

Abschlussbericht

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, 30. November 2022

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
 - Matthias Kreuzer, M.Eng.
 - Michael Dölz, M.Eng. (bis 2021)
 - Andreas Kätzel, M.Eng. (bis 2020)
-

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

Die Hochschulen Coburg, Bayreuth und Hof wurden beauftragt, das Projekt „Green Hospital Lichtenfels“ (GHL) wissenschaftlich zu begleiten. Das bezieht sich vorwiegend auf Wasser- und Energieverbrauchsfragen sowie Fragen zur Optimierung des Betriebs der technischen Gebäudeausrüstung. Nach dem Aufbau eines Monitoring-Systems konnten die Energie- und Wasserverbräuche des GHL analysiert und bewertet werden. Erste Erkenntnisse wurden bereits im Zwischenbericht festgehalten. Dieser Abschlussbericht basiert auf dem Zwischenbericht vom 23.06.2021. Es sind hier nur die geänderten Passagen und neu eingefügte Kapitel dargestellt. Alle unveränderten Kapitel sind im Zwischenbericht enthalten und wurden, der Übersichtlichkeit halber, in diesem Abschlussbericht entnommen.

Der Wärmeenergieverbrauch des neuen Krankenhauses (GHL) hat sich im Vergleich zum Vorgängergebäude (Altbau) deutlich reduziert. Das ist insbesondere auf die gute Wärmedämmung des Gebäudes in Anlehnung an den Passivhaus-Standard zurückzuführen. Abbildung 1 zeigt den Jahresenergieverbrauch für Wärme und Strom sowie den Jahreswasserverbrauch als Vergleichs-Kennwert nach VDI 3807 bezogen auf ein Krankenhaus-Planbett.

Der Wärmeenergieverbrauch verteilt sich ca. zu 25 % auf die Absorptionskältemaschine, zu 20 % auf den Altbau (Bestand), zu 55 % auf den Neubau des Krankenhauses (GHL) und zu 2 % auf die Heizzentrale selbst. Die Wärme im Neubau wird benötigt für die Warmwasserbereitstellung (22 %), für die Fußbodenheizung (5 %), für die statischen Heizkörper (16 %) und für die Heizregister der Raumluftheizung (57 %). Diese und weitere Aufteilungen finden sich im Abschlussbericht des Forschungsvorhabens.

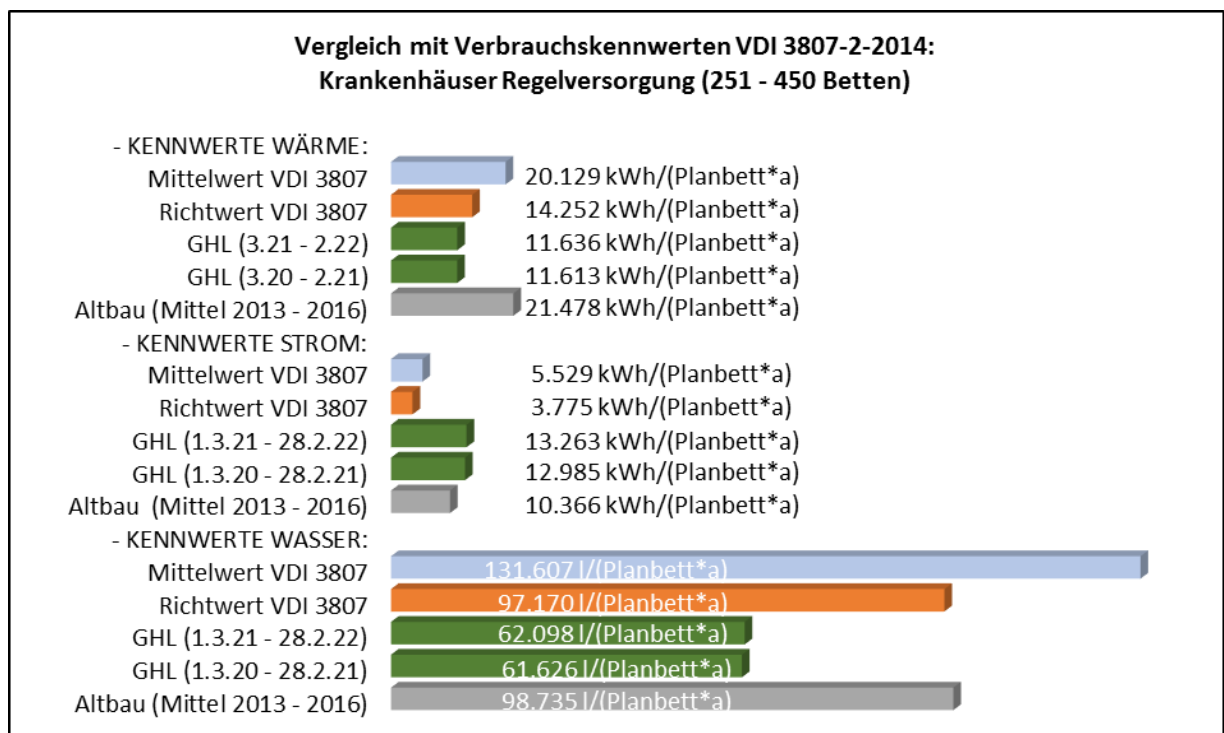


Abbildung 1: Vergleich der Verbrauchskennwerte für Krankenhäuser nach VDI 3807

Der Wasserverbrauch ist gegenüber den VDI-Kennwerten und dem Verbrauch im Altbau deutlich geringer. In den Monats- und Tagesverbräuchen waren auch kurzfristig die Auswirkungen der Lockdown-Phasen während der Coronapandemie erkennbar.

Der Stromverbrauch hat sich im Vergleich zum Vorgängergebäude (Altbau) erhöht und ist gegenüber den Kennwerten aus der VDI 3807 sogar mehr als doppelt so hoch. Das liegt hauptsächlich an der erweiterten technischen Ausstattung und dem vermehrten Einsatz von Lüftungstechnik in heutigen modernen Krankenhäusern. Die Werte der VDI-Richtlinie basieren noch auf Datenerhebungen der 1990er-Jahre. Man erkennt die steigende moderne Medizintechnik bereits am Stromkennwert des Altbaus des Krankenhauses Lichtenfels.

Abbildung 2 zeigt die prozentuale Aufteilung des elektrischen Energieverbrauchs im Green Hospital. Es ist erkennbar, dass jeweils ca. 40 % durch die Lüftungstechnik und die medizinischen Geräte, wie MRT, o. a. (Rest) verbraucht werden. Im Neubau GHl sind beispielsweise auch die Bettenstationen maschinell belüftet, was im Altbau nicht der Fall war. Dies erhöht zwar deutlich den Nutzerkomfort, aber auch den Energieverbrauch.

Die Beleuchtung hat aufgrund des Einsatzes moderner LED-Leuchtmittel nur einen abgeschätzten Anteil von ca. 10 % am gesamten Stromverbrauch.

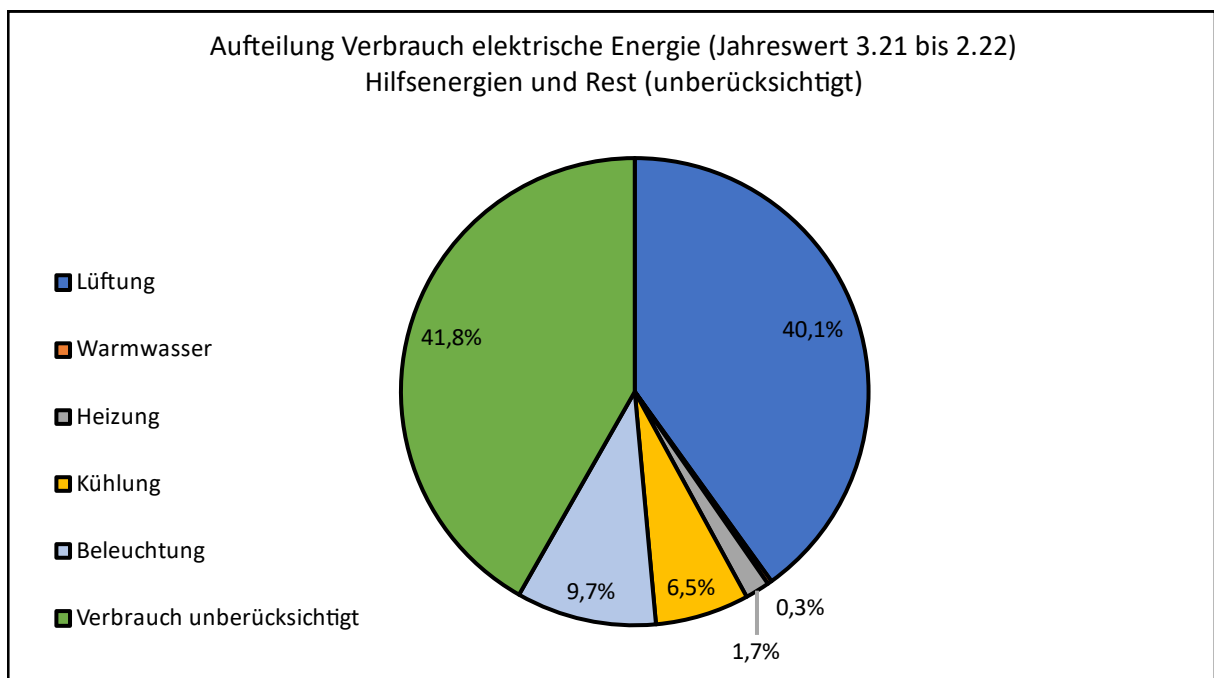


Abbildung 2: Aufteilung des elektrischen Energieverbrauchs

Auch ein Vergleich hinsichtlich des Wärme- und Stromverbrauchs mit Krankenhäusern einer vergleichbaren Größenordnung der EnEV 2014 (Abbildung 3) zeigt für das GHl Kennwerte, die in einer ähnlichen Größenordnung liegen. D. h., das GHl kann als Krankenhaus nach dem aktuellen Stand der Technik mit einem optimierten Energieverbrauch angesehen werden.

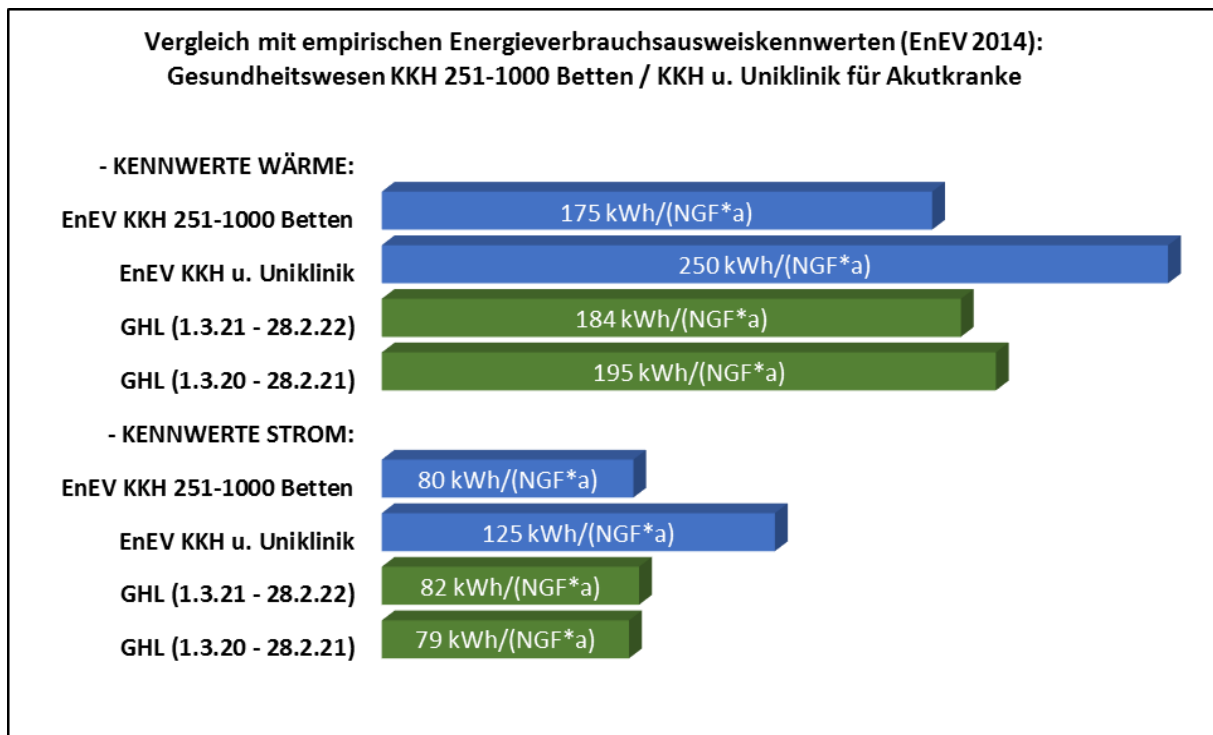


Abbildung 3: Vergleich der Verbrauchskennwerte für Krankenhäuser nach EnEV 2014

Die aktuellen Energieflüsse, Kosten und CO₂-Emissionen im GHL sind in Abbildung 4 aufgetragen. Ein Großteil der Primärenergie wird über den Energieträger Gas bereitgestellt. Abbildung 5 zeigt die Aufteilung des Energieverbrauchs in Primär-, End- und Nutzenergie in Anlehnung an die DIN V 18599. Bisher ist der Anteil erneuerbarer Energien noch gering.

Weiterhin wurden mithilfe der Anlagensimulation von den Hochschulen die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen verschiedener Fahrweisen der bestehenden Anlagen durchgespielt, sodass erste Hinweise und Empfehlungen für eine optimale Anlagenfahrweise gegeben werden konnten. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass es keine generelle Betriebsstrategie gibt, welche zu einem universellen Optimum hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Bewertungskriterien führt und eine Veränderung der Anlagenfahrweise nicht unbedingt außergewöhnliche Energieeinsparungen generiert. Aktuell ergeben sich für die Energieversorgung von Krankenhäusern durch die politischen und ökonomischen Auswirkungen des Ukrainekriegs bzgl. der Versorgungssicherheit mit Gas und der Entwicklung der Energiepreise inklusive einer zukünftigen Versteuerung der CO₂-Emissionen vollkommen neue Randbedingungen. Das GHL verwendet neben dem bezogenen Strom als Energieträger Gas, Holzhackschnitzel sowie Solarenergie und besitzt diverse Anlagen zur Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung. Dadurch ist es möglich, die benötigten Anteile der Energieträger zu verändern und an verschiedene Randbedingungen anzupassen.

Allgemein kann man sagen, dass eine Erhöhung des Anteils eigen erzeugter, regenerativer Energien zu einer Verringerung der Abhängigkeit von Energieimporten führt. Eine Erhöhung des regenerativen Anteils lässt sich durch verschiedene Optionen erreichen. Beispielfhaft seien hier genannt:

- Steigerung des Anteils an der Wärmeerzeugung durch Erhöhung des Einsatzes des Biomasse-Heizkessels.
- Ausbau der Erzeugung von PV-Strom.
- Substitution des Erdgases durch z. B. Biogas aus regionaler Erzeugung oder Methan / Wasserstoff aus überschüssigem, regenerativ erzeugtem Strom.

Durch die vorhandene Struktur der Energieversorgung des GHL ist das Krankenhaus auf künftige Veränderungen gut vorbereitet. Die ersten beiden Optionen können, unter dem Einsatz von Investitionen, bereits heute umgesetzt werden.

Bezüglich der bisherigen gekoppelten Strom- und Wärmeproduktion mit Gas-Blockheizkraftwerken müssen jedoch genauere Überlegungen im Strom- und Wärmebereich angestellt werden. Deshalb wurde u.a. untersucht, wie mittels einer vergrößerten PV-Anlage die Strom- und Wärmeproduktion durch die BHKWs reduziert werden kann. Allerdings muss die fehlende Wärme dann durch den bestehenden Biomassekessel bereitgestellt werden. Dies ist jedoch mit entsprechenden Investitionen in Umbauten der Energieversorgung verbunden, die bei den noch recht jungen Anlagen nicht sinnvoll und auch zurzeit (besonders bei den unklaren Energiepreisentwicklungen) nicht wirtschaftlich erscheinen.

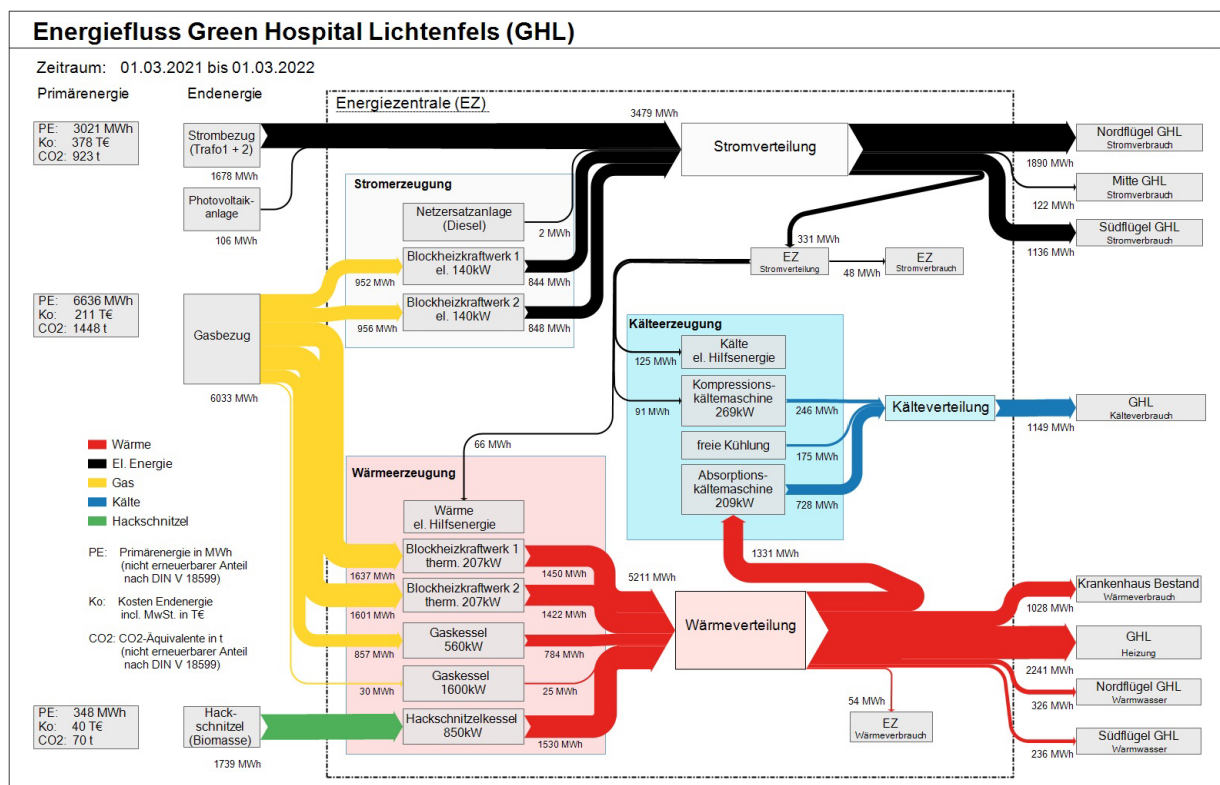


Abbildung 4: Energieflussdiagramm für das GHL

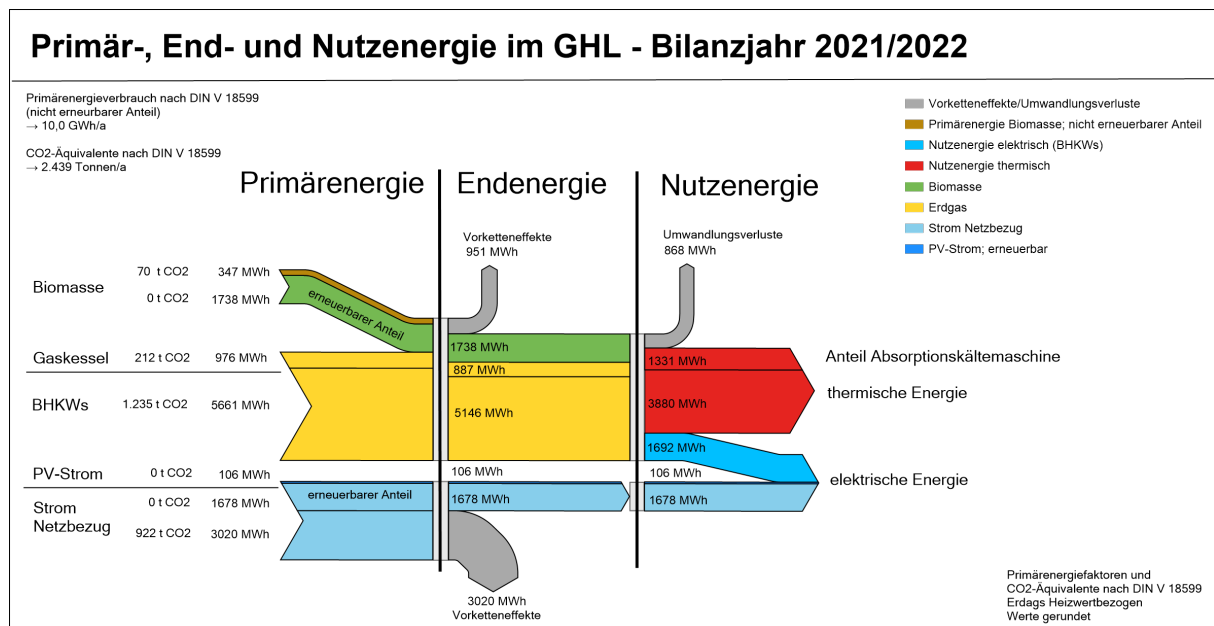


Abbildung 5: Primärenergieverbrauch des GHL mit End- und Nutzenergien

Die wichtigsten Ergebnisse des vorliegenden Berichts werden im Folgenden stichpunktartig zusammengefasst.

- Der Wärmeverbrauch des Green Hospital entspricht den heutigen Anforderungen an Energieeinsparungen in Gebäuden. Die Gebäudehülle (Außenwände, Fenster, Dächer, ...) ist nach Passivhaus-Standard gedämmt.
- 57 % des Wärmeverbrauchs resultieren aus dem Betrieb der raumlufttechnischen Anlagen mit großen Luftmengen, trotz hoher Wärmerückgewinnungsgrade.
- Der Biomassekessel stellt sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht eine vorteilhafte Variante dar. Soweit technisch realisierbar, sollte dessen Einsatz weiter ausgebaut werden.
- Die bereits installierten BHKWs sollten aus ökonomischer Sicht aufgrund des hohen Strompreises in Deutschland weiter priorisiert werden. Auch bei einer Variation des Gaspreises stellt ein vermehrter BHKW-Einsatz einen finanziellen Vorteil dar.
- Insbesondere bei steigenden Gaspreisen sollte der Wärmeverbrauch möglichst reduziert werden, was durch eine Bevorzugung der Kompression-Kältemaschine gegenüber der Absorptions-Kältemaschine erzielt werden kann, wodurch der Wärmebedarf um ca. 25 % reduziert werden kann.
- Der Ausbau von zusätzlichen PV-Flächen stellt für die laufenden Kosten einen Vorteil dar, wobei dieser an den Bedarf der Klinik angepasst werden sollte. Zu große PV-Flächen würden zu einer übermäßigen Netzeinspeisung führen, welche vermieden werden sollte. Es ergibt sich jedoch eine Verringerung der CO₂-Emissionen und eine Verringerung der CO₂-Abgaben. Dadurch wird diese Option auch wirtschaftlich interessant.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	VI
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Projektbeschreibung	3
3 Allgemeine und technische Daten zum Gebäude	4
3.1 Gebäudebeschreibung	4
3.2 Gebäudetechnik	4
3.2.1 Wärmeversorgung.....	4
3.2.2 Kälteversorgung	4
3.2.3 Elektrische Versorgung.....	4
3.2.4 Wasserversorgung.....	4
3.2.5 RLT-Anlagen und WRG	4
3.2.6 MSR-Technik.....	4
3.2.7 Musterräume.....	4
4 Energiemonitoring	5
4.1 Definitionen Monitoring.....	5
4.2 Zähler/ Datenpunkte	5
4.3 Datenerfassung und -übermittlung.....	5
4.4 Datenpunktbezeichnung	5
4.5 Mess- und Monitoringkonzept.....	5
4.5.1 Bezug vom Energieversorgungsunternehmen (EVU)/Endenergie.....	5
4.5.2 Umwandlung (Erzeuger)/ Nutzenergie	5
4.5.3 Verbraucher/ Nutzenergie	5
4.6 Datenauswertungsprogramme	5
4.6.1 Siemens Navigator.....	5
4.6.2 MoniSoft.....	5
4.6.3 Datenübermittlung.....	5
4.7 Plausibilitätsprüfungen.....	6
4.7.1 Grobe Plausibilitätsbetrachtungen	6
4.7.2 Endenergie.....	8

4.7.2.1 Gas	8
4.7.2.2 Hackschnitzel	8
4.7.2.3 Elektrische Energie	8
4.7.2.4 Wasser	11
4.7.3 Nutzenergie Wärmeerzeuger	11
4.7.3.1 Gaskessel	11
4.7.3.2 Hackschnitzel-/Biomassekessel	11
4.7.3.3 Blockheizkraftwerk (BHKW)	11
4.7.3.4 Wärmepumpe	11
4.7.4 Nutzenergie Kälteerzeuger	16
4.7.4.1 Kompressionskältemaschine (KKM)	16
4.7.4.2 Absorptionskältemaschine (AKM)	18
4.7.5 Nutzenergie Elektroenergieerzeuger	19
4.7.5.1 Photovoltaikanlage (PV)	19
4.7.5.2 Notstromaggregat (NSA)	19
4.7.6 Nutzenergie Wärmeverbraucher	19
4.7.7 Nutzenergie Kälteverbraucher	19
4.7.8 Nutzenergie Elektroenergieverbraucher	19
4.7.9 Wasserverbraucher	20
4.8 Ergebnisse	21
4.8.1 Energieeffizienz von Krankenhäusern	21
4.8.2 Vergleich mit empirischen Kennwerten	21
4.8.2.1 VDI 3807 für Krankenhaus alt	21
4.8.2.2 VDI 3807 für GHl	21
4.8.2.3 Vergleich mit Energieverbrauchsausweis-Vergleichswerten	26
4.8.3 Vergleich mit berechneten (Kenn)werten	30
4.8.4 Wärme- und Kälteversorgung	44
4.8.4.1 Wärmeenergieverbrauch	45
4.8.4.2 Kälteenergieverbrauch	49
4.8.5 Elektrischer Energieverbrauch	51
4.8.6 Analyse RLT-Anlagen	80
4.8.7 Analyse des Energiepotenzials an den Rückkühlanlagen der Kältemaschinen	83
4.8.8 Musterräume	87
4.8.8.1 Musterräume „Patientenzimmer“	87
4.8.8.2 Musterraum Funktionsraum „MRT“	87

4.8.8.3 Musterraum Funktionsraum „OP septisch“	87
4.8.9 Zusammenfassung der Energieflüsse und CO ₂ -Emissionen im GHL	87
4.8.9.1 Erweiterte Darstellung (Primärenergie / CO ₂ -Äquivalente / Kosten)	90
4.8.9.2 CO ₂ -Äquivalente der Wärme- und Kälteenergieversorgung	94
4.8.10 Langzeitmonitoring	98
5 Anlagenmonitoring	101
5.1 Grundlagen der Modellierung	101
5.1.1 Übersicht der Energieversorgung	101
5.1.2 Verteilung und Speicherung	101
5.1.3 Gasbrennwertkessel	101
5.1.4 Blockheizkraftwerk	101
5.1.5 Kompressionskältemaschine	101
5.1.6 Absorptionskältemaschine	101
5.1.7 Trockenkühler	101
5.1.8 Hybridkühler	101
5.1.9 MATLAB Simulink und die CARNOT-Toolbox	101
5.2 Kriterien zur Bewertung der Anlagenfahrweise	102
5.2.1 Ökonomie	102
5.2.2 Ökologie	102
5.3 Struktur und Ablauf der Simulation	102
5.3.1 Einbindung externer Daten	102
5.3.2 Realisierung in Simulink	102
5.3.3 Verifizierung der Modellierung	102
5.3.4 Verbundsteuerung und Übersicht der Szenarien	102
5.4 Ergebnisse der Anlagensimulation	105
5.4.1 Szenario I: Referenz	105
5.4.2 Szenario II: Variation der Rangreihenfolgen: Priorisierung AbKM	109
5.4.3 Szenario III: Variation der Rangreihenfolgen: Priorisierung KKM	113
5.4.4 Zusammenfassung und Bewertung der Simulationsergebnisse	116
6 Zusammenfassung	123
Anhang	128

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzungen:

Abkürzung	Bedeutung
AKM	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	Magnetresonanztomographie
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	Raumlufttechnik
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/Z-WRG	Zentrale Wärmerückgewinnung

Symbole und Konstanten:

Unverändert → siehe Zwischenbericht

1 Einleitung

Im Rahmen der Klimaschutzanstrengungen rückten auch Krankenhäuser mit ihrem hohen Energiebedarf in den Fokus entsprechender Energie- und CO₂-Einsparmaßnahmen. In Bayern wurde der Green Hospital-Gedanke durch die zwei Ansätze „Green Hospital Initiative Bayern“ und das Leuchtturmprojekt „Green Hospital Lichtenfels“ (GHL) verwirklicht.

Der Ersatzneubau für das Helmut-G.-Walter-Klinikum in Lichtenfels sollte ein Best Practice Beispiel für 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 Hochschulen Hof und Coburg sowie die Universität Bayreuth im Rahmen der Technologie Allianz Oberfranken (TAO) und hat die Gewinnung neuer Erkenntnisse zum Konzept „Green Hospital“ zur Aufgabe.

Die Schwerpunkte lagen dabei im Gebäude(energie)monitoring, welches von den Hochschulen Hof und Coburg durchgeführt wurde, sowie im Anlagenmonitoring durch die Universität Bayreuth. Durch das Energie- und Anlagenmonitoring sollte 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. Im Rahmen des Projektes wurden über 1.200 Datenpunkte (Sensoren/Energiezähler) installiert. Die in zwei Betriebsjahren gespeicherten Daten und die daraus generierten Auswertungen und Erkenntnisse ermöglichen einen umfassenden Einblick in die Energieströme eines modernen Klinikums.

Der entsprechende Projektablauf, die einzelnen Projektphasen sowie die dabei entstandenen Verzögerungen und die Verlängerung des Forschungsvorhabens sind im Zwischenbericht beschrieben.

Aktuell ergeben sich durch die Auswirkungen des Ukrainekriegs bzgl. der Versorgungssicherheit mit Gas und der Entwicklung der Energiepreise vollkommen neue Fragestellungen für den Betrieb von Krankenhäusern. Das GHL verwendet neben dem bezogenen Strom als Energieträger Gas, Holzhackschnitzel sowie Solarenergie und besitzt diverse Anlagen zur Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung. Dadurch ist es möglich, die benötigten Anteile der Energieträger zu verändern und an verschiedene Randbedingungen anzupassen. Mithilfe der Anlagensimulation wurden von den Hochschulen die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen verschiedener Fahrweisen der Anlagen und möglicher Erweiterungen der PV-Anlage durchgespielt, sodass erste Hinweise und Empfehlungen auch für eine zukünftige optimale Anlagenfahrweise bei entsprechenden PV-Erweiterungen gegeben werden können. Hier bedarf es zukünftig verstärkter Forschungstätigkeit.

Dieser Abschlussbericht basiert auf dem Zwischenbericht vom 23.06.2021. Es sind hier nur die geänderten Passagen und neu eingefügte Kapitel dargestellt. Alle unveränderten Kapitel sind im Zwischenbericht enthalten und wurden, der Übersichtlichkeit halber, in diesem Abschlussbericht entnommen. Entsprechendes gilt für den elektronischen Anhang. Verweise auf neue Inhalte im elektronischen Inhalt und neue Dateien wurden mit einem x gekennzeichnet (z.B.

x_5_Anhang_Strukturen; x_2022_09_23_Topo_Navigator.xlsx) und im neuen Ordner „x_elektronischer_Anhang“ gespeichert.

2 Projektbeschreibung

Unverändert → siehe Zwischenbericht

3 Allgemeine und technische Daten zum Gebäude

Unverändert (alle Unterpunkte eingeschlossen) → siehe Zwischenbericht

3.1 Gebäudebeschreibung

3.2 Gebäudetechnik

3.2.1 Wärmeversorgung

3.2.2 Kälteversorgung

3.2.3 Elektrische Versorgung

3.2.4 Wasserversorgung

3.2.5 RLT-Anlagen und WRG

3.2.6 MSR-Technik

3.2.7 Musterräume

4 Energiemonitoring

Unverändert (entsprechende Unterpunkte eingeschlossen) → siehe Zwischenbericht

4.1 Definitionen Monitoring

4.2 Zähler/ Datenpunkte

4.3 Datenerfassung und -übermittlung

4.4 Datenpunktbezeichnung

4.5 Mess- und Monitoringkonzept

4.5.1 Bezug vom Energieversorgungsunternehmen (EVU)/Endenergie

4.5.2 Umwandlung (Erzeuger)/ Nutzenergie

4.5.3 Verbraucher/ Nutzenergie

Entsprechende aktualisierte Auflistungen (Topologien, Zählerstrukturen, ...) finden sich im elektronischen Anhang x_5_Anhang_Strukturen.

4.6 Datenauswertungsprogramme

4.6.1 Siemens Navigator

4.6.2 MoniSoft

4.6.3 Datenübermittlung

4.7 Plausibilitätsprüfungen

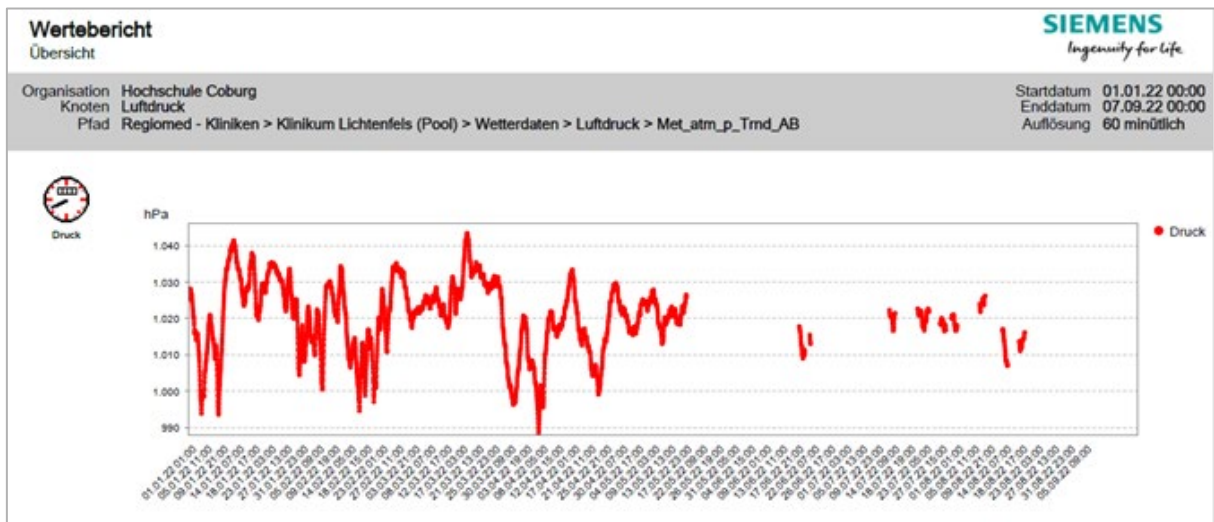
4.7.1 Grobe Plausibilitätsbetrachtungen

An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass grobe Plausibilitätsbetrachtungen auch immer wieder während des Monitorings stattfinden sollten. Hierzu eignet sich z. B. der „Engineering + Statusbericht“ aus dem Navigator, in dem auch das Datum der „Letzten Ablesung“ für jeden Datenpunkt gelistet ist. So konnte u.a. ein Ausfall von diversen Zählern festgestellt werden (siehe auch x_10_Anhang_Plausibilitätsprüfung\x_Plausibilitätsprüfung Trends 2022\x_GHL_Engineering+Statusbericht_220907.xlsx). So zeigte sich z. B. im Bericht vom 7.9.22 das letzte Ablesedatum

- 09.05.22 – 11.05.22 bei ca. 315 Datenpunkten
- 21.05.22 – 23.05.22 bei ca. 30 Datenpunkten
- 10.06.22 bei ca. 55 Datenpunkten
- 19.07.22 bei ca. 60 Datenpunkten
- 20.08.22 – 02.09.22 bei ca. 110 Datenpunkten.

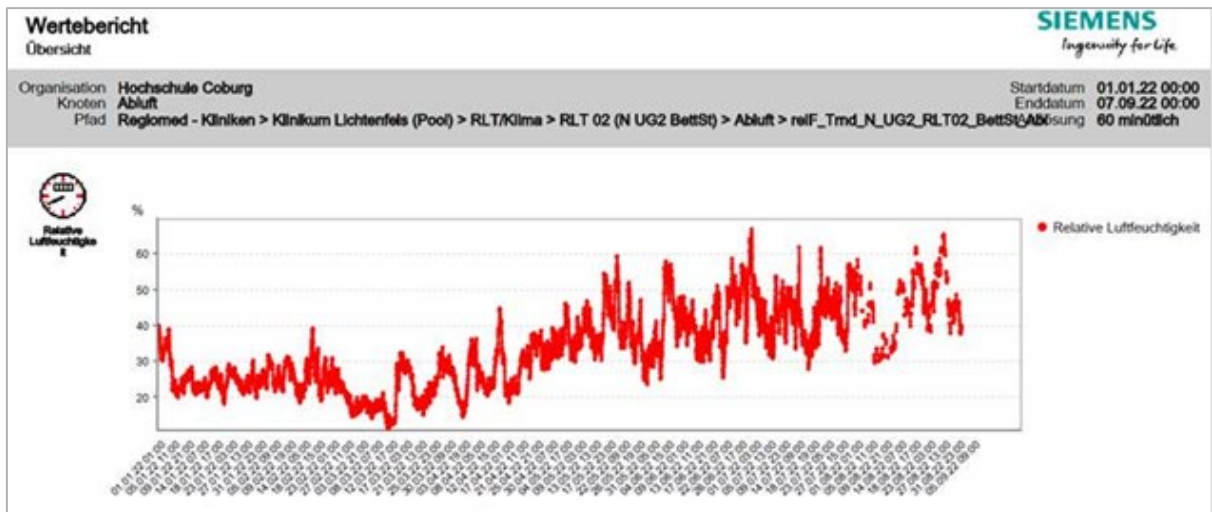
Eine Analyse einzelner Datenpunkte ergab dann, dass zum Teil nicht nur die Werte seit der letzten Ablesung fehlten, sondern auch vorher schon unregelmäßige Aussetzer seit ca. Mai 2022 bestehen, wie in folgenden Beispielen zu sehen ist:

Messpunkt Luftdruck: Met_atm_p_Trnd_AB, letzte Ablesung 20.08.22 00:40



Messpunkt relative Feuchte Abluft RLT-Anlage 02 Bettenstation:

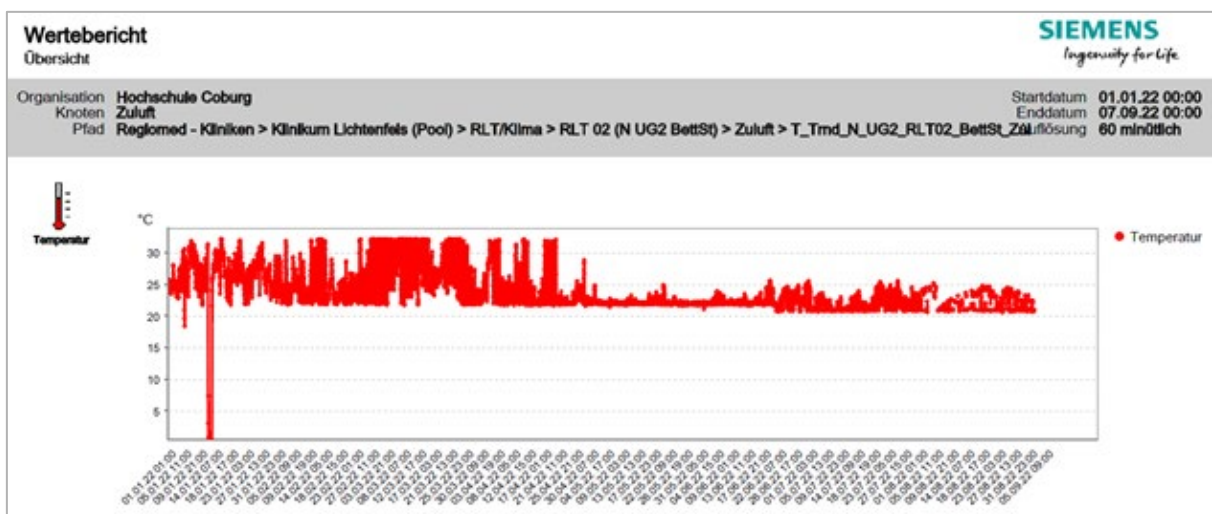
relF_Trnd_N_UG2_RLT02_BettSt_Abl, letzte Ablesung 02.09.22 04:12



(bemerkenswert sind hier auch die Luftfeuchten < 30% im Januar bis März)

Messpunkt Temperatur Zuluft RLT Anlage 02 Bettenstation:

T_Trnd_N_UG2_RLT02_BettSt_Zul, letzte Ablesung 02.09.22 04:10



(bemerkenswert ist hier der „Peak“ mit niedriger Zulufttemperatur im Januar und u.U. ein Umschaltpunkt in der Regelung ab Mitte Juni sowie die Frage, ob die Bettenstation im Winter mit Zuluft > 22 °C geheizt wird und warum (eigentlich Fußbodenheizung und BTA)?)

Bei den betroffenen ca. 570 Datenpunkten handelt es sich ausschließlich um sogenannte Trend-Datenpunkte (Temperaturen, relative Feuchte etc.). Die Aussetzer lassen darauf schließen, dass es sich nicht um ein grundsätzliches Datenübertragungsproblem in die Navigator-Cloud handelt, sondern dass die Übertragung von den in den Unterstationen angelegten Trends anscheinend seit Mai 2022 nicht sauber funktioniert. Dies Problem konnte noch nicht geklärt werden.

4.7.2 Endenergie

Die Abrechnungen der Versorger wurden für das Jahr 2021 aktualisiert (siehe x_11_Anhang_Endenergie\x_Rechnungen_von_GHL\x_2021_gesamt_Jahresverbraeuche_Ca.xlsx).

4.7.2.1 Gas

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.2.2 Hackschnitzel

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.2.3 Elektrische Energie

Bei den Zählern für den Strombezug, vom Versorger (Trafo 1, Trafo 2), ergaben sich während der Auswertungsperiode 2021 folgende Probleme.

- ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1
- ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2

Vom 10.7.21 bis 22.7.21 gab es einen totalen Zählerausfall beim Trafo 1 (ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1), dann erfolgte vor Ort ein Zählertausch. Die fehlenden Daten wurden aus der Strom-Abrechnung für Juli 2021 (Wirkarbeit Juli 21 gesamt (Trafo 1 + Trafo 2) 145.502,4 kWh) folgendermaßen abgeschätzt:

Da der Rechnungszähler Mittelspannung zählt, wurde mit dem „Wirkungsgrad“ der Trafos (ca. 1,37 %, siehe auch Zwischenbericht, Kapitel 4.7.2.3) auf Niederspannung umgerechnet (143.505,2 kWh). Davon wurde der korrekt gemessene Verbrauch des Trafo 2 (69.092 kWh) abgezogen und es ergab sich für Trafo 1 im Juli 2021 der neue Verbrauch von

$$143.505,2 \text{ kWh} - 69.092 \text{ kWh} = 74.413,2 \text{ kWh}.$$

Damit zukünftige Auswertungen (z. B. Jahresvergleiche) mit sinnvollen Ergebnissen möglich sind, wurde im Navigator für den Datenpunkt ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1 eine entsprechende Korrektur des alten Zählerwertes vom 22.07.21 14:45 (3.321.819,0 kWh) durchgeführt:

$$3.321.819,0 \text{ kWh} + 27.678,2 \text{ kWh} = 3.349.497,2 \text{ kWh}.$$

Die 27.678,2 kWh ergeben sich aus der Differenz zwischen neuem und altem Monatswert:

$$74.413,2 \text{ kWh} - 46.735 \text{ kWh} = 27.678,2 \text{ kWh}$$

(siehe x_11_Anhang_Endenergie\x_Endenergie_Elt_Energie\x_Korrektur_Einsp_Trafo_1_u_2_2022.xlsx).

Vom 03.02.2022 – 16.02.2022 gab es einen Ausfall der Aufzeichnungen von Trafo 1 und Trafo 2 (ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1; ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2). Die fehlenden Daten wurden aus den vom Netzbetreiber zur Verfügung gestellten 15 Minuten Strom-Profilen für Februar 2022 folgendermaßen ermittelt:

Für den fehlenden Zeitraum wurde der Strom-Profilwert von Mittelspannung auf Niederspannung mit einem gemittelten Faktor (1,32 %) umgerechnet:

	100%			
	Mittelspannung	Niederspannung		
	Netzbetreiber	Trafo 1 + Trafo 2	Differenz	Faktor
	kWh	kWh	kWh	%
01.02.22 00:00 bis 03.02.22 09:00	17.644	17.392	252	1,43
16.02.22 13:30 bis 28.02.22 23:45	73.722	72.765	957	1,30
Summe	91.367	90.157	1.210	1,32
03.02.22 09:15 bis 16.02.22 13:15	91.102	89.896	1.206	1,32

ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2

1.

2.

3.

Messwerk austauschen

Datenpunktname

ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2

Datenpunktnummer

Einbauort

Datum Messwerkaustausch

03.02.2022 10:46

Medium

Elektrizität Zeittarif

Einheit

kWh

Berichtsgruppe

Elektrizität Zeittarif

Kategorie

Hauptzähler

Ablesefaktor*

1,00

Offset*

0,00

Automatische Erfassung

☒

Bemerkungen

213

Die Aufteilung des Gesamtverbrauchs Niederspannung (89.896 kWh) auf die 2 Trafos erfolgt näherungsweise zu je 50 % (44.948 kWh). Es wurden auch die leicht unterschiedlichen Zeitpunkte des Ausfalls bei Trafo 1 und Trafo 2 berücksichtigt. Im Navigator wurde eine entsprechende Korrektur der alten Zählerwerte mittels „virtuellem Zählerwechsels“ bzw. Messwerktauschs durchgeführt, damit zukünftige Auswertungen (z.B. Jahresvergleiche) mit sinnvollen Ergebnissen möglich sind

(siehe x_11_Anhang_Endenergie\x_Endenergie_Elt_Energie\x_Korrektur_Einsp_Trafo_1_u_2_2022.xlsx).

Beim Messwerktausch im Navigator wurde folgendermaßen vorgegangen. Zunächst wurde unter „Messwerk tauschen > Neuer Messwerktausch“ ein neuer Messwerktausch angelegt. Hier ist die Angabe des Datums, ab dem die Änderung wirksam sein soll, erforderlich: Im zweiten Schritt des Zählertauschs wurde der „Letzte Ablesewert“ als „Endablesewert“ übernommen und der neue Startwert eingetragen. Anschließend wurde der Messwerktausch fertiggestellt:

Tabelle 1: Korrektur Elektro-Zählerausfall Einspeisung Trafos

Trafo 1	Feb 22			
Datenpunktname:	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1			
Datenpunkt ID:	2822622			
Datenquelle:	B01'UG1'3p04'MtrHCEW'MtrEI92'EIEg			
	Datum	Zählerstand		Elt Zeittarif
Datenausfall:	03.02.2022 09:03	466346 kWh	37	
	16.02.2022 13:33	466371 kWh	25	
Korrekturwerte für Zählerstand				
"neuen Zähler 1 einfügen"	03.02.2022 09:18	0 kWh	0	
	16.02.2022 13:03	44948 kWh	44.948	
"neuen Zähler 2 einfügen"	16.02.2022 13:18	446346 kWh	0	
ab hier "alte" Werte	16.02.2022 13:33	466371 kWh	25	
Trafo 2	Feb 22			
Datenpunktname:	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2			
Datenpunkt ID:	2822480			
Datenquelle:	B01'UG1'3p04'MtrHCEW'MtrEI162'EIEg			
	Datum	Zählerstand		Elt Zeittarif
Datenausfall:	03.02.2022 10:31	3597796 kWh	25	
	16.02.2022 13:16	3597805 kWh	9	
Korrekturwerte für Zählerstand				
"neuen Zähler 1 einfügen"	03.02.2022 10:46	0 kWh	0	
	16.02.2022 12:46	44644 kWh	44.644	
"neuen Zähler 2 einfügen"	16.02.2022 13:01	3597796 kWh	0	
ab hier "alte" Werte	16.02.2022 13:33	3597805 kWh	9	

1. ✓
2. ●
3. ○

Messwerk austauschen

Letzter Ablesewert

3.597.796,00 kWh

Letzte Ablesung

03.02.22 10:31

Ableseart

Zählerstand

Maximalwert

Endablesewert*

3.597.796

Neuer Startwert

0

Verdichtung der Werte

Summe

Verteilung der Werte

Linear

Da am 16.02.22 12:46 der Wert von 44.644 kWh noch nicht vorhanden war, wurde dieser unter „Ablesen und editieren“ als neue Ablesung eingetragen. Anschließend wurde der zweite Messwerktausch wie vorab beschrieben angelegt. Hier entspricht der Endablesewert dem Wert 44.644 kWh und der neue Startwert beträgt 3.597.796 kWh. Entsprechend verwendete Werte sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

4.7.2.4 Wasser

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.3 Nutzenergie Wärmeerzeuger

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.3.1 Gaskessel

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.3.2 Hackschnitzel-/Biomassekessel

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.3.3 Blockheizkraftwerk (BHKW)

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.3.4 Wärmepumpe

Die Überprüfung der Wärmepumpe (WP) konnte im Zwischenbericht nicht vorgenommen werden, da entsprechende Zähler fehlten und die Wärmepumpe noch nicht in Betrieb war. Erste Werte mit laufender WP gab es ab Mitte Januar 2022. Bei der Überprüfung der Plausibilität wurde folgendes festgestellt

(siehe x_10_Anhang_Plausibilitätsprüfung/x_PlausibilitätsprüfungWP2022/x_Plau_WP_Vol_strom.xlsx).

Im folgenden Diagramm (Abbildung 6) sind zu sehen:

- Zähler elektrischer Energieverbrauch UV Technik Nord UG1 (zählt u. a. auch die WP): ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Technik (orange)
- Zähler elektrischer Energieverbrauch WP: ELZ_W_N_UG1_WP (schwarz)
- Trendzähler Betriebsart WP: BA_Trnd_N_UG1_WP_IST (grün)



Abbildung 6: Laufzeit und elektrischer Energieverbrauch WP

Es ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Der Bereich der konstanten Werte (1.3.22 – 12.7.22) liegt an einem Zählerausfall und anschließender Mittelwertbildung
- Es zeigt sich am Zähler des elektrischen Energieverbrauchs der WP (schwarz), dass die WP ab Mitte Januar gelaufen ist
- Die Betriebsart der WP (grün) ab Anfang 2020 ist nicht eindeutig nachvollziehbar, zeigt aber ab Mitte Januar 2022 auch ein Laufen der WP
- Der Zähler des elektrischen Energieverbrauchs UV Technik Nord UG1 (orange) zeigt ab Mitte Januar parallel zur WP einen starken Ausschlag

Bei der Analyse der gemessenen Werte (Abbildung 7, 60 min Werte $\Rightarrow$ kWh/60 min = kW) ergeben sich folgende Plausibilitätsüberlegungen:

- Datenblatt WP: Leistungsaufnahme 12,8 kW elt; erzeugte Wärme 56,1 kW, COP 4,4
- ELZ_W_AV_N_UG1_UV_Technik (orange): hier gibt es beim Start der WP einen Anstieg von z. B. 2 kWh auf 11 kWh $\Rightarrow$ delta = 9 kWh; das würde größenordnungsmäßig ca. der elektrischen Leistungsaufnahme der WP (max. 12,8 kW) entsprechen
- ELZ_W_N_UG1_WP (schwarz): hier gibt es nur einen Anstieg von z. B. 0 kWh auf 0,2 kWh $\Rightarrow$ delta = 0,2 kWh; entweder zählt der Zähler ELZ_W_N_UG1_WP nicht den (gesamten) elektrischen Verbrauch der WP oder der Umwandlungsfaktor des Zählers ist nicht korrekt eingestellt (plausibel wäre allerdings ein Faktor von ca. 45? $\Rightarrow$ 0,2 Wh * 45 = 9 kWh). Hier muss noch eine Überprüfung des Zählers vor Ort von der MSR-Firma erfolgen.

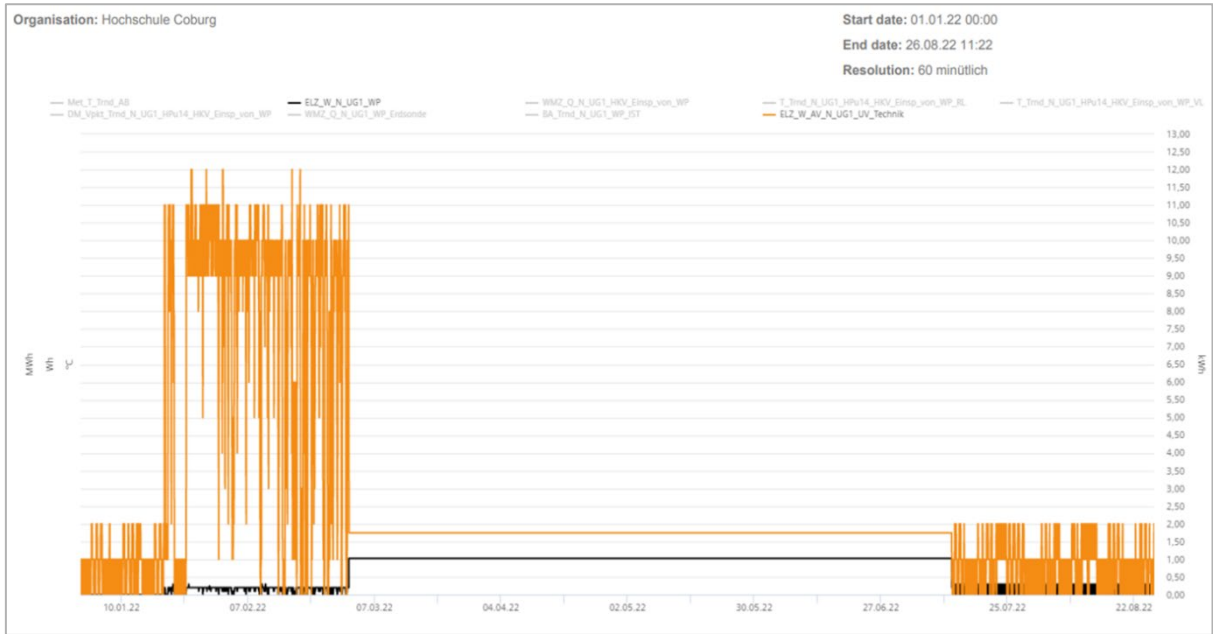


Abbildung 7: Elektrischer Energieverbrauch WP (Auflösung 60 min Werte)

Weiterhin wurden auch die Wärmeseiten der WP (Primärkreis Erdsonden, Sekundärkreis Heizkreis (siehe Abbildung 8)) geprüft und entsprechende Bilanzen durchgeführt (siehe Abbildung 9 und Tabelle 2).

