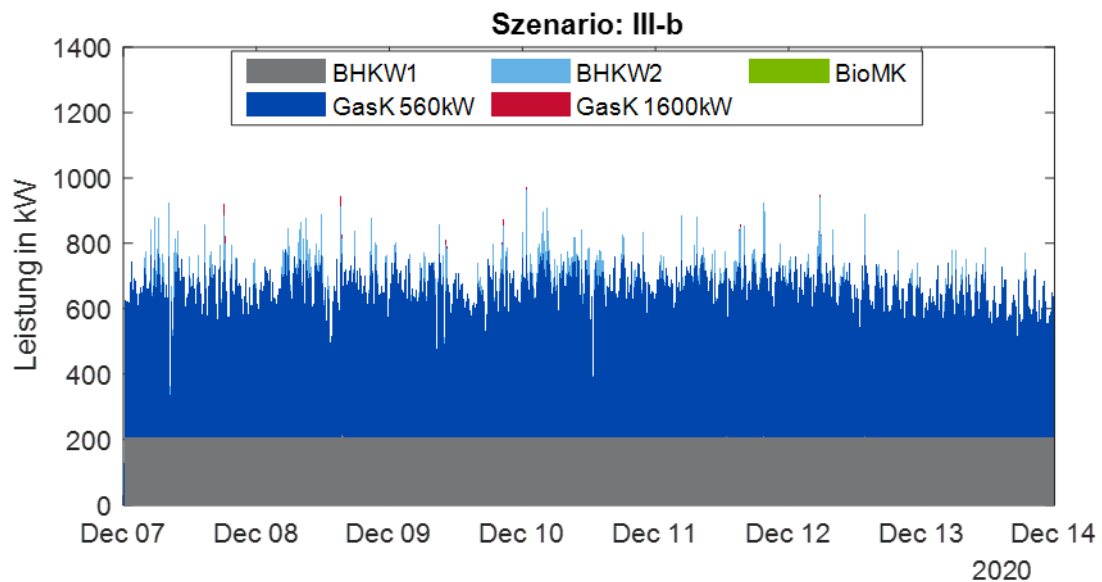


Abbildung 234: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW50 (Szenario: III-b)

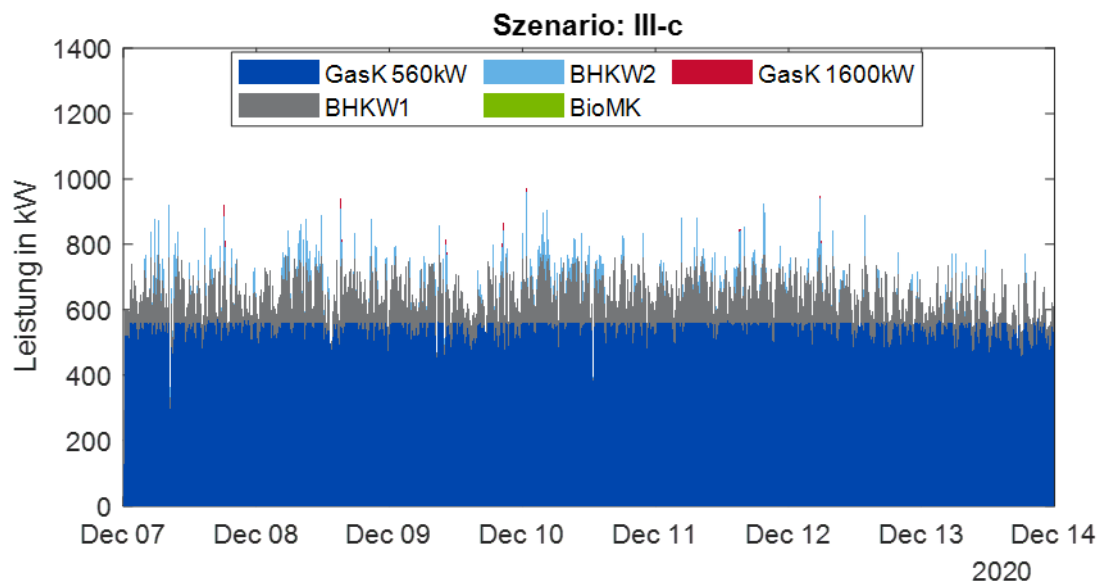


Abbildung 235: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung KW50 (Szenario: III-c)

Quellenverzeichnis zu Anhang

- ¹ M. Gebhardt et al., Ableitung von Kostenfunktionen für Komponenten der rationellen Energienutzung. Duisburg: Institut für Energie- und Umwelttechnik, 2002. S. VI.14-VI.16.
- ² Statista: Gaspreis nach Verbrauchergruppen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2020. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154961/umfrage/gaspreis-nach-verbrauchergruppe-seit-2006/>. (abgerufen am: 11.01.2021).
- ³ Statista: Industriestrompreise in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2020. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/155964/umfrage/entwicklung-der-industriestrompreise-in-deutschland-seit-1995/>. (abgerufen am: 14.01.2021).
- ⁴ Experteninterview, Stichprobe n=2: M. Mischka (Fachkraft für Wärmepumpenmontage), N. Eichner (Wärmeanlagen Fachmann), Fa. Dimplex, Kulmbach, 22.03.2020.
- ⁵ ASUE: Arbeitsamt für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. Blockheizkraftwerke. Grafiken. Verfügbar unter: <https://asue.de/blockheizkraftwerke/grafiken> (abgerufen am: 19.03.2021).
- ⁶ Norm VDI-Richtlinie 3985:2018-06: Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen. 2010. Berlin: Beuth Verlag.
- ⁷ Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz - KWKG) vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498), das zuletzt durch Artikel 17 des Gesetzes vom 21. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3138) geändert worden ist.
- ⁸ Experteninterview, Stichprobe n=2: H. Keskin (Fachmann für Kälteanlagenmontage), K. Weigl (Meister für Kälteanlageplanung /-montage), Fa. Heuberger, Bayreuth, 18.03.2020.
- ⁹ I. Glassman, R.A. Yetter, N. Glumac, Combustion, Fifth edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, Waltham, Mass., 2015.
- ¹⁰ R. van Basshuysen, F. Schäfer, Handbuch Verbrennungsmotor (2015). <https://doi.org/10.1007/978-3-658-04678-1>
- ¹¹ Viessmann Werke GmbH & Co KG, Technische Beschreibung: Vitobloc 200. 2019.
- ¹² Umweltbundesamt: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2019. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. 2020.