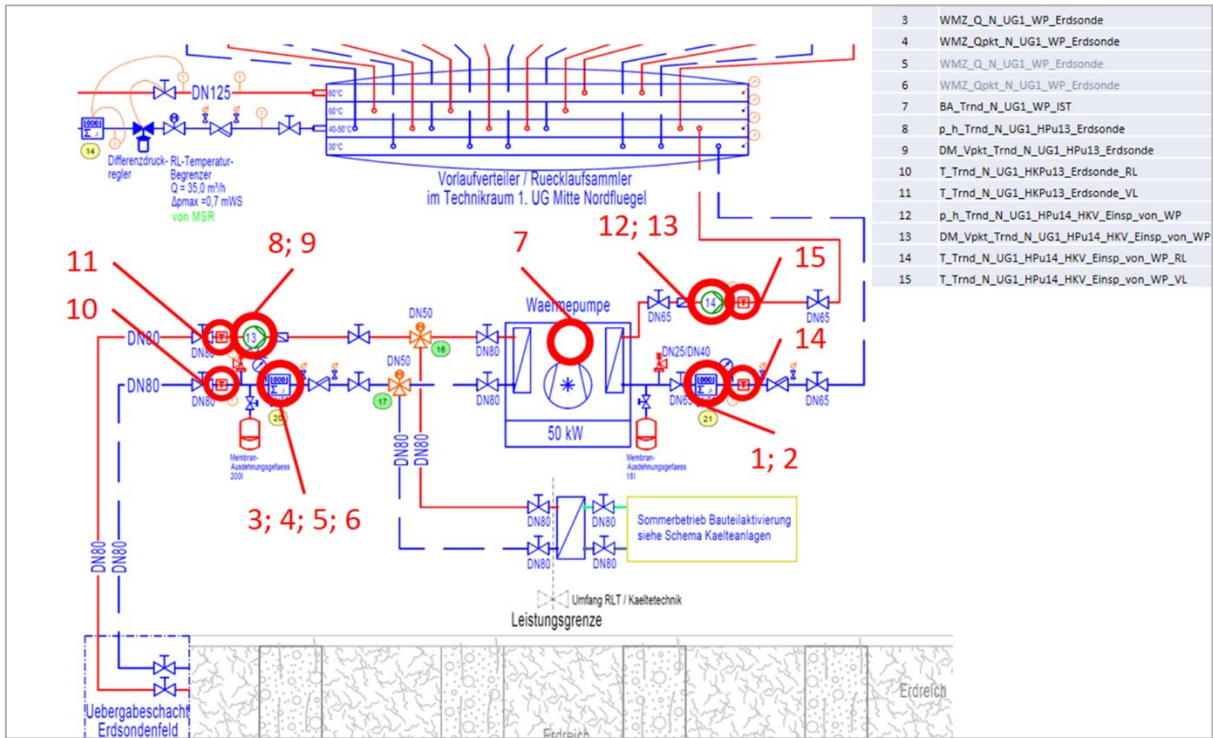


Abbildung 8: Schema WP

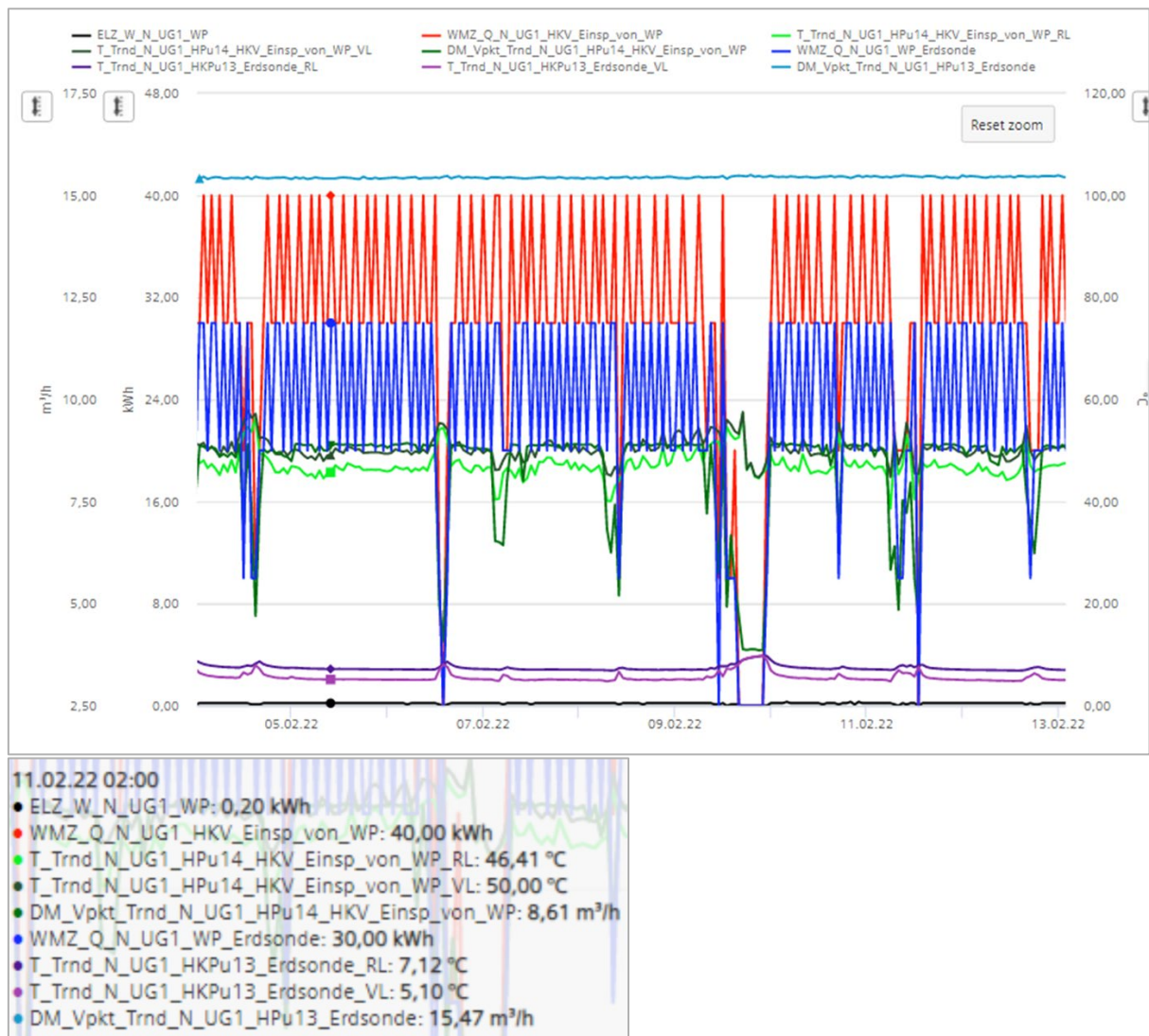


Abbildung 9: Messwerte für Bilanzen Primär- und Sekundärkreis WP

Tabelle 2: Bilanzen Primär- und Sekundärkreis WP

Bilanz WP			
WP_Erdsonde (Primär Kreis) HZg Pumpe 13		gemessen	Datenblatt Sole-Wasser
T_VL	T_Trnd_N_UG1_HKPu13_Erdsonde_VL	5,1 °C	
T_RL	T_Trnd_N_UG1_HKPu13_Erdsonde_RL	7,12 °C	
delta	gerechnet	2,02 K	3 K
V_pkt	DM_Vpkt_Trnd_N_UG1_HPu13_Erdsonde	15,47 m³/h	13,7 m³/h
Q_pkt	gerechnet	36,4 kW	47,8 kW
Q	WMZ_Q_N_UG1_WP_Erdsonde	30,0 kWh/h	
Einsp_von_WP in Heizkreis (Sekundär Kreis) HZg Pumpe 14		gemessen	Datenblatt Sole-Wasser
T_VL	T_Trnd_N_UG1_HPu14_HKV_Einsp_von_WP_VL	50,00 °C	
T_RL	T_Trnd_N_UG1_HPu14_HKV_Einsp_von_WP_RL	46,41 °C	
delta	gerechnet	3,59 K	5 K
V_pkt	DM_Vpkt_Trnd_N_UG1_HPu14_HKV_Einsp_von_WP	8,61 m³/h	9,8 m³/h
Q_pkt	gerechnet	36,0 kW	57,0 kW
Q	WMZ_Q_N_UG1_HKV_Einsp_von_WP	40,0 kWh/h	

Es ergeben sich folgende Plausibilitätsüberlegungen bei der Analyse der gemessenen Werte (Abbildung 9 und Tabelle 2, 60 min Werte $\Rightarrow$ kWh/60 min = kW):

- Die von der WP erzeugte Wärme (WMZ_Q_N_UG1_HKV_Einsp_von_WP) beträgt z. B. 40 kWh/60min, was bei der Nennwärmeleistung der WP (56,1 kW) größenordnungsmäßig plausibel ist
- Auch alle anderen Werte der Wärmeseiten der WP passen größenordnungsmäßig im Vergleich mit Werten aus dem Datenblatt der WP
- Zu beachten war allgemein die richtige Einstellung der Zähler für die Durchflussmessung (DM_Vpkt_Trnd_.... und WMZ_Vpkt ...). Hier muss im Navigator (Datenpunkt bearbeiten) bei „Verdichtung der Werte“ „Durchschnitt“ (und nicht „Summe“) eingestellt sein.
- Zu überprüfen war weiterhin die plausible Einstellung der Arbeitszähler (Elt, Wärme, Kälte) auf die richtige Einheit (Wh, kWh, MWh).
- Es zeigte sich, dass einige Zähler den abzudeckenden Messbereich nur grob auflösen und so nur schwer genauere Auswertungen durchgeführt werden können. (z. B. haben WMZ_Q_N_UG1_WP_Erdsonde und WMZ_Q_N_UG1_HKV_Einsp_von_WP nur eine Auflösung von 10 kWh und sind deshalb eigentlich für den MWh-Bereich geeignet)

An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass für die Erdsonden ein normaler 1-Richtungs-Wärmemengenzähler verbaut wurde. Je nach Betrieb der Sonden als Kältequelle für die BTA oder als Wärmequelle für die Wärmepumpe wäre aber ein 2-Richtungs-Kälte-/Wärmemengenzähler notwendig. Da die Sonden mit dem Medium Sole betrieben werden, ist ein entsprechender Zähler erheblich teurer (ca. 4500 €) als ein Zähler für Wasser (ca. 2500 €). Natürlich wird ein 2-Richtungszähler nur benötigt, wenn im Winter die Erdsonden für die Wärmepumpe und im Sommer die Erdsonden direkt für die BTA genutzt werden. Allerdings wurden die Erdsonden nur einmal (im Sommer 2019) kurz für die BTA genutzt und danach nicht mehr verwendet, da nach kurzer Zeit kein Kälteentzug mehr möglich war. So stellte sich die Frage, ob die Erdsonden grundsätzlich überhaupt noch für die BTA (Kühlung im Sommer) verwendet werden sollen. Falls nein, ist eigentlich kein 2-Richtungs-Kälte-/Wärmemengenzähler notwendig. Die Wärmepumpe ging erst ab Mitte Januar 2022 in Betrieb (siehe oben).

Für eine entsprechende Entscheidung, ob ein Zweirichtungszähler benötigt wird, sollte bei Kühlbedarf im Sommer eine Überprüfung der möglichen Entzugsleistung der Sonden durch die entsprechende Firma erfolgen (z. B. sollten die VL/RL-Temperaturen aufgezeichnet werden) und dann eine Entscheidung bzgl. des Zählers getroffen werden. Unter Umständen ergibt sich eine Verbesserung der Entzugsleistung durch die wechselnde Nutzung der Sonden als Wärmequelle und Wärmesenke (Regeneration).

4.7.4 Nutzenergie Kälteerzeuger

4.7.4.1 Kompressionskältemaschine (KKM)

Im Zwischenbericht wurde der Wirkungsgrad bzw. die Leistungszahl der Kompressionskältemaschine (KKM) über das Verhältnis Nutzenergie (Kältemittelzähler KMZ_Q_EZ_KKM) zu eingesetzter Endenergie (Elektrozähler ELZ_W_EZ_KKM) überprüft. Der ermittelte Wert von 8,74 erschien zu hoch. Die Leistungszahl sollte bei einer KKM bei ca. 3 bis 6 liegen.

Nachdem dies im Zwischenbericht GHL festgestellt wurde, wurde der Zähler ELZ_W_EZ_KKM (EZ'3p01'MtrHCE'MtrEI04'EIEg) von der Firma Siemens im Juli 2021 nochmals überprüft. Es zeigte sich, dass der Anschluss L2 am Zähler spannungslos war (defekte Sicherung 23F3, mehrfacher Ausfall der Wandlersicherungen, händische Änderungen im Schaltplan). Außerdem stimmte wahrscheinlich das eingestellte Wandlerverhältnis am Zähler nicht (Wandler 250:5, Zähler 100:5). Der Fehler (interner Verdrahtungsfehler) wurde am 07.07.21 um 9:30 behoben und die Werte überprüft. Für die KKM gibt Carrier (siehe Abbildung 6) an:

- Leistungszahl (ESEER) 5,58 kW/kW
- max. Kälteerzeugung 307 kW; Leistungsaufnahme 58 kW; „Wirkungsgrad“ = 5,30
- Teillast Kälteerzeugung 154 kW; Leistungsaufnahme 25 kW; „Wirkungsgrad“ = 6,21

Detaillierter Leistungsbericht für 30XW 254-734 12-6 33-36 Projekt: Lichtenfels Klinik Ersatz-NB Vorbereitet durch : Hendrik Hirschmann 08.TT.JJJJ 02:28				
Europäischer Teillast Wirkungsgrad ESEER: 5,58 kW/kW				
Geräteleistung				(1)
Prozent Vollast Kühlleistung, %	100	75	50	25
Prozent Vollast Leistungsaufnahme, %	100,0	70	43	31
Entladungssequenz	Vorgabe	Vorgabe	Vorgabe	Vorgabe
Kühlleistung, kW	307,3	230,4	153,6	76,8
Geräte Leistungsaufnahme, kW	57,9	40,4	24,7	17,8
Wirkungsgrad kW/kW	5,30	5,71	6,21	4,31
Verdampfer Daten				
Flüssigkeitseintrittstemperatur, °C	12,0	10,7	9,5	8,2
Flüssigkeitsaustrittstemperatur, °C	7,0	7,0	7,0	7,0
Wasser Volumenstrom, l/s	14,69	14,69	14,69	14,69
Verunreinigungsfaktor, (sqm-K)/kW	0.000	0.000	0.000	0.000
Verflüssiger Daten				
Flüssigkeitseintrittstemperatur, °C	30,0	26,0	22,0	18,0
Flüssigkeitsaustrittstemperatur, °C	35,0	29,7	24,4	19,3
Wasser Volumenstrom, l/s	17,45	17,45	17,45	17,45
Verunreinigungsfaktor, (sqm-K)/kW	0.000	0.000	0.000	0.000

Die angegebenen Werte sind interpoliert und nicht unter Labor Bedingungen gemessen.

(1) Compressor cycling is expected. Stated performances are average.

Abbildung 10: Datenblatt KKM

Bei der zum Zeitpunkt der Überprüfung (07.07.22) gemessenen Auslastung der KKM ergab sich mit der gemessenen Leistung der Kälteerzeugung von ca. 150 kW und der elektrischen Leistungsaufnahme von ca. 30 kW ein „Wirkungsgrad“ von ca. 5. Dieser Wert erscheint

realistisch. Daraus ergeben sich aber folgende Konsequenzen. Alle Daten des Zählers ELZ_W_EZ_KKM bis zum 07.07.21 waren falsch und können in den entsprechenden folgenden Bilanzbetrachtungen „2021“ eigentlich nicht sinnvoll verwendet werden. Auch die alten Bilanzbetrachtungen „2020“ müssten eigentlich entsprechend korrigiert werden. Um zumindest die Jahresbilanz vom 1.3.21 bis zum 28.2.22 sinnvoll durchführen zu können, wurden deshalb diese Werte (01.03.21 bis 07.07.21) mit dem Faktor 4 in der Navigatordatenbank korrigiert (Abbildung 11).

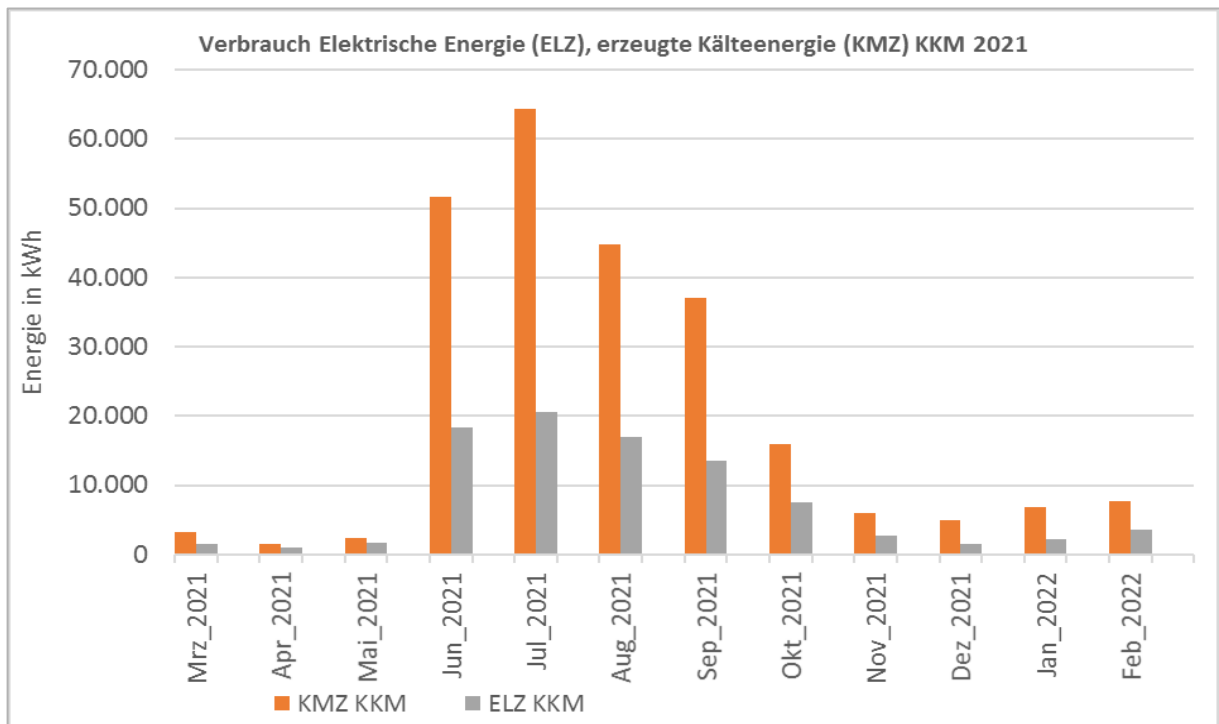


Abbildung 11: KKM: Verbrauch elektrische Energie (ELZ), erzeugte Kälteenergie (KMZ) „2021“. (Die Werte des elektrischen Energieverbrauchs stimmen)

Die Daten vor dem 1.3.21 wurden nicht in der Navigatordatenbank korrigiert, um konsistente Daten mit den entsprechenden alten Auswertungen beizubehalten (Abbildung 12).

(Siehe x_12_Anhang_Nutzenergie_Erzeuger/x_Nutzenergie_Kälte/x_Nutzenergie_KKM/x_Korr_KKM_Juli_2021.xlsx)

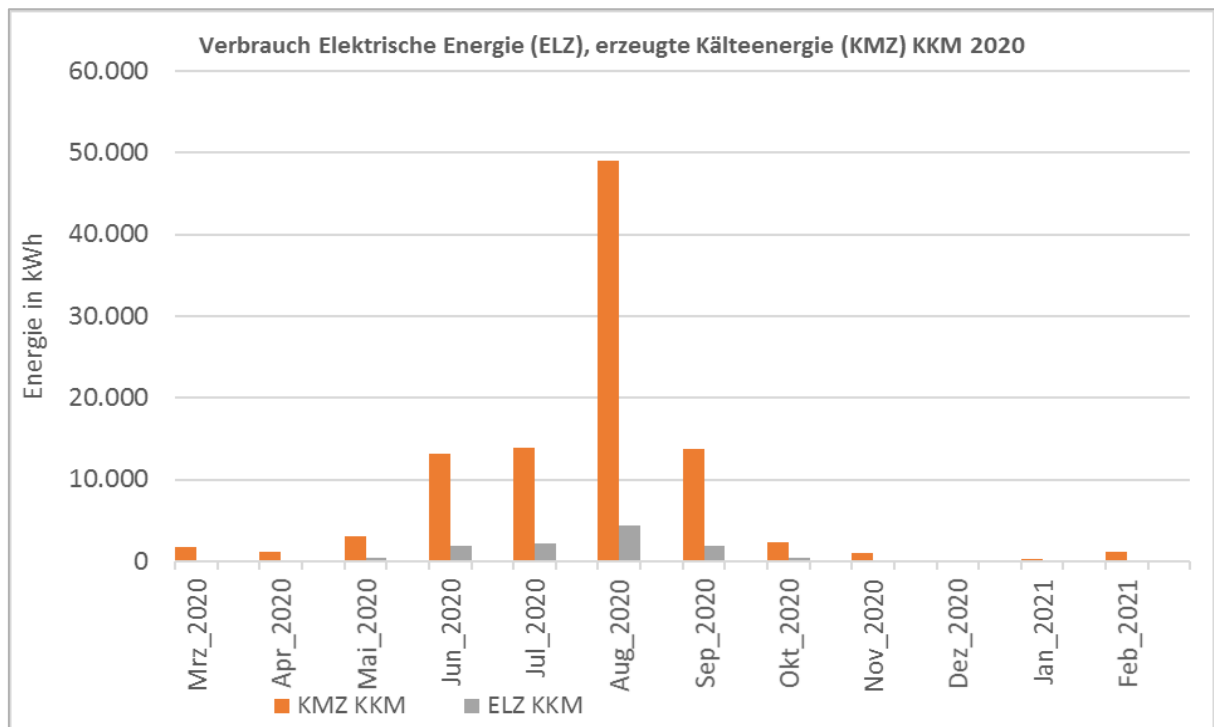


Abbildung 12: KKM: Verbrauch elektrische Energie (ELZ), erzeugte Kälteenergie (KMZ) „2020“. (Die Werte des elektrischen Energieverbrauchs stimmen nicht, wegen eines Zählerfehlers!)

4.7.4.2 Absorptionskältemaschine (AKM)

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.5 Nutzenergie Elektroenergieerzeuger

Die durch BHKWs erzeugte elektrische Energie (Strom) (Nutzenergie) wurde in den für das Jahr 2020 verwendeten Zählern

- ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ
- ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ

erfasst. Dort war der nicht messtechnisch erfasste Verbrauch der Energiezentrale (EZ) enthalten. Seit Feb. 2021 stehen neue Zähler, die rein den von den BHKWs erzeugten Strom messen, zur Verfügung und wurden ab 1.3.21 in den Bilanzen verwendet:

- ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW1
- ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW2

Die Differenz zwischen alten und neuen Zählern entspricht dem elektrischen Energieverbrauch der Energiezentrale (EZ).

4.7.5.1 Photovoltaikanlage (PV)

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.5.2 Notstromaggregat (NSA)

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.6 Nutzenergie Wärmeverbraucher

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.7 Nutzenergie Kälteverbraucher

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.7.8 Nutzenergie Elektroenergieverbraucher

Am 6.2.20 wurden (u.U. im Rahmen von Wartungsarbeiten) Änderungen an Elektrozählern vorgenommen. So führte eine Umstellung der vor den Musterraumzählern liegenden Zähler ELZ_..._N_OG2_UV_Bettenstation um den Faktor 10 zu sinnvollerem Zählerwerten. Ein 60-minütiger Mittelwert der Arbeit (z.B. 4kWh/60 min = 4 kW) entspricht jetzt ca. der gemessenen mittleren Leistung (z.B. 4,28 kW) (siehe ca. übereinstimmenden Verlauf der Kurven von Arbeits- und Leistungszählern ab dem 06.02.20 in Abbildung 13).

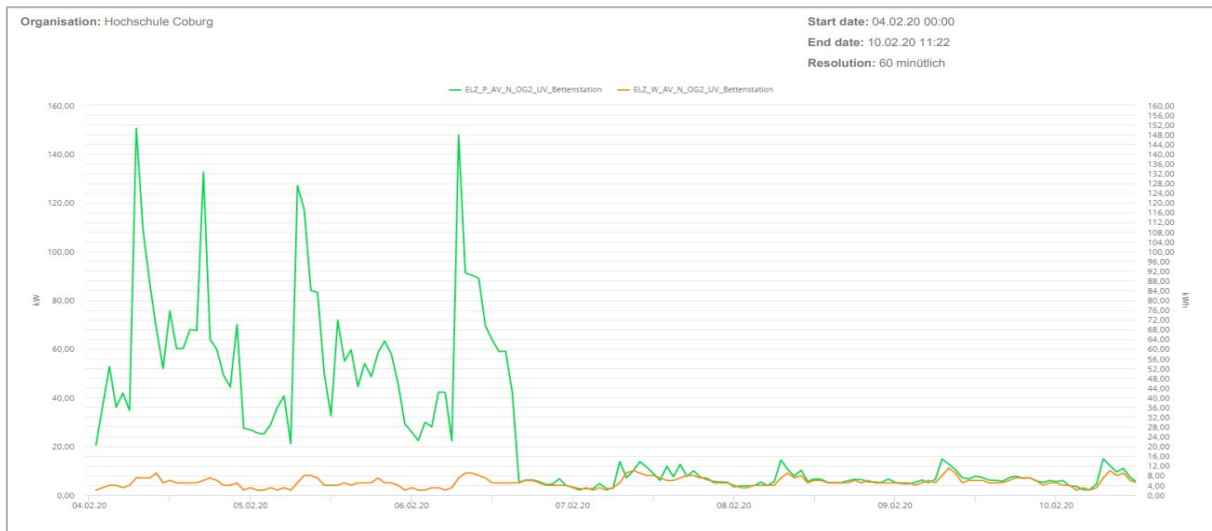


Abbildung 13: Vergleich Arbeitszähler und Leistungszähler elektrische Energie OG2 Bettenstation

Bei den Elektroenergie-Zählern der Musterräume ELZ_..._..._N_OG2_MustR_N... gab es seit dem 6.2.20 auch eine entsprechende Änderung bei den Leistungszählern (Faktor 10) wie bei den Bettenstationen (Abbildung 14). Leider stellte sich heraus, dass ein Vergleich zwischen Arbeit und Leistung aufgrund der geringen Verbräuche und der nicht passenden Auflösung der Zähler (Angabe der Arbeit in mindestens 1 kWh, Angabe der Leistung in mindestens 0,01 KW) nicht wie bei der Bettenstation möglich war. Auf alle Fälle scheint die Änderung seit dem 6.2.20 hier in die falsche Richtung gegangen zu sein. Da bei den Auswertungen im Wesentlichen nur die Arbeitszähler betrachtet werden, wurde die Problematik mit den Leistungszählern hier nicht weiterverfolgt.

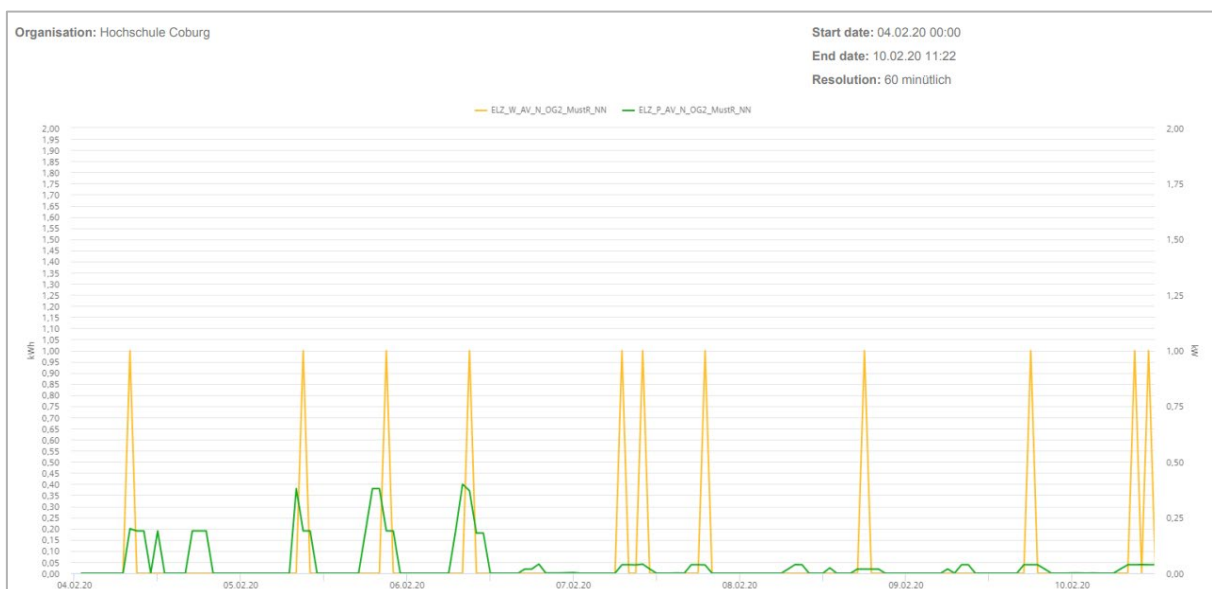


Abbildung 14: Vergleich Arbeitszähler und Leistungszähler elektrische Energie Musterräume

4.7.9 Wasserverbraucher

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.8 Ergebnisse

Aufgrund der Verlängerung des Forschungsvorhabens wurde eine Auswertung einer zweiten Messperiode möglich. Für den Ersatzneubau GHL werden im Folgenden entsprechende Messwerte in Anlehnung an die erste Messperiode 01.03.20 - 28.02.21 („2020“) diesmal vom 01.03.21 - 28.02.22 („2021“) ausgewertet. Für das Jahr 2021 werden wieder Kennwerte nach VDI 3807 gebildet. Weiterhin erfolgen verschiedene Vergleiche der gemessenen Werte z. B. mit den berechneten Werten des Energieausweises bzw. der DIN V 18599. Abschließend folgt die Darstellung von ausgewählten Details und eine kurze Darstellung des geplanten Langzeitmonitorings.

4.8.1 Energieeffizienz von Krankenhäusern

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.8.2 Vergleich mit empirischen Kennwerten

4.8.2.1 VDI 3807 für Krankenhaus alt

Unverändert → siehe Zwischenbericht

4.8.2.2 VDI 3807 für GHL

Für den Ersatzneubau GHL wurden für das Jahr 2021 wieder Kennwerte nach VDI 3807 gebildet. Es wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- Entsprechende Messwerte wurden in Anlehnung an die Vorjahresperiode 01.03.20 - 28.02.21 diesmal vom 01.03.21 - 28.02.22 ausgewertet.
- Die Kennwertbildung für die thermische Energie wurde nach VDI 3807 auf Ebene der Endenergie durchgeführt. Die Abrechnung der Hackschnitzel erfolgt aber über die erzeugte Wärmemenge (Nutzenergie). Diese wurde hier wieder mit einem geschätzten Wirkungsgrad von 0,88 in Endenergie umgerechnet.
- Der Gasverbrauch für die BHKWs (Endenergie) wurde inklusive der Verluste wieder entsprechend auf Strom- und Wärmeerzeugung aufgeteilt. Mit
 - durch BHKWs verbrauchtes Gasvolumen in Norm m^3 (Umrechnung in Endenergie mit Heizwert Gas = $10,205 \text{ kWh/m}^3$; siehe Zwischenbericht Kapitel 4.7.2.1; Annahme: ca. gleichbleibender mittlerer Brennwert im Normzustand lt. Rechnungen $11,3 \text{ kWh/m}^3$)
 - GZ_V_EZ_BHKW1
 - GZ_V_EZ_BHKW2

- durch BHKWs erzeugte elektrische Energie (Strom) (Nutzenergie) (Verwendung neuer Zähler seit 1.3.21, siehe Kapitel 4.7.5)
 - ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW1
 - ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW2
- durch BHKWs erzeugte Wärme (Nutzenergie)
 - WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1
 - WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2

wurden die BHKW-Verluste etc. bestimmt.

(siehe auch x_14_Anhang_Kennwerte\x_Kennwerte_GHL_2022.xlsx, Blatt ELZ 1301 bis ELZ 1305)

- Aus der Energiezentrale (EZ) wird neben dem Ersatzneubau GHL (KKH) auch das Krankenhaus Bestand (KHB), die Absorptionskältemaschine (AKM) und die Energiezentrale (EZ) selbst mit Wärme versorgt. Für die entsprechenden Verbraucher gibt es Verbrauchsmesswerte (Nutzenergie). Zur weiteren Berücksichtigung wurden hier die prozentualen Anteile der verbrauchten Nutzenergien gebildet (2021: KKH 53,7 %, KHB 19,7 %, AKM 25,5 %, EZ 1,0 %). 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 für die Kälteerzeugung wird beim Verbrauchskennwert Strom berücksichtigt.
- Beim Verbrauchskennwert Strom wurden der Strombezug vom Versorger (Trafo 1, Trafo 2), die Eigenerzeugung (BHKWs, PV, NEA) und der theoretische Stromverbrauch für die Kälte der AKM berücksichtigt. Bei der Auswertung der Periode 2021 ergaben sich Probleme bei den Zählern ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1 und ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2, die entsprechend berücksichtigt wurden (siehe Kapitel 4.7.2.3).
- Im betrachteten Zeitraum lief die elektrisch betriebene Wärmepumpe nicht. 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 VDI 3807-Kennwerte für das GHL ist in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellt (siehe x_14_Anhang_Kennwerte\x_Kennwerte_GHL_2022.xlsx, Blatt GHL VDI 3807 EKW 3_21-3_22).

Tabelle 3: Bildung der Jahres-Verbrauchskennwerte Strom und Wasser für das GHL

Strom			
Strombezug/-erzeugung (Endenergie)			
Strombezug Trafo1	kWh/a	868.445	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1
Strombezug Trafo2	kWh/a	809.887	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2
Stromerzeugung PV-Anlage	kWh/a	105.641	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_PV_Erzeugung
Stromerzeugung BHKW1	kWh/a	843.784	ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW1
Stromerzeugung BHKW2	kWh/a	848.484	ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW2
Stromerzeugung Netzersatzanlage (NEA)	kWh/a	2.394	ELZ_W_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA
Summe Strombezug/-erzeugung (Endenergie)	kWh/a	3.478.635	
Berücksichtigung Kälte von AKM bei Strom			
Kälteerzeugung AKM (Nutzenergie)	kWh/a	728.040	KMZ_Q_EZ_AKM
Leistungszahl KKM (geschätzt)		4,0	
theoretisch bei Erzeugung durch KKM benötigter Strom (Endenergie)	kWh/a	182.010	
Summe Strombezug/-erzeugung incl. AKM (Endenergie)	kWh/a	3.660.645	
Verbrauchskennwert Strom	kWh/(Bett*a)	13.263	
(Verbrauchskennwert Strom)	kWh/(m²*a)	128	
Wasser			
Wasserverbrauch GHL	m³	17.139	WZ_V_KHH_gesamt
Verbrauchskennwert Wasser	l/(Bett*a)	62.098	
(Verbrauchskennwert Wasser)	l/(m²*a)	602	

Tabelle 4: Bildung des Jahres-Verbrauchskennwerts Heizenergie (Wärme) für das GHL nach VDI 3807 (Zeitraum 01.03.21 - 28.02.22)

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	1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45			
Wärme				
Biomasse (Hackschnitzel)				
Biomassekessel (BioMK)				
Wärmeerzeugung BioMK (Nutzenergie)	kWh/a	1.529.990	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK	
eta (geschätzt)		0,88		
BioMK (Endenergie berechnet)	kWh/a	1.738.625		
Gas				
Heizwert Gas =	kWh/m³	10,205		
Gaskessel 1600kW				
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW	Nm³/a	2.955	GZ_V_EZ_GasK_1600kW	
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW (Endenergie)	kWh/a	30.157		
Wärmeerzeugung Gaskessel 1600kW (Nutzenergie)	kWh/a	25.040	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW	
Wirkungsgrad		0,83		
Gaskessel 560kW				
Gasverbrauch Gaskessel 560kW	Nm³/a	83.939	GZ_V_EZ_GasK_560kW	
Gasverbrauch Gaskessel 560kW (Endenergie)	kWh/a	856.560		
Wärmeerzeugung Gaskessel 560kW (Nutzenergie)	kWh/a	784.290	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW	
Wirkungsgrad		0,92		
BHKW 1				
Gasverbrauch BHKW	m³/a	253.704	GZ_V_EZ_BHKW1	
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	2.588.933	100%	
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	843.784	32,6% ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW1	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		36,8%		
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.450.100	56,0% WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		63,2%		
Stromkennzahl		0,58		
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	295.049	11,4%	
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	108.531	(mit Jahreswerten gemittelt)	
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	186.518	(mit Jahreswerten gemittelt)	
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	952.315		
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.636.618		
BHKW 2				
Gasverbrauch BHKW	m³/a	250.575	GZ_V_EZ_BHKW2	
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	2.556.999	100%	
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	848.484	33,2% ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW2	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		37,4%		
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.421.650	55,6% WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		62,6%		
Stromkennzahl		0,60		
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	286.864	11,2%	
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	107.218	(mit Jahreswerten gemittelt)	
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	179.646	(mit Jahreswerten gemittelt)	
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	955.703		
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.601.296		
Wärmeerzeugung Gaskessel + BHKWs (Endenergie)	kWh/a	4.124.631		
Biomasse + Gas				
Wärmeerzeugung Biomasse u. Gas (Endenergie)	kWh/a	5.863.256		
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):				
Krankenhaus Bestand (KHB)	kWh/a	1.027.860	19,7%	WMZ_Q_EZ_HKV_KHB
Ersatzneubau GHL (KKH)	kWh/a	2.803.550	53,7%	WMZ_Q_EZ_HKV_KHH
Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.331.420	25,5%	WMZ_Q_EZ_HKV_AKM_HeizW
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	kWh/a	53.603	1,0%	1,0% WMZ_Q_EZ_HKV_statHK_EZ
Summe Nutzenergie	kWh/a	5.216.433	100,0%	54,8%
Aufteilung Wärmeverbrauch gerechnet (Endenergie):				
Krankenhaus Bestand (KHB)	kWh/a	1.155.312		
Ersatzneubau GHL (KKH)	kWh/a	3.151.183		
Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.496.512		
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	kWh/a	60.250		
Summe Endenergie	kWh/a	5.863.256		
Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ) (Endenergie)	kWh/a	3.211.432	(nur Berücksichtigung von KKH und EZ!)	
Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme)	kWh/(Bett*a)	11.636		
(Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme))	kWh/m²*a	112,72		
(Anmerkung: keine Berücksichtigung der Wärmepumpe, die in der betrachteten Zeit nicht lief)				

Tabelle 5: Verbrauchskennwerte GHL (01.03.21 - 28.02.22 und 01.03.20 - 28.02.21) im Vergleich (% Abweichung) zu VDI 3807 Mittel- und Richtwerte

		01.03.21 - 28.02.22		01.03.20 - 28.02.21	
			Abweichung		Abweichung
VDI 3807 Richtwert Heizenergie (Wärme) KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	14.252	-18,4%	14.252	-18,5%
VDI 3807 Mittelwert Heizenergie (Wärme) KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	20.129	-42,2%	20.129	-42,3%
Verbrauchskennwert Heizenergie (Wärme) GHL	kWh/(Bett*a)	11.636		11.613	
VDI 3807 Richtwert Strom KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	3.775	251,3%	3.775	244,0%
VDI 3807 Mittelwert Strom KKHs 251 bis 450 Betten	kWh/(Bett*a)	5.529	139,9%	5.529	134,8%
Verbrauchskennwert Strom GHL	kWh/(Bett*a)	13.263		12.985	
VDI 3807 Richtwert Wasser KKHs 251 bis 450 Betten	l/(Bett*a)	97.170	-36,1%	97.170	-36,6%
VDI 3807 Mittelwert Wasser KKHs 251 bis 450 Betten	l/(Bett*a)	131.607	-52,8%	131.607	-53,2%
Verbrauchskennwert Wasser GHL	l/(Bett*a)	62.098		61.626	

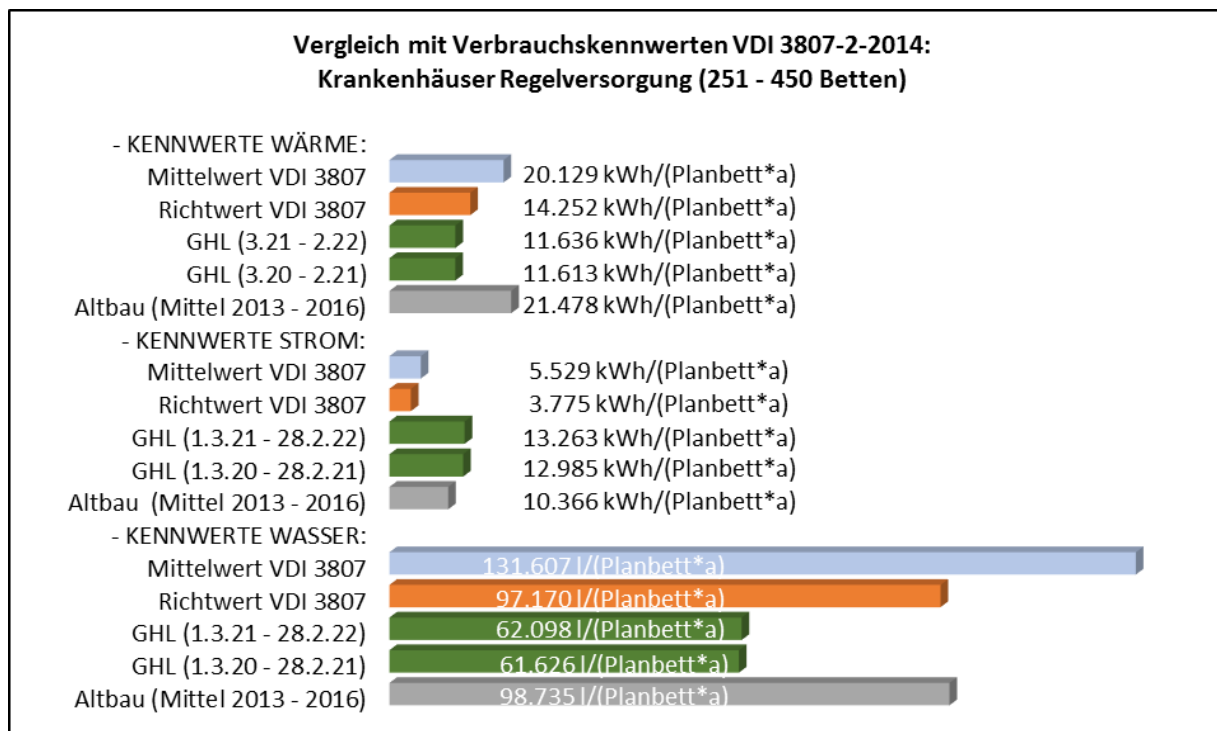


Abbildung 15: Verbrauchskennwerte GHL (01.03.21 - 28.02.22 und 01.03.20 - 28.02.21) im Vergleich zu VDI 3807 Mittel- und Richtwerten

Im Vergleich mit den Vorjahreswerten (siehe Tabelle 5, Abbildung 15) zeigt sich, dass die Kennwerte Wärme, Strom und Wasser ca. gleichgeblieben sind. Dies lässt auf einen ähnlichen Betrieb in den 2 Jahren schließen, der allerdings genau in den Coronazeitraum fällt. Inwieweit sich bei „normaler“ Nutzung oder anderem Betrieb der Anlagen stärkere Änderungen zeigen werden, bleibt abzuwarten. Während wieder eine deutliche Unterschreitung der Wärme- und Wasser Richtwerte zu erkennen ist, zeigt sich auch wieder eine deutliche Überschreitung der Strom Mittel- und Richtwerte.

4.8.2.3 Vergleich mit Energieverbrauchsausweis-Vergleichswerten

Für bestehende Nichtwohngebäude kann auf Grundlage des erfassten (witterungsbereinigten) Energieverbrauchs (aus Energie-Abrechnungen aus einem zusammenhängenden Zeitraum von mindestens 36 Monaten) ein Energie**verbrauchsausweis** (statt eines berechneten Energie**bedarfs**ausweises) ausgestellt werden. Der Vergleich der gemessenen (genauer gesagt Abrechnungs-) Werte erfolgt über Vergleichswerte für den Endenergieverbrauch Wärme und Strom.

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.“ (Wärme für Kälteerzeugung durch Sorptionskälteanlagen wird im Verbrauchswert Wärme mitberücksichtigt.)

Der Energieanteil der Heizung wurde für das GHL wieder entsprechend ermittelt und witterungsbereinigt (allerdings lagen für die ersten 2 Monate 2022 noch keine Klimafaktoren vor, deshalb wurde der Faktor des Jahres 2021 verwendet).

Zur Bestimmung der elektrischen Energieverbrauchsanteile des GHL wurden hier, soweit möglich, die vorhandenen Zähler entsprechend den Verbrauchern/Bereichen zugeordnet (siehe x_17_Anhang_Ergebnisse\x_elektrischer_Energieverbrauch\x_Bilanz_ELT_gesamt_Monatsbericht_Vergleich_21_22.xlsm). Für den betrachteten Zeitraum „2021“ ergab sich eine Aufteilung des gesamten Stromverbrauchs in 58,2 % zu berücksichtigende Verbraucher und 41,8 %, die nicht berücksichtigt werden müssen (Arbeitshilfen, diverse Technik, med. Großgeräte, ...) (siehe Abbildung 16). Der niedrigere Anteil bei Kühlung „2020“ ist u. a. auf den defekten Elektrozähler der KKM zurückzuführen (siehe Kapitel 4.7.4.1). Die Ermittlung der Verbrauchskennwerte ist in Tabelle 6 und Tabelle 7 dargestellt (siehe x_14_Anhang_Kennwerte\x_Kennwerte_GHL_2022.xlsx, Blatt GHL EnEV EKW 3_21-3_22).

Im Vergleich mit den Vergleichswerten nach EnEV 2014 (Tabelle 8, Abbildung 17) zeigt sich, dass der Kennwert Wärme des GHL um ca. 5 % („2021“) bis 12 % („2020“) über dem Vergleichswert „Krankenhaus 251 bis 1000 Betten“, aber ca. 22 % („2020“) bis 26 % („2021“) unter dem Vergleichswert „Krankenhaus u. Uniklinik für Akutkranke“ liegt. Beim Kennwert Strom stimmen Vergleichswert „Krankenhaus 251 bis 1000 Betten“ und Kennwert Strom GHL ca. überein (+/-2 %), während der Vergleichswert „Krankenhaus u. Uniklinik für Akutkranke“ um 35 % („2021“) bis 37 % („2020“) 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.

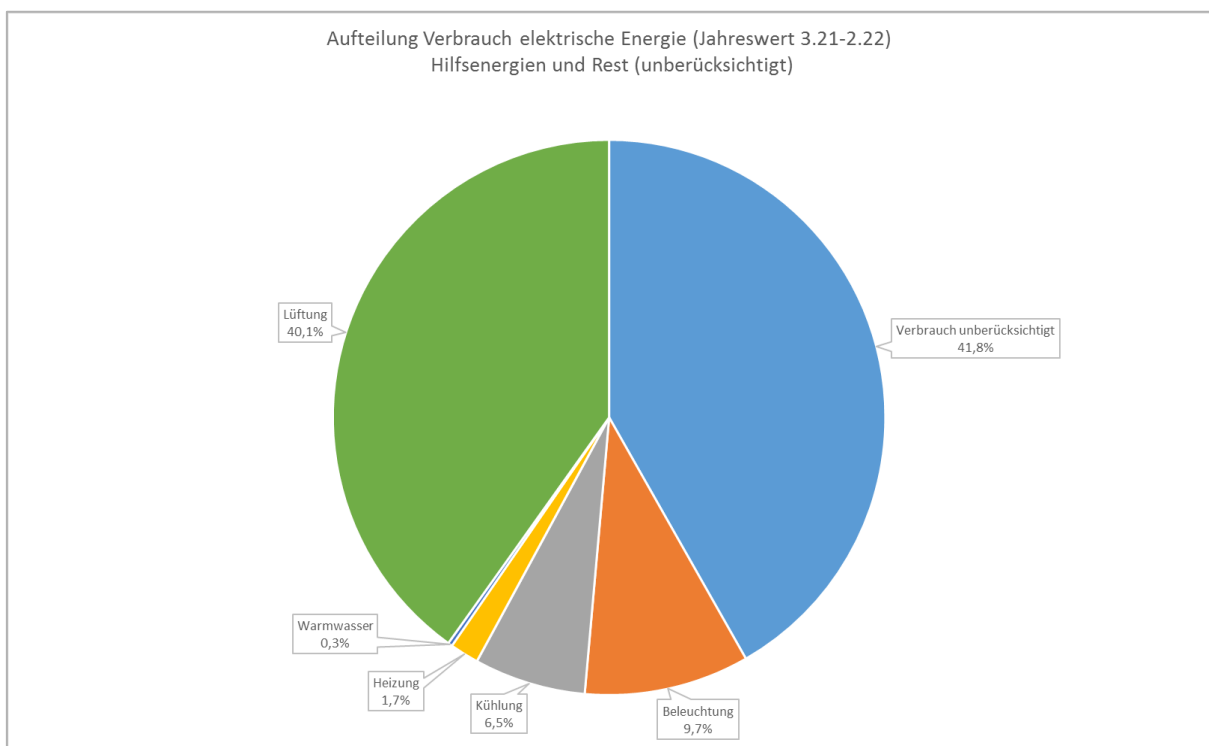
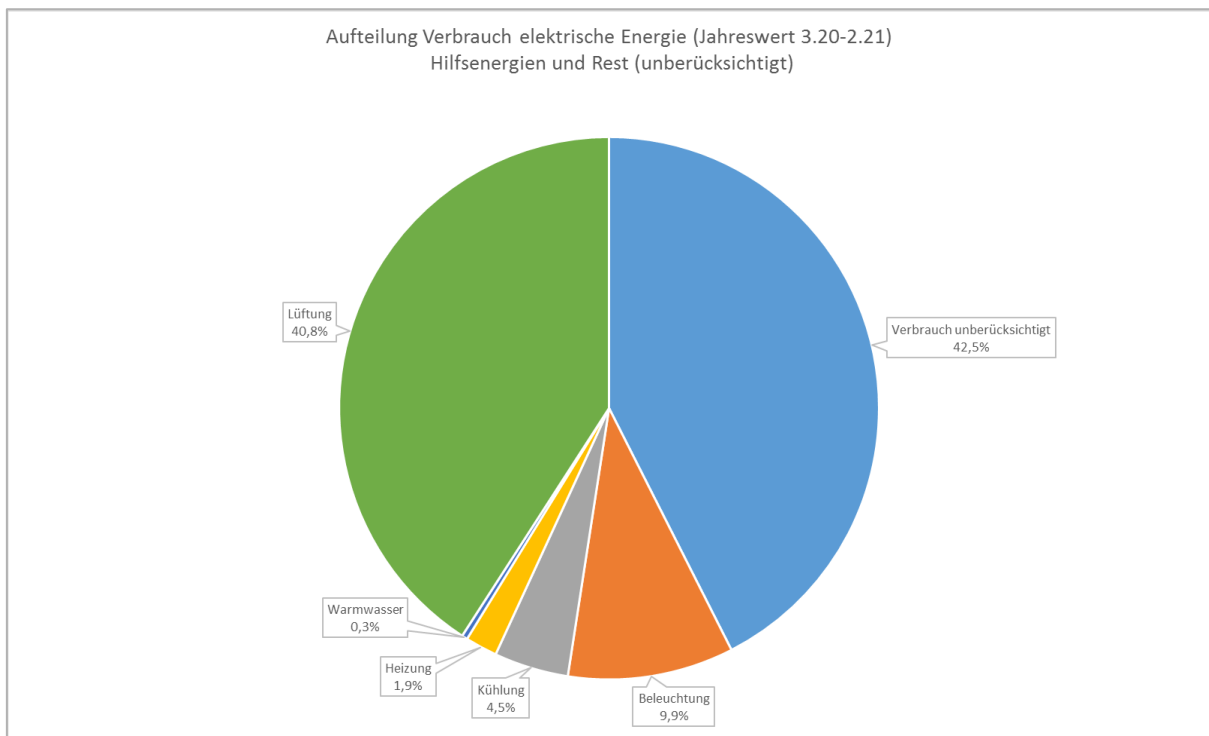


Abbildung 16: Aufteilung elektrischer Endenergieverbrauch incl. Hilfsenergien, Beleuchtung und Rest (= Verbrauch unberücksichtigt) (siehe x_17_Anhang_Ergebnisse\x_elektrischer_Energieverbrauch\x_Bilanz_ELT_gesamt_Monatsbericht_Vergleich_21_22.xlsm)

Tabelle 6: Verbrauchskennwert Wärme GHl (Methode Verbrauchsausweis EnEV) „2021“

Jahres-Verbrauchskennwerte Neubau Green Hospital Lichtenfels (GHL)					
NGF _E beheizbare Nettogrundfläche	m²	24.502	aus Energiebedarfsausweis (wegen Vergleichbarkeit)		
Anzahl Planbetten		276			
betrachteter Zeitraum Jahr	1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45				
Wärme					
Biomasse (Hackschnitzel)					
Biomassekessel (BioMK)					
Wärmeerzeugung BioMK (Nutzenergie)	kWh/a	1.529.990	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BioMK		
eta Wirkungsgrad (geschätzt)		0,88			
BioMK (Endenergie berechnet)	kWh/a	1.738.625			
Gas					
Heizwert Gas =	kWh/m³	10,205			
Gaskessel 1600kW					
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW	Nm³/a	2.955	GZ_V_EZ_GasK_1600kW		
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW (Endenergie)	kWh/a	30.157			
Wärmeerzeugung Gaskessel 1600kW (Nutzenergie)	kWh/a	25.040	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_1600kW		
Wirkungsgrad (Nutzenergie/Endenergie)		0,83			
Gaskessel 560kW					
Gasverbrauch Gaskessel 560kW	Nm³/a	83.939	GZ_V_EZ_GasK_560kW		
Gasverbrauch Gaskessel 560kW (Endenergie)	kWh/a	856.560			
Wärmeerzeugung Gaskessel 560kW (Nutzenergie)	kWh/a	784.290	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_GasK_560kW		
Wirkungsgrad (Nutzenergie/Endenergie)		0,92			
BHKW 1					
Gasverbrauch BHKW	m³/a	253.704	GZ_V_EZ_BHKW1		
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	2.588.933	100%		
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	843.784	32,6%	ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW1	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		36,8%			
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.450.100	56,0%	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		63,2%			
Stromkennzahl		0,58			
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	295.049	11,4%		
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	108.531	(mit Jahreswerten gemittelt)		
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	186.518	(mit Jahreswerten gemittelt)		
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	952.315			
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.636.618			
BHKW 2					
Gasverbrauch BHKW	m³/a	250.575	GZ_V_EZ_BHKW2		
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), davon	kWh/a	2.556.999	100%		
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	848.484	33,2%	ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW2	
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)		37,4%			
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	kWh/a	1.421.650	55,6%	WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2	
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)		62,6%			
Stromkennzahl		0,60			
Verluste gesamt BHKW	kWh/a	286.864	11,2%		
Verluste anteilig Elt Erz. BHKW	kWh/a	107.218	(mit Jahreswerten gemittelt)		
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	kWh/a	179.646	(mit Jahreswerten gemittelt)		
Elektrizität Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	955.703			
Wärme Erz. + anteilig Verluste BHKW (Endenergie)	kWh/a	1.601.296			
Wärmeerzeugung Gaskessel + BHKWs (Endenergie)	kWh/a	4.124.631			
Biomasse + Gas					
Wärmeerzeugung Biomasse u. Gas (Endenergie)	kWh/a	5.863.256			
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):			Anteile: gesamt	GHL	
Krankenhaus Bestand (KHB)	kWh/a	1.027.860	19,7%	WMZ_Q_EZ_HKV_KHB	
Ersatzneubau GHL (KKH)	kWh/a	2.803.550	53,7%	53,7%	WMZ_Q_EZ_HKV_KKH
Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.331.420	25,5%	25,5%	WMZ_Q_EZ_HKV_AKM_HeizW
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	kWh/a	53.603	1,0%	1,0%	WMZ_Q_EZ_HKV_statHK_EZ
Summe Nutzenergie	kWh/a	5.216.433	100,0%	80,3%	
Aufteilung Wärmeverbrauch gerechnet (Endenergie):					
Krankenhaus Bestand (KHB)	kWh/a	1.155.312			
Ersatzneubau GHL (KKH)	kWh/a	3.151.183			
Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.496.512			
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	kWh/a	60.250			
Summe Endenergie	kWh/a	5.863.256			
Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ+AKM) (Endenergie)	kWh/a	4.707.945	(keine Berücksichtigung KHB!)		
davon Warmwasserverbrauch Nord (Nutzenergie)	kWh/a	325.884	WMZ_Q_N_UG1_HKV_WWB_N		
davon Warmwasserverbrauch Süd (Nutzenergie)	kWh/a	236.198	WMZ_Q_S_UG2_HKV_WWB_S		
davon Absorptionskältemaschine (AKM)	kWh/a	1.496.512			
Summe außentemp.unabhängiger Verbrauchsanteil	kWh/a	2.058.594			
Summe außentemp.abhängiger Verbrauchsanteil	kWh/a	2.649.350			
Bereinigung Gradtage					
G _m	K·d/a	3.667	Wetterdaten für Potsdam (Referenz)		
GTZ 20/15 Lichtenfels 2020	K·d/a	3.961	für Lichtenfels 2021		
Faktor zur Normierung von Energieverbrauchskennwerten auf das Standardklima		0,93			
bereinigter Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ+AKM) (Endenergie)	kWh/a	4.511.300			
(Verbrauchskennwert Wärme pro Bett)	kWh/(Bett*a)	16.345			
Verbrauchskennwert Wärme GHL	kWh/m²*a	184	bezogen auf NGF		
(Anmerkung: keine Berücksichtigung der Wärmepumpe, die in der betrachteten Zeit nicht lief)					

Tabelle 7: Verbrauchskennwert Strom GHL (Methode Verbrauchsausweis EnEV) „2021“

Strom			
Strombezug/-erzeugung (Endenergie)			
Strombezug Trafo1	kWh/a	868.445	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo1
Strombezug Trafo2	kWh/a	809.887	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_Trafo2
Stromerzeugung PV-Anlage	kWh/a	105.641	ELZ_W_AV_M_UG1_Einsp_PV_Erzeugung
Stromerzeugung BHKW1	kWh/a	828.900	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel1_Einsp_von_EZ
Stromerzeugung BHKW2	kWh/a	829.340	ELZ_W_AV_M_UG1_BHKW_Kabel2_Einsp_von_EZ
Stromerzeugung Netzersatzanlage (NEA)	kWh/a	2.394	ELZ_W_SV_M_UG1_Einsp_Generator_NEA
Summe Strombezug/-erzeugung (Endenergie)	kWh/a	3.444.607	
zu berücksichtigende Stromverbrauchsanteile		58,2% prozentual aus Zählerwerten ermittelt	
Summe Strombezug/-erzeugung incl. AKM (Endenergie)	kWh/a	2.004.761	
(Verbrauchskennwert Strom pro Bett)	kWh/(Bett*a)	7.264	
Verbrauchskennwert Strom GHL	kWh/(m²*a)	82 bezogen auf NGF	

Tabelle 8: Vergleichswerte nach EnEV 2014 und Kennwerte GHL („2020“, „2021“)

Vergleichswerte (Vglw) Endenergieverbrauch gemäß EnEV 2014		2021		2020	
			Abweichung		Abweichung
Vglw Wärme Gesundheitswesen Krankenhaus 251-1000 Betten	kWh/(m²*a)	175	5,2%	175	11,6%
Vglw Wärme Krankenhaus u. Uniklinik für Akutkranke	kWh/(m²*a)	250	-26,4%	250	-21,9%
Vglw Wärme Laborgebäude (mit Luftwechselrate)	kWh/(m²*a)	174	5,8%	174	12,2%
Verbrauchskennwert Wärme GHL	kWh/(m²*a)	184		195	
Vglw Strom Gesundheitswesen Krankenhaus 251-1000 Betten	kWh/(m²*a)	80	2,3%	80	-1,7%
Vglw Strom Krankenhaus u. Uniklinik für Akutkranke	kWh/(m²*a)	125	-34,5%	125	-37,1%
Vglw Strom Laborgebäude (mit Luftwechselrate)	kWh/(m²*a)	170	-51,9%	170	-53,8%
Verbrauchskennwert Strom GHL	kWh/(m²*a)	82		79	

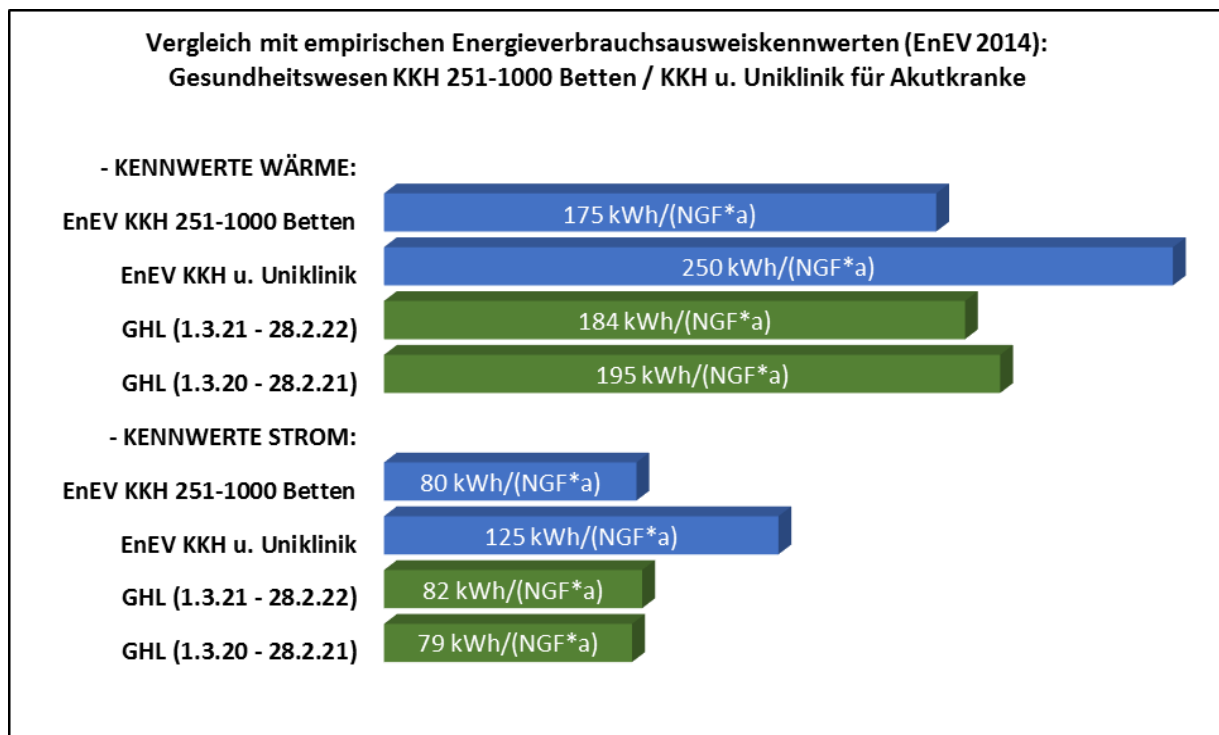


Abbildung 17: Verbrauchskennwerte GHL (01.03.21 - 28.02.22 und 01.03.20 - 28.02.21) im Vergleich zu empirischen Energieverbrauchsausweiskennwerten nach EnEV 2014

Eine weitere Überlegung ergab sich aus der Tatsache, dass bei den „Regeln für Energieverbrauchswerte und Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“¹ 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 durch RLT-Anlagen ist für diese Gebäude, der den

Energieverbrauch bestimmende Faktor. Vergleichswerte für „Endenergie Wärme“ sowie für „Endenergie Strom“ für Laborgebäude wurden wieder „in Abhängigkeit der mittleren jährlichen Luftwechselrate des Gebäudes“ berechnet. Gegenüber den Vergleichswerten „Laborgebäude“ ergeben sich für das Jahr 2021 wieder eine leichte Überschreitung von 6 % für „Endenergie Wärme“, aber eine Unterschreitung von 52 % für „Endenergie Strom“ (siehe Tabelle 8).

Insgesamt haben sich nur kleinere Änderungen zwischen den Kennwerten des Jahres 2020 und 2021 ergeben.

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 wird im Folgenden wieder ein Vergleich mit berechneten Vergleichswerten durchgeführt. Entsprechende berechnete Werte finden sich z. B. im Energiebedarfsausweis, in dem für Nichtwohngebäude das Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 angewendet wird.

Auf die Problematik eines solchen Vergleichs zwischen berechneten und gemessenen Energieverbräuchen wurde schon im Zwischenbericht eingegangen. Unabhängig von der zu erwartenden Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Werten wurde wieder ein Vergleich von entsprechenden im Energiebedarfsausweis des GHL angegebenen Nutz-, End- und Primärenergien und den entsprechend im Monitoring erhobenen Werten durchgeführt, die jetzt im Zeitraum vom 01.03.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45 aufgenommen wurden.

Der Vergleich für die **Nutzenergie** „2021“ und „2020“ (Abbildung 18, Tabelle 9, siehe x_14_Anhang_Kennwerte\x_Kennwerte_GHL_2022.xlsx, Blatt „GHL 18599 EKW 3_21-3_22 Var 1“) zeigt „2021“ bei der „gesamten Nutzenergie“ für das GHL wieder eine als eher gering einzustufende Abweichung von 29 % („2020“ 28 %) zwischen den gerechneten Bedarfswerten und den Monitoringwerten. Bei den einzelnen Verbrauchsbereichen zeigen sich wieder klare Unterschiede hauptsächlich bei der „Kühlung“ („2021“ Abweichung real gemessen 119 % mehr als gerechnet). Bei „Warmwasser“ („2021“ Abweichung real gemessen 24 % weniger als gerechnet) wird in der Berechnung die benötigte Nutzenergie überschätzt, bei der „Heizung“ („2021“ Abweichung real gemessen 31 % mehr als gerechnet) unterschätzt. Beim Vergleich der zwei Zeiträume „2020“ und „2021“ zeigen sich nur kleine Unterschiede. Nur bei der Kühlung ist ein höherer Anteil der Kälteerzeugung durch die Kompressionskältemaschine feststellbar (Faktor 2,5; siehe Abbildung 19) bei entsprechender Reduzierung der Kälteerzeugung durch freie Kühlung und Absorptionskältemaschine.

Tabelle 9: Vergleich Energiebedarfsausweis GHL 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 m ²		aus Energiebedarfsausweis							
Anzahl Planbetten		276									
betrachteter Zeitraum Jahr		1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45				1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45					
Nutzenergie											
Heizung		Monitoringwerte GHL		E.bedarfsausweis		Diff.		Monitoringwerte GHL		Diff.	
Wärmeeinspeisung GHL (Nutzenergie)		2.803.550 kWh/a		114,4 kWh/m ² *a				2.772.320 kWh/a		113,1 kWh/m ² *a	
Wärmeeinspeisung EZ (Nutzenergie)		53.603 kWh/a		2,2 kWh/m ² *a				68.305 kWh/a		2,8 kWh/m ² *a	
Summe Wärmeeinspeisung GHL+EZ (Nutzenergie)		2.857.153 kWh/a		116,6 kWh/m ² *a				2.840.625 kWh/a		115,9 kWh/m ² *a	
abzüglich Warmwasserverbrauch GHL (Nutzenergie)		562.082 kWh/a		22,9 kWh/m ² *a				563.385 kWh/a		23,0 kWh/m ² *a	
Summe Heizung GHL+EZ (Nutzenergie)		2.295.071 kWh/a		93,7 kWh/m ² *a		71,7 kWh/m ² *a 31%		2.277.240 kWh/a		92,9 kWh/m ² *a 30%	
Warmwasser											
Warmwasserverbrauch Nord (Nutzenergie)		325.884 kWh/a		13,3 kWh/m ² *a				320.802 kWh/a		13,1 kWh/m ² *a	
Warmwasserverbrauch Süd (Nutzenergie)		236.198 kWh/a		9,6 kWh/m ² *a				242.583 kWh/a		9,9 kWh/m ² *a	
Summe Warmwasser GHL (Nutzenergie)		562.082 kWh/a		22,9 kWh/m ² *a		30,3 kWh/m ² *a -24%		563.385 kWh/a		23,0 kWh/m ² *a -24%	
Kühlung											
Kälterzeugung freie Kühlung		174.680 kWh/a		7,1 kWh/m ² *a				209.750 kWh/a		8,6 kWh/m ² *a	
Kälterzeugung KKM		246.030 kWh/a		10,0 kWh/m ² *a				100.540 kWh/a		4,1 kWh/m ² *a	
Kälterzeugung AKM		728.040 kWh/a		29,7 kWh/m ² *a				816.810 kWh/a		33,3 kWh/m ² *a	
Summe Kälterzeugung GHL		1.148.750 kWh/a		46,9 kWh/m ² *a				1.127.100 kWh/a		46,0 kWh/m ² *a	
abzüglich Verluste (Speicher ...)		52.740 kWh/a		4,6%				29.440 kWh/a		2,6%	
Summe Kühlung GHL, Kälteeinspeisung (Nutzenergie)		1.096.010 kWh/a		44,7 kWh/m ² *a		20,4 kWh/m ² *a 119%		1.097.660 kWh/a		44,8 kWh/m ² *a 120%	
Beleuchtung											
keine Messwerte, daher Berechnung übernommen		335.677 kWh/a		13,7 kWh/m ² *a		13,7 kWh/m ² *a 0%		335.677 kWh/a		13,7 kWh/m ² *a 0%	
Nutzenergie Gebäude GHL gesamt											
Summe Nutzenergie GHL		4.288.840 kWh/a		175,0 kWh/m ² *a		136,1 kWh/m ² *a 29%		4.273.962 kWh/a		174,4 kWh/m ² *a 28%	

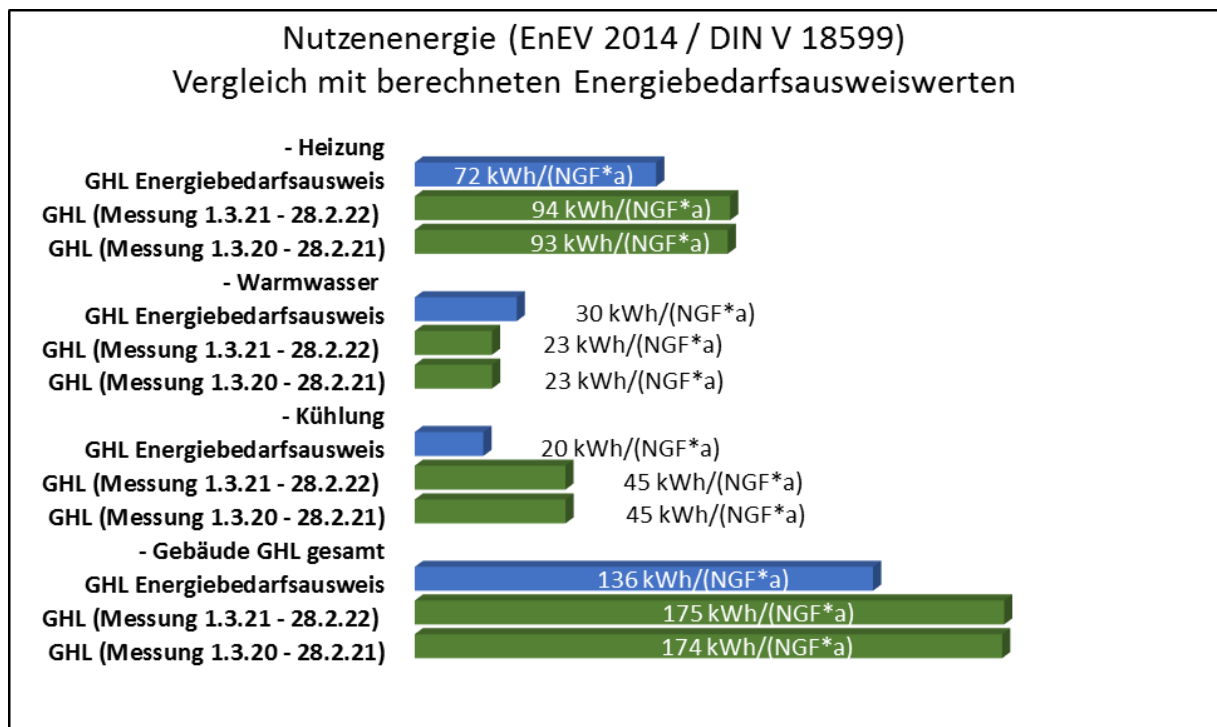


Abbildung 18: Vergleich Energiebedarfsausweis GHL Nutzenergie mit gemessenen Werten

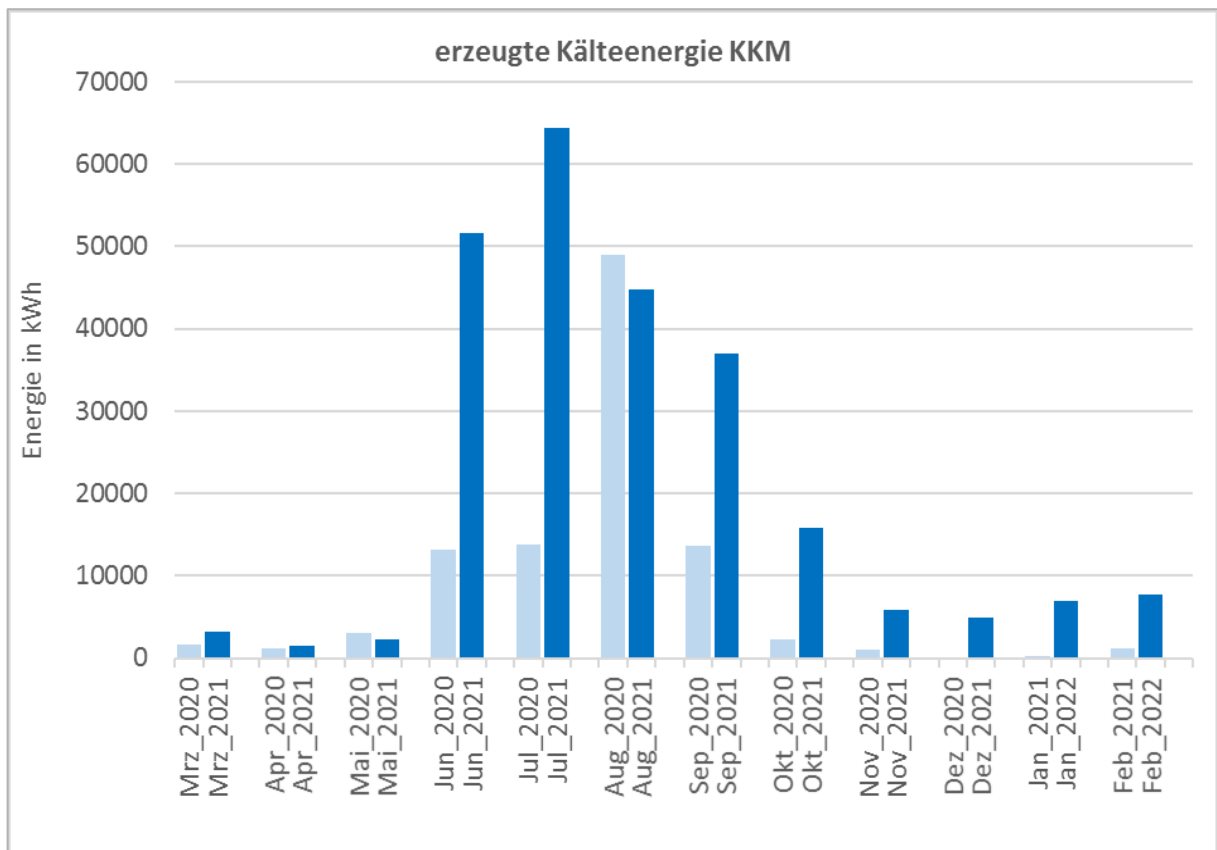


Abbildung 19: Monatsvergleich erzeugte Kälteenergie KKM „2020“, „2021“ (siehe x_17_Anhang_Ergebnisse\x_elektrischer_Energieverbrauch\x_Bilanz_ELT_gesamt_Monatsbericht_Vergleich_21_22.xlsm, Blatt KKM)

Für den Vergleich für die **Endenergie** mussten wieder diverse Vorberechnungen stattfinden (siehe Tabelle 10). Der Vergleich für die Endenergie (Tabelle 11, Abbildung 20) zeigt jetzt bei der „Summe Endenergie“ für das GHL „2021“ einen gemessenen Mehrverbrauch von 38 % zu den gerechneten Bedarfswerten („2020“ 43 %). Bei den einzelnen Verbrauchsbereichen zeigen sich wieder klare Unterschiede hauptsächlich bei der „Kühlung“ („2021“ Abweichung real gemessen 959 % mehr als gerechnet; „2020“ 946 %). Wie schon im Zwischenbericht geschrieben, könnte eine Ursache z. B. an Unterschieden bei den jeweiligen real gemessenen bzw. bei der Berechnung anders berücksichtigten Kälteerzeugung (z. B. Deckungsanteile der Kälteerzeuger (KKM, AKM, freie Kühlung) oder Leistungszahlen (KKM) bzw. Wärmeverhältnissen (AKM)) liegen.

Bei „Warmwasser“ („2021“ Abweichung real gemessen 52 % weniger als gerechnet; „2020“ 52 %) wird in der Berechnung die benötigte Endenergie überschätzt, die „Heizung“ (Abweichung real gemessen 3 % mehr als gerechnet) passt ungefähr. Bei der „Lüftung“ („2021“ Abweichung real gemessen 193 % mehr als gerechnet; „2020“ 195 %) wird in der Berechnung die benötigte Endenergie (elt. „Hilfsenergie“ für Ventilatoren, keine Wärme, keine Kälte) unterschätzt. Beim Vergleich der zwei Zeiträume 2020 und 2021 zeigen sich wieder nur kleine Unterschiede. Allerdings gibt es beim Zähler für die elektrische Energie zur Kälteerzeugung mit der Kompressionskältemaschine (KKM ELZ_W_EZ_KKM) große Abweichungen. Diese beruhen darauf, dass dieser Zähler bis 7.7.2021 unplausible Werte lieferte (siehe Kapitel 4.7.4.1). Der

Zähler läuft jetzt korrekt und die Werte für den Monitoringzeitraum 2021 wurden entsprechend korrigiert.

Tabelle 10: Vorberechnungen zur Bestimmung der Endenergieanteile GHL „2021“, „2020“

Endenergie	1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45						1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45					
Biomasse (Hackschnitzel)												
Biomassekessel (BioMK)												
Wärmeerzeugung BioMK (Nutzenergie)	1.529.990 kWh/a						1.274.450 kWh/a					
eta Wirkungsgrad (geschätzt)	0,88						0,88					
BioMK (Endenergie berechnet)	1.738.625 kWh/a						1.448.239 kWh/a					
Gas												
Heizwert Gas =	10,205 kWh/m³						10,205 kWh/m³					
Gaskessel 1600kW												
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW	2.955 Nm³/a						2.029 Nm³/a					
Gasverbrauch Gaskessel 1600kW (Endenergie)	30.157 kWh/a						20.708 kWh/a					
Wärmeerzeugung Gaskessel 1600kW (Nutzenergie)	25.040 kWh/a						17.290 kWh/a					
Wirkungsgrad (Nutzenergie/Endenergie)	0,8303						0,8349					
Gaskessel 560kW												
Gasverbrauch Gaskessel 560kW	83.939 Nm³/a						96.714 Nm³/a					
Gasverbrauch Gaskessel 560kW (Endenergie)	856.560 kWh/a						986.924 kWh/a					
Wärmeerzeugung Gaskessel 560kW (Nutzenergie)	784.290 kWh/a						904.150 kWh/a					
Wirkungsgrad (Nutzenergie/Endenergie)	0,9156						0,9161					
BHKW 1												
Gasverbrauch BHKW	253.704 m³/a						266.492 m³/a					
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), für	2.588.933 kWh/a 100%						2.719.429 kWh/a 100%					
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	843.784 kWh/a 32,6%						881.065 kWh/a 32,4%					
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	36,8%						36,7%					
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	1.450.100 kWh/a 56,0%						1.517.188 kWh/a 55,8%					
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	63,2%						63,3%					
Stromkennzahl	0,58						0,58					
Verluste gesamt BHKW	295.049 kWh/a 11,4%						321.176 kWh/a 11,8%					
Verluste anteilig Elt. Erz. BHKW	108.531 kWh/a (mit Jahreswerten gemittelt)						117.993 kWh/a					
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	186.518 kWh/a (mit Jahreswerten gemittelt)						203.183 kWh/a					
Elektrizität Erz. + Verluste anteilig Elt. Erz. BHKW (Endenergie)	952.315 kWh/a						999.058 kWh/a					
Wärme Erz. + Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW (Endenergie)	1.636.618 kWh/a						1.720.371 kWh/a					
BHKW 2												
Gasverbrauch BHKW	250.575 m³/a						267.089 m³/a					
Gasverbrauch BHKW (Endenergie), für	2.556.999 kWh/a 100%						2.725.516 kWh/a 100%					
Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	848.484 kWh/a 33,2%						880.535 kWh/a 32,3%					
% Elektrizität Erz. BHKW (Nutzenergie)	37,4%						36,9%					
Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	1.421.650 kWh/a 55,6%						1.505.074 kWh/a 55,2%					
% Wärme Erz. BHKW (Nutzenergie)	62,6%						63,1%					
Stromkennzahl	0,60						0,59					
Verluste gesamt BHKW	286.864 kWh/a 11,2%						339.907 kWh/a 12,5%					
Verluste anteilig Elt. Erz. BHKW	107.218 kWh/a (mit Jahreswerten gemittelt)						125.461 kWh/a					
Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW	179.646 kWh/a (mit Jahreswerten gemittelt)						214.446 kWh/a					
Elektrizität Erz. + Verluste anteilig Elt. Erz. BHKW (Endenergie)	955.703 kWh/a						1.005.996 kWh/a					
Wärme Erz. + Verluste anteilig Wärme Erz. BHKW (Endenergie)	1.601.296 kWh/a						1.719.520 kWh/a					
Wärme Erz. Gaskessel + BHKWs mit Verlusten (Endenergie)	4.124.631 kWh/a						4.447.523 kWh/a					
Biomasse + Gas												
Wärme Erzeugung Biomasse u. Gas (Endenergie)	5.863.256 kWh/a						5.895.762 kWh/a					
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):	Anteile: gesamt GHL						Anteile: gesamt GHL					
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.027.860 kWh/a 19,7%						1.017.550 kWh/a 19,5%					
Ersatzneubau GHL (KKH)	2.803.550 kWh/a 53,7%	53,7%					2.772.320 kWh/a 53,1%	53,1%				
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.331.420 kWh/a 25,5%						1.366.810 kWh/a 26,2%					
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	53.603 kWh/a 1,0%	1,0%					68.305 kWh/a 1,3%	1,3%				
Summe Wärme Nutzenergie	5.216.433 kWh/a 100,0%	54,8%					5.224.985 kWh/a 100,0%	54,4%				
Aufteilung Wärmeerzeugung gerechnet mit %-Anteilen Nutzenergie (Endenergie):												
Krankenhaus Bestand (KHB)	1.155.312 kWh/a						1.148.182 kWh/a					
Ersatzneubau GHL (KKH)	3.151.183 kWh/a	3.151.183 kWh/a					3.128.227 kWh/a	3.128.227 kWh/a				
Absorptionskältemaschine (AKM)	1.496.512 kWh/a						1.542.279 kWh/a					
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)	60.250 kWh/a	60.250 kWh/a					77.074 kWh/a	77.074 kWh/a				
Summe Wärme Endenergie	5.863.256 kWh/a	3.211.432 kWh/a					5.895.762 kWh/a	3.205.301 kWh/a				
Gesamtwärmeverbrauch GHL (KKH+EZ) (Endenergie)	3.211.432 kWh/a (keine Berücksichtigung KHB u. AKM!)						3.205.301 kWh/a					
davon Warmwasserverbrauch Nord (Nutzenergie)	325.884 kWh/a						320.802 kWh/a					
davon Warmwasserverbrauch Süd (Nutzenergie)	236.198 kWh/a						242.583 kWh/a					
Summe außentemp. unabhängiger Verbrauchsanteil (WW)	562.082 kWh/a						563.385 kWh/a					
Summe außentemp. abhängiger Verbrauchsanteil (Hzg)	2.649.350 kWh/a						2.641.916 kWh/a					
Bereinigung Gradtage												
G_m	3.667 K-d/a Wetterdaten für Potsdam (Referenz)						3.667 K-d/a Wetterdaten für Potsdam					
GTZ 20/15 Lichtenfels 2020	3.961 K-d/a für Lichtenfels 2021						3.617 K-d/a für Lichtenfels 2020					
Normierungsfaktor Energieverbr. kennwerte auf Standardklima	0,93						1,01					
bereinigter Gesamtärmeverbrauch GHL (KKH+EZ) (Endenergie)	3.014.788 kWh/a						3.241.822 kWh/a					

Tabelle 11: Vergleich Energiebedarfsausweis Endenergie mit gemessenen Werten

Bedarfsausweis EnEV 2014 - DIN V 18599 - Nutz-, End-, Primärenergie													
Jahres-Verbrauchskenwerte Neubau Green Hospital Lichtenfels (GHL)													
NGF _E beheizbare Nettogrundfläche		24.502	m ²	aus Energiebedarfsausweis									
Anzahl Planbetten		276											
betrachteter Zeitraum Jahr		1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45						1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45					
Endenergie													
Heizung		Monitoringwerte GHL		E.bedarfsausweis		Diff.		Monitoringwerte GHL		Diff.			
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie)		2.452.706	kWh/a	100,1	kWh/m ² *a			2.678.437	kWh/a	109,3	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung BioMK		18.408	kWh/a	0,8	kWh/m ² *a			15.825	kWh/a	0,6	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung Gaskessel 1600kW		77	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a			54	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung Gaskessel 560kW		2.090	kWh/a	0,1	kWh/m ² *a			2.422	kWh/a	0,1	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung BHKW1 (neuer Zähler)		174	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a			-	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung BHKW2 (neuer Zähler)		1.125	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a			-	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Wärmeerzeugung Div. (1/2 Rest ISP1)		30.783	kWh/a	1,3	kWh/m ² *a			41.220	kWh/a	1,7	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie div. Technik anteilig Wärme		4.919	kWh/a	0,2	kWh/m ² *a			5.322	kWh/a	0,2	kWh/m ² *a		
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie) incl. Hilfsenergie		2.510.281	kWh/a	102,5	kWh/m ² *a	99,5	kWh/m ² *a	3%	2.743.279	kWh/a	112,0	kWh/m ² *a	13%
Warmwasser													
% Anteil Warmwasserverbrauch an Summe Wärme Nutzenergie		10,8%						10,8%					
Warmwasserverbrauch GHL (Endenergie)		631.779	kWh/a	25,8	kWh/m ² *a			635.712	kWh/a	25,9	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Pumpen WWB Nord		4.094	kWh/a	0,2	kWh/m ² *a			4.295	kWh/a	0,2	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Pumpen WWB Süd		3.947	kWh/a	0,2	kWh/m ² *a			6.261	kWh/a	0,3	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie div. Technik anteilig WWB		751	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a			944	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a		
Warmwasser GHL (Endenergie) incl. Hilfsenergie		640.571	kWh/a	26,1	kWh/m ² *a	54,9	kWh/m ² *a	-52%	647.211	kWh/a	26,4	kWh/m ² *a	-52%
Kühlung													
Kälterzeugung freie Kühlung		174.680	kWh/a	7,1	kWh/m ² *a			209.750	kWh/a	8,6	kWh/m ² *a		
Kälterzeugung KKM		246.030	kWh/a	10,0	kWh/m ² *a			100.540	kWh/a	4,1	kWh/m ² *a		
Kälterzeugung AKM		728.040	kWh/a	29,7	kWh/m ² *a			816.810	kWh/a	33,3	kWh/m ² *a		
Summe Kälterzeugung GHL		1.148.750	kWh/a	46,9	kWh/m ² *a			1.127.100	kWh/a	46,0	kWh/m ² *a		
abzüglich Verluste (Speicher ...)		52.740	kWh/a	4,6%				29.440	kWh/a	2,6%			
Summe Kälteeinspeisung GHL (Nutzenergie)		1.096.010	kWh/a	44,7	kWh/m ² *a			1.097.660	kWh/a	44,8	kWh/m ² *a		
Wärmeenergie für Kälterzeugung AKM		1.496.512	kWh/a	61,1	kWh/m ² *a			1.542.279	kWh/a	62,9	kWh/m ² *a		
elt. Energie Kälterzeugung KKM		91.193	kWh/a	3,7	kWh/m ² *a			11.866	kWh/a	0,5	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Kälterzeugung AKM		20.670	kWh/a	0,8	kWh/m ² *a			20.377	kWh/a	0,8	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Hybridkühler (Rückkühlung für AKM)		24.660	kWh/a	1,0	kWh/m ² *a			30.372	kWh/a	1,2	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Trockenkühler (Rückkühlung für KKM)		38.072	kWh/a	1,6	kWh/m ² *a			34.514	kWh/a	1,4	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Rohrbegleitheizung Hybridkühler		68	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a			65	kWh/a	0,0	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie Kälterzeugung Div. (1/2 Rest ISP1)		30.783	kWh/a	1,3	kWh/m ² *a			41.220	kWh/a	1,7	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie div. Technik anteilig Kälte		10.672	kWh/a	0,4	kWh/m ² *a			11.314	kWh/a	0,5	kWh/m ² *a		
Kühlung GHL (Endenergie) incl. Hilfsenergie		1.712.630	kWh/a	69,9	kWh/m ² *a	6,6	kWh/m ² *a	959%	1.692.007	kWh/a	69,1	kWh/m ² *a	946%
Lüftung													
elt. "Hilfsenergie" RLT		1.256.006	kWh/a	51,3	kWh/m ² *a			1.267.577	kWh/a	51,7	kWh/m ² *a		
elt. Hilfsenergie div. Technik anteilig RLT		117.319	kWh/a	4,8	kWh/m ² *a			113.332	kWh/a	4,6	kWh/m ² *a		
RLT GHL (Endenergie) incl. Hilfsenergie		1.373.325	kWh/a	56,0	kWh/m ² *a	19,1	kWh/m ² *a	193%	1.380.909	kWh/a	56,4	kWh/m ² *a	195%
Beleuchtung													
keine Messwerte Beleuchtung, daher Berechnung übernommen		335.677	kWh/a	13,7	kWh/m ² *a	13,7	kWh/m ² *a	0%	335.677	kWh/a	13,7	kWh/m ² *a	
Endenergie Gebäude GHL insgesamt													
Summe Endenergie GHL		6.572.485	kWh/a	268,2	kWh/m ² *a	193,8	kWh/m ² *a	38%	6.799.084	kWh/a	277,5	kWh/m ² *a	43%

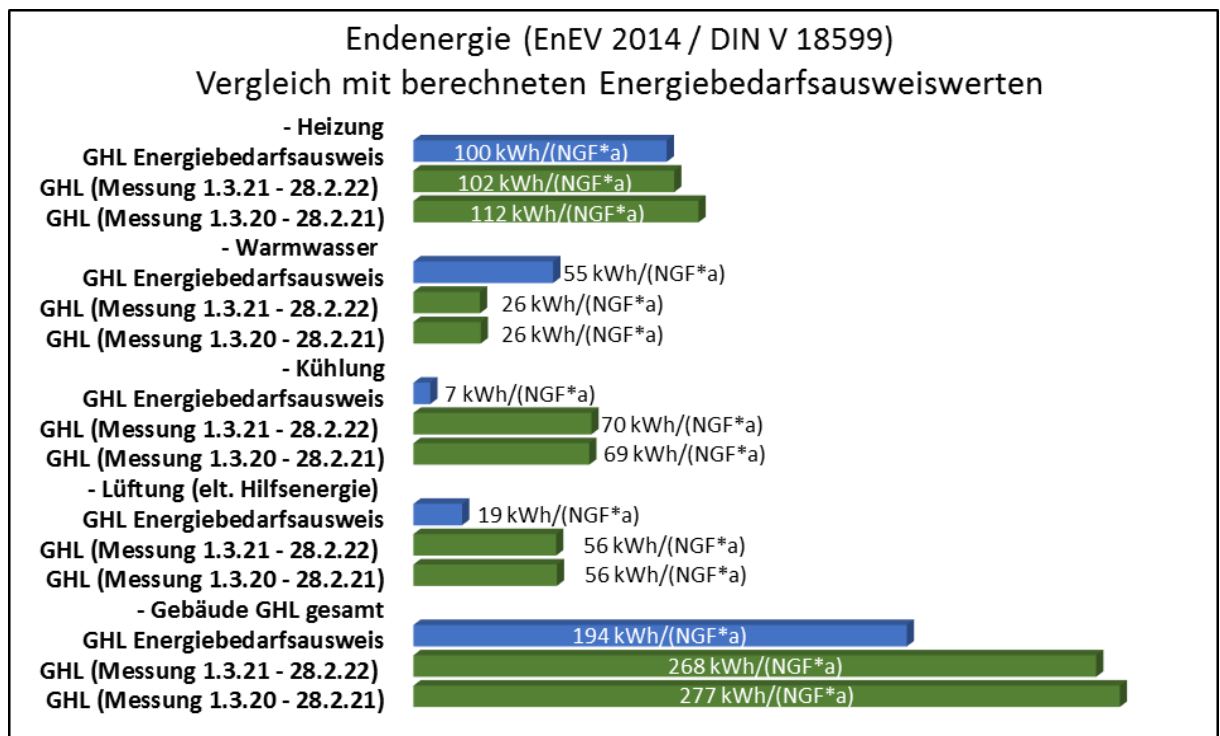


Abbildung 20: Vergleich Energiebedarfsausweis GHL Endenergie mit gemessenen Werten

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“ („2021“ Abweichung real gemessen 36 % mehr als gerechnet; „2020“ 45 %) ergibt sich ebenfalls durch die Berücksichtigung des Energieträgers Nahwärme bei der Energiebedarfsberechnung keine sinnvolle Vergleichbarkeit. Bei der „Lüftung“ („2021“ Abweichung real gemessen 47 % mehr als gerechnet; „2020“ 39 %) kommt jetzt der bei der Messung berücksichtigte Eigenstrom mit einem mittleren PEF von 1,31 „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 1,31 führt bei Beleuchtung („2021“ real gemessen 50 % weniger als gerechnet; „2020“ -53 %) ebenfalls zu einer Reduzierung. Beim Vergleich der zwei Zeiträume 2020 und 2021 zeigen sich kleinere Unterschiede, die sich u. a. aufgrund der Unterschiede in den gemittelten PEFs ergeben.

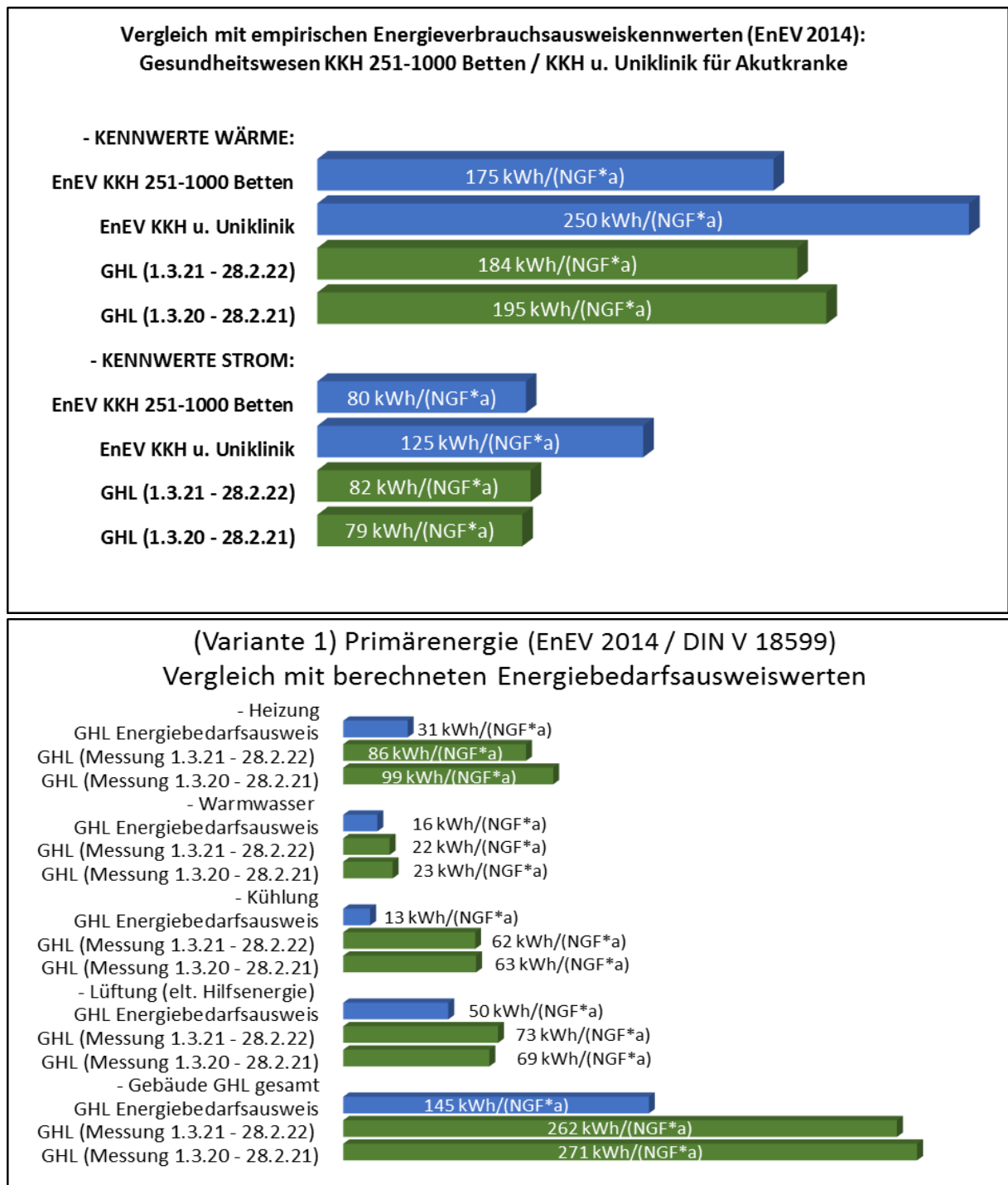


Abbildung 21: Vergleich Energiebedarfsausweis GHL Primärenergie mit gemessenen Werten

Tabelle 13: Vergleich Energiebedarfsausweis Primärenergie mit gemessenen Werten (Var. 1)

Aufteilung Primärenergie									
betrachteter Zeitraum Jahr									
1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45									
1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45									
Monitoringwerte GHL									
Primärenergie:									
Monitoringwerte GHL									
Primärenergie:									
Heizung									
elt. Hilfsenergie Wärme	57.576 kWh/a	2,3 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,31	3,1 kWh/(m ² -a)	64.842 kWh/a	2,6 kWh/(m ² -a)	mittel 1,23	3,2 kWh/(m ² -a)
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie)	2.452.706 kWh/a	100,1 kWh/(m ² -a)	PEF Wärme mittel	0,83	83,4 kWh/(m ² -a)	2.678.437 kWh/a	109,3 kWh/(m ² -a)	mittel 0,88	96,1 kWh/(m ² -a)
Summe Heizung	2.510.281 kWh/a	102,5 kWh/(m ² -a)			86,5 kWh/(m ² -a)	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)				30,5 kWh/(m ² -a)
Abweichung					184%				226%
Warmwasser									
elt. Hilfsenergie WWB	8.792 kWh/a	0,4 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,31	0,5 kWh/(m ² -a)	11.500 kWh/a	0,5 kWh/(m ² -a)	mittel 1,23	0,6 kWh/(m ² -a)
Warmwasserverbrauch GHL (Endenergie)	631.779 kWh/a	25,8 kWh/(m ² -a)	PEF Wärme mittel	0,83	21,5 kWh/(m ² -a)	635.712 kWh/a	25,9 kWh/(m ² -a)	mittel 0,88	22,8 kWh/(m ² -a)
Summe Warmwasser	640.571 kWh/a	26,1 kWh/(m ² -a)			22,0 kWh/(m ² -a)	647.211 kWh/a	26,4 kWh/(m ² -a)		23,4 kWh/(m ² -a)
Energiebedarfsausweis Warmwasser					16,1 kWh/(m ² -a)				16,1 kWh/(m ² -a)
Abweichung					36%				45%
Kühlung									
Verbrauch Strom für KKM	91.193 kWh/a	3,7 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,31	4,9 kWh/(m ² -a)	11.866 kWh/a	0,5 kWh/(m ² -a)	mittel 1,23	0,6 kWh/(m ² -a)
elt. Hilfsenergie Kälte	124.925 kWh/a	5,1 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,31	6,7 kWh/(m ² -a)	137.862 kWh/a	5,6 kWh/(m ² -a)	mittel 1,23	6,9 kWh/(m ² -a)
Wärmeverbrauch Absorptionskältemaschine (AKM)	1.496.512 kWh/a	61,1 kWh/(m ² -a)	PEF Wärme mittel	0,83	50,9 kWh/(m ² -a)	1.542.279 kWh/a	62,9 kWh/(m ² -a)	mittel 0,88	55,3 kWh/(m ² -a)
Summe Kühlung	1.712.630 kWh/a	69,9 kWh/(m ² -a)			62,4 kWh/(m ² -a)	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)				12,7 kWh/(m ² -a)
Abweichung					391%				395%
Lüftung									
Summe Lüftung ("elt. Hilfsenergie RLT")	1.373.325 kWh/a	56,0 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,31	73,2 kWh/(m ² -a)	1.380.909 kWh/a	56,4 kWh/(m ² -a)	mittel 1,23	69,1 kWh/(m ² -a)
Energiebedarfsausweis Lüftung					49,7 kWh/(m ² -a)				49,7 kWh/(m ² -a)
Abweichung					47%				39%
Beleuchtung									
Summe Verbrauch Strom für Beleuchtung	335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m ² -a)	PEF Strom mittel	1,31	17,9 kWh/(m ² -a)	335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m ² -a)	mittel 1,23	16,8 kWh/(m ² -a)
Energiebedarfsausweis eingebaute Beleuchtung					2,6 kWh/(m ² -a)			2,6	35,5 kWh/(m ² -a)
Abweichung					-50%				-53%
Gebäude GHL insgesamt									
Gebäude GHL insgesamt	6.418.663 kWh/a	262,0 kWh/(m ² -a)			262,0 kWh/(m ² -a)	6.651.461 kWh/a	271,5 kWh/(m ² -a)		271,5 kWh/(m ² -a)
Energiebedarfsausweis gesamt					144,6 kWh/(m ² -a)				144,6 kWh/(m ² -a)
Abweichung					81%				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 Methode, siehe auch Zwischenbericht). Bei der zweiten Variante der Primärenergiebestimmung für das GHL wurde der erzeugte BHKW-Strom nur über eine Stromgutschrift berücksichtigt. Die Deckung der benötigten elektrischen Energie erfolgte hier dann nur aus PV, NEA und fremdbezogenen Strom (mit PEF 2,6).

Durch die **Stromgutschriftmethode** ergeben sich stark veränderte mittlere PEFs (Tabelle 14 und x_14_Anhang_Kennwerte\X_Kennwerte_GHL_2022.xlsx, Blatt GHL 18599 EKW 3_21-3_22 Var 2), wobei der mittlere PEF-Wärme „2021“ nur noch 0,19 statt 0,83, aber der mittlere PEF Strom jetzt 2,46 statt 1,31 beträgt. Der Vergleich der Primärenergie (siehe Abbildung 22, Tabelle 15) zeigt die entsprechenden Auswirkungen. Bei der „gesamten Primärenergie“ für das GHL ergibt sich „2021“ ein mit Messwerten bestimmter Mehrverbrauch von 63 % (statt 81 % bei Variante 1) zu den gerechneten Bedarfswerten. Bei der „Kühlung“ beträgt der Unterschied jetzt nur noch 164 % statt 391 %, bei der „Heizung“ -17 % statt 184 %, bei „Warmwasser“ -63 % statt 36 %. Durch den höheren mittleren PEF-Strom ergibt sich bei der „Lüftung“ eine Erhöhung der Abweichung von den Werten des Energiebedarfsausweises von 178 % (statt 47 % Variante 1). Bei Beleuchtung wird der Wert des Energiebedarfsausweises nur noch um -5 % statt um -50 % unterschritten. Beim Vergleich der zwei Zeiträume 2020 und 2021 zeigen sich kleinere Unterschiede, die sich u. a. aufgrund der Unterschiede in den gemittelten PEFs ergeben.

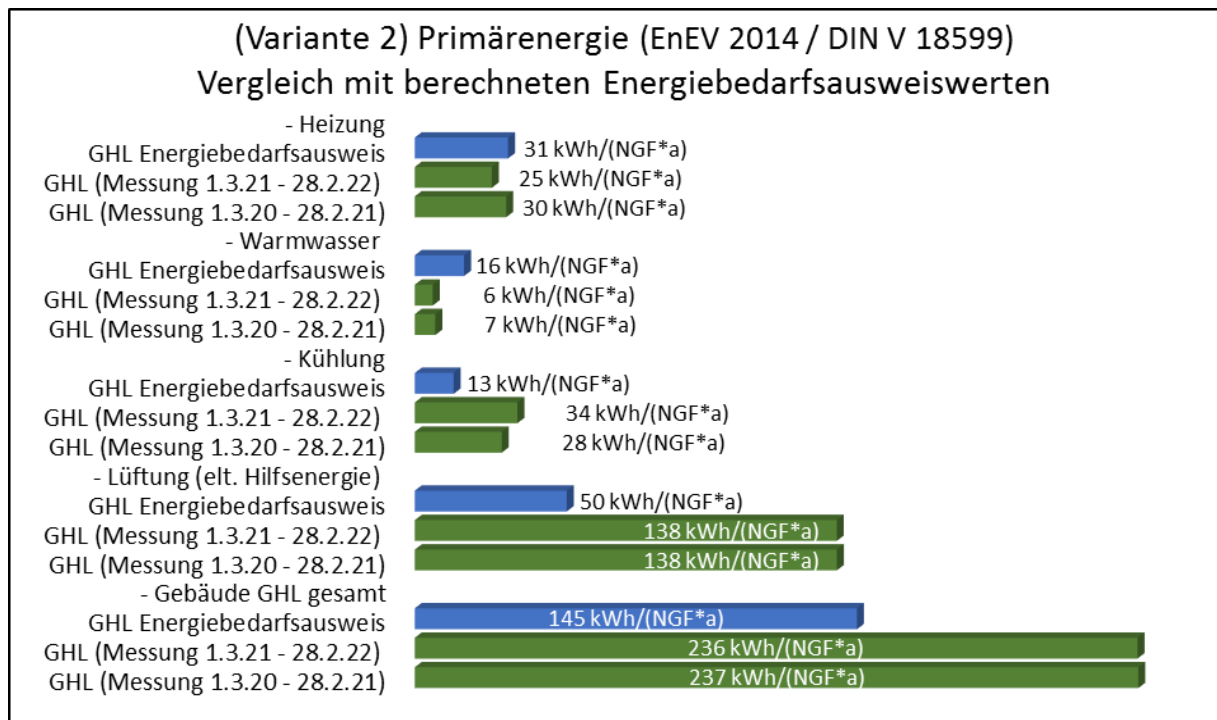


Abbildung 22: Vergleich Energiebedarfsausweis GHL Primärenergie mit gemessenen Werten

Tabelle 15: Vergleich Energiebedarfsausweis Primärenergie mit gemessenen Werten (Var. 2)

Aufteilung Primärenergie											
betrachteter Zeitraum Jahr						1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45					
1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45						1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45					
Heizung						Heizung					
Monitoringwerte GHL			Primärenergie:			Monitoringwerte GHL			Primärenergie:		
elt. Hilfsenergie Wärme	57.576 kWh/a	2,3 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	2,46	5,8 kWh/(m²·a)	64.842 kWh/a	2,6 kWh/(m²·a)	mittel	2,45	6,5 kWh/(m²·a)	
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie)	2.452.706 kWh/a	100,1 kWh/(m²·a)	PEF Wärme mittel	0,19	19,4 kWh/(m²·a)	2.678.437 kWh/a	109,3 kWh/(m²·a)	mittel	0,21	23,4 kWh/(m²·a)	
Summe Heizung	2.510.281 kWh/a	102,5 kWh/(m²·a)			25,2 kWh/(m²·a)	2.743.279 kWh/a	112,0 kWh/(m²·a)			29,9 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis Heizung					30,5 kWh/(m²·a)					30,5 kWh/(m²·a)	
Abweichung					-17%					-2%	
Warmwasser						Warmwasser					
elt. Hilfsenergie WWB	8.792 kWh/a	0,4 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	2,46	0,9 kWh/(m²·a)	11.500 kWh/a	0,5 kWh/(m²·a)	mittel	2,45	1,1 kWh/(m²·a)	
Warmwasserverbrauch GHL (Endenergie)	631.779 kWh/a	25,8 kWh/(m²·a)	PEF Wärme mittel	0,19	5,0 kWh/(m²·a)	635.712 kWh/a	25,9 kWh/(m²·a)	mittel	0,21	5,6 kWh/(m²·a)	
Summe Warmwasser	640.571 kWh/a	26,1 kWh/(m²·a)			5,9 kWh/(m²·a)	647.211 kWh/a	26,4 kWh/(m²·a)			6,7 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis Warmwasser					16,1 kWh/(m²·a)					16,1 kWh/(m²·a)	
Abweichung					-63%					-58%	
Kühlung						Kühlung					
Verbrauch Strom für KKM	91.193 kWh/a	3,7 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	2,46	9,2 kWh/(m²·a)	11.866 kWh/a	0,5 kWh/(m²·a)	mittel	2,45	1,2 kWh/(m²·a)	
elt. Hilfsenergie Kälte	124.925 kWh/a	5,1 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	2,46	12,6 kWh/(m²·a)	137.862 kWh/a	5,6 kWh/(m²·a)	mittel	2,45	13,8 kWh/(m²·a)	
Wärmeverbrauch Absorptionskältemaschine (AKM)	1.496.512 kWh/a	61,1 kWh/(m²·a)	PEF Wärme mittel	0,19	11,8 kWh/(m²·a)	1.542.279 kWh/a	62,9 kWh/(m²·a)	mittel	0,21	13,5 kWh/(m²·a)	
Summe Kühlung	1.712.630 kWh/a	69,9 kWh/(m²·a)			33,6 kWh/(m²·a)	1.692.007 kWh/a	69,1 kWh/(m²·a)			28,4 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis Kühlung					12,7 kWh/(m²·a)					12,7 kWh/(m²·a)	
Abweichung					164%					124%	
Lüftung						Lüftung					
Summe Lüftung ("elt. Hilfsenergie RLT")	1.373.325 kWh/a	56,0 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	2,46	138,00 kWh/(m²·a)	1.380.909 kWh/a	56,4 kWh/(m²·a)	mittel	2,45	138,03 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis Lüftung					49,7 kWh/(m²·a)					49,7 kWh/(m²·a)	
Abweichung					178%					178%	
Beleuchtung						Beleuchtung					
Summe Verbrauch Strom für Beleuchtung	335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m²·a)	PEF Strom mittel	2,46	33,7 kWh/(m²·a)	335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m²·a)	mittel	2,45	33,6 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis eingebaute Beleuchtung				2,6	35,5 kWh/(m²·a)				2,6	35,5 kWh/(m²·a)	
Abweichung					-5,0%					-5,5%	
Gebäude GHL insgesamt						Gebäude GHL insgesamt					
Gebäude GHL insgesamt	5.791.413 kWh/a	236,4 kWh/(m²·a)			236,4 kWh/(m²·a)	5.797.467 kWh/a	236,6 kWh/(m²·a)			236,6 kWh/(m²·a)	
Energiebedarfsausweis gesamt					144,6 kWh/(m²·a)					144,6 kWh/(m²·a)	
Abweichung					63%					64%	

Variante 3

Als Variante 3 wurde betrachtet, 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 (Tabelle 16 und x_14_Anhang_Kennwerte\x_Kennwerte_GHL_2022.xlsx, Blatt GHL 18599 EKW 3_21-3_22 Var 3).

Tabelle 16: Vorberechnungen zur Bestimmung der Primärenergieanteile GHL (Variante 3)

Primärenergie							
betrachteter Zeitraum Jahr							
1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45				1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45			
GHL gesamt				Monitoringwerte GHL			
Anteile:				Anteile:			
Monitoringwerte GHL				Monitoringwerte GHL			
Primärenergie:				Primärenergie:			
Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):				Aufteilung Wärmeverbrauch gemessen (Nutzenergie):			
Krankenhaus Bestand (KHB)				Krankenhaus Bestand (KHB)			
Ersatzneubau GHL (KKH)				Ersatzneubau GHL (KKH)			
Absorptionskältemaschine (AKM)				Absorptionskältemaschine (AKM)			
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)				statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)			
Summe Wärme Nutzenergie				Summe Wärme Nutzenergie			
Aufteilung Wärmeerzeugung gerechnet mit %-Anteilen Nutzenergie (Endenergie)				Aufteilung Wärmeerzeugung gerechnet mit %-Anteilen Nutzenergie (Endenergie)			
Krankenhaus Bestand (KHB)				Krankenhaus Bestand (KHB)			
Ersatzneubau GHL (KKH)				Ersatzneubau GHL (KKH)			
Absorptionskältemaschine (AKM)				Absorptionskältemaschine (AKM)			
statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)				statische Heizkörper Energiezentrale (EZ)			
Summe Wärme Endenergie				Summe Wärme Endenergie			
Hackschnitzel für Wärmeerzeugung gesamt (Endenergie)				Hackschnitzel für Wärmeerzeugung gesamt (Endenergie)			
Prozentanteil Wärme GHL ohne KHB (siehe oben)				Prozentanteil Wärme GHL ohne KHB (siehe oben)			
Hackschnitzel für Wärmeerzeugung GHL ohne Anteil KHB				Hackschnitzel für Wärmeerzeugung GHL ohne Anteil KHB			
Gas für Wärmeerzeugung (Endenergie)				Gas für Wärmeerzeugung (Endenergie)			
Prozentanteil Wärme GHL ohne KHB (siehe oben)				Prozentanteil Wärme GHL ohne KHB (siehe oben)			
Gas für Wärmeerzeugung ohne Anteil KHB				Gas für Wärmeerzeugung ohne Anteil KHB			
Gas für Strom BHKW 1				Gas für Strom BHKW 1			
Gas für Strom BHKW 2				Gas für Strom BHKW 2			
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1				Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1			
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2				Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2			
Hackschnitzel + Gas für Wärme u. Strom GHL ohne Anteil KHB				Hackschnitzel + Gas für Wärme u. Strom GHL ohne Anteil KHB			
Verbrauch Strom für KKM				Verbrauch Strom für KKM			
elt. Hilfsenergie Wärme (mit Anteil div. Technik)				elt. Hilfsenergie Wärme (mit Anteil div. Technik)			
elt. Hilfsenergie WWB (mit Anteil div. Technik)				elt. Hilfsenergie WWB (mit Anteil div. Technik)			
elt. Hilfsenergie Kälte (mit Anteil div. Technik)				elt. Hilfsenergie Kälte (mit Anteil div. Technik)			
"elt. Hilfsenergie RLT" (mit Anteil div. Technik)				"elt. Hilfsenergie RLT" (mit Anteil div. Technik)			
Verbrauch Strom für Beleuchtung				Verbrauch Strom für Beleuchtung			
Summe Verbrauch Strom (Endenergie)				Summe Verbrauch Strom (Endenergie)			
Eigenerzeugung Strom durch PV				Eigenerzeugung Strom durch PV			
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1				Eigenerzeugung Strom durch BHKW 1			
Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2				Eigenerzeugung Strom durch BHKW 2			
Eigenerzeugung Strom durch NEA				Eigenerzeugung Strom durch NEA			
Rest Fremdbezug Strom				Rest Fremdbezug Strom			
Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom (Endenergie)				Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom (Endenergie)			
Gas für Strom BHKW 1				Gas für Strom BHKW 1			
Gas für Strom BHKW 2				Gas für Strom BHKW 2			
Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom (Endenergie)				Summe Erzeugung + Fremdbezug Strom (Endenergie)			

Der Vergleich der Primärenergie (siehe Abbildung 23, Tabelle 17) zeigt wieder die entsprechenden Auswirkungen. Bei der „gesamten Primärenergie“ für das GHL ergibt sich „2021“ ein mit Messwerten bestimmter Mehrverbrauch von nur noch 21 % (statt 81 % bei Variante 1) zu den gerechneten Bedarfswerten. Bei der „Kühlung“ beträgt der Unterschied jetzt noch 112 % statt 391 %, bei der „Heizung“ -23 % statt 184 %, bei „Warmwasser“ -65 % statt 36 %. Durch den im Vergleich zu Variante 1 immer noch höheren mittleren PEF-Strom (1,7 statt 1,31) ergibt sich bei der „Lüftung“ eine Erhöhung der Abweichung von den Werten des Energiebedarfsausweises von 92 % (statt 47 % Variante 1). Bei Beleuchtung wird der Wert des Energiebedarfsausweises jetzt um -34 % (statt -50 % Variante 1) unterschritten.

Insofern erhält man in dieser Variante durch die Beurteilung mit dem PEF für den heutigen Strommix eine bessere Primärenergiebewertung des GHL. Beim Vergleich der zwei Zeiträume 2020 und 2021 zeigen sich kleinere Unterschiede, die sich u. a. aufgrund der Unterschiede in den gemittelten PEFs ergeben.

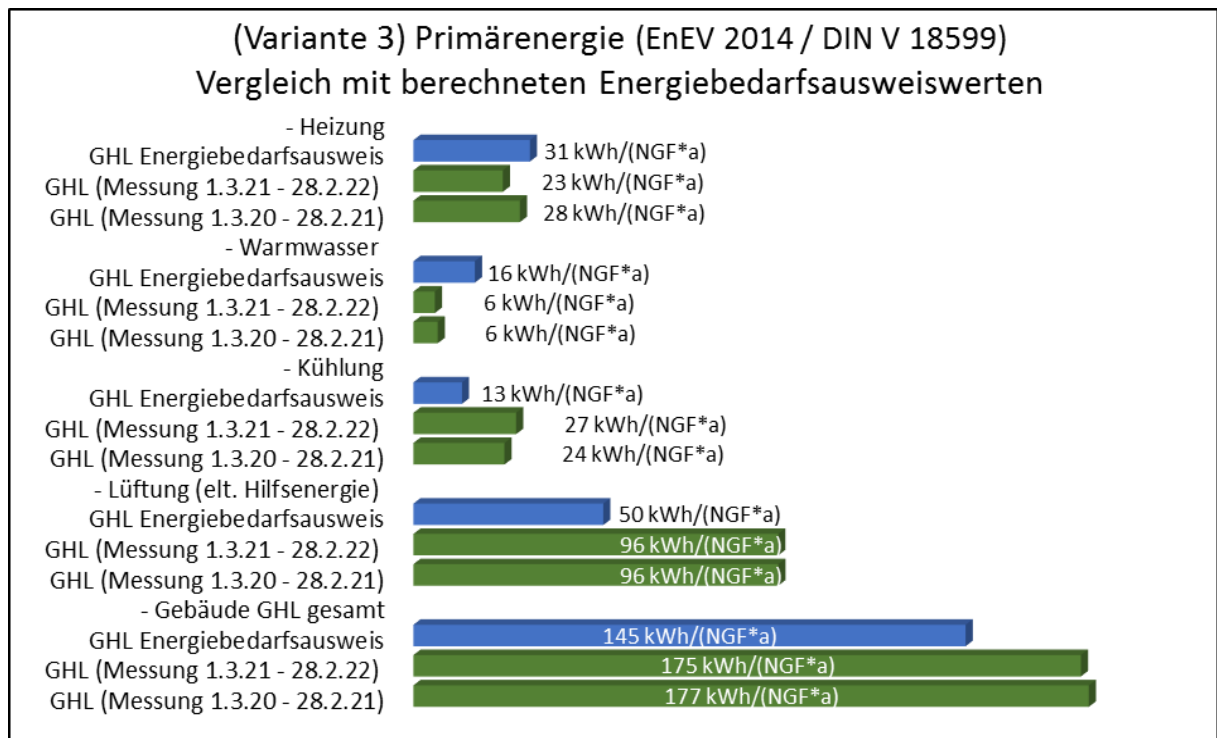


Abbildung 23: Vergleich Energiebedarfsausweis GHL Primärenergie mit gemessenen Werten

Aufteilung Primärenergie									
betrachteter Zeitraum Jahr									
1.3.21, 00:00 bis 28.2.22, 23:45					1.3.20, 00:00 bis 28.2.21, 23:45				
Heizung					Heizung				
Monitoringwerte GHL	57.576 kWh/a	2,3 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	64.842 kWh/a	2,6 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	4,5 kWh/(m²-a)
Heizung GHL (bereinigt, Endenergie)	2.452.706 kWh/a	100,1 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,19	2.678.437 kWh/a	109,3 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,21	23,4 kWh/(m²-a)
Summe Heizung	2.510.281 kWh/a	102,5 kWh/(m²-a)			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					Warmwasser				
Monitoringwerte GHL	8.792 kWh/a	0,4 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	11.500 kWh/a	0,5 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	0,8 kWh/(m²-a)
Warmwasserverbrauch GHL (Endenergie)	631.779 kWh/a	25,8 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,19	635.712 kWh/a	25,9 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,21	5,6 kWh/(m²-a)
Summe Warmwasser	640.571 kWh/a	26,1 kWh/(m²-a)			647.211 kWh/a	26,4 kWh/(m²-a)			6,4 kWh/(m²-a)
Energiebedarfsausweis Warmwasser									16,1 kWh/(m²-a)
Abweichung									-61%
Kühlung					Kühlung				
Monitoringwerte GHL	91.193 kWh/a	3,7 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	11.866 kWh/a	0,5 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	0,8 kWh/(m²-a)
elt. Hilfsenergie Wärme	124.925 kWh/a	5,1 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	137.862 kWh/a	5,6 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	9,5 kWh/(m²-a)
Wärmeverbrauch Absorptionskältemaschine (AKM)	1.496.512 kWh/a	61,1 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,19	1.542.279 kWh/a	62,9 kWh/(m²-a)	PEF Wärme mittel	0,21	13,5 kWh/(m²-a)
Summe Kühlung	1.712.630 kWh/a	69,9 kWh/(m²-a)			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					Lüftung				
Monitoringwerte GHL	1.373.325 kWh/a	56,0 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	1.380.909 kWh/a	56,4 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	95,56 kWh/(m²-a)
Summe Lüftung ("elt. Hilfsenergie RL")									49,7 kWh/(m²-a)
Energiebedarfsausweis Lüftung									92,3%
Abweichung									92,3%
Beleuchtung					Beleuchtung				
Monitoringwerte GHL	335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	335.677 kWh/a	13,7 kWh/(m²-a)	PEF Strom mittel	1,70	23,2 kWh/(m²-a)
Summe Verbrauch Strom für Beleuchtung									35,5 kWh/(m²-a)
Energiebedarfsausweis eingebaute Beleuchtung									-34,6%
Abweichung									-34,6%
Gebäude GHL insgesamt					Gebäude GHL insgesamt				
Monitoringwerte GHL	4.282.735 kWh/a	174,8 kWh/(m²-a)			4.333.579 kWh/a	176,9 kWh/(m²-a)			176,9 kWh/(m²-a)
Gebäude GHL insgesamt									144,6 kWh/(m²-a)
Energiebedarfsausweis gesamt									22%
Abweichung									22%

Tabelle 17: Vergleich Energiebedarfsausweis Primärenergie mit gemessenen Werten (Var. 3)

Die stark unterschiedlichen Ergebnisse je nach verwendeter Methode zur Bestimmung des PEF lassen keine eindeutigen Aussagen zu (Abbildung 24, Abbildung 25, x_14_Anhang_Kennwerte\x_GHL_Kennwertevgl_2022.xlsx). Weiterhin zeigt sich hier wieder deutlich die Problematik eines Vergleichs zwischen berechneten und gemessenen Energieverbräuchen. Trotzdem ermöglichen der Vergleich und die entsprechende Darstellung der gemessenen Werte zumindest, ein gewisses „Gefühl“ für die Energieflüsse im Gebäude und die unterschiedlichen Energiearten zu bekommen (z. B. Abbildung 82).

In x_14_Anhang_Kennwerte\x_Zaehlerwerte_2022\... finden sich diverse für die vorangegangenen Auswertungen benötigte Werteberichte aus dem Navigator.

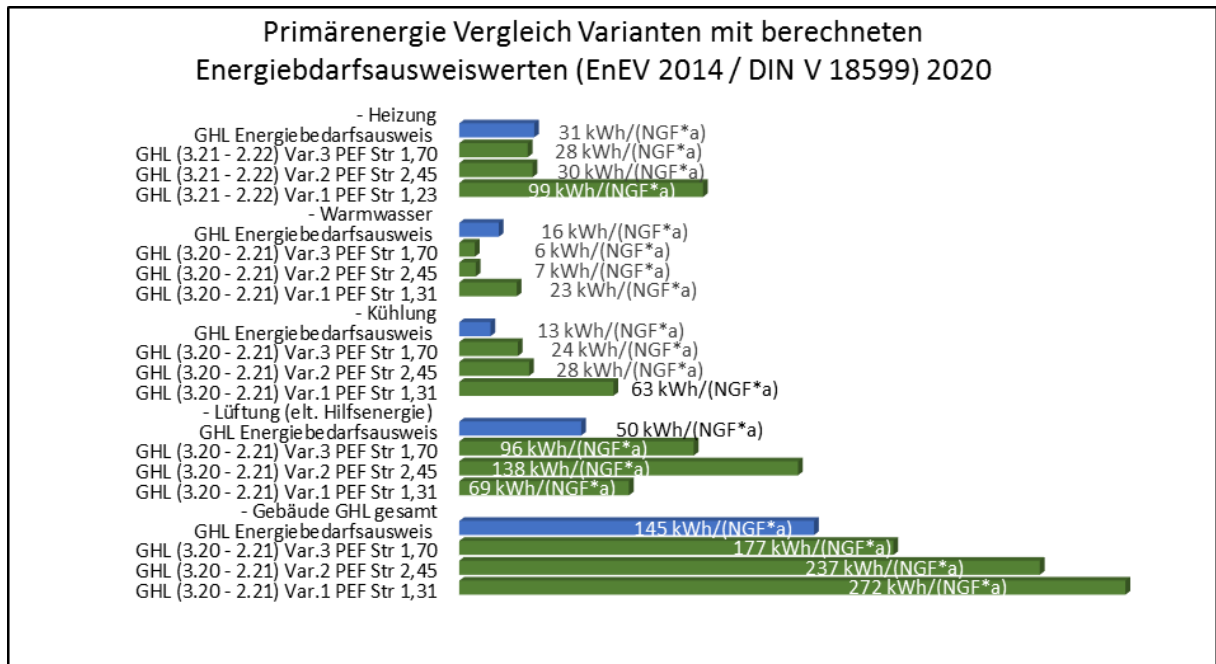


Abbildung 24: Vergleich Varianten Energiebedarfsausweis GHL Primärenergie

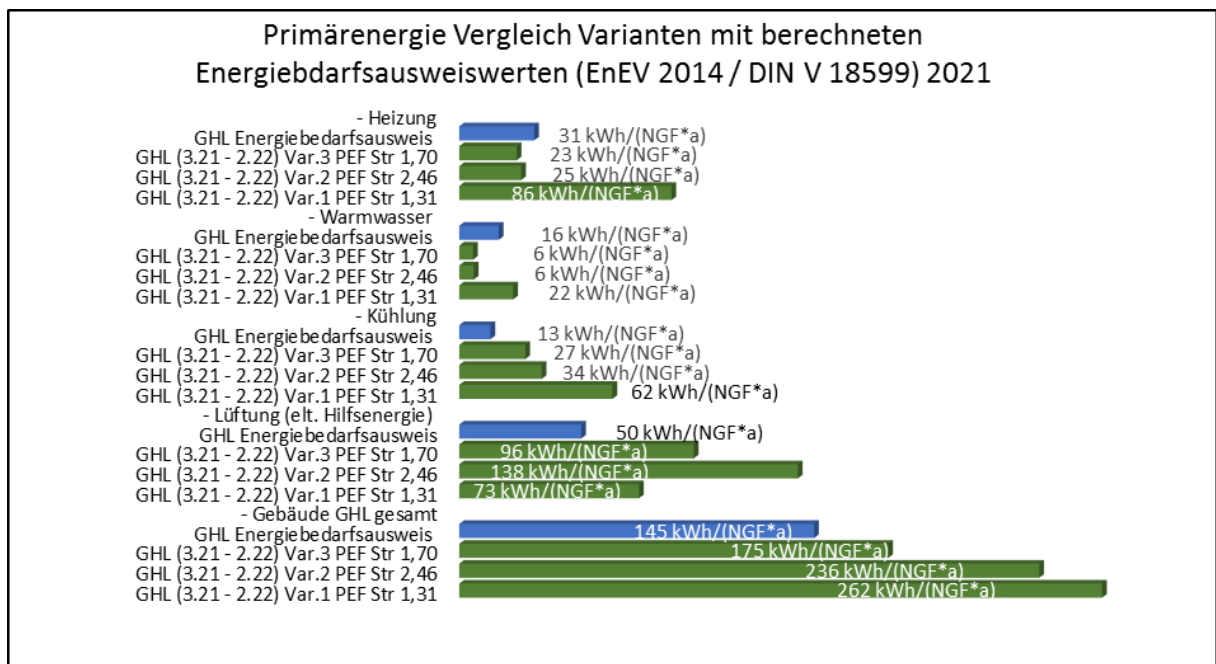


Abbildung 25: Vergleich Varianten Energiebedarfsausweis GHL Primärenergie

4.8.4 Wärme- und Kälteversorgung

Die Jahresdauerlinie ist ein in der Energiewirtschaft gebräuchliches Diagramm, das den Leistungsbedarf eines Versorgungsobjekts auf Basis der jeweiligen Nutzungszeit darstellt. Aus der Jahresdauerlinie wird also ersichtlich, wie viele Stunden im Jahr eine bestimmte Leistung nachgefragt wird. In Abbildung 26 sind die Jahresdauerlinien der benötigten Wärmeerzeugerleistungen des GHL in beiden Bilanzjahren dargestellt (01.03.2020 bis 28.02.2021 / 01.03.2021 bis 28.02.2022). Die Kurven wurden geglättet (Polynom 5. Ordnung) und die jeweiligen Leistungen sind als gestapelt zu betrachten.

Es ist auffällig, dass in dieser Form der Darstellung nahezu keine Unterschiede zwischen den beiden (Bilanz)Jahren zu erkennen sind. Auch wenn es in einzelnen Monaten größere Abweichungen bezüglich der Monatsdurchschnittstemperaturen gegeben hat, heben sich diese Unterschiede im Jahresdurchschnitt fast vollständig auf. Die gestrichelten Linien stellten die benötigte Wärmeleistungen zur Trinkwarmwassererzeugung dar. Wird zu diesen Leistungswerten der Wärmebedarf der AKM addiert, entstehen die gepunkteten Linien. Die durchgezogenen Linien stellen die Gesamtwärmeleistung aller Komponenten im GHL dar. Die benötigte Wärmeleistung reicht von ca. 500 kW im Sommer bis zu 1.200 kW während der Wintermonate. Es gibt auch einzelne Leistungsspitzen bis zu 2.500 kW.

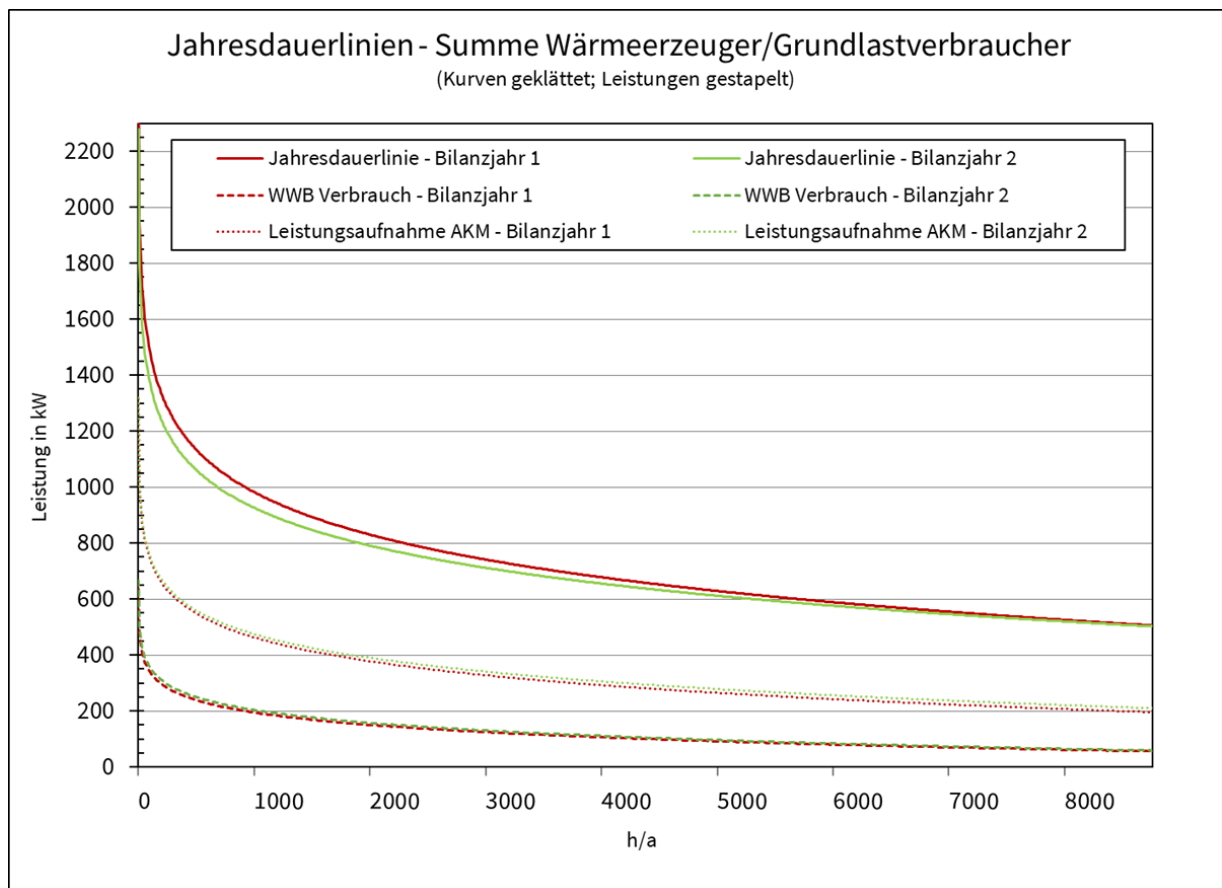


Abbildung 26: Jahresdauerlinien der Wärmeerzeugung im GHL – Bilanzjahre 1 und 2 (01.03.2020 bis 28.02.2021 / 01.03.2021 bis 28.02.2022)

4.8.4.1 Wärmeenergieverbrauch

Abbildung 27 stellt die Wärmeenergie-Erzeugung im GHL im Bilanzjahr dar. Es ist zu beachten, dass ein Teil der Energie auch in die Bestandsgebäude fließt. Die Grundlast wird über beide Blockheizkraftwerke (BHKW) erzeugt. Während der Heizperiode wird der Biomassekessel manuell 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. Die blauen Striche (rechte Achse) stellen den Mittelwert der Temperatur des jeweiligen Monats dar. Die Messung erfolgte in der eigenen Wetterstation, direkt am Gebäude. In den Abbildung 28 bis Abbildung 31 ist der Wärmeverbrauch und die Wärmeverteilung bis in die einzelnen Flügel (Nord- und Südflügel) dargestellt.

Wird die Wärmeerzeugung betrachtet, produzieren beide gasbetriebenen Blockheizkraftwerke (BHKW) ca. 56 % der Wärmeenergie, während 27 % auf den Biomassekessel und ca. 17 % auf die Gas-NT-Kessel entfallen. Beim Wärmeenergieverbrauch entfallen ca. 25 % auf die AKM, 20 % auf den Altbau, 55 % auf das GHL an sich und 2 % auf die Heizzentrale. Der Nordflügel benötigt dabei ca. 56 % der Wärmenergie, während der Südflügel nur ca. 44 % verbraucht. Viele technische Einrichtungen wie z.B. OP-Säle oder die Notaufnahme/Intensivstation sind im Nordflügel angesiedelt, was dort zu einem erhöhten Energieverbrauch führt. Der Nutzenergieverbrauch verteilt sich in etwa mit 22 % auf die Warmwasserbereitstellung, mit ca. 5 % auf die Fußbodenheizung, mit 16 % auf die statischen Heizkörper und mit ca. 57 % auf die Raumlufttechnik (Nord- plus Südflügel).

Wird die Heizperiode betrachtet (Oktober bis Mai), ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Monatsdurchschnittstemperatur und dem Heizwärmeverbrauch bzw. der Produktion zu erkennen. Dies trifft sowohl auf den GHL-Neubau als auch auf das Bestandsgebäude zu. Eine Besonderheit tritt während der Sommermonate, z. B. im August 2020 bzw. 2021, auf (vgl. Abbildung 27 / Abbildung 28). Trotz stark unterschiedlicher Umgebungstemperaturen bleibt der Energieverbrauch in der Summe konstant. Mithilfe von Abbildung 28 kann die Ursache dafür identifiziert werden. Mit steigender Temperatur sinkt zwar der Heizenergieverbrauch des GHL, im gleichen Maße erhöht sich aber der Wärmeverbrauch der AKM, die bei steigenden Temperaturen mehr Kälte zur Kühlung des Gebäudes bereitstellen muss.

Die Unterschiede in der Nutzung der Biomasse lassen sich u.a. durch den manuellen Betrieb des Kessels (per Hand anfeuern) erklären. Außerdem besitzt der Kessel ein relativ kleines Modulationsspektrum und verfügt über kein großes Puffervolumen. Er kann also nur dann betrieben werden, wenn auch genügend Wärme abgenommen wird.

Die BHKW-Einheiten laufen als Grundlasterzeuger im 24/7 Betrieb und sichern dadurch einen großen Teil des elektrischen Energieverbrauchs ab. Lediglich 03/2021 bzw. 02/2022 waren die BHKWs zu Wartungszwecken zeitweise außer Betrieb.

In Abbildung 29 ist der Wärmenergieverbrauch des Nord- und des Südflügels dargestellt. Der Nordflügel weist einen höheren Energieverbrauch auf. Dort befinden sich neben der Bettenstation auch viele Bereiche mit einem erhöhten Energiebedarf (OP-Räume, Med. Großgeräte ...)

Abbildung 30 und Abbildung 31 schlüsseln den Wärmeenergieverbrauch innerhalb des Nord- und des Südflügels auf. Die Abnehmer, die der Gebäudewärmeversorgung dienen, haben die üblichen saisonalen Schwankungen (Abhängigkeit von der Außentemperatur), während die Warmwasserbereitung nicht witterungsabhängig ist. Die RLT-Heizregister und die statischen Heizkörper verbrauchen während der Wintermonate mehr als 70 % der Gesamtwärmeenergie. In den Sommermonaten ist die Fußbodenheizung außer Betrieb, die RLT-Heizregister bleiben aber auch im Sommer aktiv, wenn auch in reduzierter Form. Entweder sind Wärmeflüsse innerhalb des Gebäudes (warmer Raum grenzt an klimatisierten Raum an) dafür verantwortlich, oder dies wird durch eine ineffiziente Betriebsweise der RLT-Anlagen verursacht. Die Luft wird zu stark abgekühlt und muss ständig durch das Heizregister nachgewärmt werden. Alle Abbildungen dieses Kapitels befinden sich auch in x_17_Anhang_Ergebnisse\x_Wärmeversorgung.

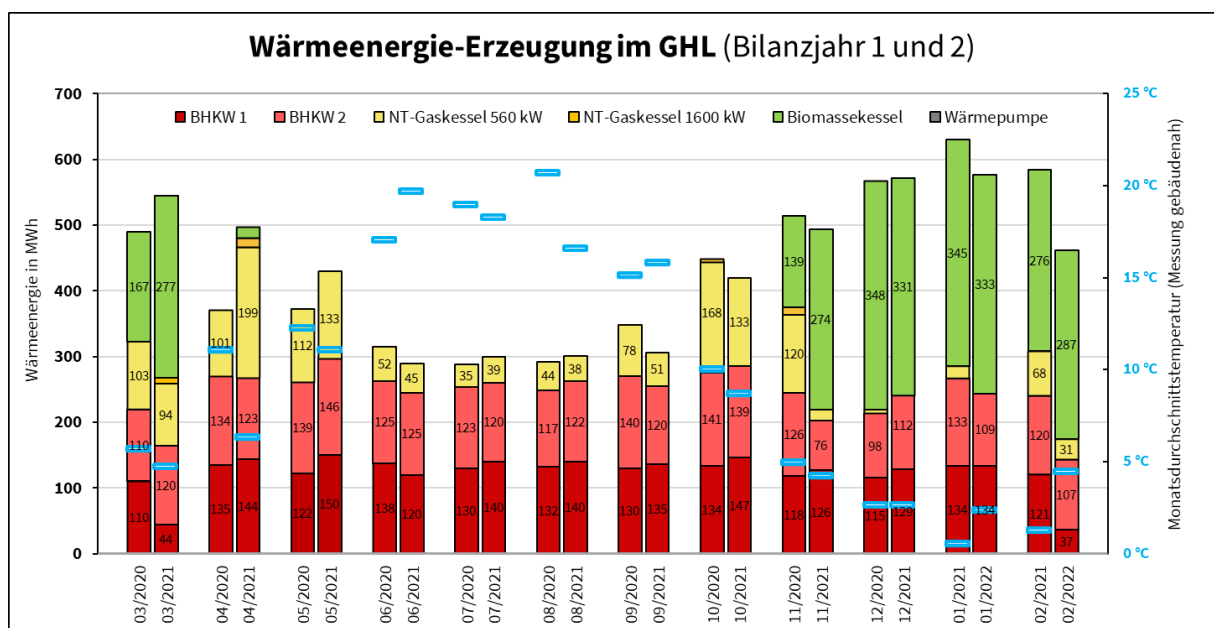


Abbildung 27: Wärmeenergie-Erzeugung im GHL (Bilanzjahr 1 und 2). Mengen < 5 MWh bereinigt.

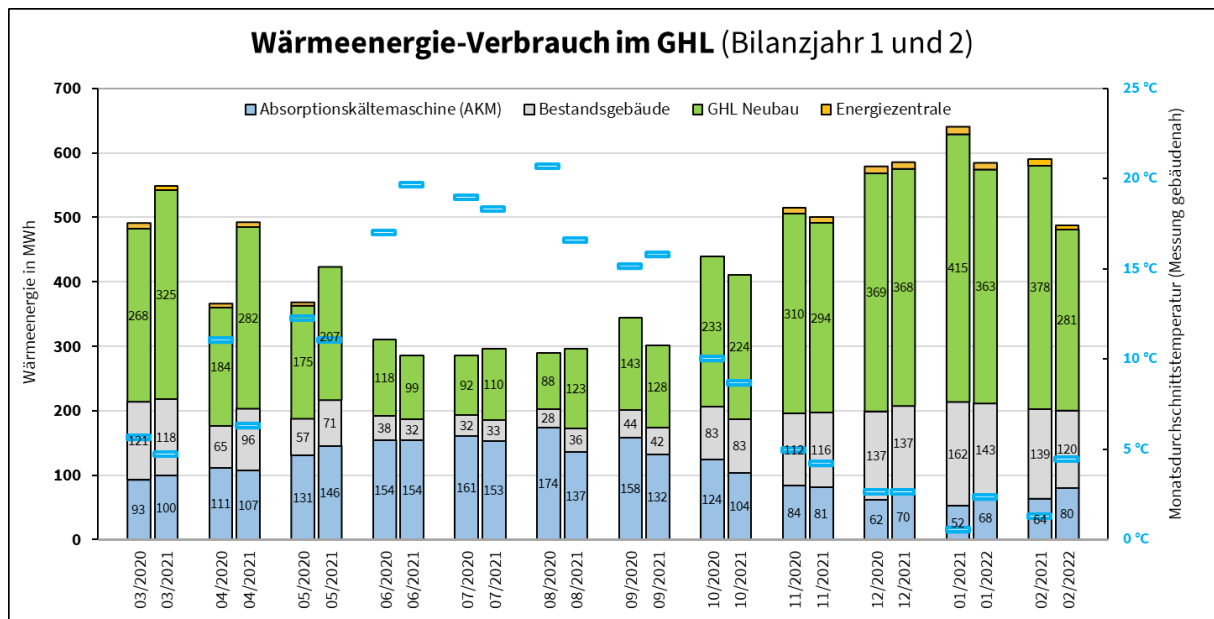


Abbildung 28: Wärmeenergie-Verbrauch im GHL (Bilanzjahr 1 und 2). Mengen < 5 MWh bereinigt.

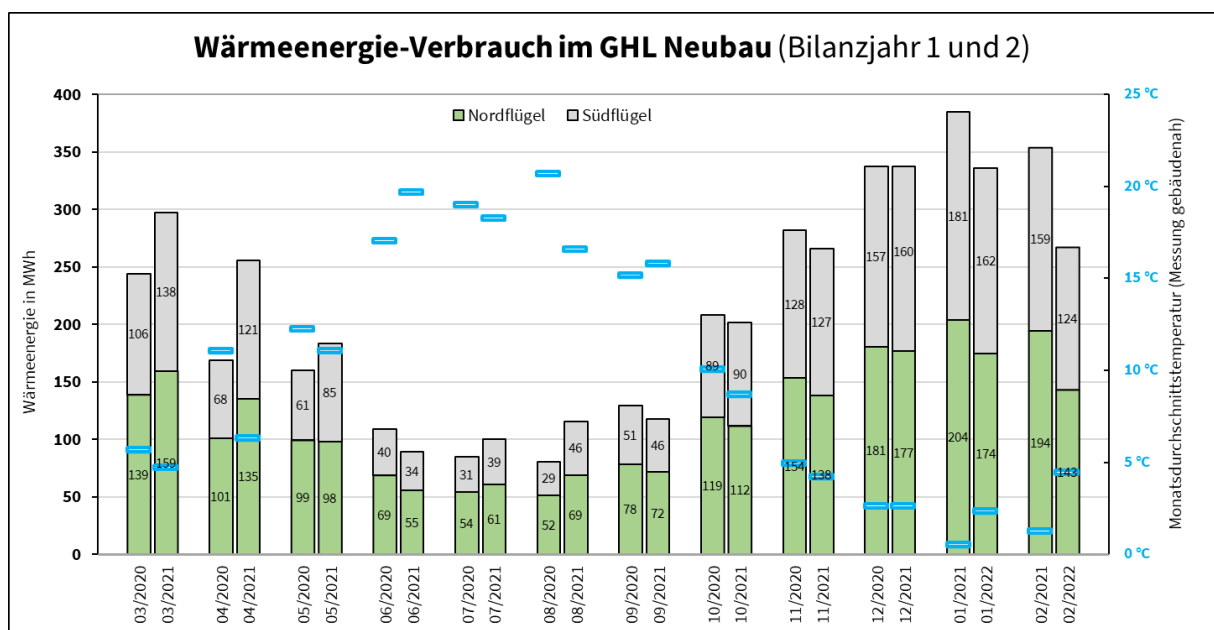


Abbildung 29: Wärmeenergie-Verbrauch im GHL Neubau (Bilanzjahr 1 und 2). Mengen < 5 MWh bereinigt.

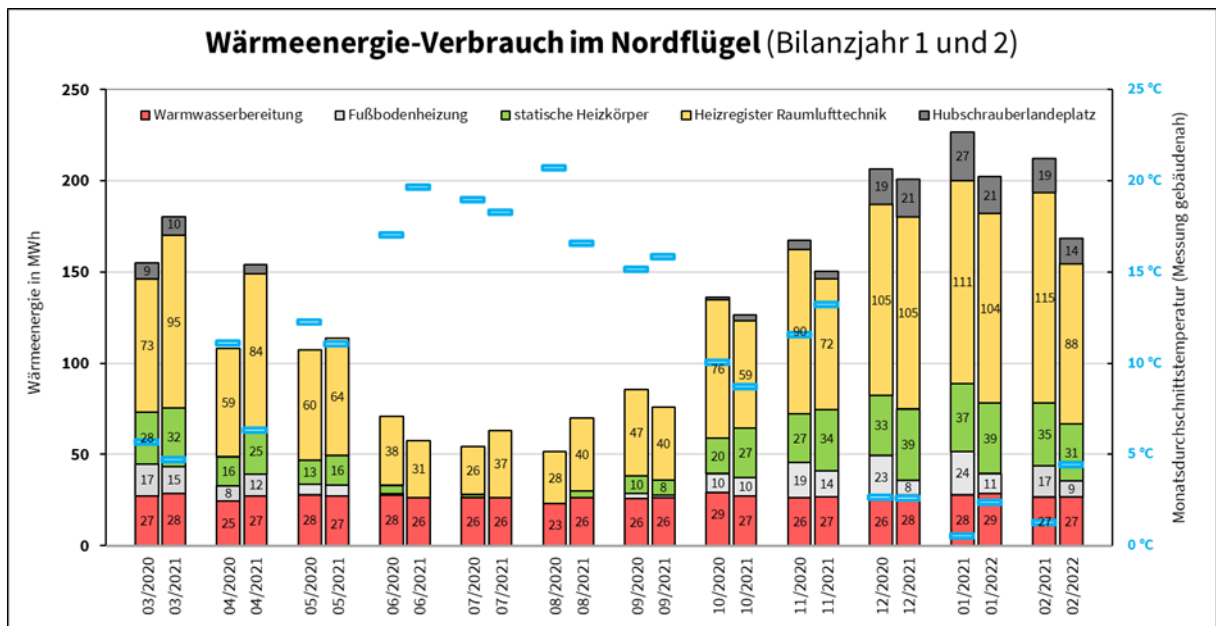


Abbildung 30: Wärmeenergie-Verbrauch im Nordflügel (Bilanzjahr 1 und 2). Mengen < 1 MWh bereinigt.

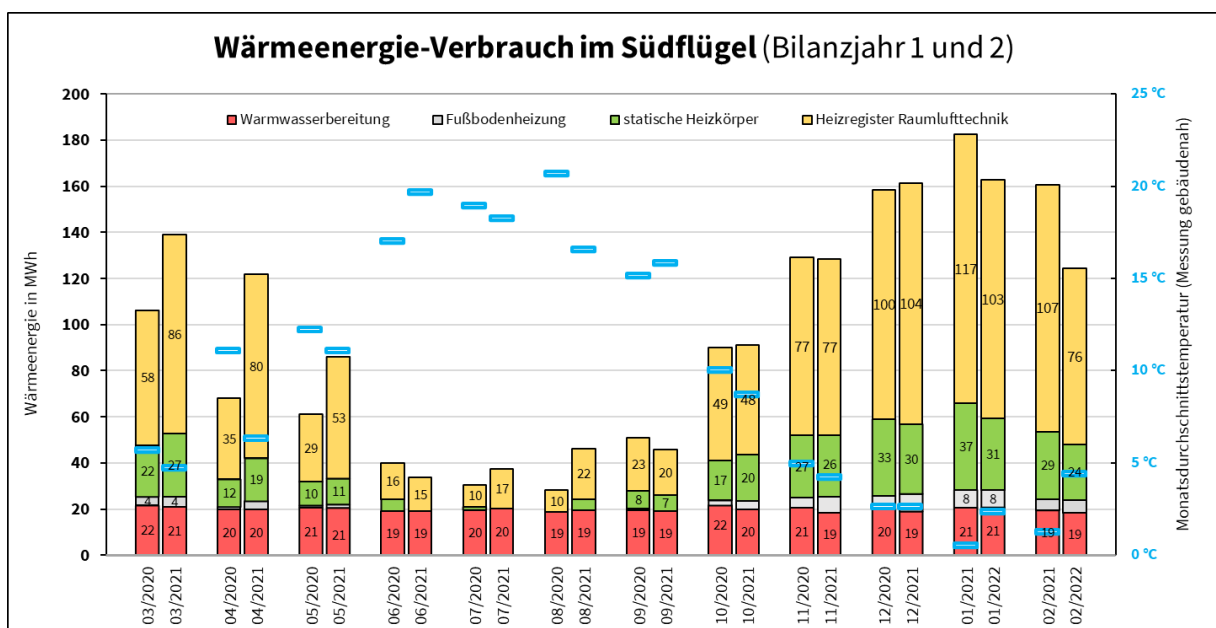


Abbildung 31: Wärmeenergie-Verbrauch im Südflügel (Bilanzjahr 1 und 2). Mengen < 1 MWh bereinigt.

4.8.4.2 Kälteenergieverbrauch

In Abbildung 32 ist zunächst die Kälteenergieerzeugung in monatlicher Auflösung im GHJ dargestellt (Bilanzjahr 1 und 2). Der Großteil des Bedarfs wird durch die Absorptionskältemaschine gedeckt. Im Frühjahr, Herbst und Winter wird so viel wie möglich über 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 oder die Erfassung, genauer gesagt, die eingesetzte Messtechnik arbeitet nicht korrekt. Die Kombination aus Erdsonden und BTA wurde aufgrund von technischen Problemen nicht zur Klimatisierung eingesetzt. Alle Abbildungen dieses Kapitels befinden sich auch in x_17_Anhang_Ergebnisse\x_Kälteversorgung.

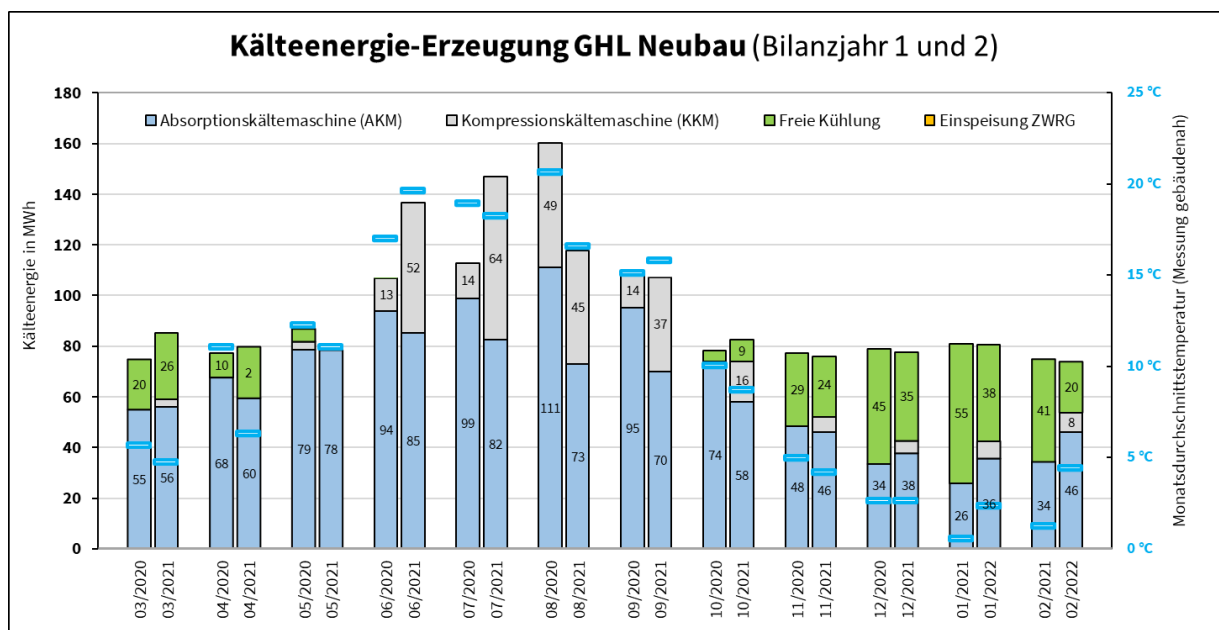


Abbildung 32: Kälteenergie-Erzeugung GHJ Neubau (Bilanzjahr 1 und 2)

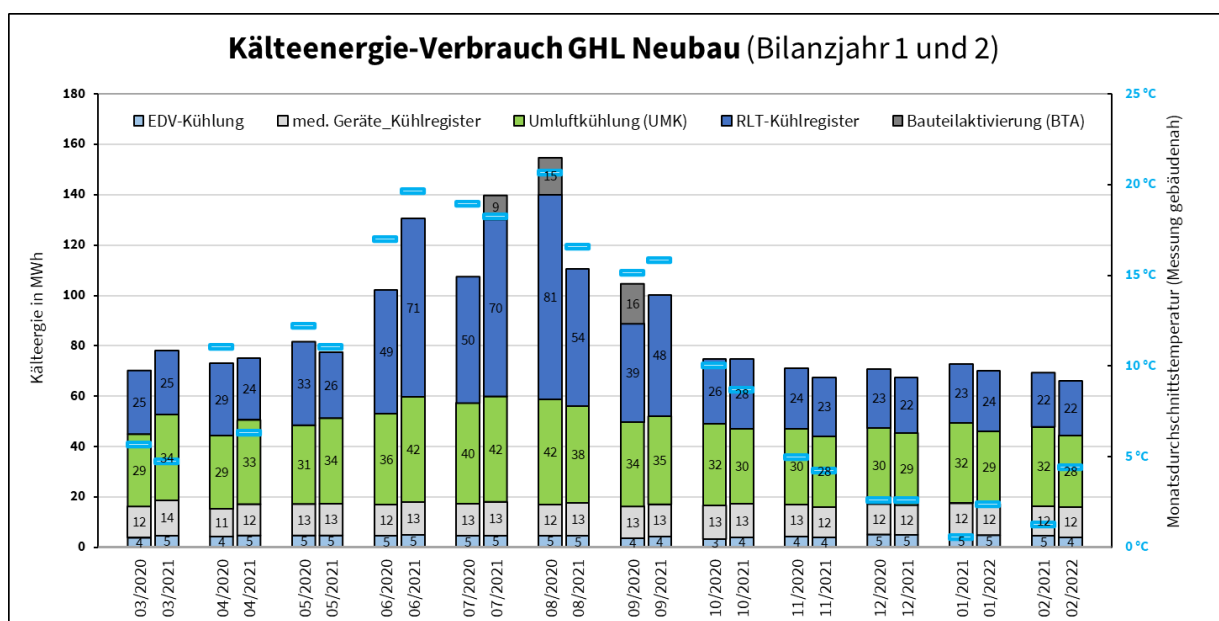


Abbildung 33: Kälteenergie-Verbrauch GHJ Neubau (Bilanzjahr 1 und 2)

Abbildung 33 zeigt den monatlich aufgelösten Kälteenergieverbrauch des GHL-Neubaus in beiden Bilanzjahren. Die Messung erfolgt am Haupt-Kältekreisverteiler. Angeschlossene Verbraucher sind:

- Bauteilaktivierung (BTA)
- Medizinische Großgeräte
- Umluftkühlgeräte (UMK)
- EDV-Kühlung
- RLT-Kühlregister

Die BTA war nur in den Monaten Juli, August und September im Betrieb (Abbildung 33). 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.

Die Kältebereitstellung erfolgt bezogen auf beide Bilanzjahre zu 68 % über die Absorptionskältemaschine, zu 15 % über die Kompressionskältemaschine und zu 17 % über die Freie Kühlung. Grundlastverbraucher wie die Umluftkühlung, die medizinischen Großgeräte und die EDV-Kühlung sind für 58 % des Kälteenergieverbrauches verantwortlich. Der restliche Anteil wird für die Gebäudeklimatisierung benötigt und fällt zu einem größeren Teil während der Sommermonate an.

4.8.5 Elektrischer Energieverbrauch

Im Folgenden werden die gemessenen Werte der elektrischen Energie der Messzeiträume 2020 (März 2020 bis Februar 2021) und 2021 (März 2021 bis Februar 2022) betrachtet.

In Abbildung 34 sind zum einen die vom Versorger bereitgestellte (Trafo 1, Trafo 2) und die von BHKW1, BHKW2, Photovoltaik und Netzersatzanlage (NEA) selbst erzeugte elektrische Jahres-Energie (*Erzeuger*), zum anderen die elektrischen Hauptverbraucher ISP's (Informationsschwerpunkte), UV's (Unterverteilungen) und GG's (Großgeräte) (*Verbraucher*) dargestellt. Weiterhin ist der Verbrauch nach Ort (Nordflügel, Mitte, Südflügel, Energiezentrale) bzw. Geschossen (2. UG, 1. UG, EG, 1. OG, 2. OG, 3. OG, Energiezentrale) aufgegliedert. Die Differenz zwischen bereit gestellter elektrischer Energie und Hauptverbrauchern bzw. Verbrauch nach Ort wird als „Gesamt delta“ der Verbrauchsseite zugeordnet und ist u. a. auf Verbraucher zurückzuführen, für die keine Zähler verbaut wurden. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (3.478.923 kWh) ist etwas höher als im Jahr 2020 (3.379.528 kWh).

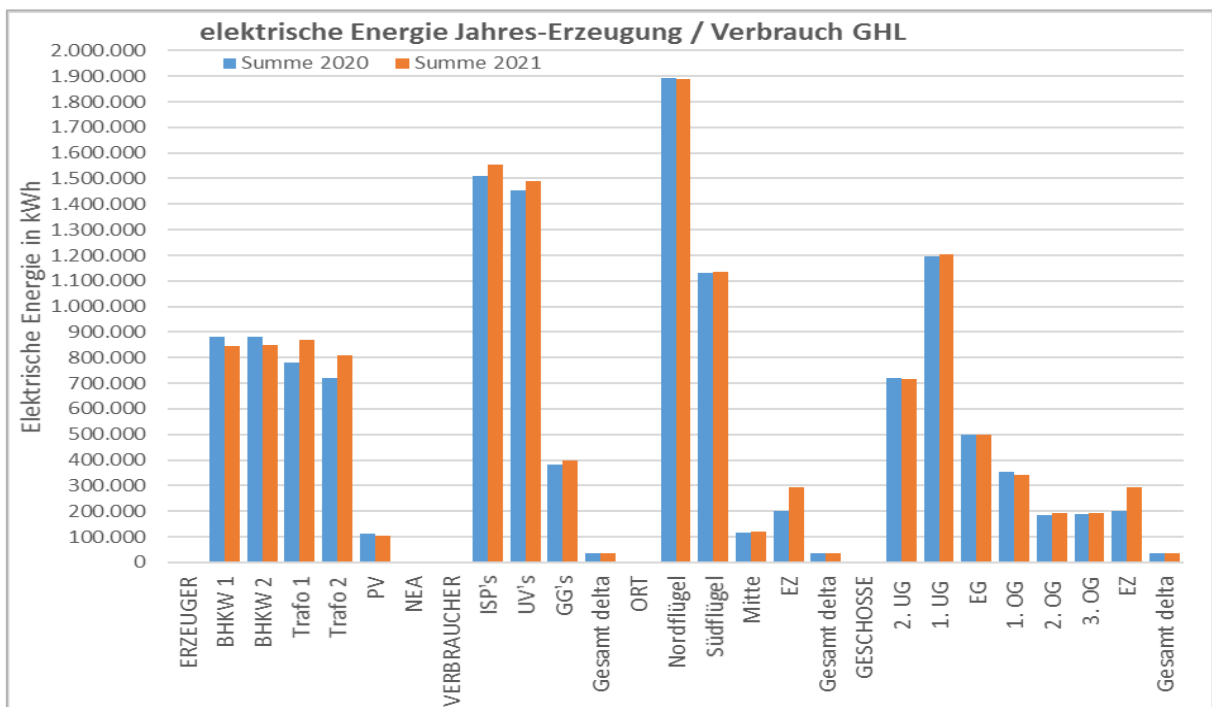


Abbildung 34: bereitgestellte/erzeugte elektrischer Jahresenergie und entsprechende Verbraucher bzw. Verbrauchsorte für die Zeiträume 2020 und 2021

Es ist zu erkennen, dass im Jahr 2021 etwas weniger elektrische Energie mit den BHKW's erzeugt, aber dafür mehr Energie vom Versorger bezogen wurde. Die über Photovoltaik erzeugte Energie ist ca. gleich geblieben. Der erhöhte Verbrauch 2021 ist bei den Verbrauchern (ISP's, UV's, GG's) ca. gleich verteilt. Bei der Darstellung nach Ort/Geschossen zeigt sich, dass der erhöhte Verbrauch im Wesentlichen in der Energiezentrale (EZ) auftritt. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass der Zähler für den elektrischen Energieverbrauch der Kompressionskältemaschine erst ab März 2021 „richtig“ zählt (siehe auch Kapitel 4.7.4.1). Der Jahresvergleich 2020/2021 zwischen den Verbrauchern bzw. Ort des Verbrauchs bzw. Geschossen ist deshalb nur bedingt zielführend.

Die ISP's und die UV's stellen zu ca. gleichen Anteilen die größten Verbraucher dar. Der Anteil der Großgeräte (GG) macht ca. 10 % des Gesamtverbrauchs aus. Der Gebäudeteil Nordflügel (Nord) verbraucht (hier Zeitraum 1.3.2020 bis 28.2.2021) ca. 56 % des Gesamtverbrauchs an elektrischer Energie, Mitte (Mitte) ca. 3%, Südflügel (Süd) ca. 33 % und die Energiezentrale (EZ) ca. 6 % (Gesamt delta ca. 2 %). Bei Betrachtung der Geschosse sind das 2. UG und vor allem das 1. UG mit den Großgeräten und der Versorgungstechnik die größten Verbrauchsgebiete. Der Verbrauch im 2. OG und 3. OG, in denen sich meistens nur die Kleinverbraucher befinden, ist ungefähr gleich groß.

In Abbildung 35 sind summierte Monatswerte der vom Versorger bereitgestellten (Trafo 1, Trafo 2) und die von BHKW1, BHKW2, Photovoltaik (PV) und Netzersatzanlage (NEA) selbst erzeugten elektrischen Energie als Zwei-Jahresvergleich dargestellt. Über einen Jahreszeitraum gesehen gibt es bei den monatlich summierten elektrischen Energien nur geringe Unterschiede und nur einen leicht ausgeprägten saisonalen Witterungseinfluss (Juni, Juli, August). Da der Februar nur 28 Tage hat, sind in diesem Monat grundsätzlich etwas geringere Werte zu erwarten. Die im Vergleich zum Vorjahr leicht erhöhte bereitgestellte/erzeugte Energie 2021 tritt nicht in allen Monaten gleichmäßig auf. Starke Unterschiede bei den jeweiligen Anteilen der bereitgestellten bzw. erzeugten elektrischen Energie (Trafo, BHKW, ...) sind sowohl beim Jahresvergleich eines Monats (z. B. Feb_2021 und Feb_2022) als auch beim Vergleich der verschiedenen Monate (z.B. Mrz_2021 und Apr_2021) festzustellen. Auffällig ist hier die geringere Produktion durch BHKW 1 im Mrz_2021 und Feb_2022 und durch BHKW 2 im Nov_2021. (Die Ursache konnte noch nicht geklärt werden). Der von den BHKW's erzeugte Beitrag an elektrischer Energie schwankt über die Monate um ca. 25 %. Ein ausgeprägter saisonaler Einfluss, aber auch ein Unterschied zwischen den Jahren, ist beim erzeugten PV-Strom zu erkennen (Abbildung 36). Die jeweils nicht selbst erzeugte restliche benötigte elektrische Energie wird vom Versorger über die Trafos 1 und 2 gedeckt.

In Abbildung 37 sind summierte Monatswerte der elektrischen Hauptverbraucher (ISP's, UV's, GG's, „Gesamt delta“ (keine Zähler)) als Zwei-Jahresvergleich dargestellt. Über einen Jahreszeitraum gesehen gibt es bei den monatlich summierten elektrischen Energien nur geringe Schwankungen und nur bei den ISP's einen leicht ausgeprägten saisonalen Witterungseinfluss (Juni, Juli, August). Auch in Abbildung 38, wo die summierten Monatswerte nach Ort (Nordflügel, Mitte, Südflügel, Energiezentrale, „Gesamt delta“) als Zwei-Jahresvergleich dargestellt sind, ergibt sich ein ähnliches Bild. Über einen Jahreszeitraum gesehen gibt es bei den monatlich summierten elektrischen Energien nur geringe Schwankungen und nur bei der

Energiezentrale (EZ) einen leicht ausgeprägten saisonalen Witterungseinfluss (Juni, Juli, August). Die Unterschiede beim Vergleich der Monatswerte 2020/2021 der Energiezentrale sind wieder darauf zurückzuführen, dass der Zähler für den elektrischen Energieverbrauch der Kompressionskältemaschine erst ab März 2021 „richtig“ zählt (siehe auch Kapitel 4.7.4.1). Bei der Darstellung des elektrischen Energieverbrauchs nach Geschossen (Abbildung 39) zeigen sich keine ausgeprägten Schwankungen.

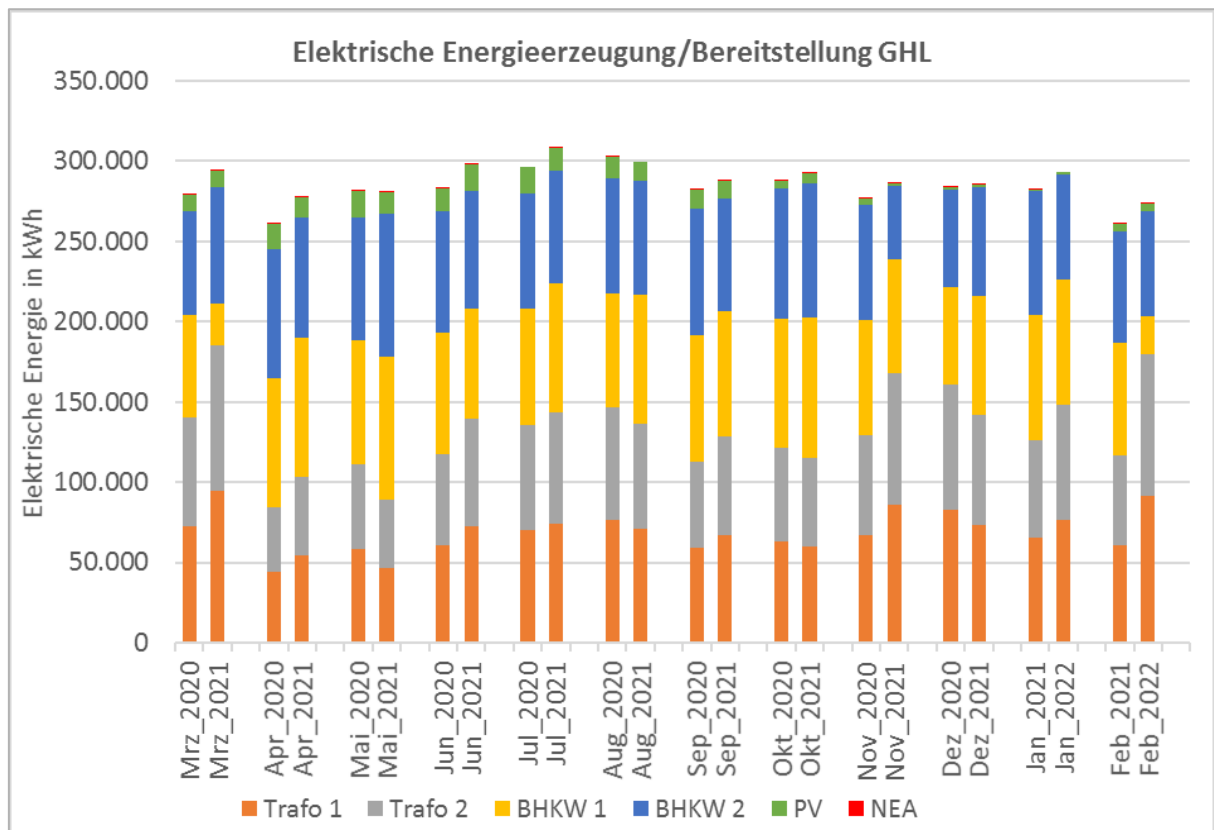


Abbildung 35: Bereitgestellte/erzeugte elektrischer Energie (Monatswerte für die Zeiträume 2020 und 2021)

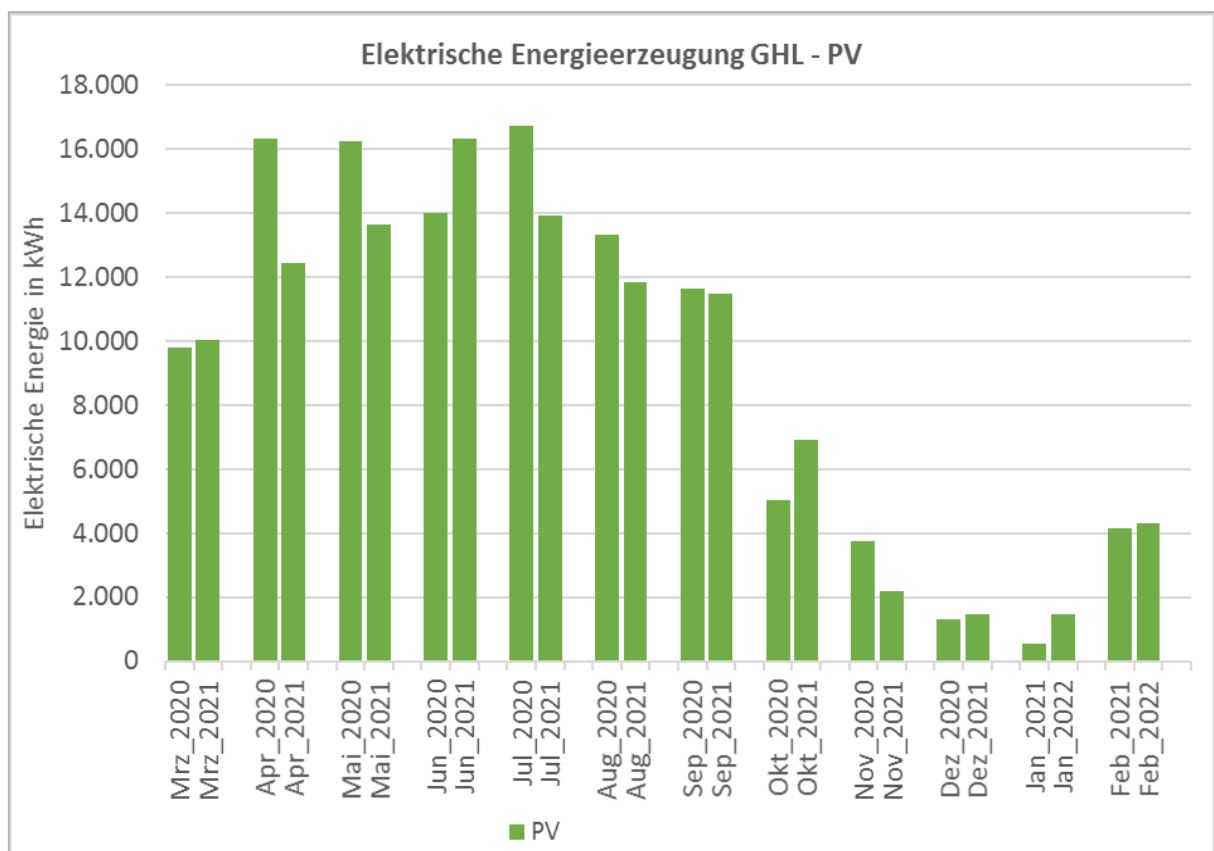


Abbildung 36: Durch PV erzeugte elektrische Energie (Monatswerte für die Zeiträume 2020 und 2021)

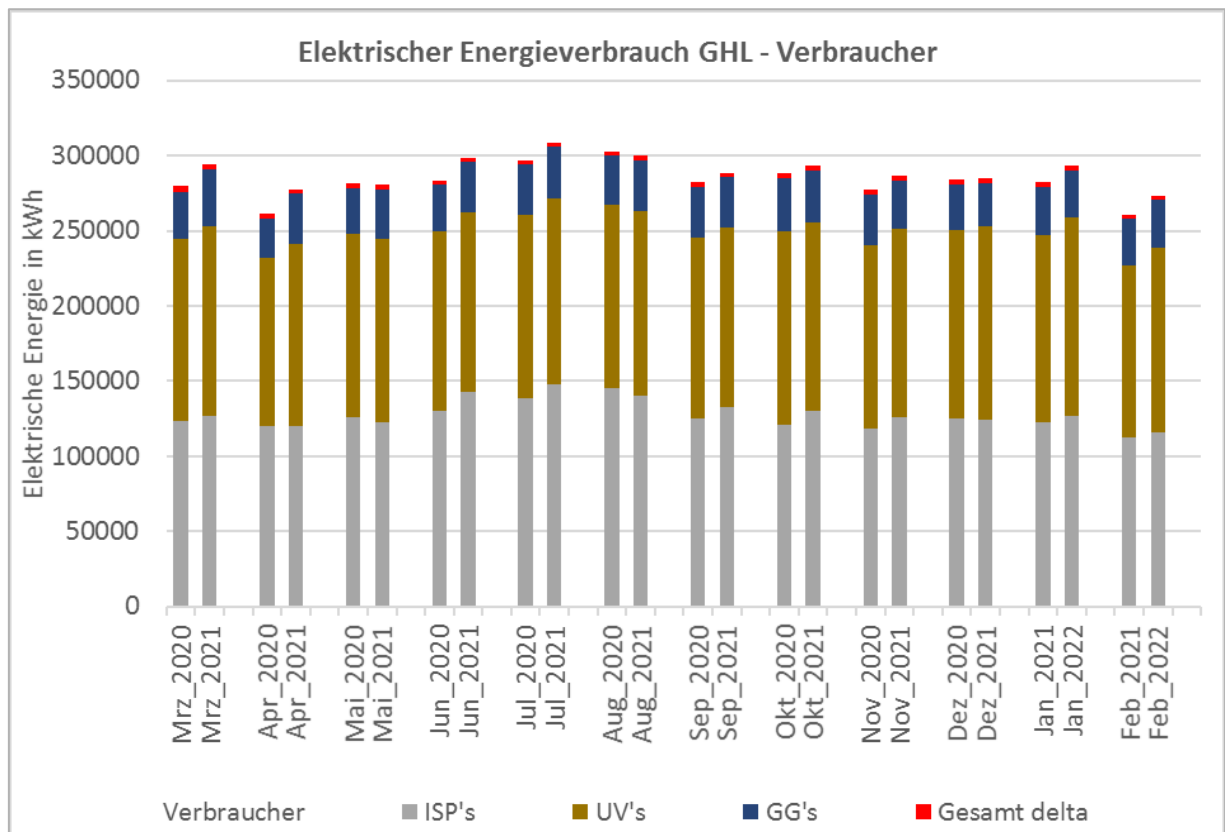


Abbildung 37: Elektrische Hauptverbraucher (Monatswerte für die Zeiträume 2020 und 2021)

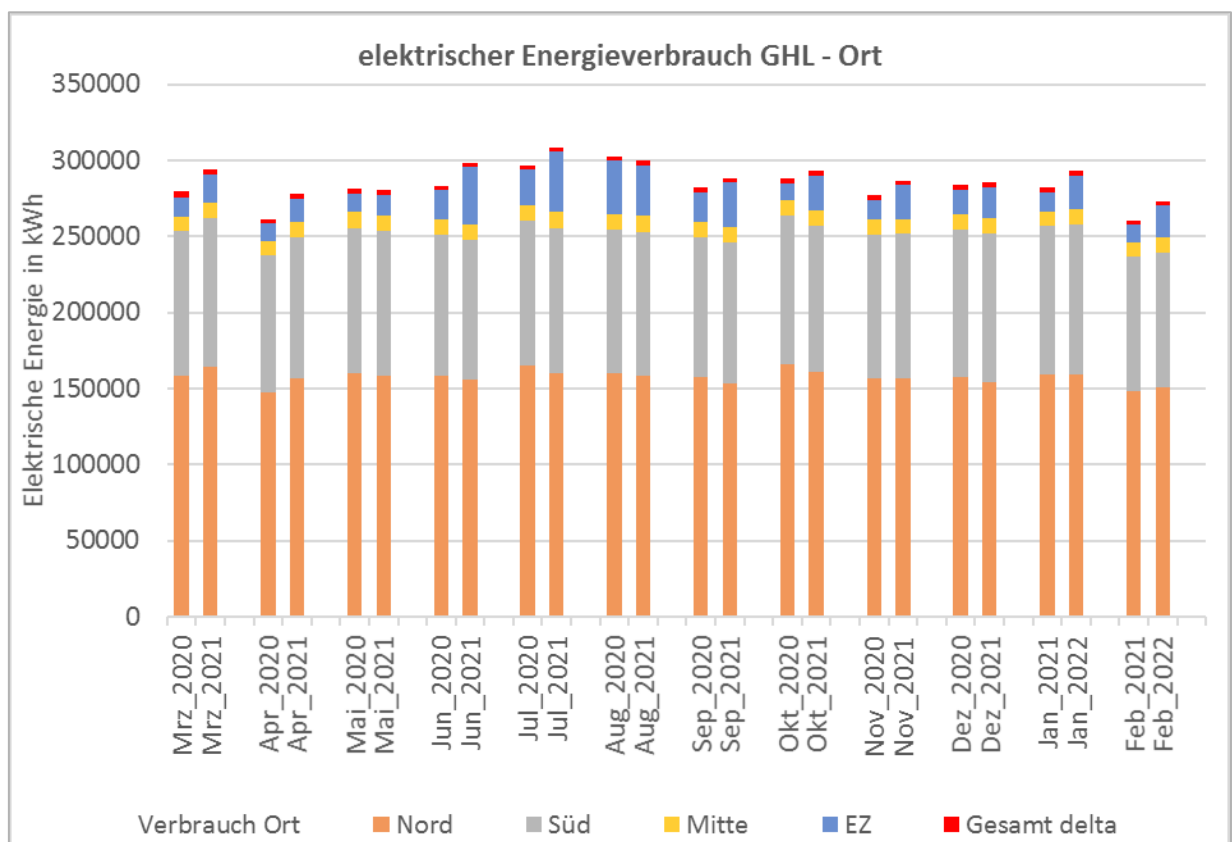


Abbildung 38: Elektrischer Energieverbrauch nach Ort Hauptverbraucher (Monatswerte für die Zeiträume 2020 und 2021)

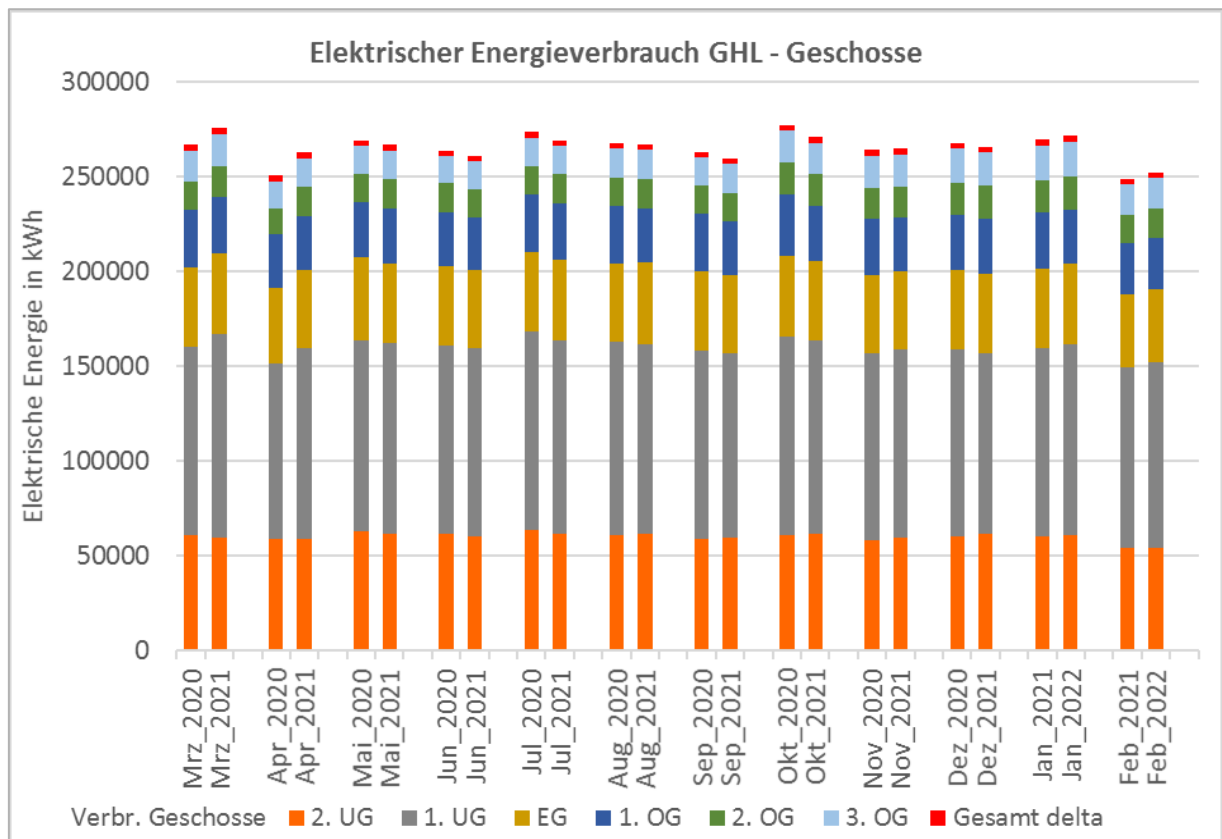


Abbildung 39: elektrischer Energieverbrauch nach Geschossen (Monatswerte für die Zeiträume 2020 und 2021)

Detaillierte Darstellung der elektrischen Verbraucher

Im Folgenden sind die elektrischen Verbraucher detailliert dargestellt. Unterteilt werden diese nach Informationsschwerpunkten, medizinischen Großgeräten und den Unterverteilungen.

Bei den **Informationsschwerpunkten** (ISP's) gibt es zum einen Zähler für die in die IPS's eingespeiste elektrische Energie (*Einspeisung*) und zum anderen diverse Zähler für die hinter den ISP's liegenden einzelnen elektrischen *Verbraucher*. Allerdings gibt es nicht für alle Verbraucher Zähler. So entsteht eine Differenz zwischen der gesamt in eine ISP eingespeiste elektrischen Energie und dem summierten gemessenen Verbrauch der nachgeordneten einzelnen Verbraucher. Diese Differenz wird als „delta“ der jeweiligen Verbrauchsseite zugeordnet. Es zeigt sich, dass vor allem in den ISP's 1, 2 und 4 einige Zähler fehlen (Abbildung 40). Auf einen Zwei-Jahresvergleich wurde in den folgenden Betrachtungen für die ISP's verzichtet, da im Jahr 2020 u. a. der Zähler der Kompressionskältemaschine falsche Werte lieferte.

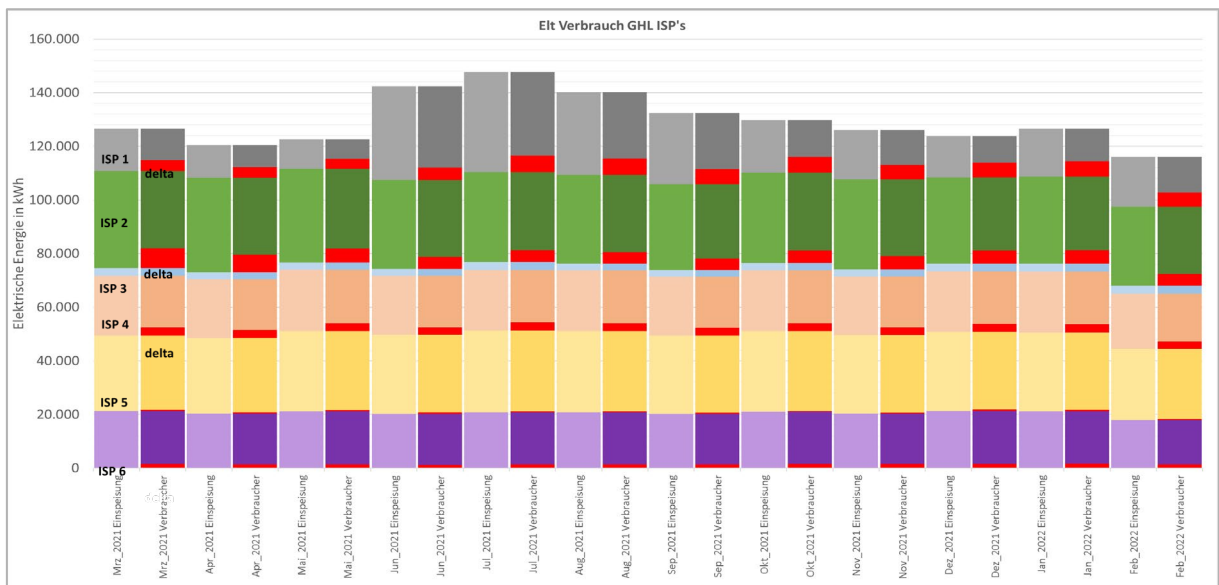


Abbildung 40: Informationsschwerpunkte (Einspeisung und Verbrauch ISP's) in Monatswerten für den Zeitraum 2021

Für die ISP's ergaben sich für den Zeitraum 2021 ca. folgende prozentuale Anteile an der eingespeisten elektrischen Energie (Abbildung 41):

- ISP 1 Energiezentrale ca. 17 %
- ISP 2 Tech.zen. 1. UG Nord (RLT05 - RLT08, RLT10, RLT12, RLT17, RLT19, ...) ca. 26 %
- ISP 3 Technikzentrale 1. UG Mitte Nord ca. 2 %
- ISP 4 Technikzentrale 1. UG Süd (RLT04, RLT09, RLT11, RLT13, RLT14, ...) ca. 17 %
- ISP 5 Technikzentrale 2. UG Nord (RLT02, RLT03, RLT15, RLT16, ...) ca. 23 %
- ISP 6 Technikzentrale 2. UG Süd (RLT01, RLT18, RLT20, ...) ca. 16 %

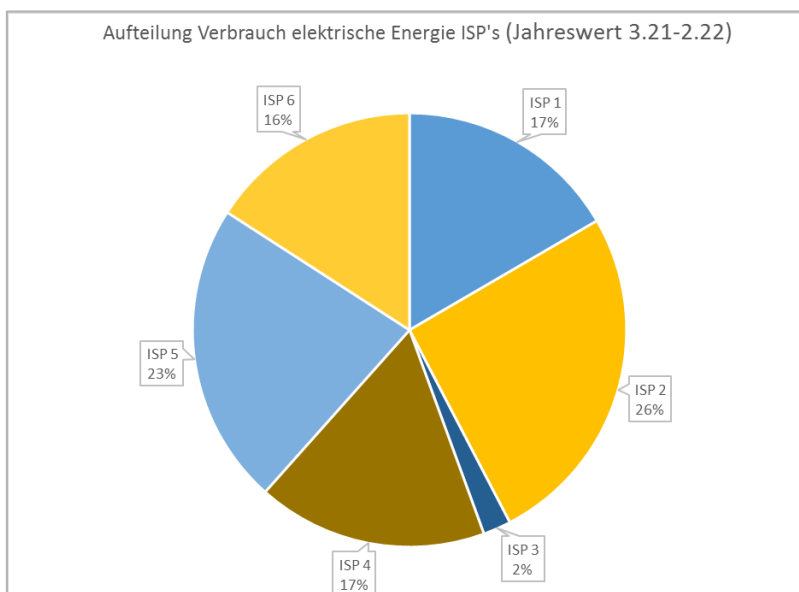


Abbildung 41: Anteile Verbrauch Informationsschwerpunkte ISP's (Jahreswert Zeitraum 2021)

Wie in Abbildung 40 zu sehen, ergeben sich bei den monatlichen elektrischen Energieverbräuchen nur bei der Energiezentrale (ISP 1) ausgeprägte saisonale Witterungseinflüsse (Abbildung 42), die im Sommer auf die Kälteerzeugung zurückzuführen sind (Abbildung 43) und im Winter auf den Einsatz des Biomassekessels (Abbildung 44). Warum der Biomassekessel im Sommer einen Standby-Verbrauch von ca. 350 kWh/Monat hat, sollte überprüft werden.

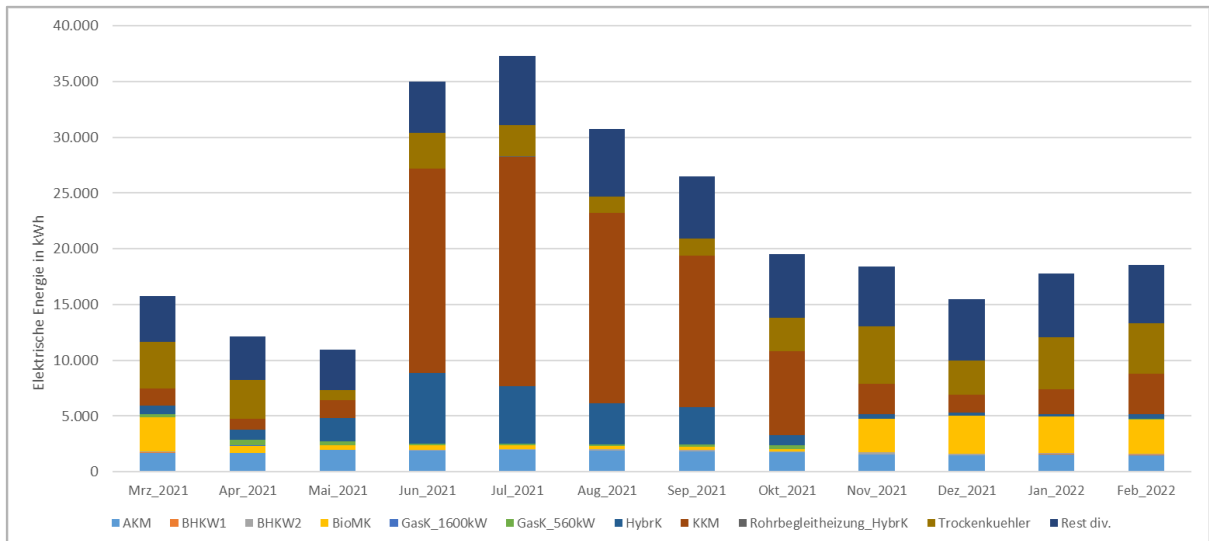


Abbildung 42: Darstellung elektrischer Energieverbrauch Anlagen des Informationsschwerpunkts 1 (ISP 1 Energiezentrale) in Monatswerten für den Zeitraum 2021

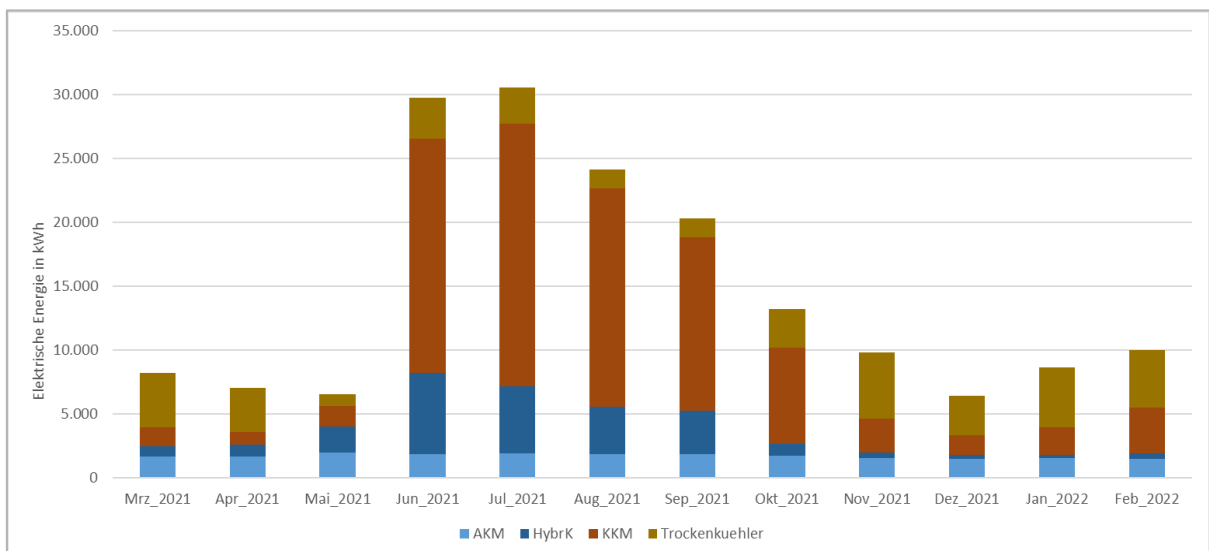


Abbildung 43: Darstellung Verbraucher Kälteerzeugung (ISP 1) in Monatswerten für den Zeitraum 2021

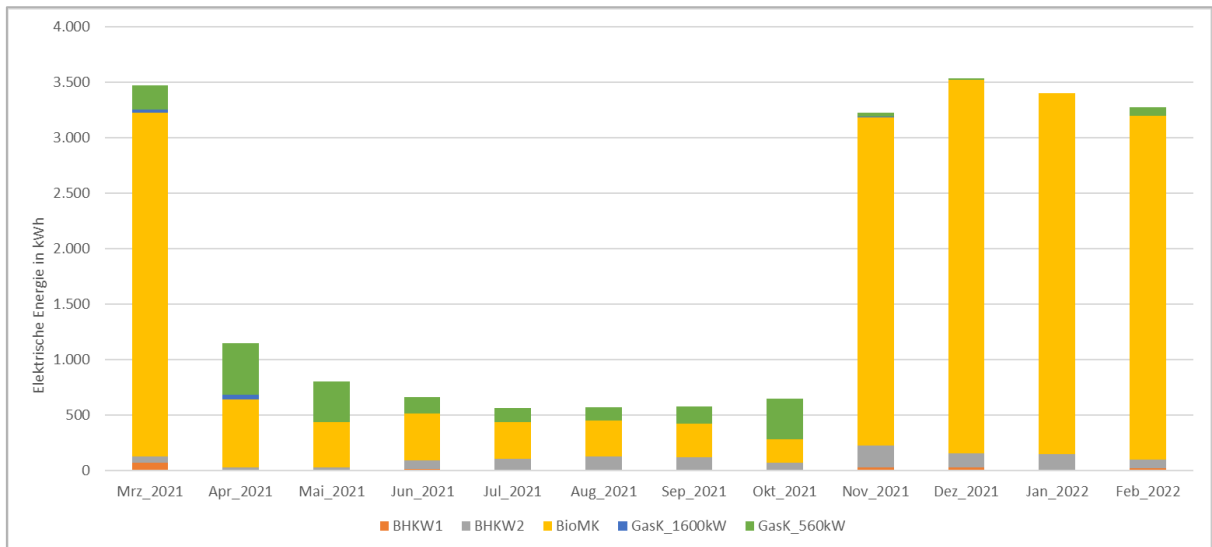


Abbildung 44: Darstellung Verbraucher Wärmeenerzeugung (ISP 1) in Monatswerten für den Zeitraum 2021

Eine Besonderheit fällt bei der Betrachtung der beiden BHKW's auf (Abbildung 45). Hier ist ein stark erhöhter elektrischer Energieverbrauch vom BHKW 2 gegenüber dem BHKW 1 zu erkennen. Dieses Phänomen soll im folgenden etwas genauer untersucht werden.

In Abbildung 46 ist zu erkennen, dass es anscheinend keinen Zusammenhang zwischen der von den BHKWs verbrauchten elektrischen Energie (ELZ_W_EZ_BHKWx) und der erzeugten Wärme (WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKWx) bzw. der erzeugten elektrischen Energie (ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKWx) der BHKWs gibt. Im Gegensatz dazu ist ein eindeutiger Zusammenhang zum Gasverbrauch (GZ_V_EZ_BHKWx) zu sehen. Das BHKW 1 scheint im August 2021 keine elektrische Energie zu benötigen, während das BHKW 2 den gesamten Anteil verbraucht. Bei der Darstellung der Messwerte in einer kürzeren Auflösung (15-Minutenwerte) erklärt sich der Effekt der unterschiedlich verbrauchten elektrischen Energie der BHKWs (Abbildung 47/Abbildung 48). Während beim BHKW1 nur 3 Peaks im Monat August zu sehen sind, gibt es eine Vielzahl davon beim BHKW 2. Werden zusätzlich erzeugte Wärme (WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKWx) bzw. erzeugte elektrische Energie (ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKWx) und Gasverbrauch (GZ_V_EZ_BHKWx) dargestellt (Abbildungen Abbildung 49/Abbildung 50), zeigt sich, dass in beiden BHKWs ca. gleich viel Energie erzeugt bzw. Gas verbraucht wird. Allerdings taktet das BHKW 2 viel häufiger als das BHKW 1. Die für entsprechende Neustarts benötigte elektrische Energie (Abbildung 51) spielt zwar in absoluten Werten keine Rolle, allerdings können die häufigeren Starts u.U. z.B. bei den Wartungsintervallen einen Einfluss haben. Es sollte überprüft werden, ob eine andere Regelstrategie für die BHKWs sinnvoll ist.

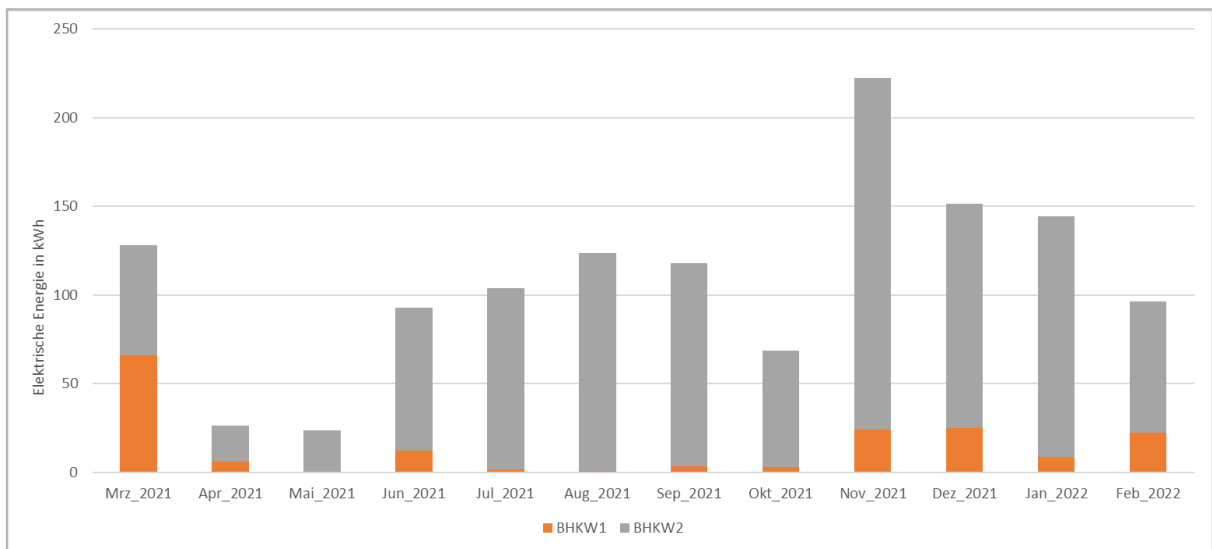


Abbildung 45: BHKW 1 und 2: Verbrauch elektrische Energie (ELZ_W_EZ_BHKWx) in Monatswerten (Zeitraum 2021)

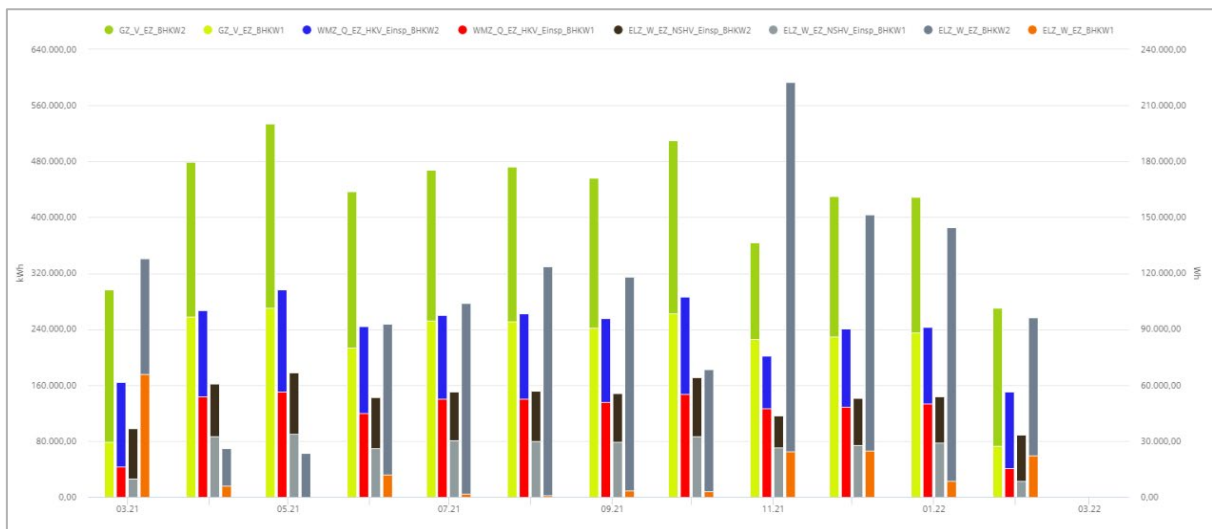


Abbildung 46: BHKW 1 und 2: Verbrauch Gas und elektrische Energie (ELZ_W_EZ_BHKWx) in Wh (rechte Achse!) und Erzeugung Strom und Wärme in Monatswerten (Zeitraum 2021)



Abbildung 47: Elt. Energieverbrauch BHKW 1 (ELZ_W_EZ_BHKW1 in Wh) 15 Min.-Werte



Abbildung 48: Elt. Energieverbrauch BHKW 2 (ELZ_W_EZ_BHKW2 in Wh) 15 Min.-Werte

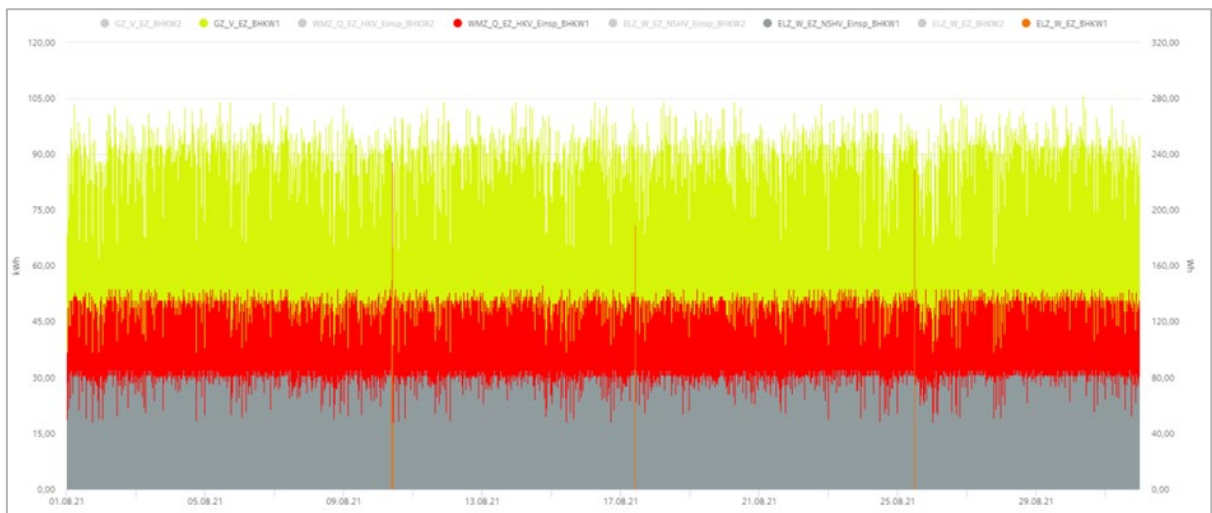


Abbildung 49: BHKW 1 Verbrauch Gas und elektrische Energie (ELZ_W_EZ_BHKW1) und Erzeugung Strom und Wärme (ELZ_W_EZ_BHKW1, WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW1, ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW1, GZ_V_EZ_BHKW1) 15 Min.-Werte

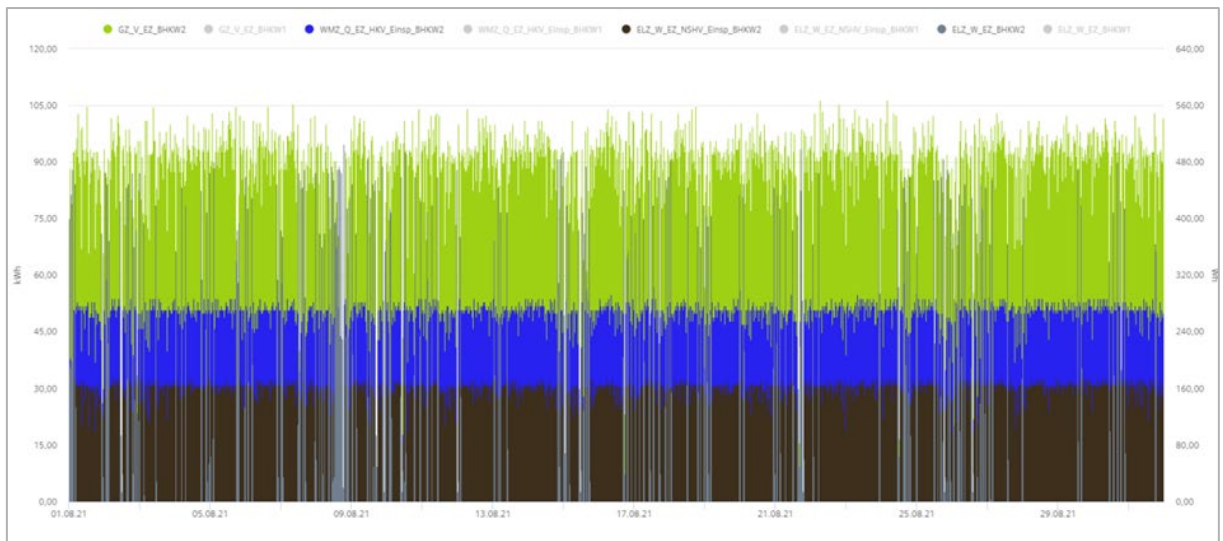


Abbildung 50: BHKW 2 Verbrauch Gas und elektrische Energie (ELZ_W_EZ_BHKW2) und Erzeugung Strom und Wärme (ELZ_W_EZ_BHKW2, WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2, ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW2, GZ_V_EZ_BHKW2) 15 Min.-Werte

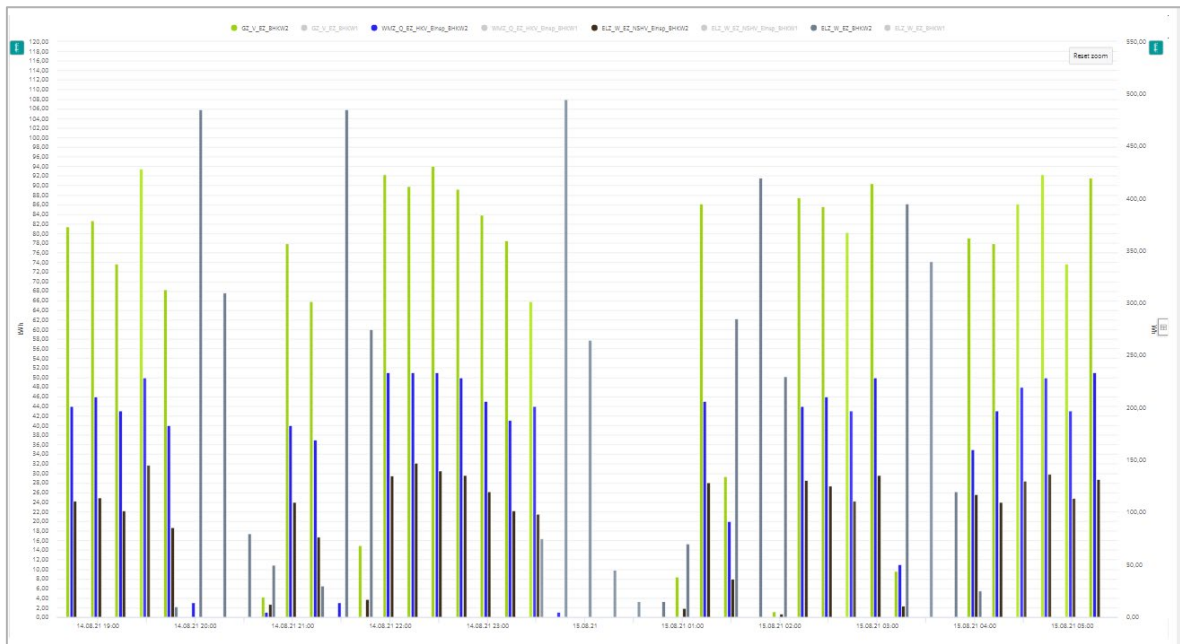


Abbildung 51: BHKW 2 Verbrauch Gas und elektrische Energie (ELZ_W_EZ_BHKW2) und Erzeugung Strom und Wärme (ELZ_W_EZ_BHKW2, WMZ_Q_EZ_HKV_Einsp_BHKW2, ELZ_W_EZ_NSHV_Einsp_BHKW2, GZ_V_EZ_BHKW2) 15 Min.-Werte

In der Abbildung 52 ist der elektrische Energieverbrauch der **medizinischen Großgeräte** im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) dargestellt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (398.371 kWh) ist etwas höher als im Jahr 2020 (381.125 kWh). Prozentual gesehen stimmen die Verbräuche der einzelnen Geräte aber in beiden Jahren überein (Abbildung 53).

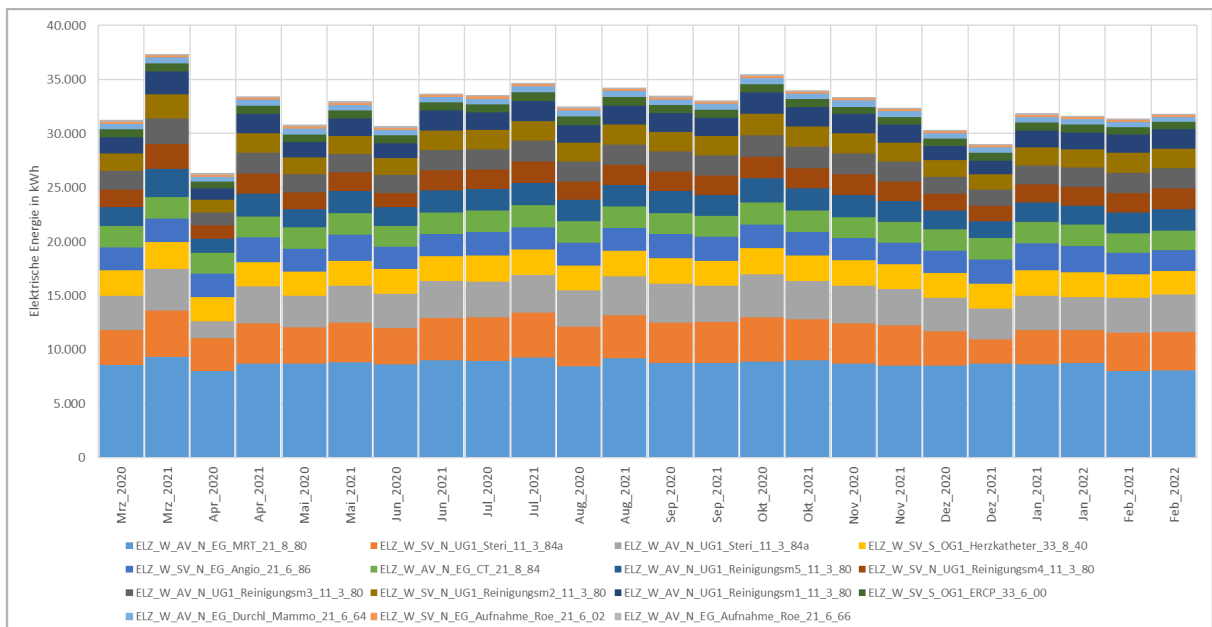


Abbildung 52: Elektrischer Energieverbrauch der medizinischen Großgeräte (Einzelzähler) in Monatswerten für die Zeiträume 2020 und 2021

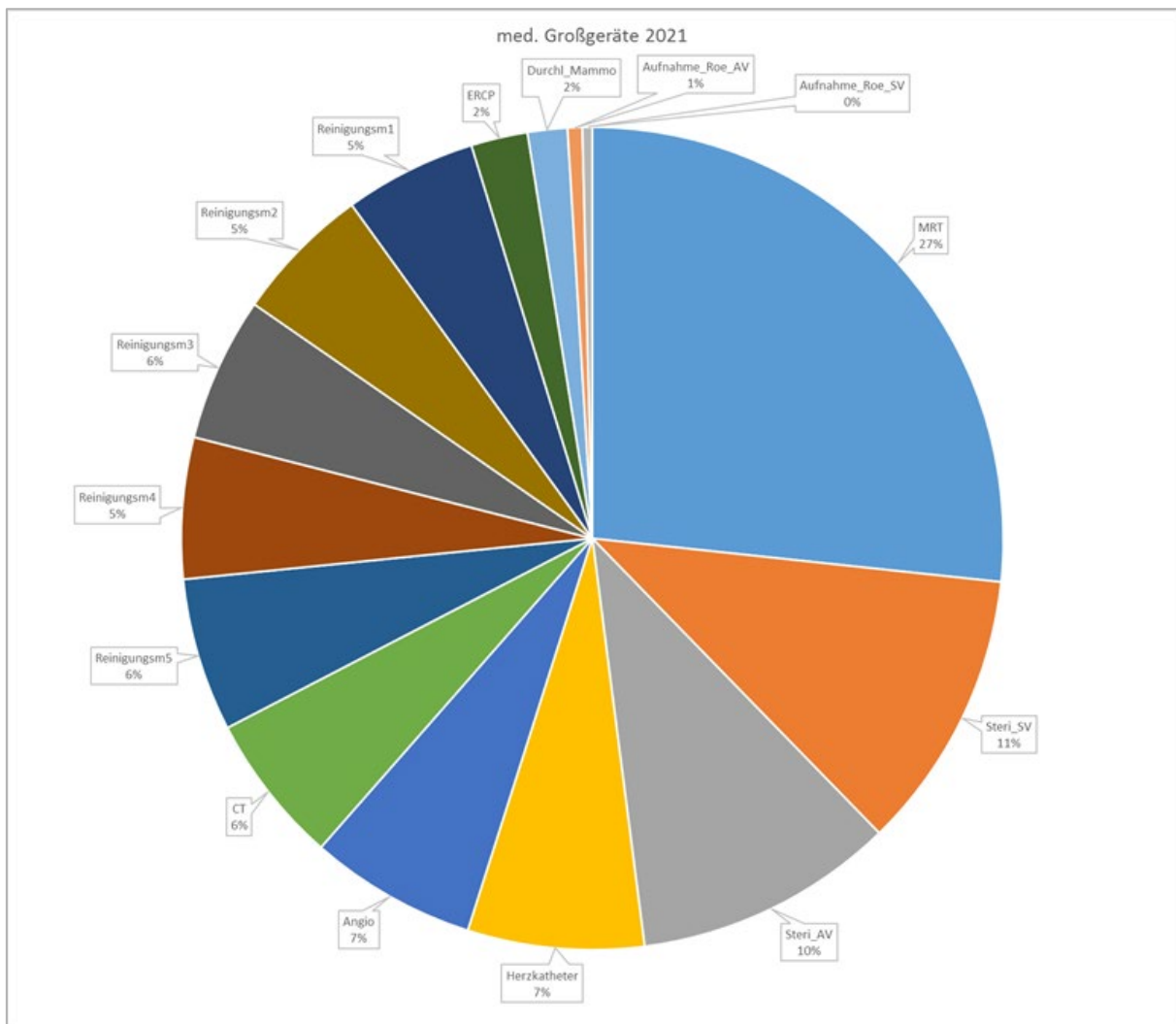


Abbildung 53: Prozentuale Darstellung elektrischer Energieverbrauch der medizinischen Großgeräte für den Zeitraum 2021

In der Abbildung 54 ist der elektrische Jahresenergieverbrauch unterteilt nach den **Unterverteilungen** im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) dargestellt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (1.453.472 kWh) ist etwas höher als im Jahr 2020 (1.452.220 kWh).

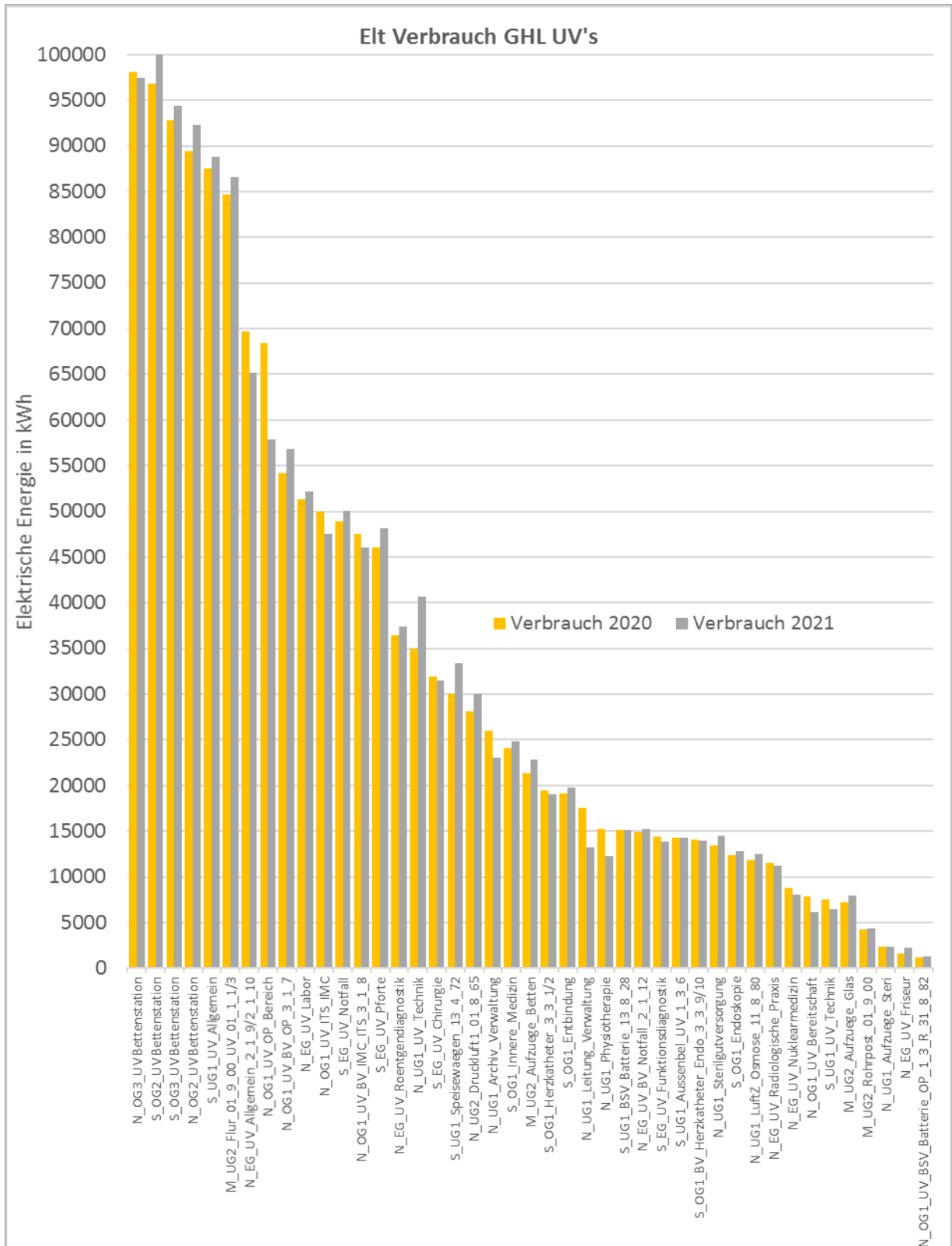


Abbildung 54: Elektrischer Jahresenergieverbrauch der Unterverteilungen für die Zeiträume 2020 und 2021

Mit diesem Diagramm können die Unterverteilungen mit hohem Energieverbrauch identifiziert und die Entwicklung Richtung Mehr- oder Minderverbrauch gegenüber dem Vorjahr analysiert werden.

Im Folgenden werden Monatswerte verschiedener Unterverteilungen miteinander verglichen. In den Abbildung 55 und Abbildung 56 ist der elektrische Energieverbrauch der Bettenstationen im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) einzeln genauer gesagt summiert dargestellt. Es kann der etwas höhere Verbrauch in der Winterperiode erkannt werden. Der Februar mit 28 Tagen fällt entsprechend etwas geringer aus. Während in den meisten Monaten das 2. OG Süd den höchsten Verbrauch hat, fällt auf, dass zwischen November und Januar („Weihnachtszeit“) das 3. OG Nord den höchsten Verbrauch hat. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (383.991 kWh) ist etwas höher als im Jahr 2020 (377.201 kWh).

In den Abbildungen Abbildung 57 und Abbildung 58 ist der elektrische Energieverbrauch verschiedener Unterverteilungen im 1. UG Nord im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) einzeln bzw. summiert dargestellt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (118.574 kWh) ist etwas geringer als im Jahr 2020 (121.378 kWh). Ab November 2020 ist der monatliche summierte Verbrauch um ca. 10 % zurückgegangen. Allerdings fällt ein starker Anstieg der UV-Technik im Januar und Februar 2022 auf. Deshalb wurde der Zähler ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Technik besonders betrachtet. Es stellte sich heraus, dass dieser Zähler seit ca. 19.1.22 einen starken Anstieg am Verbrauch zeigt und zwischen 1.3.22 und 12.7.22 keine Werte lieferte (siehe Abbildung 59). Die Ursache für das Verhalten dieser UV konnte noch nicht geklärt werden. Für die bessere Übersichtlichkeit ist in Abbildung 60 der elektrische Energieverbrauch der Unterverteilungen im 1.UG Nord ohne die UV-Technik dargestellt. Es ist zu erkennen, dass seit November 2020 die UV's Archiv_Verwaltung und Leitung_Verwaltung einen geringeren elektrischen Energieverbrauch aufweisen. Die anderen UV's sind über die 2 Jahre ungefähr konstant.

In den Abbildung 61 und Abbildung 62 ist der elektrische Energieverbrauch verschiedener Unterverteilungen im EG-Nord im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) einzeln bzw. summiert dargestellt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (191.426 kWh) ist etwas geringer als im Jahr 2020 (194.188 kWh). Es fällt ein gewisser Anstieg der UV Allgemein_2_1_9/2_1_10 im Mai und Juni 2020 auf (Ursache nicht bekannt). Für die bessere Übersichtlichkeit ist in Abbildung 63 der elektrische Energieverbrauch der Unterverteilungen im EG-Nord ohne die UV Allgemein_2_1_9/2_1_10 dargestellt. Der elektrische Energieverbrauch der einzelnen UV's ist über die 2 Jahre ungefähr konstant.

In den Abbildung 64 und Abbildung 65 ist der elektrische Energieverbrauch verschiedener Unterverteilungen im 1. OG Nord im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) einzeln bzw. summiert dargestellt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (215.834 kWh) ist etwas geringer als im Jahr 2020 (229.001 kWh). Wie im Bereich 1. UG Nord geht hier ab November 2020 der monatliche summierte Verbrauch etwas zurück, was im Wesentlichen auf die UV OP-Bereich zurückzuführen ist. Die anderen UV's sind über die 2 Jahre ungefähr konstant.

In den Abbildung 66 und Abbildung 67 ist der elektrische Energieverbrauch verschiedener Unterverteilungen im EG-Süd im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) einzeln bzw. summiert dargestellt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (142.568 kWh) ist etwas höher als im Jahr

2020 (141.160 kWh). Die UV's sind über die 2 Jahre ungefähr konstant. Wegen eines Zählerausfalls des Zählers ELZ_W_AV_S_EG_UV_Notfall vom Oktober 2020 bis Juni 2021 wurde für die Auswertung eine Korrektur mit dem groben Mittelwert der folgenden Monate (1500 kWh) für die fehlenden Werte vorgenommen.

In den Abbildung 68 und Abbildung 69 ist der elektrische Energieverbrauch verschiedener Unterverteilungen im 1. OG Süd im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) einzeln bzw. summiert dargestellt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (90.390 kWh) ist etwas höher als im Jahr 2020 (89.161 kWh). Die UV's sind über die 2 Jahre ungefähr konstant.

In den Abbildung 70 und Abbildung 71 ist der elektrische Energieverbrauch verschiedener Unterverteilungen für diverse Technik im Zwei-Jahresvergleich (2020 und 2021) einzeln bzw. summiert dargestellt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2021 (309.689 kWh) ist etwas höher als im Jahr 2020 (300.131 kWh). Ein ausgeprägter Jahresverlauf ist bei der Außenbeleuchtung wahrzunehmen (Abbildung 72), während Aufzüge und Rohrpost über die 2 Jahre ungefähr konstant sind (Abbildung 73). U.U. coronabedingte Einflüsse sind bei Speisewägen im März/April 2020 (Abbildung 74) und bei Druckluft April bis Juni 2020 (Abbildung 75) festzustellen. Die Unterverteilungen S_UG1_UV_Allgemein und M_UG2_Flur_01_9_00_UV_01_1_1/3 stellen hier die großen Verbraucher dar und sind über die 2 Jahre ungefähr konstant. Der Zähler ELZ_W_AV_S_UG1_UV_Allgemein lieferte erst ab September 2020 Werte (siehe Abbildung 76). Für den Zeitraum März 2020 bis August 2020 wurde für die Auswertung eine Korrektur mit dem groben Mittelwert der folgenden Monate (3470 kWh) für die fehlenden Werte vorgenommen.

Die Datengrundlagen für die in diesem Kapitel dargestellten Diagramme finden sich in x_17_Anhang_Ergebnisse\x_Elektrischer_Energieverbrauch\x_Bilanz_ELT_gesamt_Monatsbericht_Vergleich_21_22.xlsm.

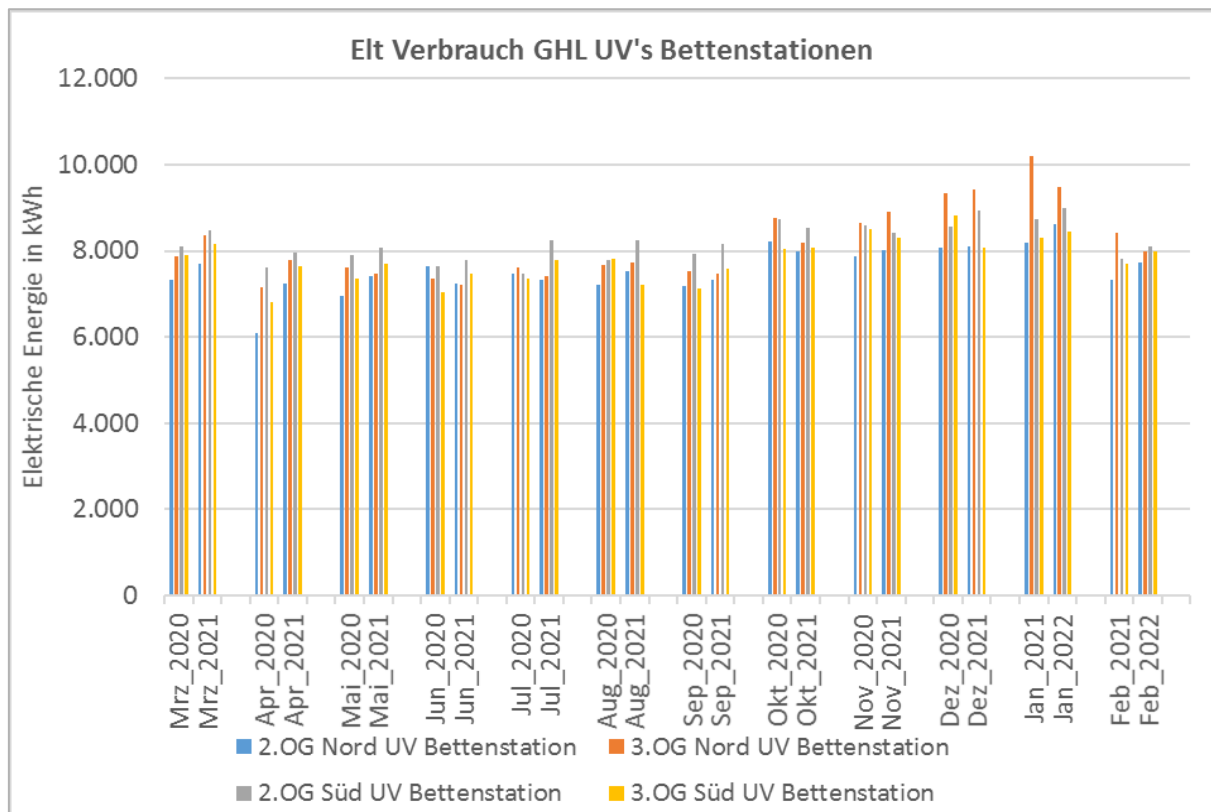


Abbildung 55: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche der Bettenstationen für die Zeiträume 2020 und 2021

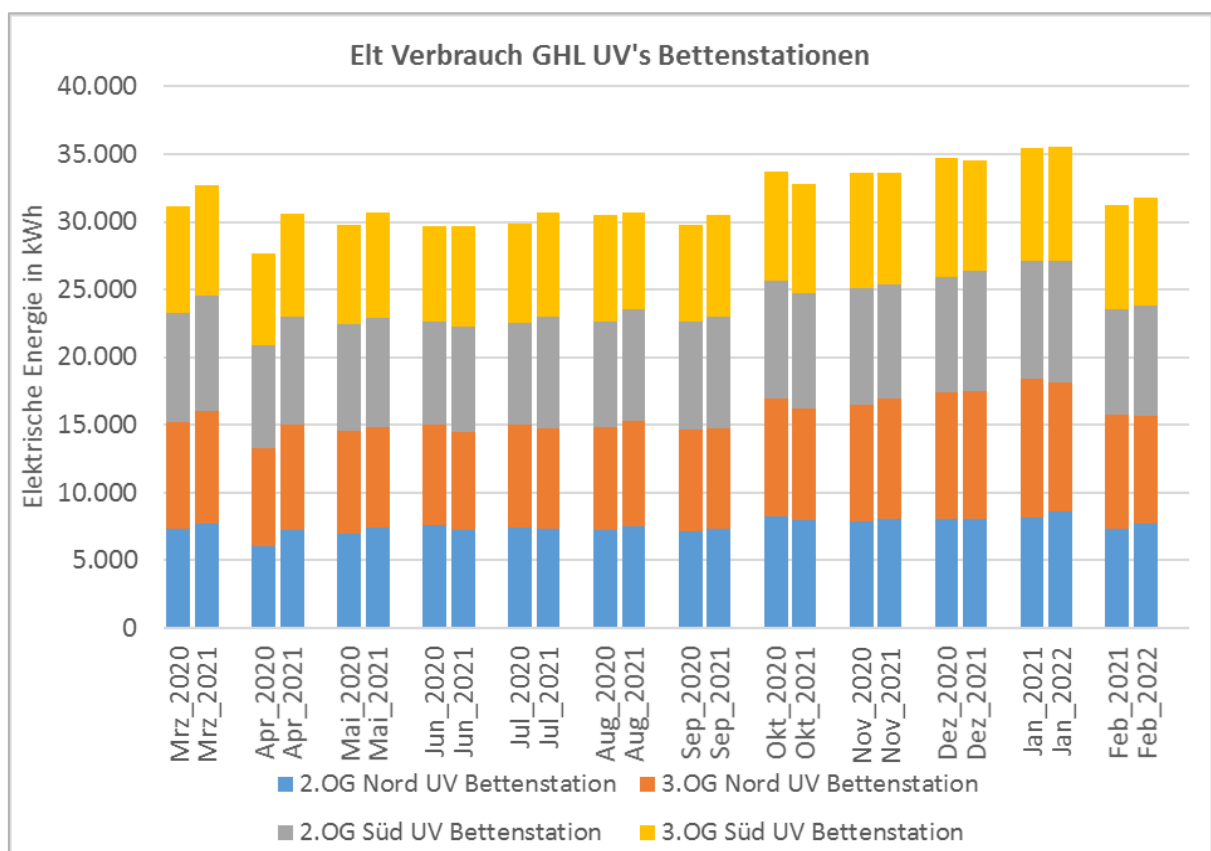


Abbildung 56: Summierte monatliche elektrische Energieverbräuche der Bettenstationen für die Zeiträume 2020 und 2021

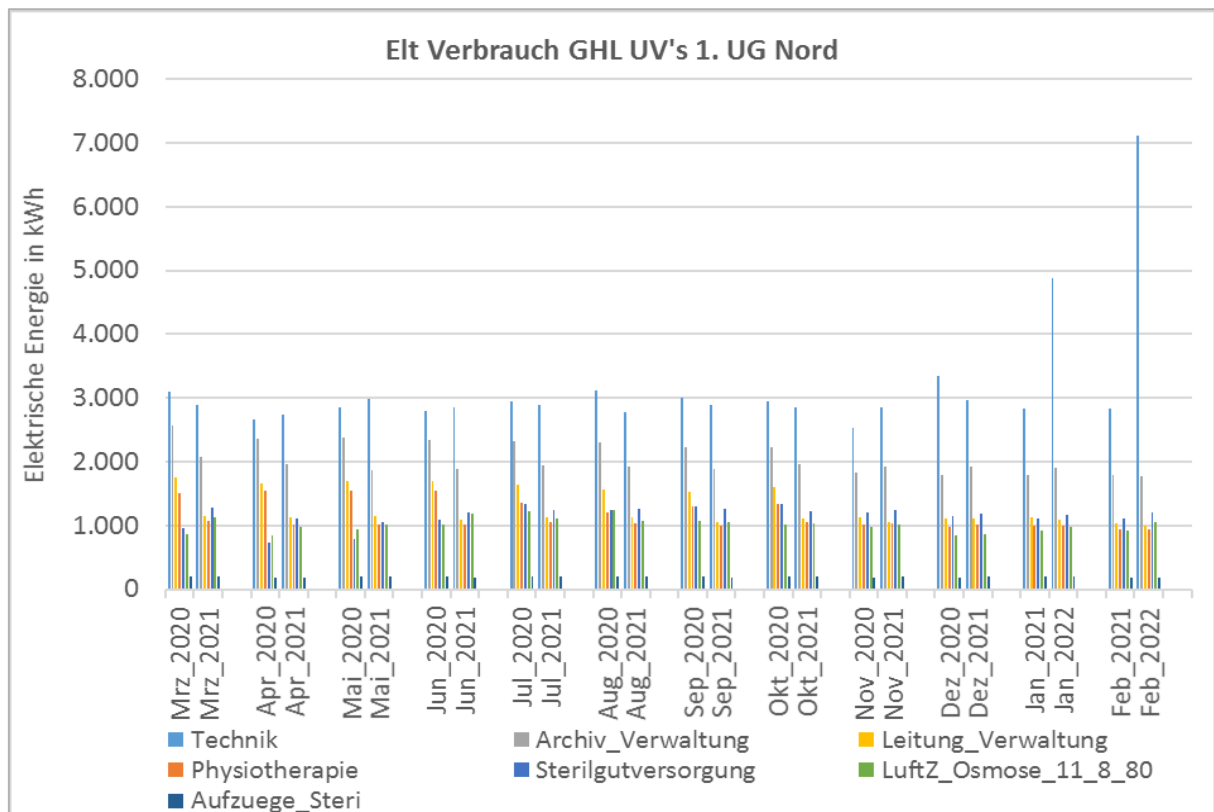


Abbildung 57: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im 1. UG Nord für die Zeiträume 2020 und 2021

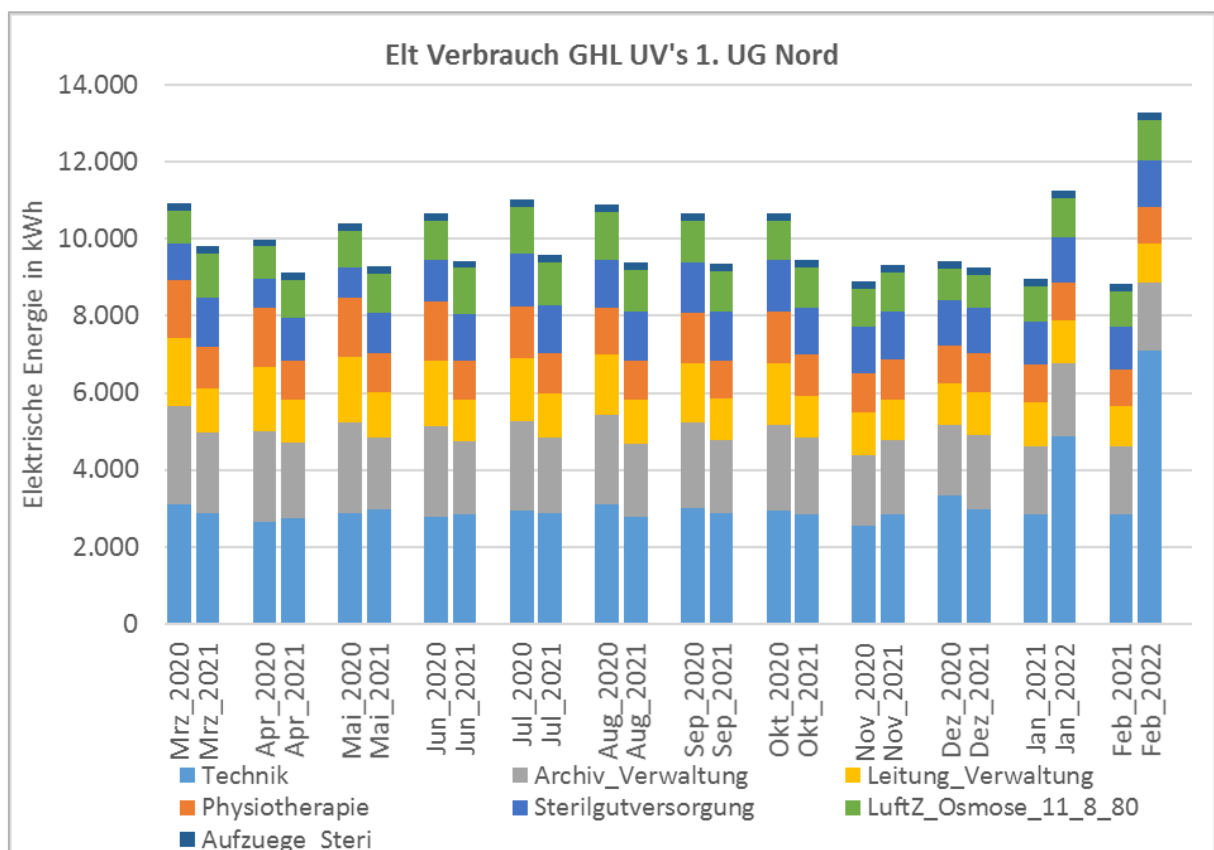


Abbildung 58: Summierte monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im 1. UG Nord für die Zeiträume 2020 und 2021

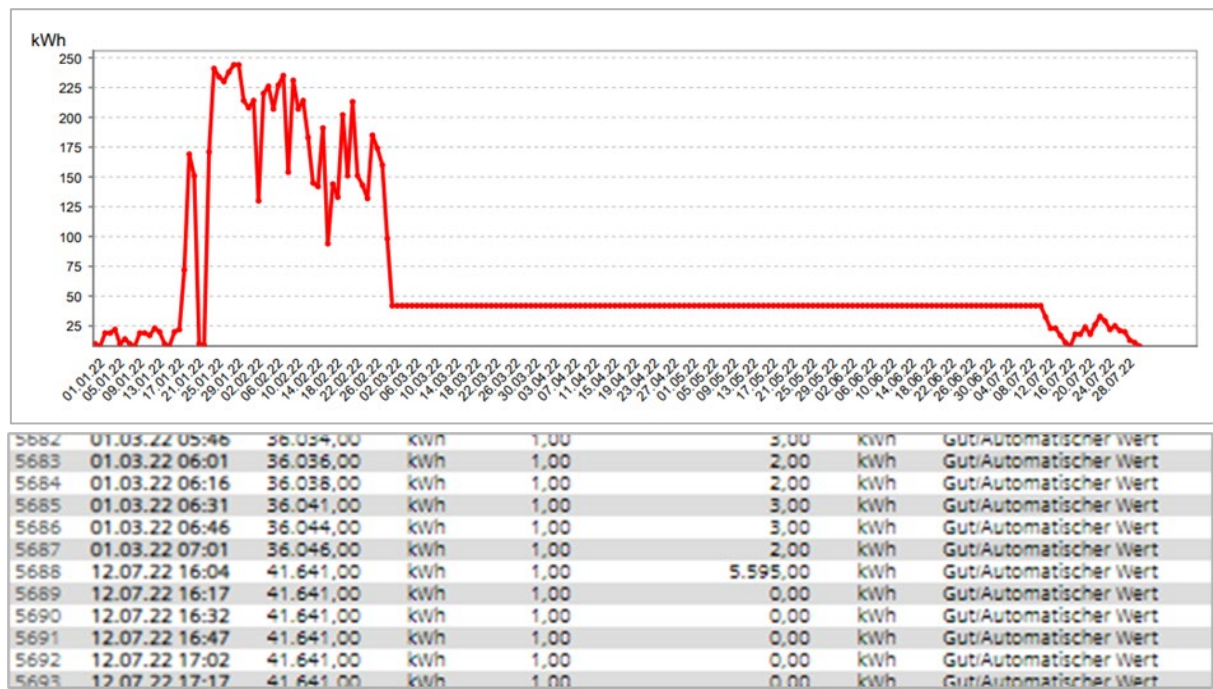


Abbildung 59: Darstellung Zähler ELZ_W_SV_N_UG1_UV_Technik im Zeitraum 1.1.22 bis 28.7.22 (Tages- bzw. 15 Minutenwerte)

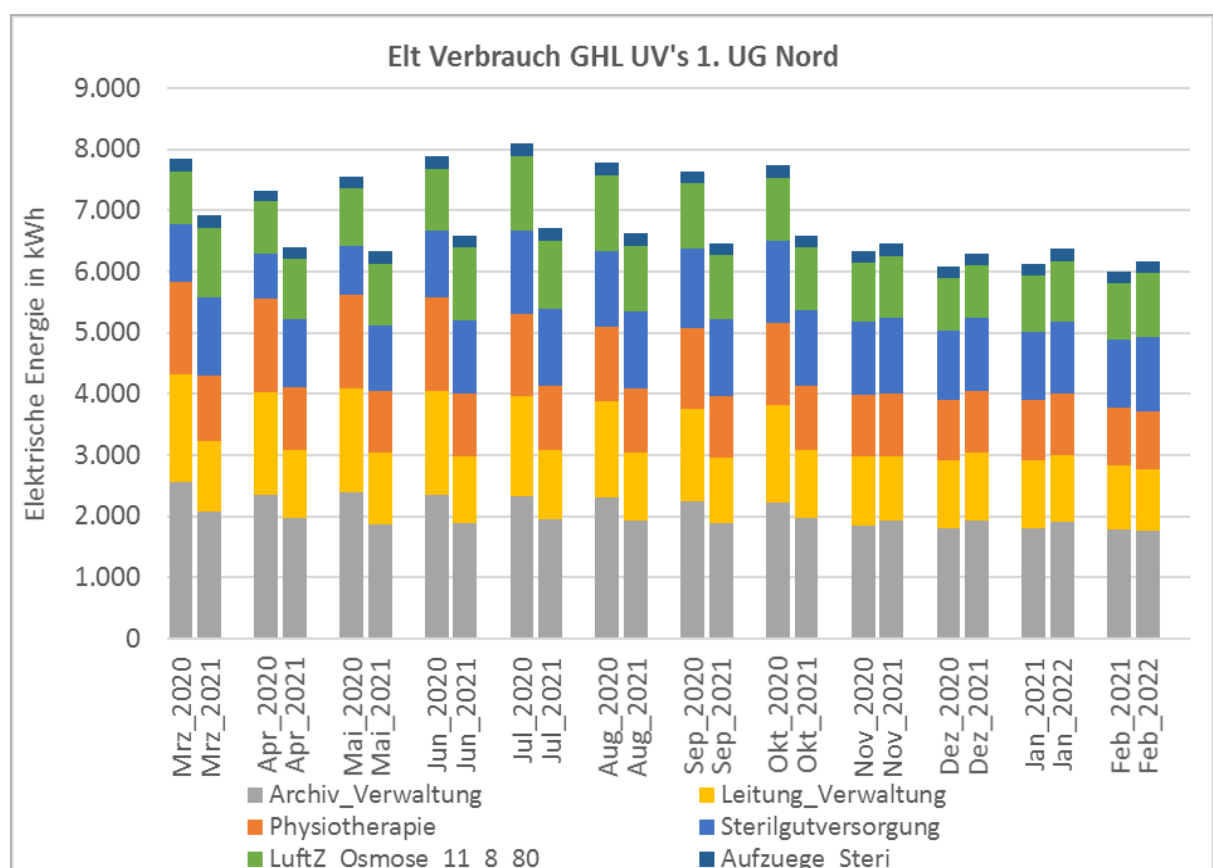


Abbildung 60: Summierte monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im 1. UG Nord für die Zeiträume 2020 und 2021, ohne UV-Technik

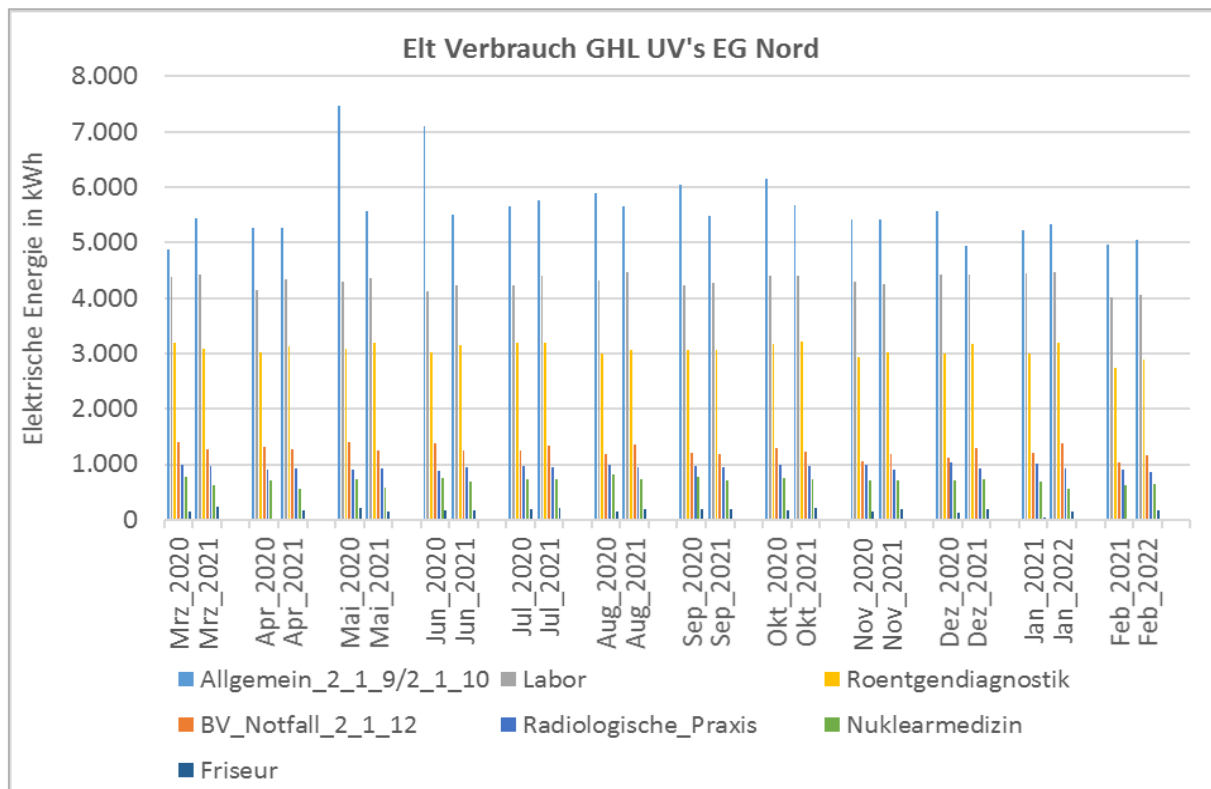


Abbildung 61: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im EG-Nord für die Zeiträume 2020 und 2021

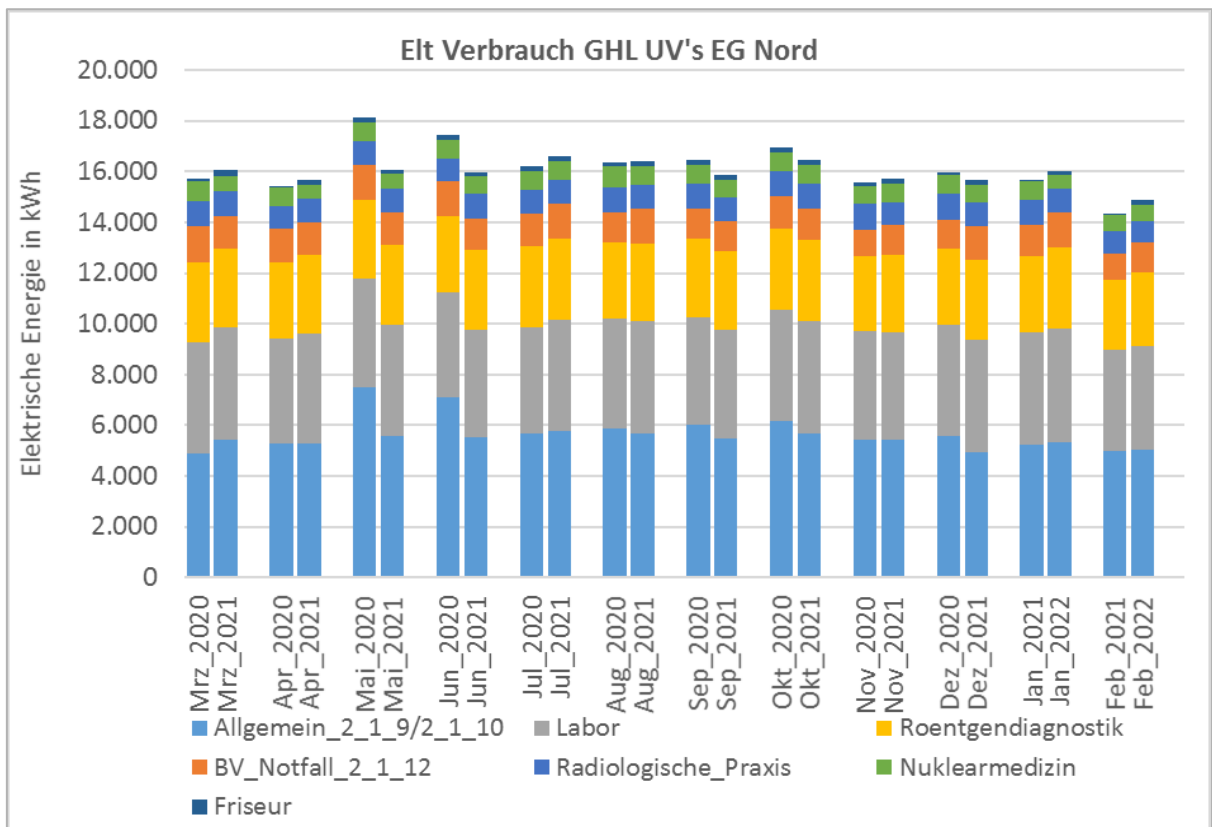


Abbildung 62: Summierte monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im EG-Nord für die Zeiträume 2020 und 2021

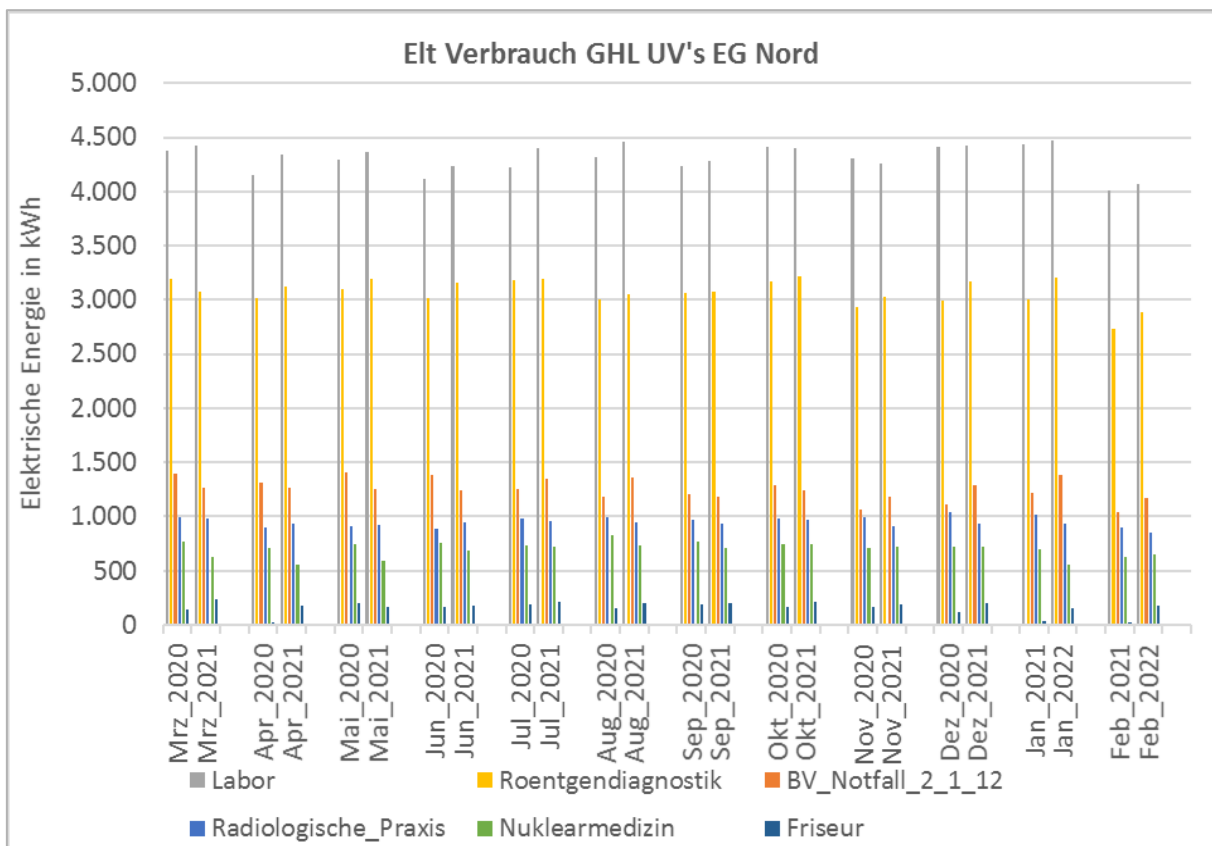


Abbildung 63: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im EG-Nord für die Zeiträume 2020 und 2021, ohne UV Allgemein_2_1_9/2_1_10

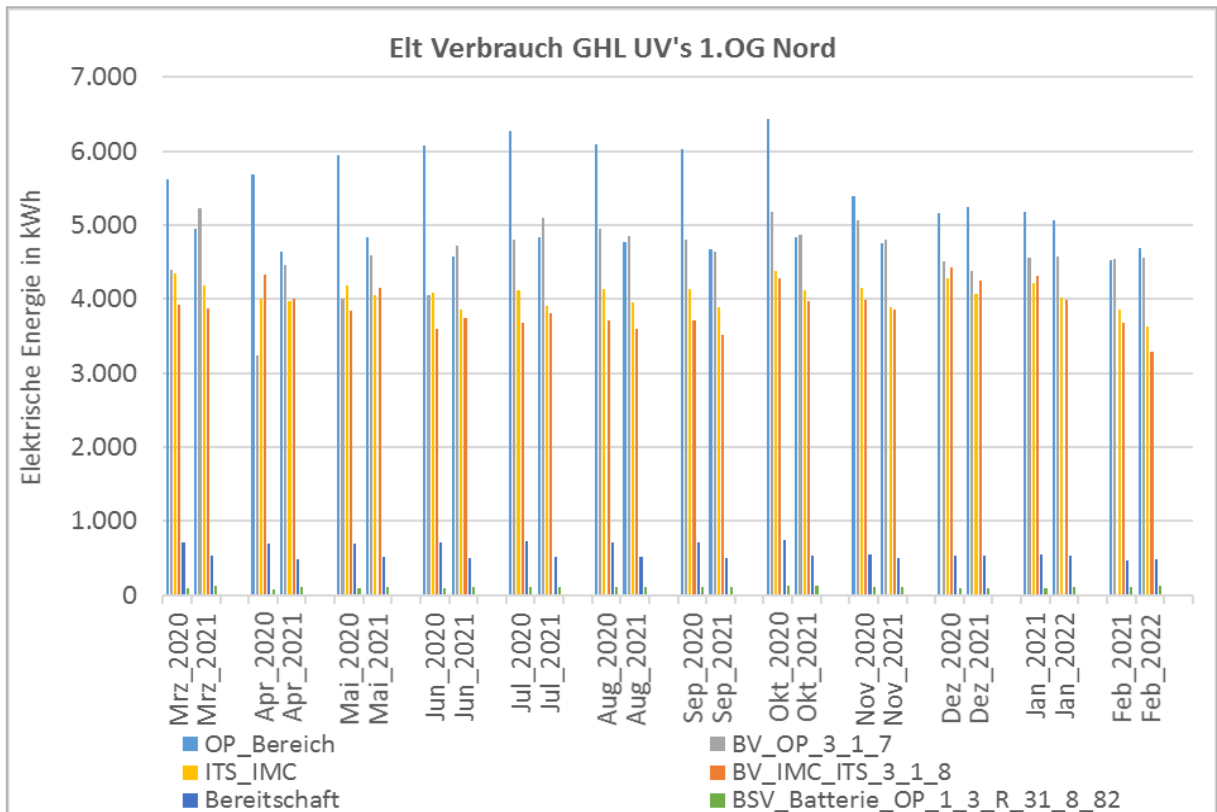


Abbildung 64: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im 1. OG Nord für die Zeiträume 2020 und 2021

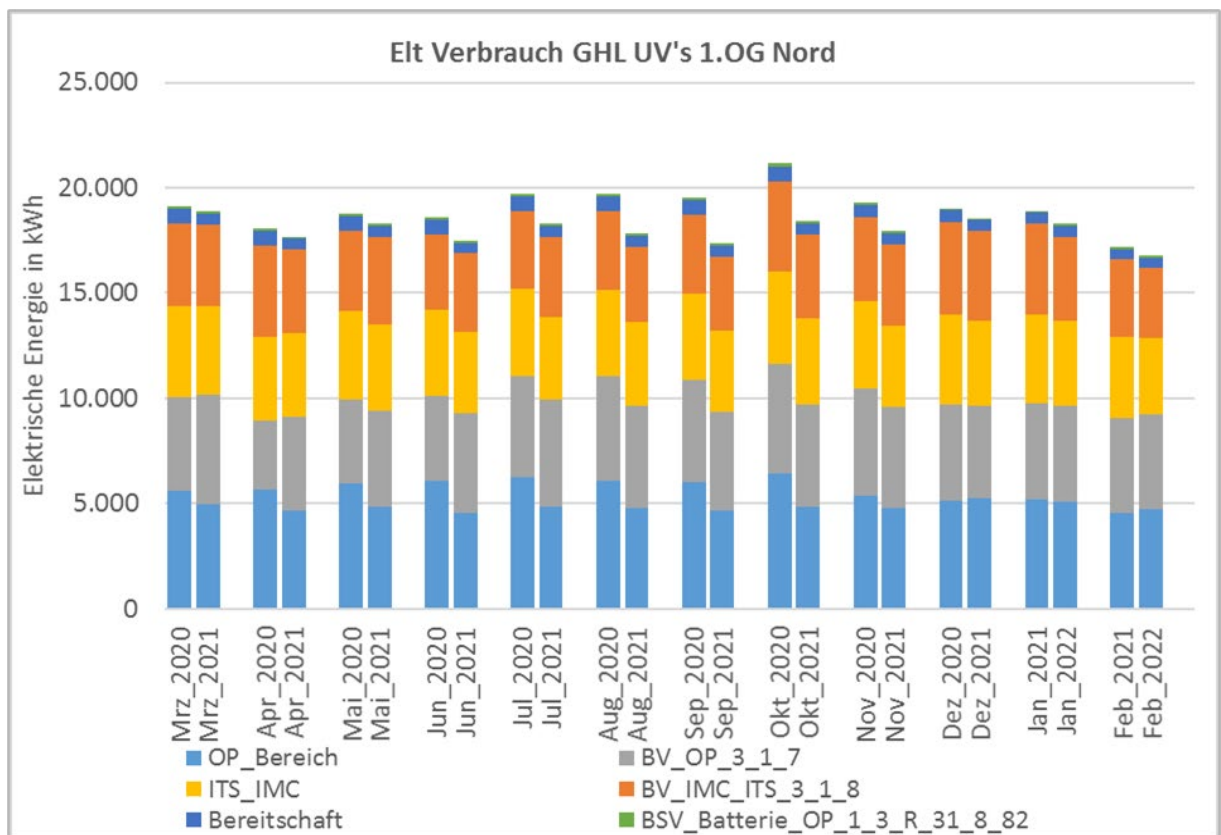


Abbildung 65: Summierte monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im EG-Nord für die Zeiträume 2020 und 2021

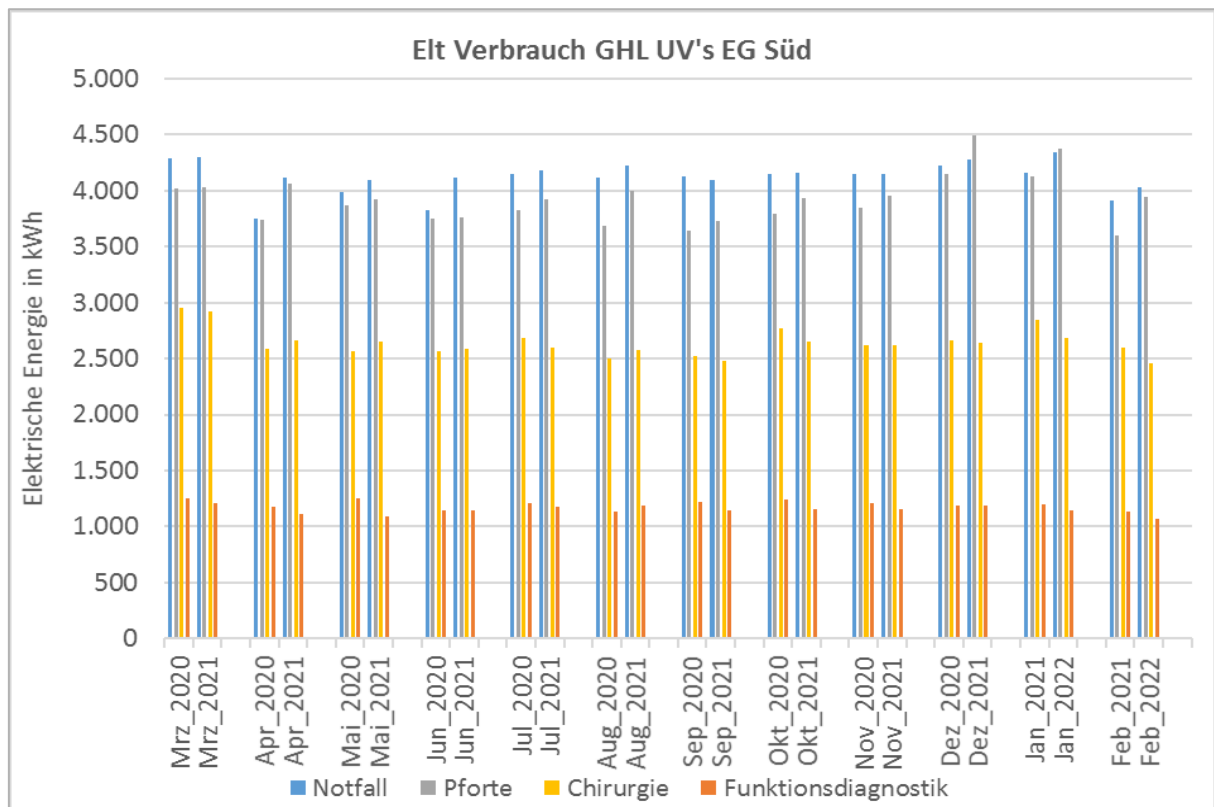


Abbildung 66: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im EG-Süd für die Zeiträume 2020 und 2021

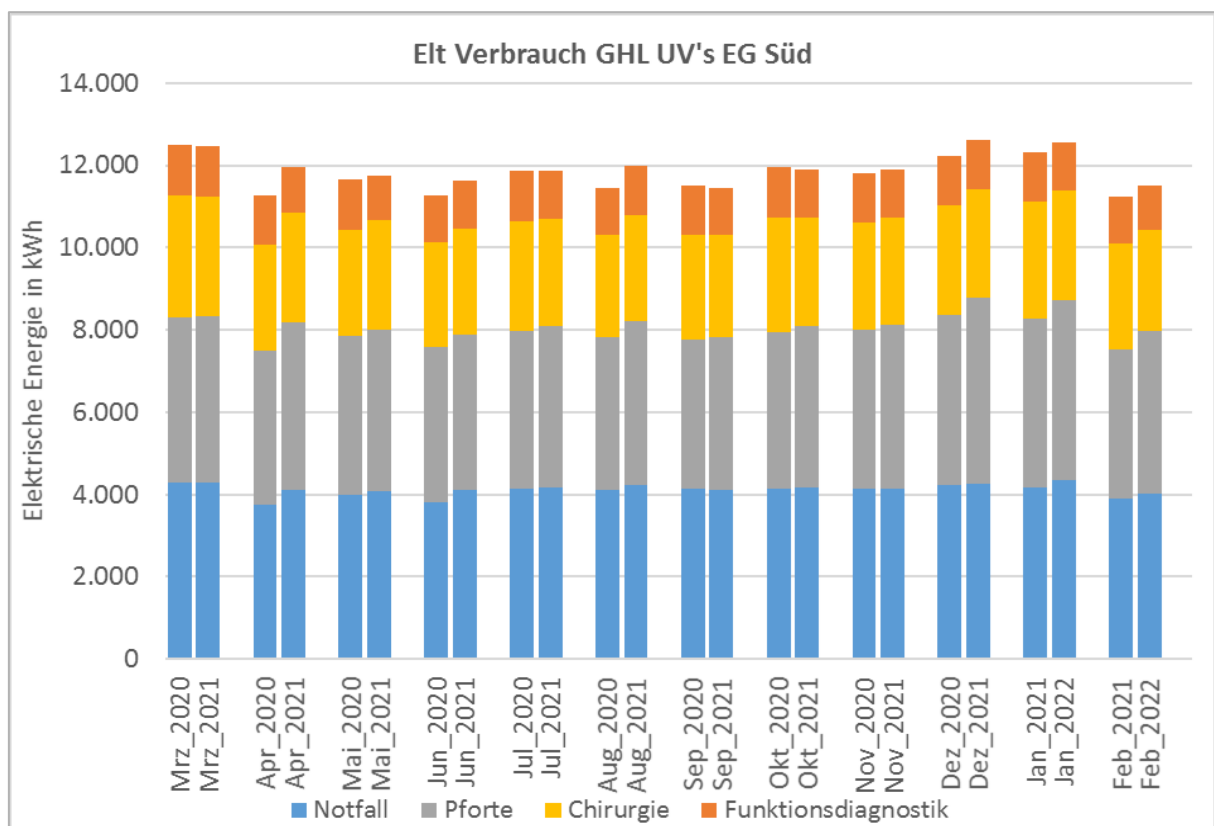


Abbildung 67: Summierte monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im EG-Süd für die Zeiträume 2020 und 2021

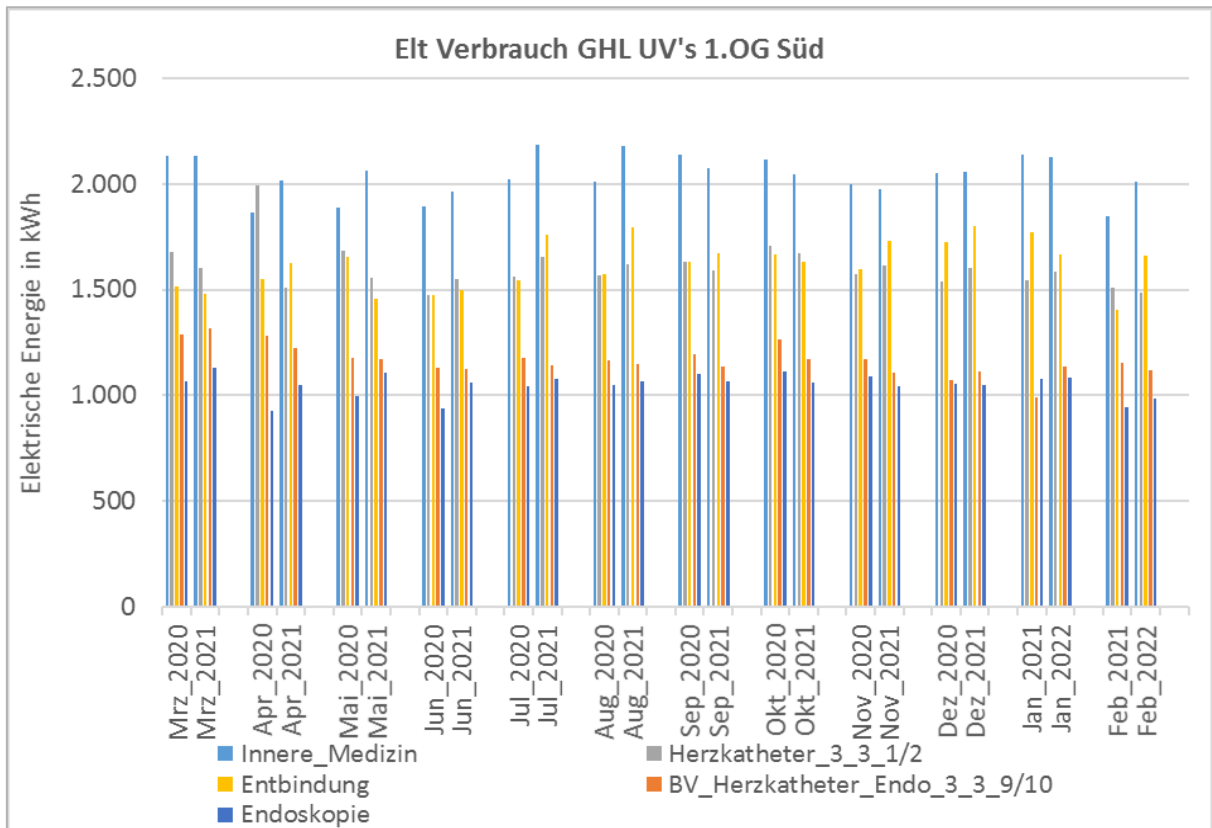


Abbildung 68: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im 1. OG-Süd für die Zeiträume 2020 und 2021

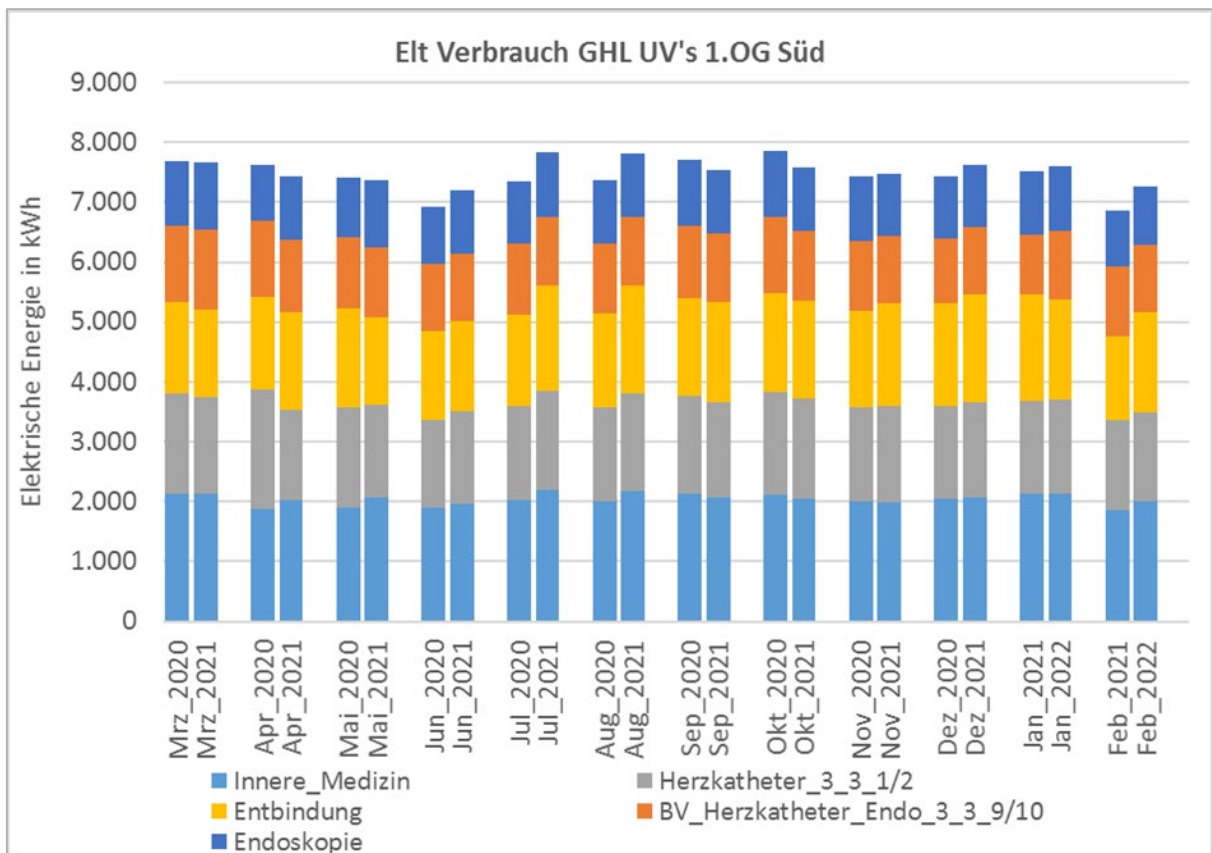


Abbildung 69: Summierte monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen im 1. OG-Süd für die Zeiträume 2020 und 2021

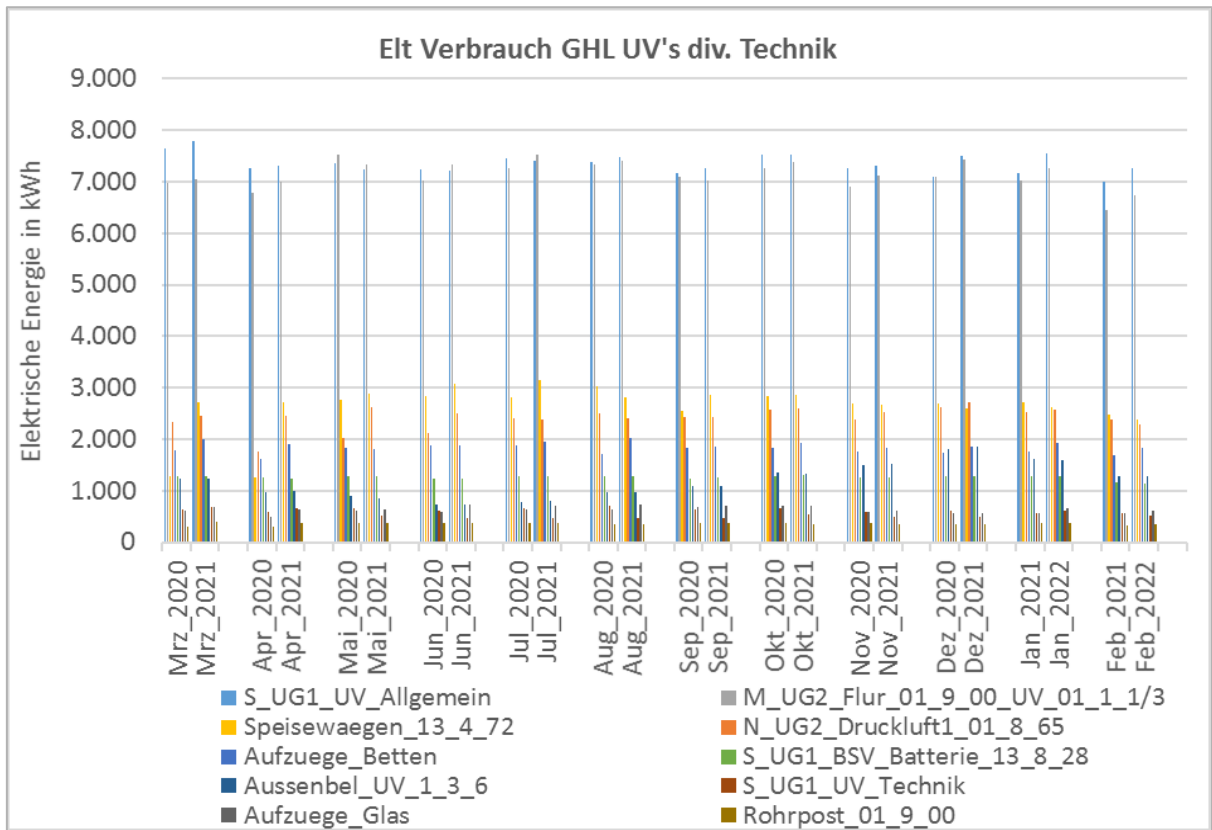


Abbildung 70: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen diverse Technik für die Zeiträume 2020 und 2021

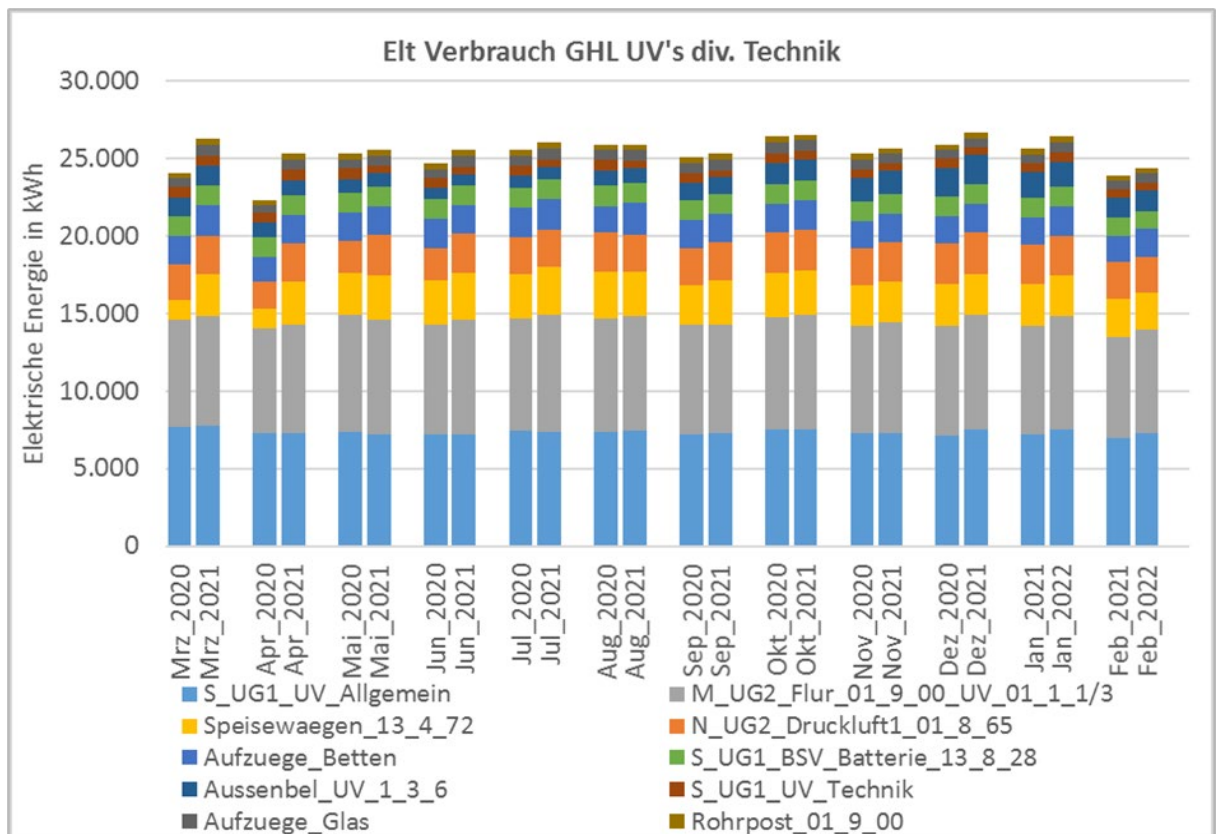


Abbildung 71: Summierte monatliche elektrische Energieverbräuche verschiedener Unterverteilungen diverse Technik für die Zeiträume 2020 und 2021

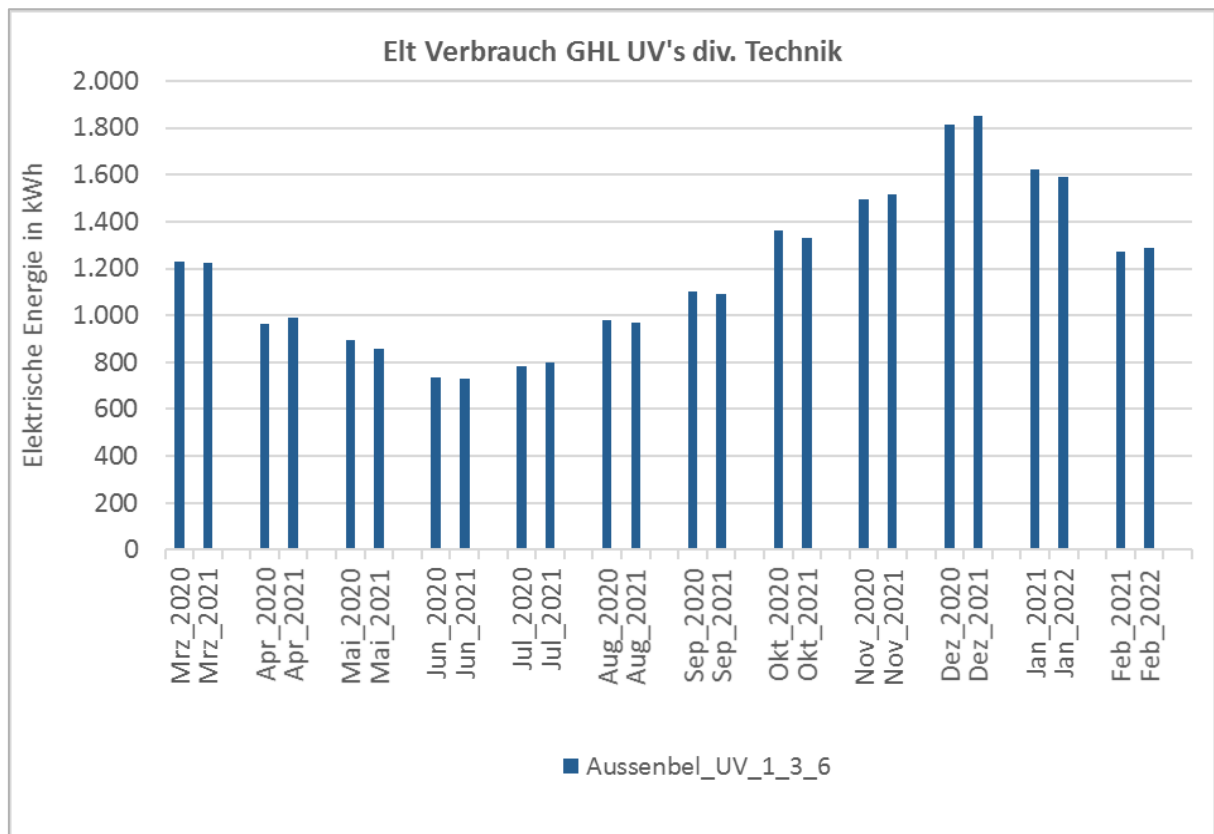


Abbildung 72: Einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche Außenbeleuchtung für die Zeiträume 2020 und 2021

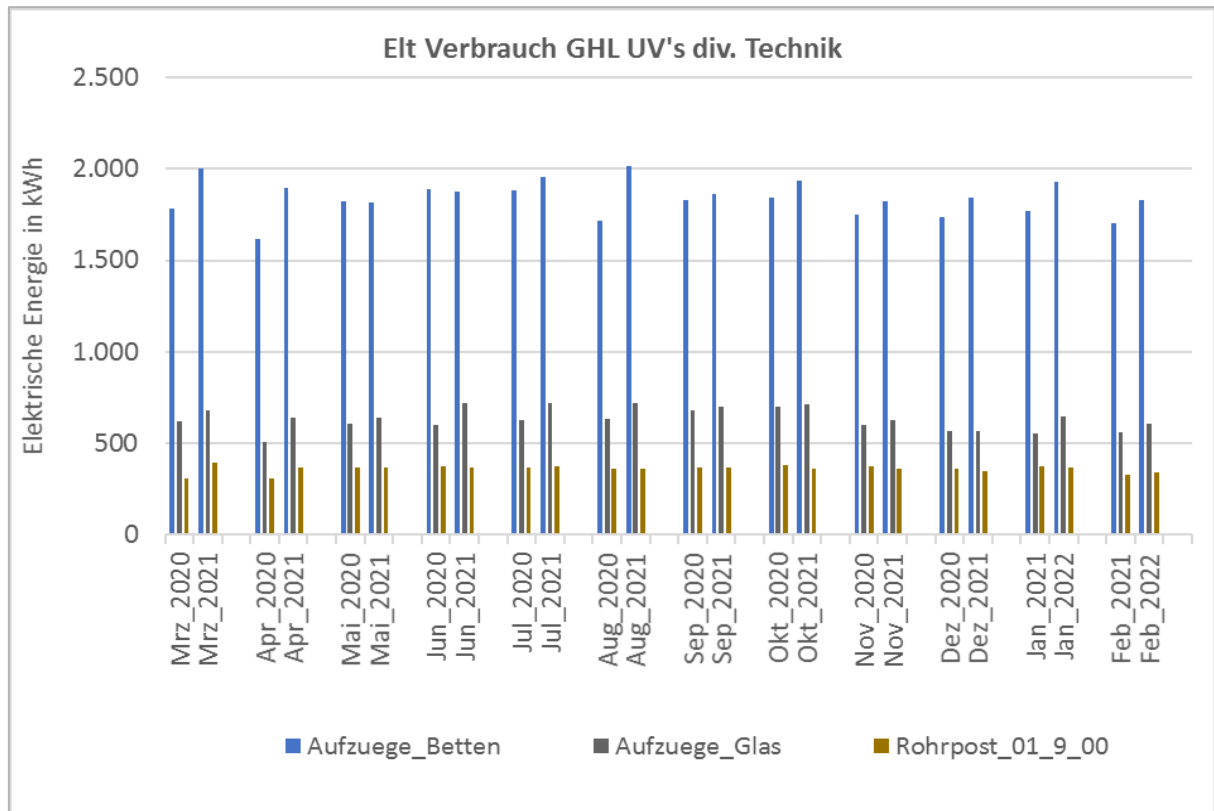


Abbildung 73: einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche Aufzüge, Rohrpost für die Zeiträume 2020 und 2021

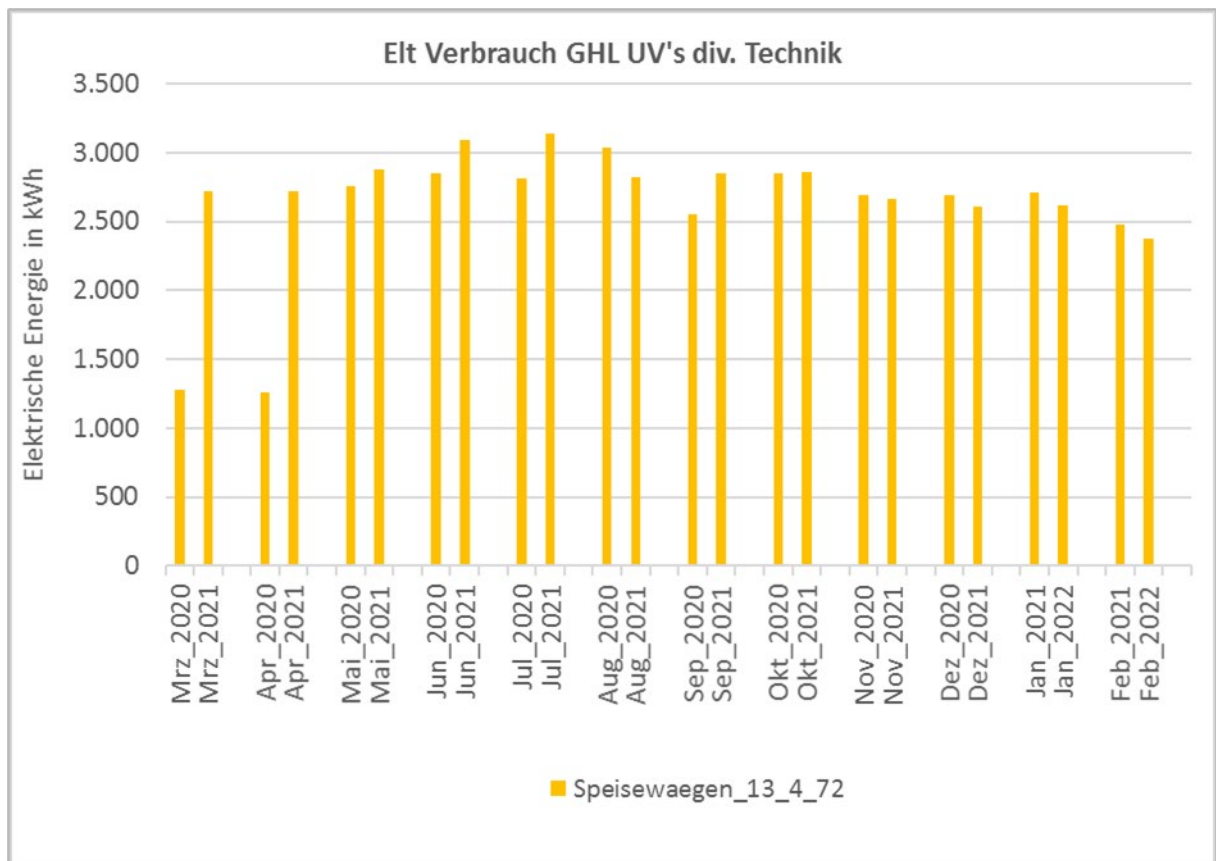


Abbildung 74: einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche Speisewägen für die Zeiträume 2020 und 2021

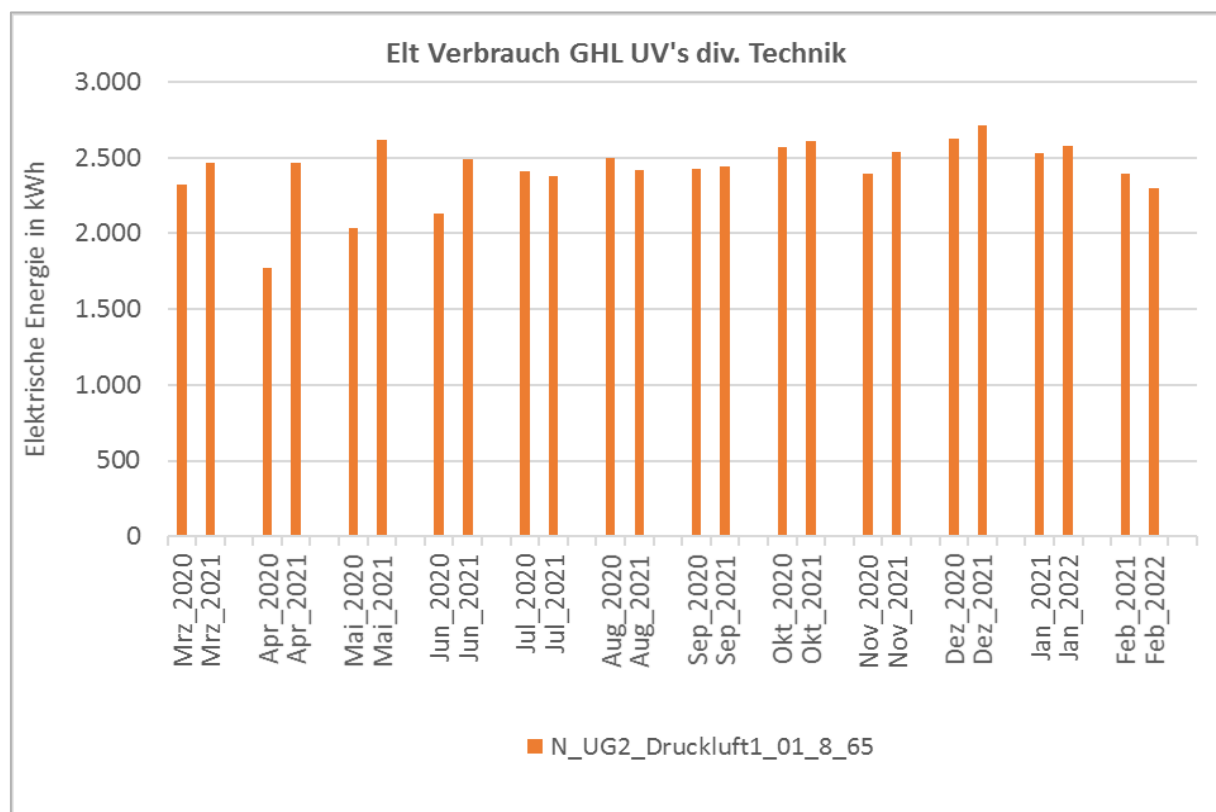


Abbildung 75: einzelne monatliche elektrische Energieverbräuche Druckluft für die Zeiträume 2020 und 202

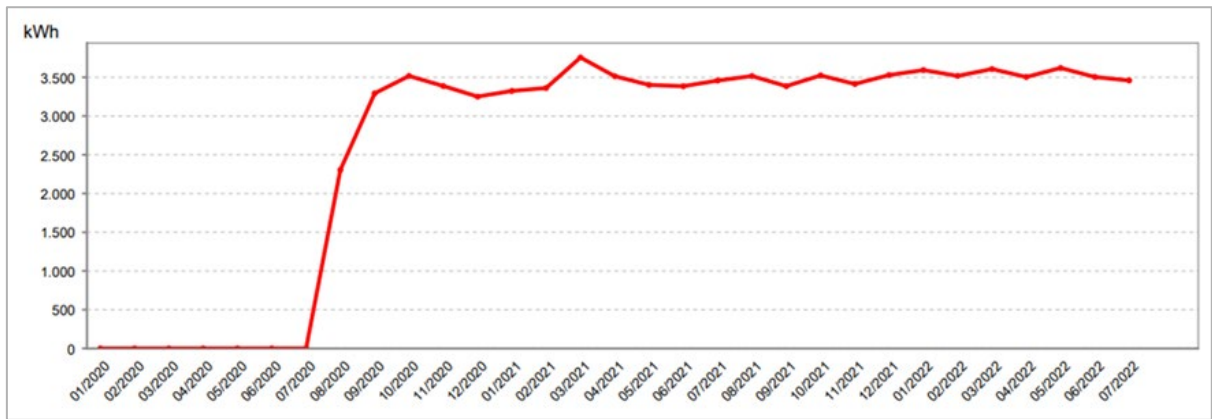


Abbildung 76: Darstellung Zähler ELZ_W_AV_S_UG1_UV_Allgemein im Zeitraum 1/2020 bis 7/2022 (Monatswerte)

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 des Zwischenberichtes zu finden. Im Folgenden werden einige vergleichende und erweiterte Analysen zu den RLT-Anlagen durchgeführt.

In Abbildung 77 wird der Jahres-Energieverbrauch aller erfassten RLT-Anlagen und der drei zentralen Wärmerückgewinnungsanlagen (ZWRG) im Bilanzjahr 1 (B1) und 2 (B2) dargestellt. Der Wärmeenergieverbrauch der RLT-Heizregister wird durch die roten Säulen und der Kälteenergieverbrauch der RLT-Anlagen durch blaue Säulen dargestellt. Die grauen Säulen visualisieren den elektrischen Energieverbrauch der jeweiligen Zu- und Abluftventilatoren. Bei den schräg 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.

Auf der linken Seite der Darstellung (grüner Kasten) sind die eingespeisten Wärme- und Kälteenergiemengen zu sehen. Für die Versorgung der Heizregister gibt es einen zentralen RLT-Verteiler im Nord- und einen im Südteil des GHL. Die Kälteversorgung läuft über eine einzige zentrale Verteilung (Mitte). Die Zugehörigkeit zum jeweiligen Verteiler wird durch die Kennung „_N oder _S“ kenntlich gemacht. Die eingespeisten Mengen gelten als gesichert und lassen sich durch vorgelagerte WMZ oder KMZ bestätigen.

Im grünen Kasten auf der rechten Seite (horizontal gestrichelte Säulen) sind die Energiemengen dargestellt, die sich nicht zuordnen lassen (zentrale Einspeisung minus Summer aller RLT-Anlagen). Es kann davon ausgegangen werden, dass nicht alle Heiz- oder Kühlregister über entsprechende Messeinrichtungen verfügen. Außerdem ist wahrscheinlich davon auszugehen, dass die WMZ der zentralen ZWRG-Anlagen falsch parametrier sind. Diese zählen zudem nur in eine Flussrichtung, was den internen Glykol-Kreislauf der ZWRG betrifft. Es kann so nicht zwischen zusätzlich eingebrachter Heizenergie und zurückgewonnener Energie aus der Abluft unterschieden werden.

Die RLT-Anlagen 2,3 und 10 sind in der Summe für über 80 % des Heizenergieverbrauchs, bezogen auf die Summe aller RLT-Anlagen verantwortlich. Der elektrische Energieverbrauch beträgt mehr als 25 %. Der Gesamtstromverbrauch aller Raumluftechnischen-Anlagen erreicht rund 1.000.000 kWh pro Jahr.

In Abbildung 78 wurden die benötigten Vorlauftemperaturen im Jahresverlauf für die Heizregister der RLT-Anlagen 1, 2 und 10 exemplarisch untersucht. Werden die Maxima zusätzlich mit betrachte, dann kann festgestellt werden, dass die Heizregister auch über herkömmliche (Standard) Wärmepumpen versorgt werden könnten. Das Temperaturniveau ist stets unter 65 °C. Als Quelle für die WPs könnte die Umgebungsluft, Abwärme, aber auch das Erdreich dienen. Es könnte so zusätzlich Erdgas eingespart werden. Die elektrische Antriebsenergie für die WP's sollte aber regenerativ und gebäudenah erzeugt werden.

Genauere Informationen zu diesem Kapitel siehe auch x_17_Anhang_Ergebnisse\X_RLT.

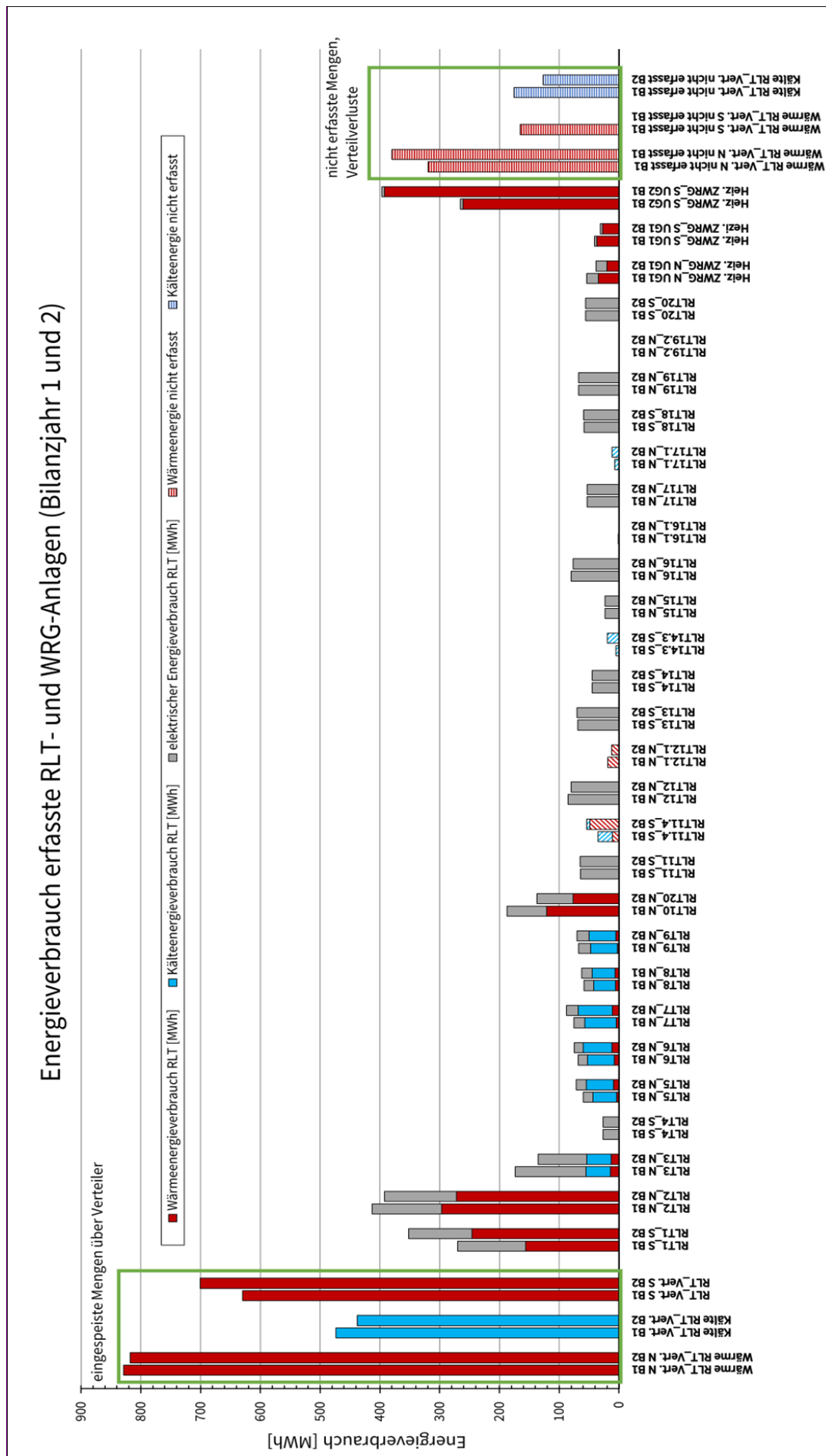


Abbildung 77: Energieverbrauch erfasste RLT- und WRG-Anlagen (Bilanzjahr 1 und 2)

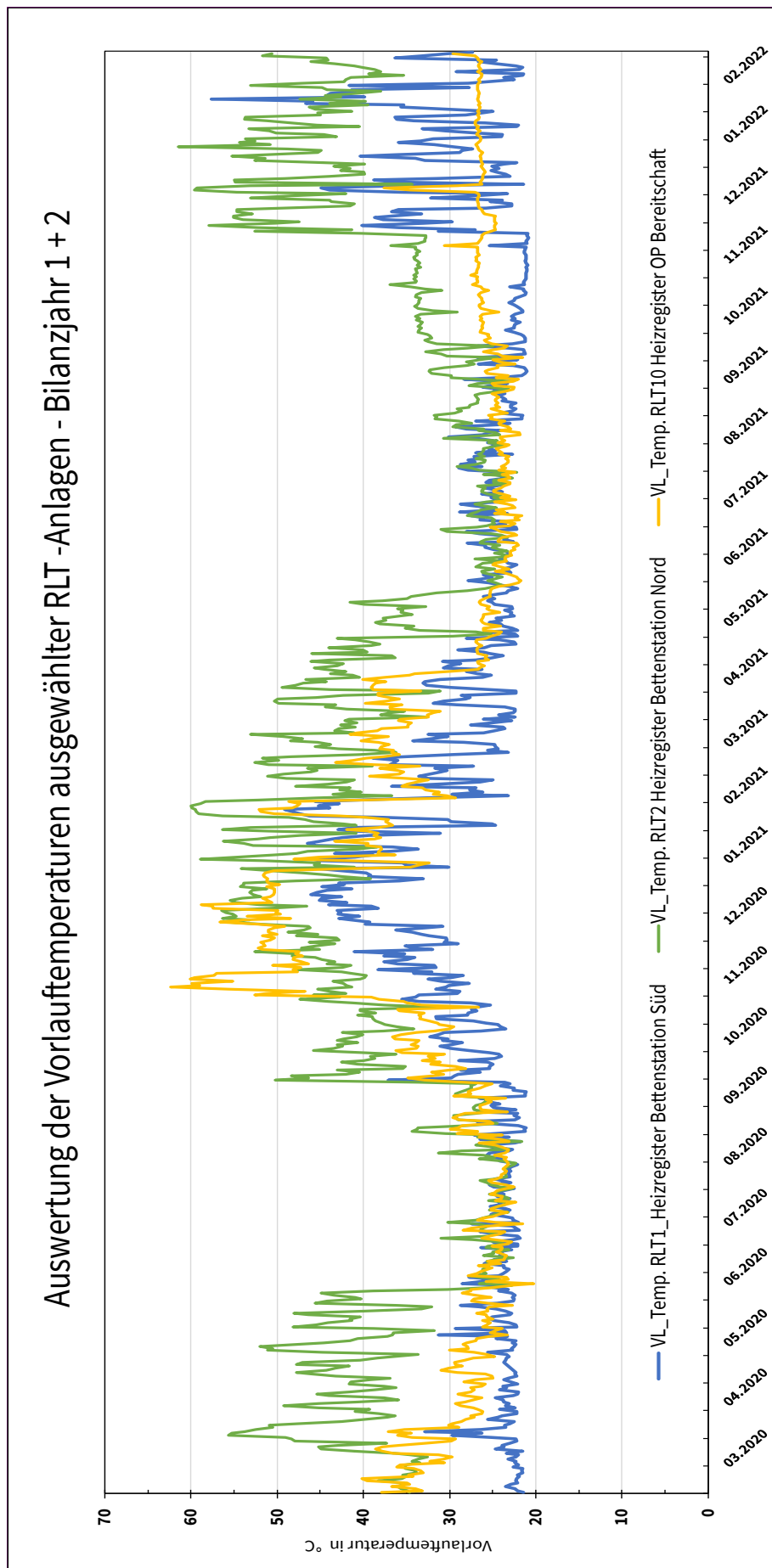


Abbildung 78: Auswertung der Vorlauftemperaturen ausgewählter RLT-Anlagen Bilanzjahr 1 + 2

4.8.7 Analyse des Energiepotenzials an den Rückkühlanlagen der Kältemaschinen

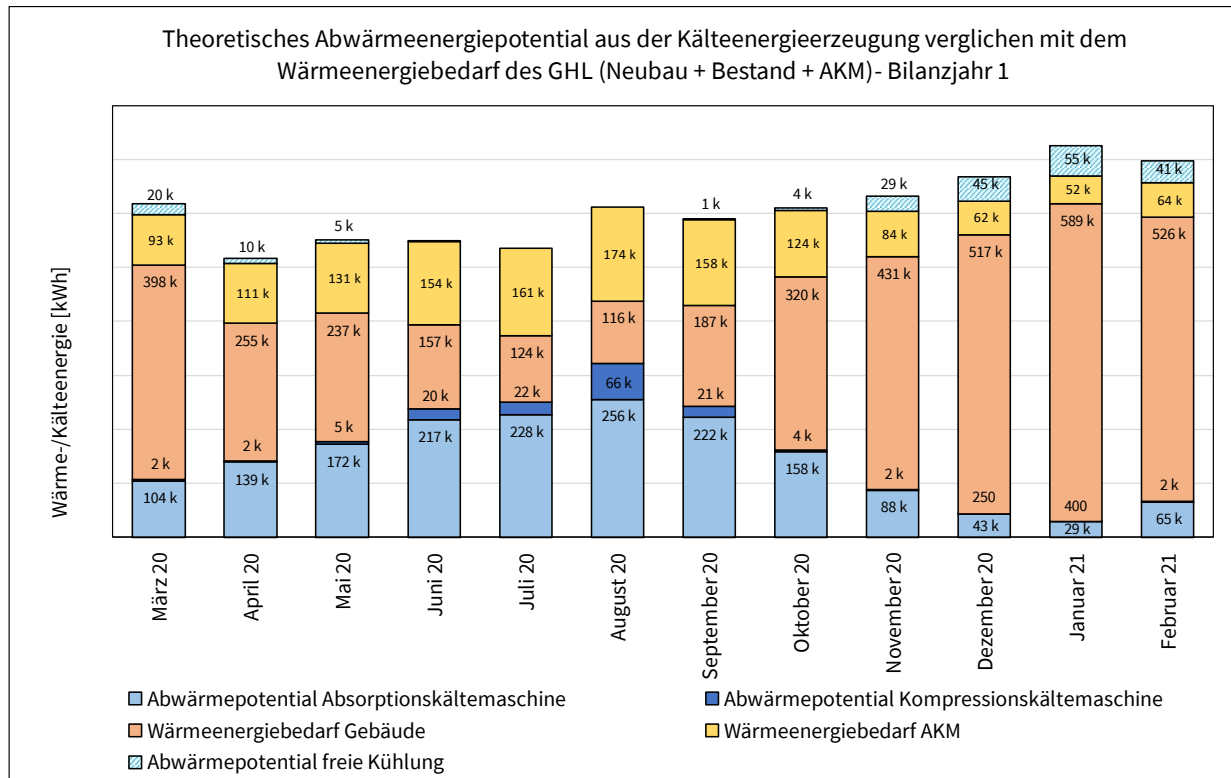


Abbildung 79: Thermisches Abwärmepotenzial aus der Kälteenergieerzeugung – Bilanzjahr 1

In Zuge dieser Auswertungen wurde auch das theoretisch nutzbare Abwärmepotenzial untersucht, dass an den Rückkühlrichtungen der Kältemaschinen vorliegt. Die freie Kühlung und die Absorptionskältemaschine (AKM) teilen sich einen gemeinsamen Rückkühler (Hybridkühler), während die Kompressionskältemaschine (KKM) über einen eigenen Rückkühler (Trockenkühler) verfügt. Die beiden blauen Säulenteile (Abbildung 79) entsprechen dabei dem theoretisch nutzbaren Potenzial an Abwärmepotenzial der AKM und der KKM. Der Großteil entfällt hier auf die AKM. Dies ist allerdings auf die aktuelle Anlagenfahrweise zurückzuführen. Die BHKWs werden stromdienlich betrieben und die Abwärme muss auch im Sommer sinnvoll genutzt werden. Da beide Kältemaschinen über ein ähnliches Leistungsspektrum verfügen, könnte auch die KKM als Grundlastkühler eingesetzt werden. Kapitel 5.4 beschäftigt sich ausgiebig mit verschiedenen Anlagenfahrweisen. Der Wärmeenergiebedarf des Gebäudes ist orange eingefärbt und der Wärmeenergiebedarf der AKM (Antriebsenergie) in Gelb. Während der Sommermonate, Juni bis September, könnte mit dem Abwärmepotenzial das komplette Gebäude (Alt- + Neubau) versorgt werden. Hierfür müsste aber eine zusätzliche Hochtemperaturwärmepumpe an die Rückkühlkreisläufe der Kälteerzeugungsanlagen angebunden werden. Dieser Deckungsgrad ließe sich noch weiter steigern, wenn die KKM als Grundlastkälteerzeuger eingesetzt werden würde. Dies hätte zur Folge, dass der Wärmebedarf der AKM deutlich verringert würde und daher der gesamte Energieverbrauch des GHL reduziert werden würde.

In Abbildung 80 werden die Temperaturen, die an den Rückkühlern vorliegen, untersucht. Der Hybridkühler (AKM) liefert nahezu ganzjährig ein Temperaturniveau größer 30 °C. Die KKM dient nur als Spitzenlastkühler während der Sommermonate, liefert dann aber ebenfalls ein

Temperaturniveau von ca. 28 °C. Die Temperaturen allein sind aber nicht aussagekräftig, da daraus keine Angaben zur abgegebenen Wärmeleistung abgeleitet werden können. In Abbildung 81 wird die tatsächlich verfügbare Leistung im Jahresverlauf untersucht (Sommerfall / Winterfall). Dargestellt ist die verfügbare Summenleistung am Hybrid- und Trockenkühler. Außerdem wurde die mittlere Leistung als Punktlinie eingefügt. Im Sommer wäre eine mittlere nutzbare Abwärmeleistung von ca. 420 kW verfügbar. In Kombination mit der elektrischen Antriebsenergie der zusätzlichen Hochtemperaturwärmepumpe könnten mehr als 500 kW für Heizzwecke nutzbar gemacht werden. Im Winter wären im Mittel nur 100 kW bzw. 120 kW nutzbare Abwärmeleistung verfügbar. Dies allerdings auch bei einem deutlich niedrigerem Abwärmetemperaturniveau, was die Effizienz der Hochtemperaturwärmepumpe verschlechtern würde.

Genauere Informationen zu diesem Kapitel siehe auch x_17_Anhang_Ergebnisse\ x_RLT.

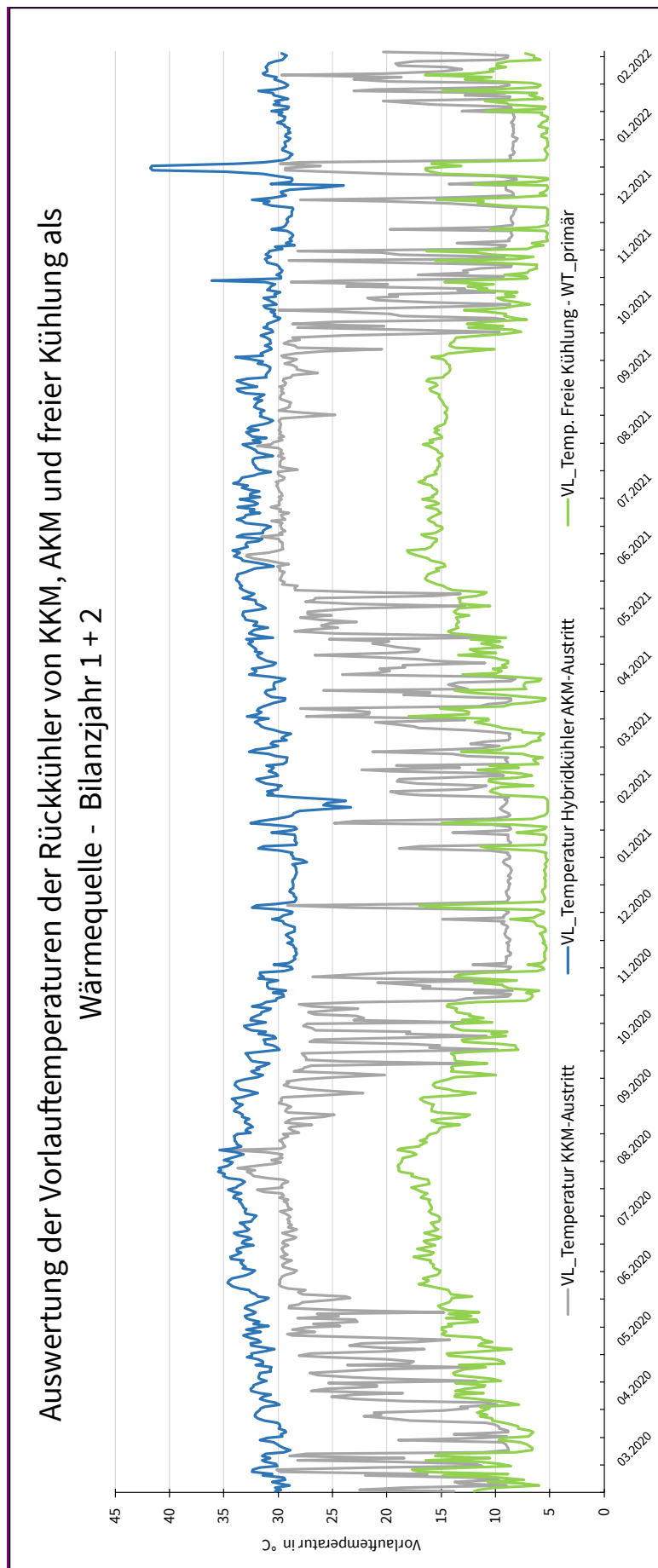


Abbildung 80: Auswertung der Vorlauftemperaturen an den Rückkühlanlagen – Bilanzjahr 1+2

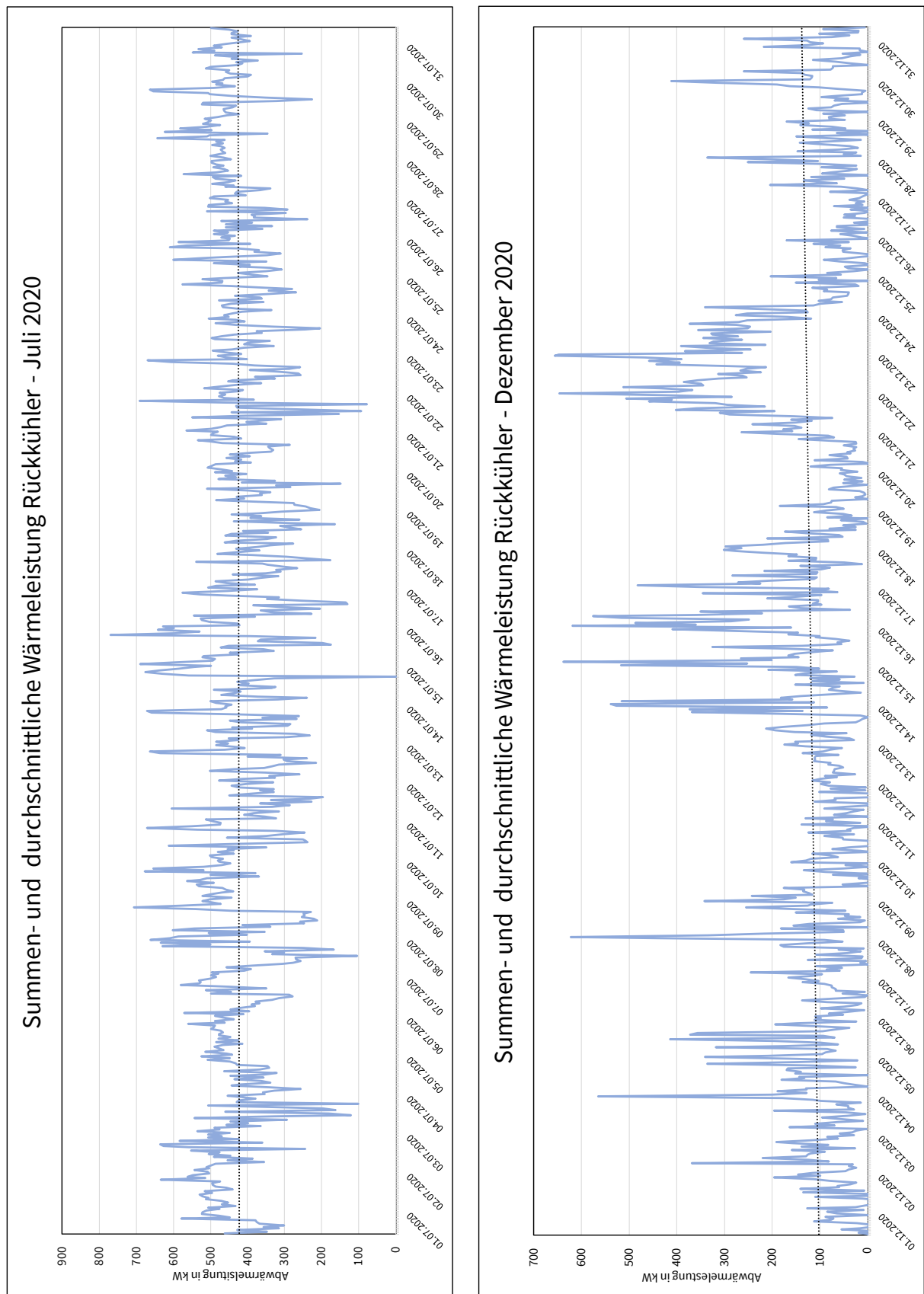


Abbildung 81: Verfügbare Wärmeleistung am Hybrid- und Trockenkühler - Sommer und Winterfall

4.8.8 Musterräume

unverändert → siehe Zwischenbericht

4.8.8.1 Musterräume „Patientenzimmer“

unverändert → siehe Zwischenbericht

4.8.8.2 Musterraum Funktionsraum „MRT“

unverändert → siehe Zwischenbericht

4.8.8.3 Musterraum Funktionsraum „OP septisch“

unverändert → siehe Zwischenbericht

4.8.9 Zusammenfassung der Energieflüsse und CO₂-Emissionen im GHL

In diesem Kapitel werden noch einmal die Energieströme des GHL im Bilanzjahr 2020 (01.03.20 bis 01.03.21) und 2021 (01.03.21 bis 01.03.22) in vereinfachter (vgl. Abbildung 82) und detaillierterer Form dargestellt (Abbildung 83). Durch Messungenauigkeiten (z. B. unterschiedliche Zählerauflösungen MWh und kWh) und Rundungsdifferenzen können sich in den Bilanzen z. T. leichte Ungenauigkeiten bei der letzten angegebenen MWh-Stelle ergeben.

Die verwendeten Sankey-Diagramme wurden insgesamt vereinheitlicht. Schwarze Pfeile stehen für die elektrische Energie, gelbe Pfeile für Erdgas und grüne für Biomasse. Wärme- und Kälteenergieströme sind in roter und blauer Farbe dargestellt. Der hellrote Kasten markiert alle im GHL eingesetzten Wärmeerzeuger, während der hellblaue Kasten die Kälteerzeugungseinrichtungen markiert. In der erweiterten Darstellung (Abbildung 83) ist die Wärmeerzeugung genauer aufgeschlüsselt sowie eine detailliertere Kälteenergiebereitstellung dargestellt.

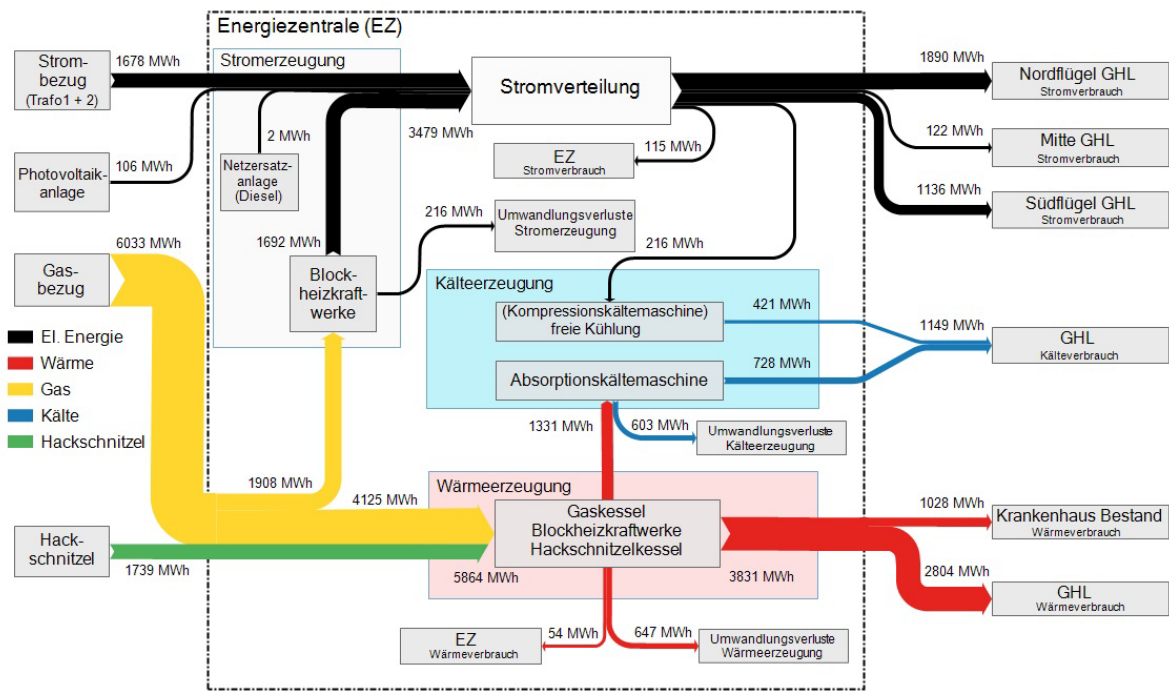
Abbildung 82 und Abbildung 83 beschreiben die Energieflüsse, beginnend auf der linken Seite mit der Ebene der Endenergie (Bezug von Erdgas, Netzstrom und Hackschnitzel) über die Wärme- und Kälteenergieerzeugung bis hin zur Nutzenergie (Wärme-, Kälte- und Stromverbrauch der einzelnen Krankenhausflügel – rechte Seite).

In dem folgenden Kapitel 4.8.9.1 ist der Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergieverbrauch des GHL in vereinfachter Form beschrieben. Außerdem wurden die Darstellungen noch um den Primärenergieverbrauch und um die CO₂-Emissionen erweitert (vgl. Abbildung 86 und Abbildung 87) mit Berechnungsfaktoren gemäß DIN V 18599. Mithilfe der Abrechnungen vom Versorger wurden zudem die entstehenden Kosten für Biomasse, Erdgas und Strom berechnet und dargestellt. Kapitel 4.8.9.2 beschäftigt sich mit den CO₂-Äquivalenten der Wärme- und Kälteenergieversorgung im GHL.

Die Datengrundlagen (auch für Nutz-, End- und Primärenergie) finden sich in x_17_Anhang_Ergebnisse\x_Gesamtenergieverbrauch\.

Energiefluss Green Hospital Lichtenfels (GHL)

Zeitraum: 01.03.2021 bis 01.03.2022



Energiefluss Green Hospital Lichtenfels (GHL)

Zeitraum: 01.03.2020 bis 01.03.2021

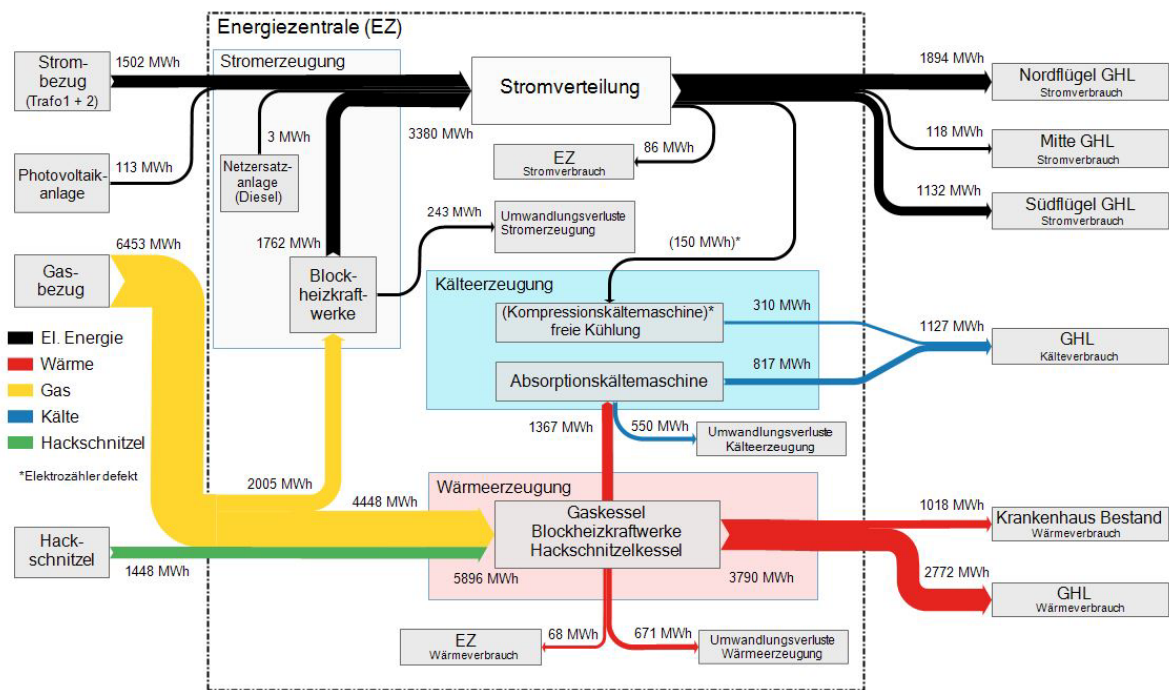


Abbildung 82: Energieflüsse pro Jahr im GHL für die Zeiträume 2020 (01.03.2020 bis 01.03.2021) und 2021 (01.03.2021 bis 01.03.2022)

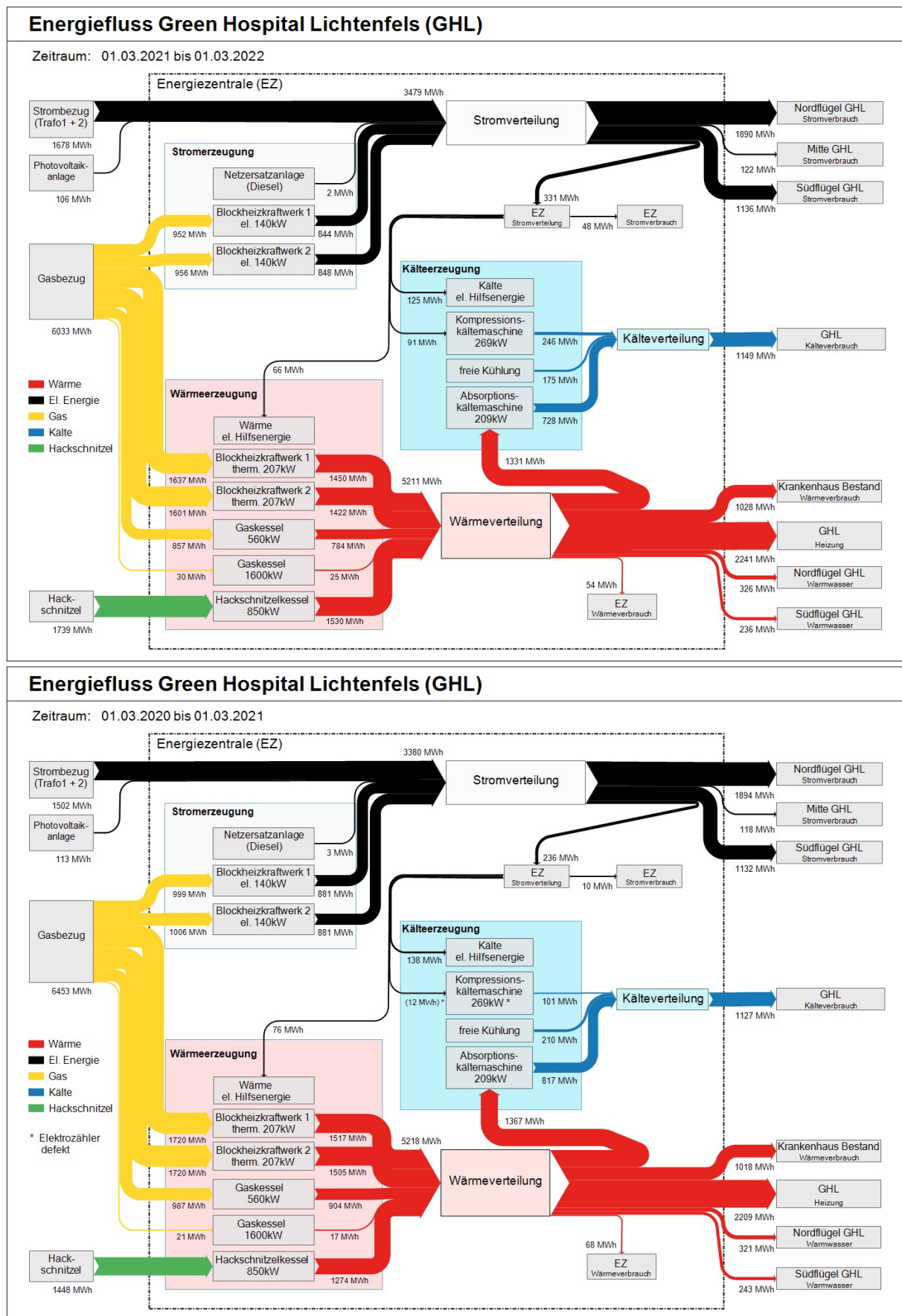


Abbildung 83: Detaillierte Energieflüsse pro Jahr im GHL für die Zeiträume 2020 und 2021. (Hier sind die gemessenen Zählerwerte dargestellt. Durch Messungenauigkeiten und Rundungsdifferenzen ergeben sich in den Bilanzen z. T. leichte Ungenauigkeiten bei der letzten MWh-Stelle.)

4.8.9.1 Erweiterte Darstellung (Primärenergie / CO₂-Äquivalente / Kosten)

Abbildung 84 und Abbildung 85 beschreiben die grundlegenden Energieflüsse im GHL. Die Energieflüsse werden nach DIN V 18599 in Primär-, End- und Nutzenergie eingeteilt und die dazugehörigen Umrechnungsfaktoren verwendet (siehe Tabelle 18). Für den Biomassekessel wird ein Wirkungsgrad von 88 % angesetzt (Herstellerangaben). Abweichend von der Norm werden die regenerativen/erneuerbaren Anteile der Biomassefeuerung und der Photovoltaikanlage mit dargestellt. Für die Berechnung des Primärenergieverbrauchs gemäß Energieverbrauchsausweis sind diese beiden Werte nicht mitzubetrachten. Der BHKW-Strom wird vollständig im GHL verbraucht und kann nicht als Verdrängungsmix gutgeschrieben werden. Die oberen Abschnitte der beiden Abbildungen beschreiben den Gasverbrauch und die Biomassenanteile. Diese dienen größtenteils der Wärmeenergieerzeugung. Eine Ausnahme stellt der elektrische Anteil der beiden BHKWs dar. Beide Gaskessel wurden ebenfalls zusammengefasst. Die elektrische Erzeugung der Netzstromersatzanlage wurde wegen Geringfügigkeit nicht mit dargestellt. Außerdem wurden die entsprechenden CO₂-Emissionen, bezogen auf die jeweiligen Endenergieanteile (Erdgas, Biomasse und Strom) berechnet. Die erneuerbaren Anteile der Biomasse und des Strombezugs erzeugen keine zusätzlichen CO₂-Emissionen. Abbildung 86 und Abbildung 87 erweitern die Darstellung noch um die verbrauchte Primärenergie und um die damit verbundenen CO₂-Emissionen. Ebenso wurden die entstehenden Kosten mitberücksichtigt.

Die Primärenergie ergibt sich aus der Umrechnung der Endenergie mit Hilfe von Primärenergiefaktoren, die in Tabelle 18 aufgeführt sind. Grundlegende Eigenschaften der dargestellten Sankey-Diagramme wurden in Kapitel 4.8.9 beschrieben.

Tabelle 18: Primärenergiefaktoren der eingesetzten Energieträger (DIN V 18599)

	Faktor	Anmerkungen
Erdgas	1,1	
Biomasse	0,2	
KWK-Strom	1,8	Keine Verdrängungsmix, wird im GHL verbraucht
Stromnetz	1,8	

Die Datengrundlagen (auch für Nutz-, End- und Primärenergie) finden sich in x_17_Anhang_Ergebnisse\x_Gesamtenergieverbrauch\x_Erweiterte_Darstellungen\.

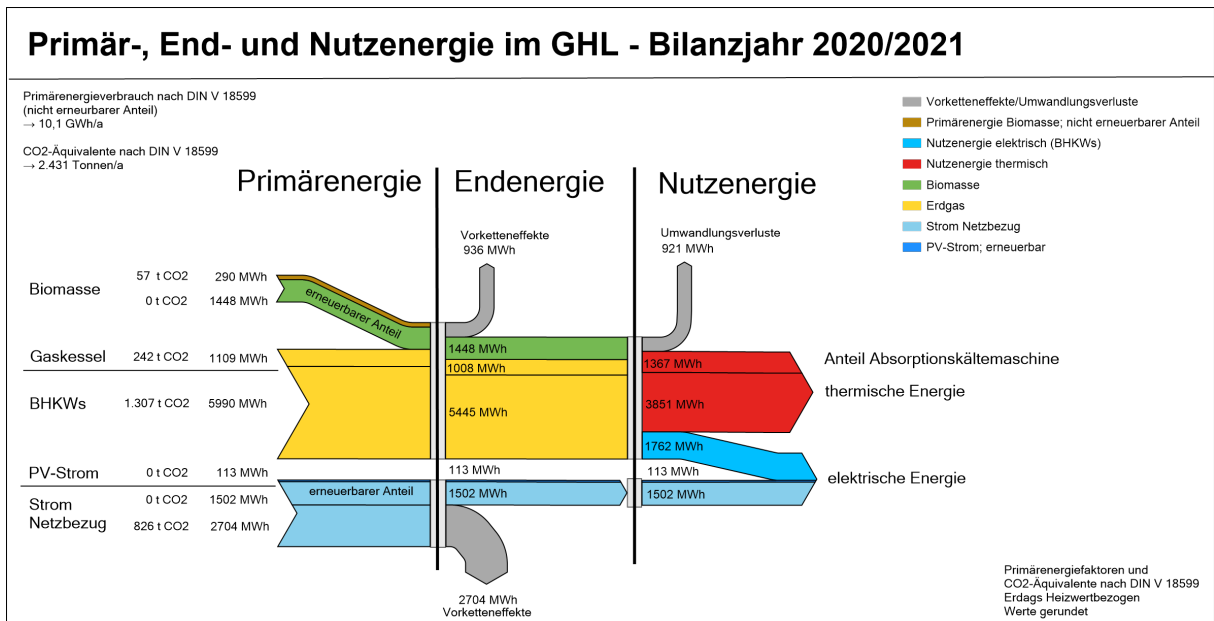


Abbildung 84: Grundlegende Energieflüsse im GHL - 2020/2021

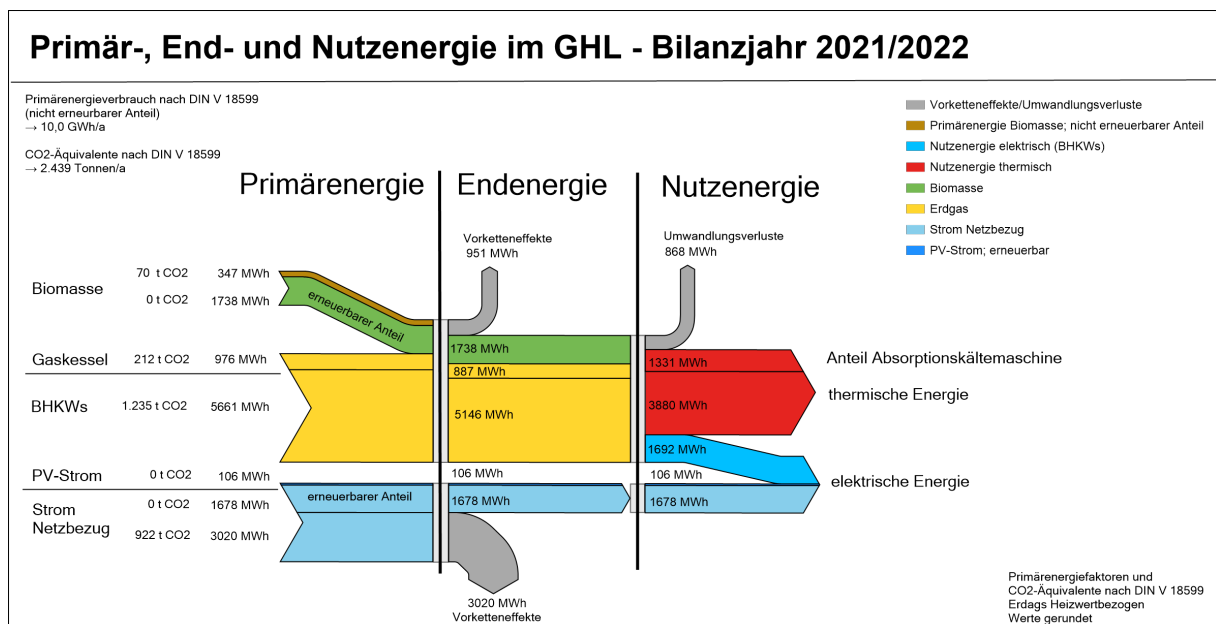
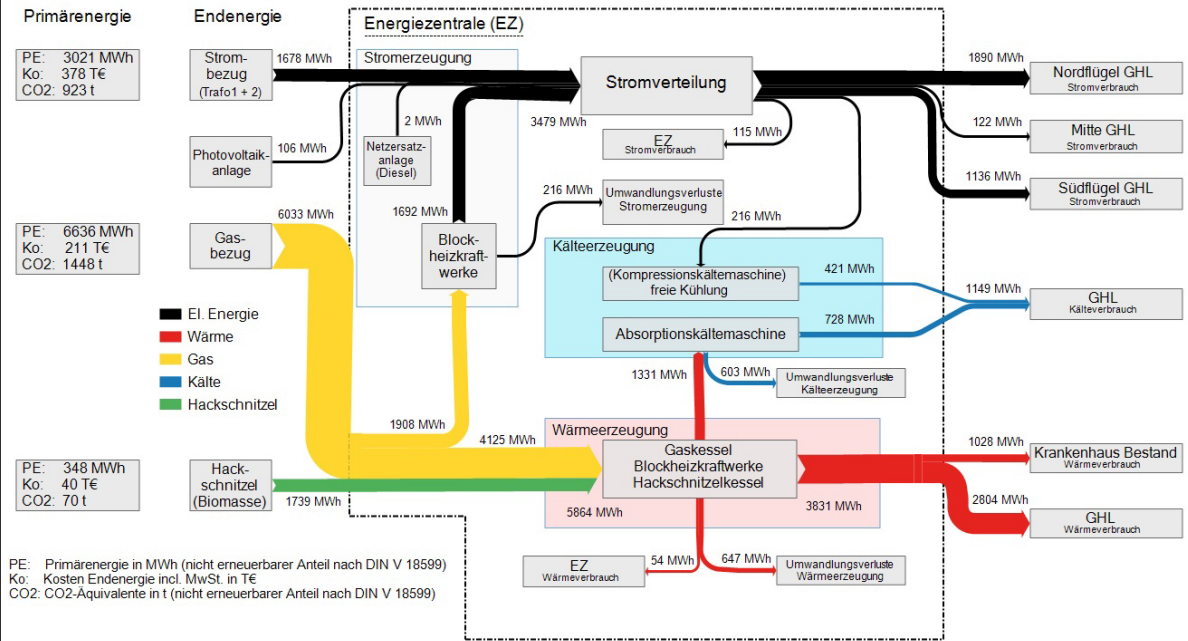


Abbildung 85: Grundlegende Energieflüsse im GHL - 2021/2022

Energiefluss Green Hospital Lichtenfels (GHL)

Zeitraum: 01.03.2021 bis 01.03.2022



Energiefluss Green Hospital Lichtenfels (GHL)

Zeitraum: 01.03.2020 bis 01.03.2021

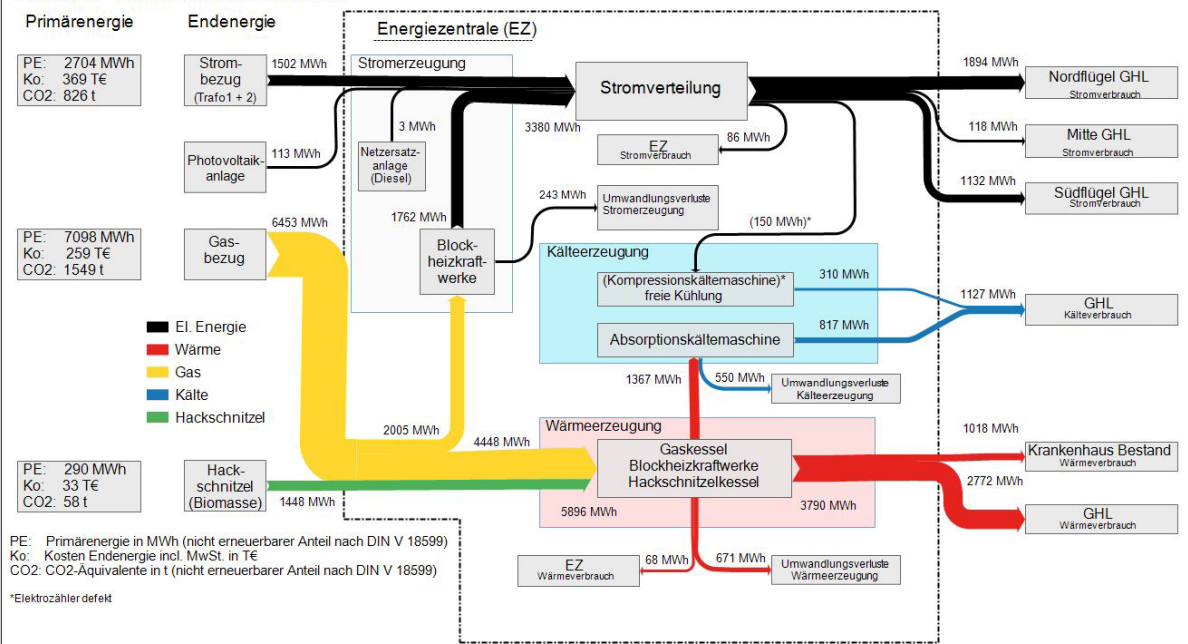


Abbildung 86: Energieflüsse pro Jahr im GHL für die Zeiträume 2020 (01.03.2020 bis 01.03.2021) und 2021 (01.03.2021 bis 01.03.2022) – erweitert um Primärenergieverbrauch, CO₂-Emissionen und Energiekosten

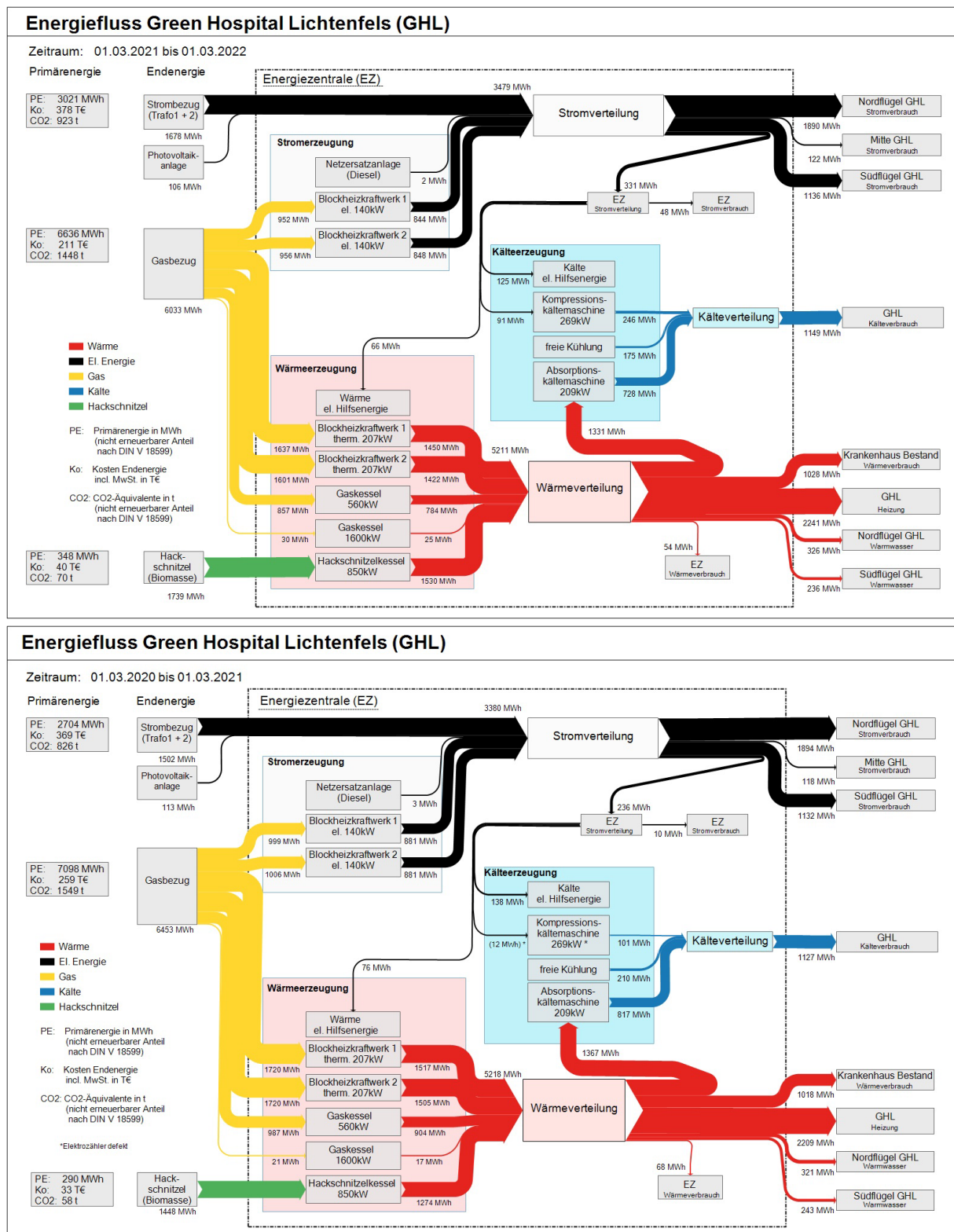


Abbildung 87: Detaillierte Energieflüsse pro Jahr im GHL für die Zeiträume 2020 und 2021. (Hier sind die gemessenen Zählerwerte dargestellt. Durch Messungenauigkeiten und Rundungsdifferenzen ergeben sich in den Bilanzen z.T. leichte Ungenauigkeiten bei der letzten MWh-Stelle.) – erweitert um Primärenergieverbrauch, CO₂-Emissionen und Energiekosten.

4.8.9.2 CO₂-Äquivalente der Wärme- und Kälteenergieversorgung

In Abbildung 88 sind die CO₂-Äquivalente/Emissionen der GHL-Energieversorgung dargestellt. Die obere Hälfte zeigt die gebäudespezifischen CO₂-Emissionen pro Jahr (Alt- und Neubau). Die untere Hälfte bezieht die CO₂-Emissionen auf die Bettenzahl (276 Betten). Die CO₂-Emissionen gliedern sich in die Emissionen für Erdgas, Strom und Biomasse. Die verwendeten CO₂-Faktoren sind in den Abbildungen beschrieben. Ab November 2021 fand im GHL ein Anbieterwechsel bezüglich des Stromlieferanten statt. Der Emissionsfaktor verschlechterte sich von 0,209 kg_{CO2}/KWh_{el} auf 0,419 kg_{CO2}/KWh_{el}, was die Erhöhung der CO₂-Emissionen von 1.970 t auf 2.100 t erklärt, obwohl der Energieverbrauch nahezu gleichgeblieben ist. Der Faktor für Erdgas ist nach DIN EN 18599 auf 0,240 kg_{CO2}/KWh festgelegt und beinhaltet alle Vorketteneffekte. Der Faktor für Biomasse beträgt 0,040 kg_{CO2}/KWh. Bei der Berechnung der Äquivalente/Emissionen für den Strombezug wurde von der DIN V 18599 abgewichen und der reale Faktor des Stromlieferanten verwendet.

In der folgenden Abbildung (Abbildung 89) geht es um die Effekte durch die Nutzung der Kraftwärmekopplung, der Photovoltaik und des Biomassekessels und deren Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen des GHL. Die vollflächig eingefärbten Säulenelemente beschreiben die reinen Emissionen durch die Nutzung von Erdgas, Strom und Biomasse. Die roten Flächen zeigen die vermiedenen Emissionen durch den Einsatz der PV-Anlage im Vergleich zum Netzstrombezug. Die schraffierten Elemente visualisieren die zusätzlichen Effekte der Anlagentechnik und deren Einflüsse.

Im Bilanzjahr 1 entstanden durch die Nutzung von Erdgas 1.555, durch die Nutzung der Biomassefeuerung 58 Tonnen und durch den Netzstrombezug 314 Tonnen an CO₂-Emissionen, inklusive aller Vorketteneffekte. Durch die Stromerzeugung mittels Kraft-Wärmekoppelung (KWK) wurden zusätzlich 148 Tonnen CO₂ freigesetzt. Ob diese Bilanz positiv oder negativ ausfällt, hängt im Wesentlichen vom CO₂-Faktor des Netzstroms ab. Bis November 2021 betrug der Emissionsfaktor nur 0,209 kg_{CO2}/KWh_{el} und lag damit unterhalb des Faktors, der für das bezogene Erdgas (0,240 kg_{CO2}/KWh_{el}) gültig war. Im 2. Bilanzjahr verschlechterte sich der Emissionsfaktor für den Strombezug ab November massiv. Dies führte zu einer Verbesserung des zusätzlichen Effektes der KWK-Stromerzeugung mit einer Verminderung von 172 t/a auf nur 29 t/a im 2. Bilanzjahr. Wäre dieser Emissionsfaktor (0,419 kg_{CO2}/KWh_{el}) im kompletten 2. Bilanzjahr gültig gewesen, hätte sich die KWK-Stromerzeugung reduzierend auf die CO₂-Emissionen ausgewirkt. Die schraffierte Säule würde nach unten in den negativen Bereich klappen.

Die installierte PV-Anlage (ca. 120 kWp) reduzierte die CO₂-Emissionen in beiden Jahren um ca. 25 Tonnen Kohlendioxid. Die Biomassenutzung führte zu einer Reduktion von 282 bzw. 338 Tonne des Treibhausgases pro Jahr. Der PV-Strom wird dabei mit den Emissionen des normalen Netzstrombezugs und die Biomassenutzung mit einer alternativen Wärmeerzeugung mit Erdgas verglichen. Wäre das komplette obere Parkdeck des Parkhauses mit einer halb transparenten PV-Anlage mit ca. 370 kWp überdacht gewesen, könnten durch den CO₂-neutralen Strom als Substituent für den Netzstrom ca. 158 bzw. 162 Tonnen des Treibhausgases eingespart werden.

In Abbildung 90 sind diese Zusammenhänge in monatlicher Auflösung dargestellt. Wird der Dezember 2020 mit dem Dezember 2021 verglichen, zeigt dies wieder die Auswirkungen der unterschiedlichen CO₂-Äquivalente, verursacht durch den Netzstrombezug. Im Dezember 2020 sorgte die Stromerzeugung durch die KWK-Anlagen theoretisch für eine Erhöhung der Emissionen um 16 Tonnen, während sie im Dezember 2021 reduzierend wirkte (-26 Tonnen CO₂). Vergleicht man die jährliche Darstellung mit der monatlichen Darstellung, wird deutlich, dass sich einige Effekte in der Jahressumme aufheben.

Werden für die Berechnung der CO₂-Äquivalente des Netzstroms hingegen die Werte aus DIN V 18599 verwendet (0,550 kg_{CO2}/KWh_{el}), ergeben sich theoretische CO₂-Emission von 2.431 Tonnen im Jahr 2020/21 und 2.439 Tonnen im Jahr 2021/22. Bezogen auf die Anzahl der Betten (276) entspricht dies dann einer Emission von 8,80 Tonnen pro Bett bzw. 8,84 Tonnen pro Bett und Jahr. Werden die realen CO₂-Äquivalente des Netzstrombezugs zum Vergleich herangezogen, führen die Faktoren nach DIN V 18599 rechnerisch zu einer Erhöhung des CO₂-Ausstoßes um 504 Tonnen bzw. 620 Tonnen pro Bilanzjahr. Pro Krankenhausbett erhöht sich die Emission um 1,82 bzw. 1,38 t/a. Die abweichende Betriebsweise des Biomassekessels hat sich also kaum ausgewirkt. Durch diverse Wechselwirkungen heben sich die meisten Effekte wieder auf. Diese Berechnungen zeigen deutlich, dass ein starker Zusammenhang zwischen den CO₂-Emissionen und den verwendeten Faktoren besteht. Pauschale Faktoren nach DIN V 18599 sorgen für eine gute Vergleichbarkeit, besitzen aber weniger Aussagekraft, was die tatsächlichen Emissionen betrifft.

Die Datengrundlagen finden sich in x_17_Anhang_Ergebnisse\x_CO2-Emissionen\.

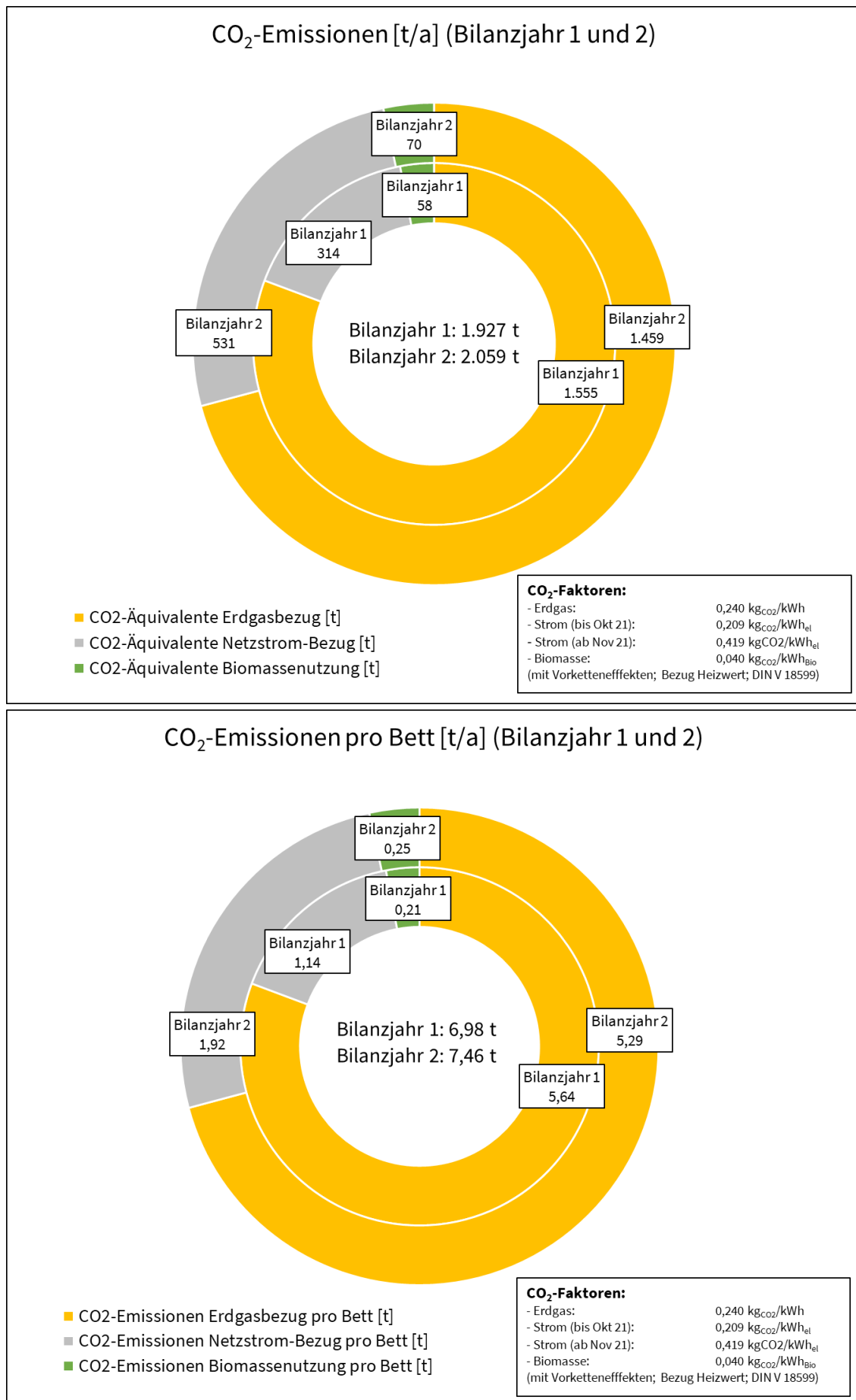


Abbildung 88: CO₂-Emissionen der Energieversorgung im
GHL; Bettenanzahl 276

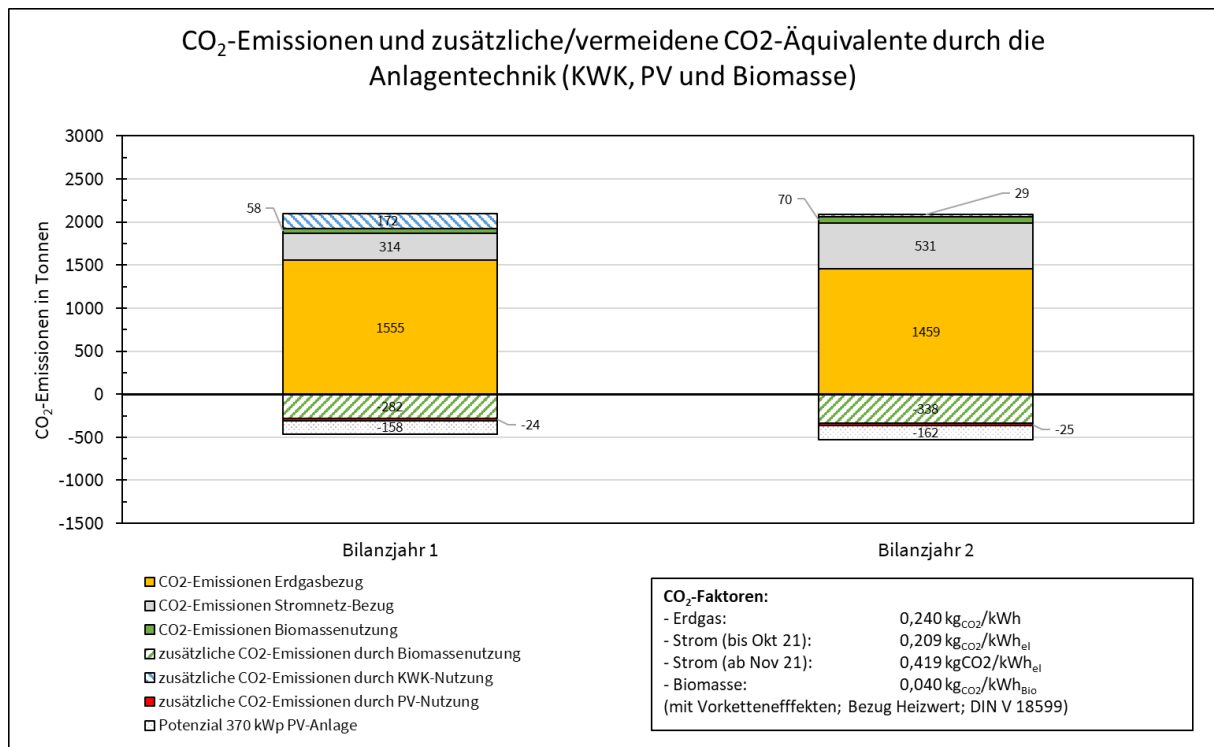


Abbildung 89: CO₂-Emissionen und zusätzliche/vermiedene CO₂-Äquivalente durch KWK-, PV- und Biomassenutzung in den Bilanzjahren

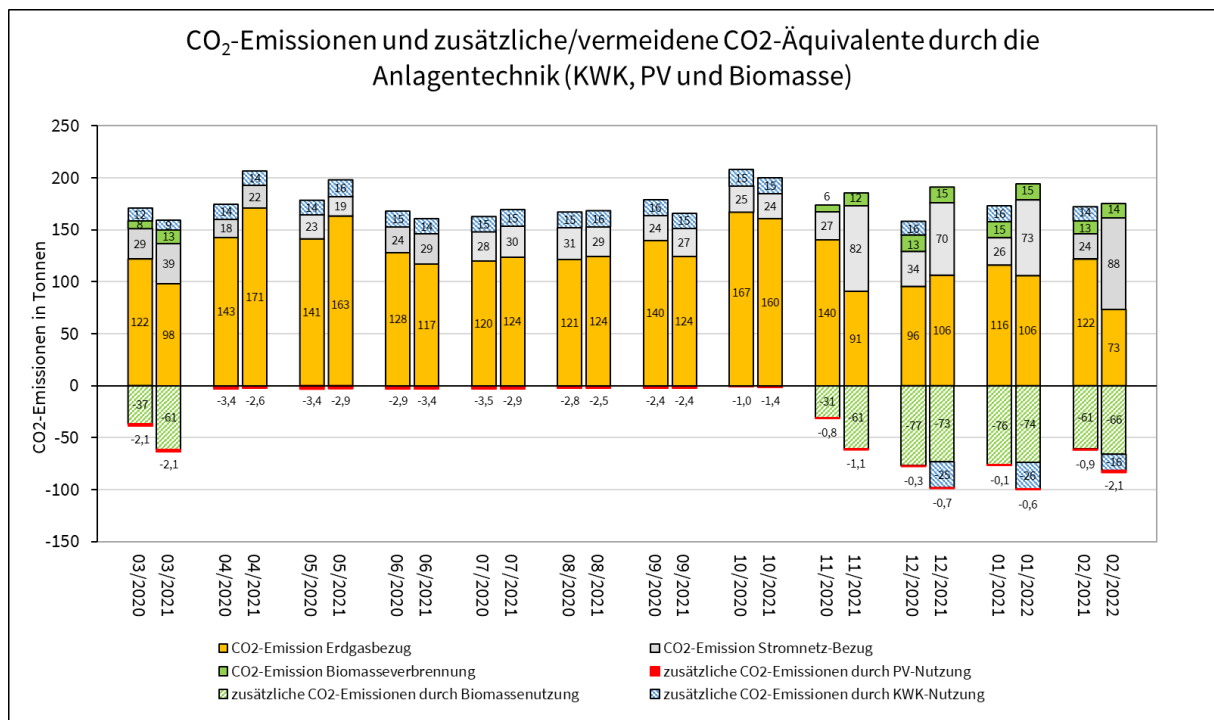


Abbildung 90: CO₂-Emissionen und zusätzliche/vermiedene CO₂-Äquivalente durch KWK-, PV- und Biomassenutzung – monatliche Auflösung.

4.8.10 Langzeitmonitoring

Das Monitoring-Projekt GHL ist in vier Phasen gegliedert (siehe Abbildung 91, 0_Anhang_Sta-tusberichte\2017_Nov_Statusbericht\).

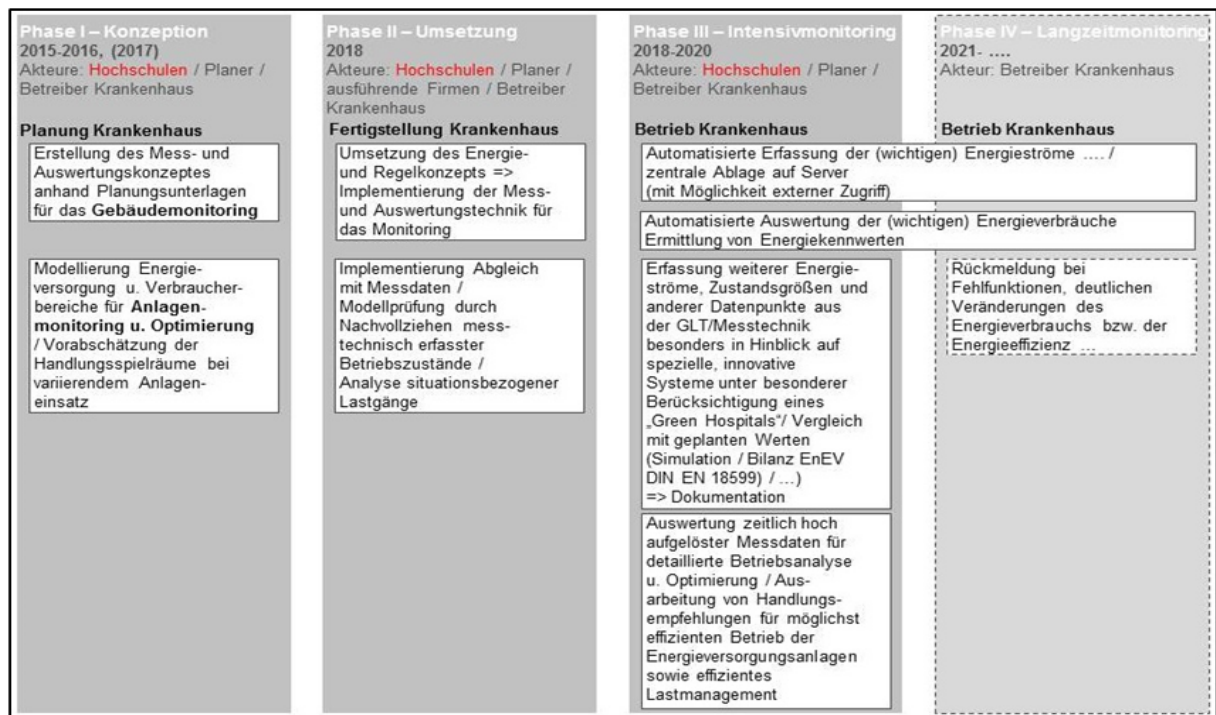


Abbildung 91: GHL-Projektphasen

Für die Phase 4 sollte auf Grundlage des Programms Siemens-Navigator 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 sollten 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 war 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).

Bei der Erarbeitung eines Vorschlags für eine „abgespeckte“ Version 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 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.
- 4 Helligkeitssensoren wurden aussortiert
- 4 Zähler mit keinem oder wenig Verbrauch wurden aussortiert.

Mit diesen Maßnahmen konnte die Anzahl der ca. 634 Datenpunkte in der Struktur „Standard“ auf ca. 310 Datenpunkte reduziert werden.

Der ausgearbeitete Vorschlag der im Langzeitmonitoring zu verwendenden Datenpunkte befinden sich in x_16_Anhang_LZM\x_Konzept_LZM_HoCo_an_Siemens_23_8_22.xlsx.

Eine gewisse Problematik für die Durchführung des Langzeitmonitorings zeigte sich darin, dass es aufgrund der personellen Ausstattung des Krankenhauses zurzeit nicht möglich ist, dauerhaft eine/n Mitarbeiter/in für die Betreuung des Siemens Navigator und des Langzeitmonitorings zur Verfügung zu stellen. Eine neue Situation ergab sich dadurch, dass 2022 Siemens ein erweitertes Nachfolgeprogramm für den Siemens Navigator, den „Performance Observer & Analyzer“ (POA) anbot, der den bis dahin im GHL verwendeten Siemens Navigator ablösen soll. Hier wird eine automatisierte Überwachung, Auswertung und Fehlerermittlung technischer Anlagen durchgeführt („Anlagenmonitoring“) im Gegensatz zu den vom Navigator aufgezeichneten Energie- und Medienverbräuchen und dann selbst auszuwertenden Daten („Energiemonitoring“). Inwieweit die Energiemonitoringfunktionen auch beim POA eingebunden werden, ist noch abzuklären. Vorteil bei der POA Lösung ist, dass hier die Betreuung der Software und entsprechende Auswertungen von Siemens durchgeführt werden und keine Mitarbeiter/innenressourcen des Krankenhauses benötigt werden. Zum Status und zu Optimierungsmöglichkeiten der technischen Anlagen sind regelmäßige Durchsprachen mit dem Krankenhaus vorgesehen.

Die Neuerung im POA besteht darin, dass mit dem POA als ein System sowohl auf alle Daten der Gebäudeleittechnik (Betriebsdaten über BACnet) und entsprechende (Energie-)Zählerdaten zugegriffen werden kann. Die Daten werden an eine cloudbasierte Siemens-Plattform übertragen und mithilfe sogenannter Expertenregeln permanent ausgewertet (Regelbasierte

Datenanalyse). Das Betriebsverhalten der Anlagen wird fortlaufend mit definierten Sollwerten verglichen und Regelverletzungen mit Kenngrößen dargestellt. „Bei Abweichungen führen Siemens-Experten detaillierte Ursachenanalysen durch und erarbeiten passende Maßnahmen zur Betriebs- und Energieoptimierung. Die Analyseergebnisse und resultierende Verbesserungsmaßnahmen werden übersichtlich dokumentiert und im Rahmen eines Online-Meetings besprochen.“²

Im Rahmen der Übergabe des Projektes von den Hochschulen an das Krankenhaus wurde versucht, in der verbleibenden Projektzeit einen entsprechenden Transfer zum Aufbau des POA (z. B. Abgleich der Monitoringstrukturen und Datenpunkte) zu leisten.

Quellenverzeichnis für Kapitel 4

¹ 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

² Siemens Energie- & Betriebsdatenmanagement <https://silounge.siemens.cloud/loesungen/smart-buildings/gebaeudeautomation/energie-betriebsdatenmanagement>

5 Anlagenmonitoring

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1 Grundlagen der Modellierung

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.1 Übersicht der Energieversorgung

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.2 Verteilung und Speicherung

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.3 Gasbrennwertkessel

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.4 Blockheizkraftwerk

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.5 Kompressionskältemaschine

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.6 Absorptionskältemaschine

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.7 Trockenkühler

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.8 Hybridkühler

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.1.9 MATLAB Simulink und die CARNOT-Toolbox

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.2 Kriterien zur Bewertung der Anlagenfahrweise

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.2.1 Ökonomie

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.2.2 Ökologie

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.3 Struktur und Ablauf der Simulation

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.3.1 Einbindung externer Daten

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.3.2 Realisierung in Simulink

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.3.3 Verifizierung der Modellierung

Unverändert → siehe Zwischenbericht

5.3.4 Verbundsteuerung und Übersicht der Szenarien

Mithilfe der Wärme- und Kälteverbundsteuerung wird der Anlageneinsatz für die Simulationsmodelle berechnet, in welchen der Fokus auf der Wärme- und Kältebereitstellung liegt. Um eine ganzheitliche Betrachtung inklusive des Stromverbrauchs durchzuführen, findet eine Kombination mit Simulationsdaten einer PV-Auslegung der HS Hof sowie der realen Daten wie in Abbildung 92 dargestellt statt. Zunächst wird der Stromverbrauch der Klinik ohne Erzeuger berechnet, indem die aufgezeichneten Werte sämtlicher Erzeuger vom Gesamtverbrauch der Klinik abgezogen werden. Dieser wird mit dem Stromverbrauch bzw. der Erzeugung durch die BHKWs der Anlagensimulation addiert. Unterschiedliche Lastprofile für insgesamt vier verschiedene PV-Varianten werden anschließend abgezogen, wodurch zeitlich aufgelöste Lastprofile des Strombedarfs entstehen. Anhand dieser kann der Eigenverbrauch der Stromerzeugung sowie die Netzeinspeisung berechnet werden und anschließend ökologisch und ökonomisch bewertet werden.

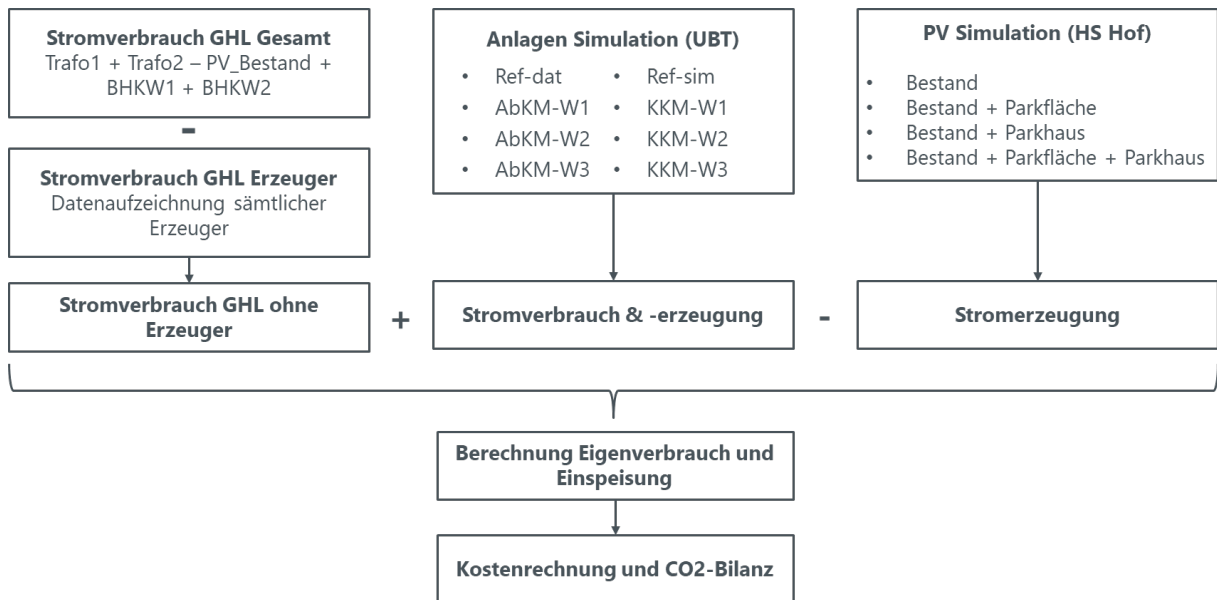


Abbildung 92: Übersicht der Simulationsstruktur

In den Referenzszenarien 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 Ref-dat die realen Verbrauchsdaten des Betrachtungszeitraums verwendet. In Szenario Ref-sim wird der Verbrauch für den gleichen Anlageneinsatz numerisch in der Referenzsimulation bestimmt. Durch einen Vergleich können in Kapitel 5.4.1 Aussagen über die Qualität der Simulation getroffen werden (siehe Tabelle 19).

In Szenario AbKM-W1 bis W3 wird die AbKM bevorzugt eingesetzt, währenddessen in den Fällen W1 bis W3 unterschiedliche Rangreihenfolgen der Wärmeerzeuger untersucht werden (siehe Abbildung 93). In Szenario KKM-W1 bis W3 wird die Rangreihenfolge der Wärmeerzeuger auf analoge Art variiert, wobei die KKM bevorzugt zur Kältebereitstellung eingesetzt wird.

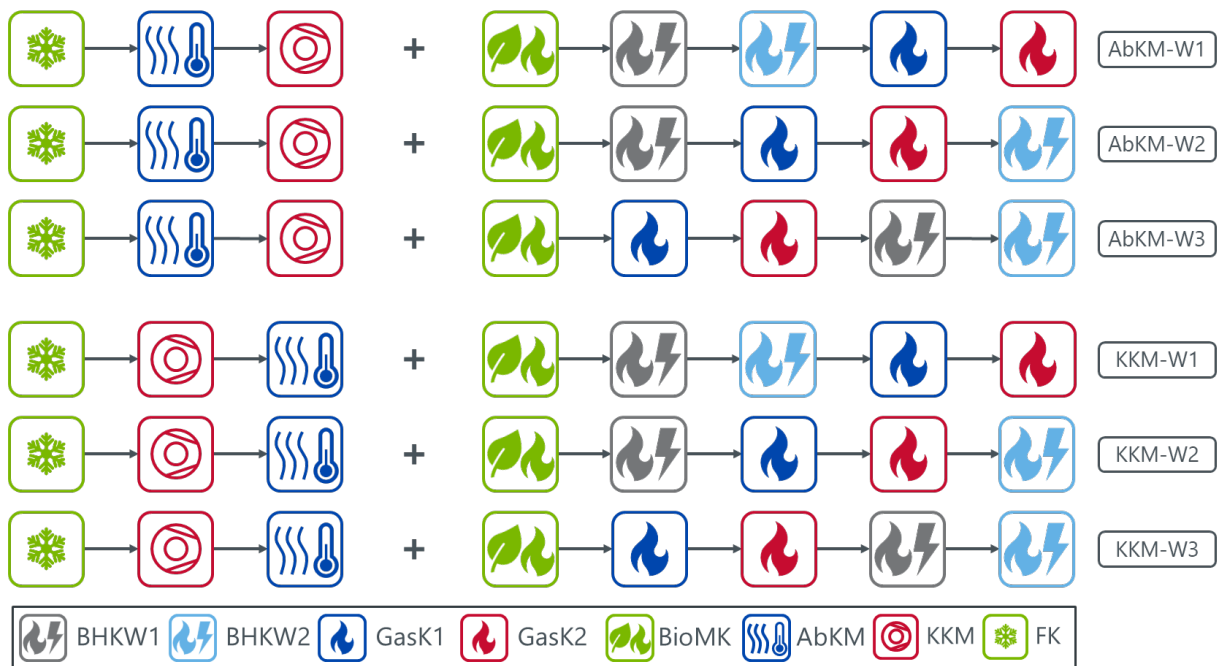


Abbildung 93: Übersicht der Rangreihenfolgen

Die Umsetzung des Steuerungskonzepts in MATLAB wird exemplarisch für das Szenario AbKM-W1 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. Die Freie Kühlung (FK) besitzt die Priorität 1 und wird somit stets bevorzugt eingesetzt. Da in diesem Szenario die AbKM die Priorität 2 besitzt, soll diese anschließend bevorzugt zur Kältebereitstellung eingesetzt werden, bis diese den Bedarf im Verbund mit der FK nicht mehr decken kann. In diesem Fall wird die KKM mit der Priorität 3 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 Anlagen-einsatz der Wärmeerzeuger analog umgesetzt werden. Zunächst wird der BioMK eingesetzt, nach welchem BHKW1 (Priorität 2) folgt. Sollten diese den Bedarf nicht decken können, wird BHKW2 (Priorität 3) 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 bis 3 wird Erzeuger 4 (hier: GasK_560kW), wieder unter Berücksichtigung der Mindestleistung (ggf. verbunden mit Leistungsreduzierung von Erzeuger 3) hinzugeschaltet. Sollten die 4 Erzeuger nicht den gesamten Bedarf versorgen können, wird der fünfte Erzeuger (hier: GasK_1600kW) auf gleiche Weise hinzugeschaltet. Die Berechnung der Steuerungssignale für die weiteren Szenarien erfolgt in analoger Weise.

5.4 Ergebnisse der Anlagensimulation

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Simulation und des Anlagen-Monitorings ausführlich dargelegt. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich vom 01.03.2021 bis 28.02.2022. 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 und zusätzlicher PV-Flächen hinsichtlich verschiedener Bewertungsparameter.

5.4.1 Szenario I: Referenz

In dem ersten Szenario Ref-dat wird der reale Anlageneinsatz und die daraus folgenden Verbrauchswerte aus den Monitoring-Daten verwendet. Anhand der Referenzsimulation Ref-sim findet ein Vergleich zu berechneten Verbrauchswerten der Anlagensimulation bei gleicher Einsatzplanung statt, siehe Kapitel 5.3.4.

In Abbildung 94 ist der Verlauf der Kälteerzeugung des Monitorings und in Abbildung 95 der Verlauf der dazugehörigen 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 Dezember 2021 beispielsweise kann der gesamte anfallende Kältebedarf an mehreren Tagen ausschließlich durch die FK bereitgestellt werden. Durch eine Kältebereitstellung von insgesamt ca. 173 MWh beträgt der Anteil am Gesamtkältebedarf von ca. 1145 MWh ca. 15,1 %, vgl. Tabelle 19. Konträr dazu wird die elektrisch betriebene KKM hauptsächlich in den Sommermonaten zur Deckung des Spitzenlastbedarfs eingesetzt. Mit ca. 246 MWh entfällt auf diese ein Anteil von ca. 21,5 % des Gesamtbedarfs. Der Hauptanteil mit ca. 726 MWh entfällt auf die AbKM, welche somit ca. 63,4 % des jährlichen Kältebedarfs bereitstellt.

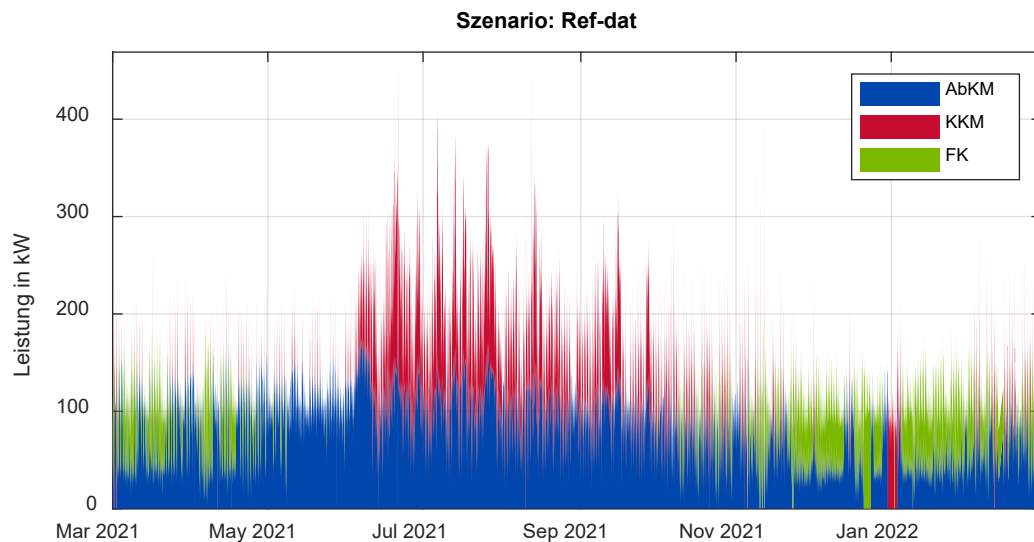


Abbildung 94: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung (Szenario: Ref-dat)

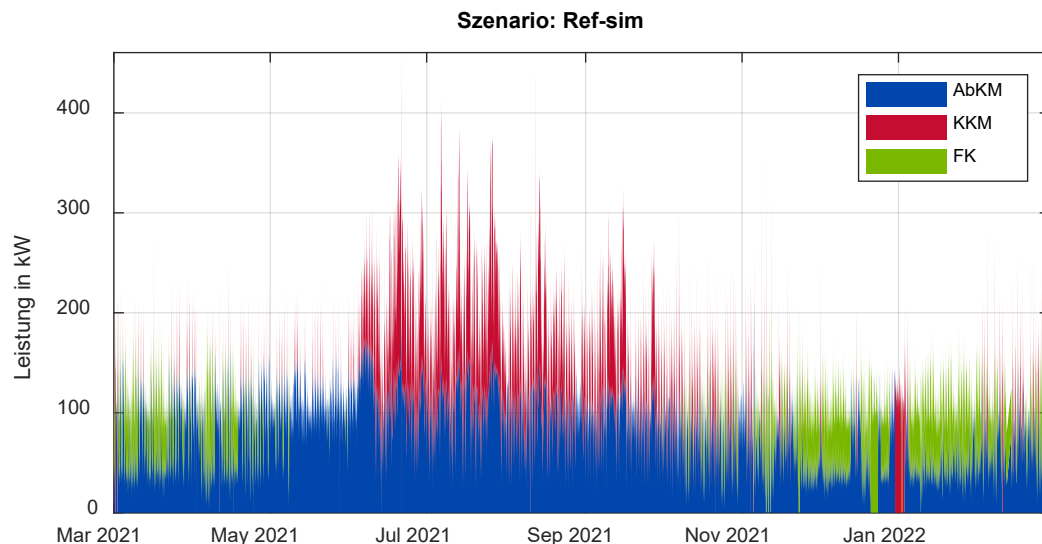


Abbildung 95: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung (Szenario: Ref-sim)

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. 9 % auf. Bei der elektrisch betriebenen KKM fällt die Abweichung mit über 13,4 % relativ hoch aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der aufgezeichnete Wert bis Juli 2021 fehlerhaft ist. Die Abweichungen der benötigten Energiemenge des Kühlwassers fällt bei beiden Erzeugern deutlich höher aus. Der elektrische Leistungsbedarf für das vereinfachte Modell zur Freien Kühlung kann hingegen trotz der vereinfachten Annahme mit einer Abweichung von ca. 11,4 % bestimmt werden.

Analog zur Kältebereitstellung sind in Abbildung 96 und Abbildung 97 der Anlageneinsatz der Wärmeerzeuger als gestapelter Verlauf dargestellt. Darin ist deutlich die Abschaltung des

Biomassekessels im Zeitraum von April 2021 bis November 2021 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. 1519 MWh etwa 29,3 % des jährlichen Wärmebedarfs der Klinik decken. Ein geringerer Anteil ist auf die beiden BHKWs zurückzuführen, welche mit ca. 1446 und ca. 1419 MWh jeweils ca. 27,9 und 27,3 % des Gesamtbedarfs bereitstellen. Sollte die Leistung der beiden BHKWs und des BioMKs nicht ausreichen, wird i. d. R. der kleinere Gaskessel hinzugeschaltet, welcher mit ca. 784 MWh ca. 15,1 % des jährlichen Bedarfs versorgt. Ausnahme bilden mehrere Tage im Juli, an welchen BHKW2 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 kaum genutzt. Durch die bereitgestellten ca. 25 MWh ergibt sich ein nahezu vernachlässigbarer Anteil von lediglich ca. 0,5 % an der Gesamtmenge. Da die Wärmepumpe im gesamten Betrachtungszeitraum außer Betrieb war, trägt diese folglich nicht zur Wärmebereitstellung bei.

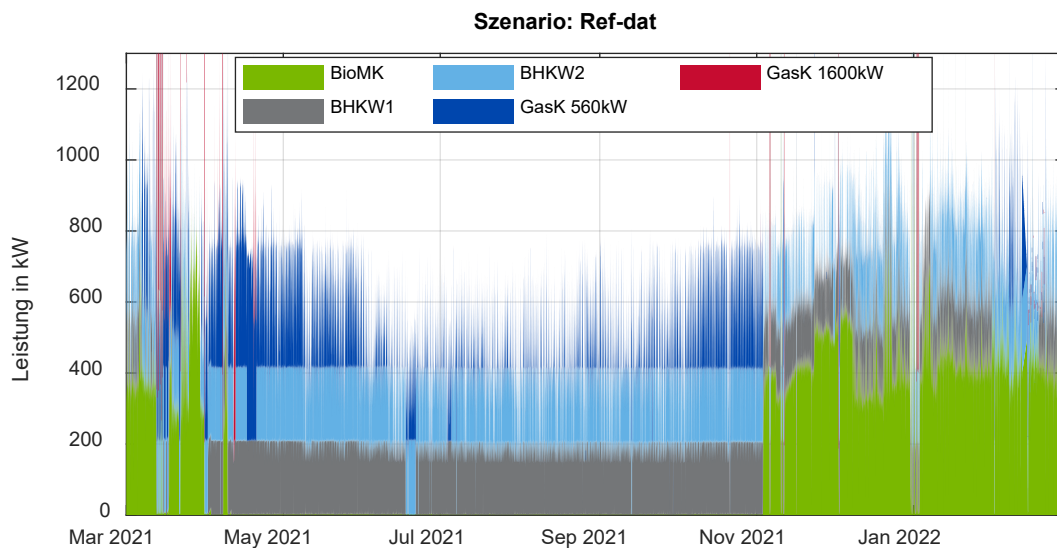


Abbildung 96: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: Ref-dat)

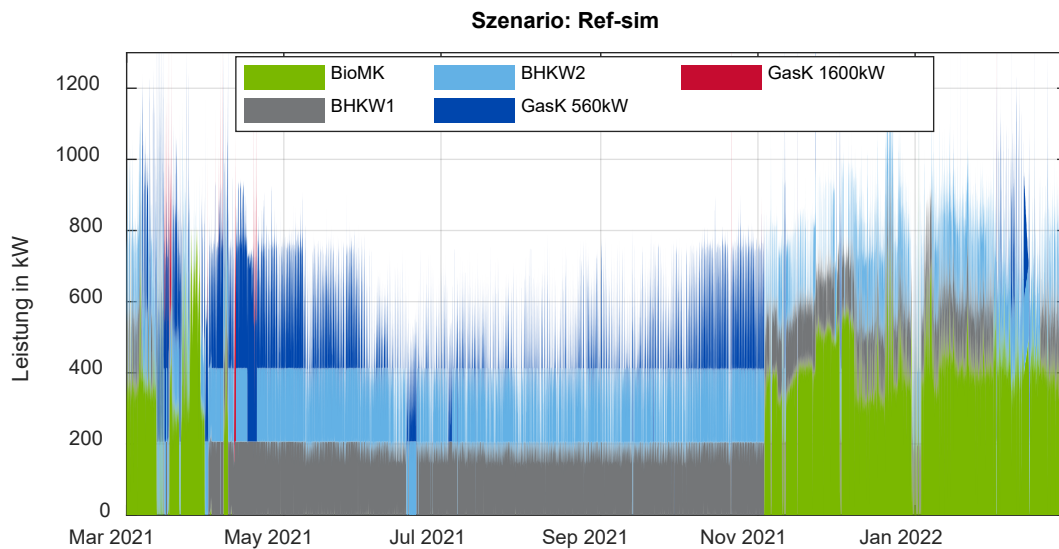


Abbildung 97: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: Ref-sim)

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. 1,0 % bei nahezu identischer Wärmemenge bestimmt werden. Bei dem größeren Gaskessel hingegen ist eine höhere Abweichung von ca. 16,0 % festzustellen. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass der Kessel kaum und zu keinem Zeitpunkt unter Volllast 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. 0,7 und 1,3 % sehr genau bestimmt werden. Die erzeugte Strommenge weist eine Abweichung von 3,0 bzw. 5,9 % auf, wobei diese Werte mit Vorsicht zu betrachten sind. Wie in Kapitel 5.3.3 erläutert, befinden sich die bisher verwendeten Zähler nicht direkt am BHKW, weshalb die Messung verfälscht wird. Ein Vergleich des Brennstoffeinsatzes des BioMKs kann bisher nicht durchgeführt werden, da der Wert nicht zuverlässig bestimmbar ist (siehe Kapitel 5.3.3). Da die Wärmepumpe nicht in Betrieb war, können keine Aussagen zur Modellgüte getroffen werden.

Tabelle 19: Vergleich zwischen gemessenen Verbrauch und berechneten Verbrauch der Referenzsimulation

Komponente	Bezug	Endwert		Einheit	Relative Abweichung in %	Kommentar
		Mess	Sim			
GasK_560kW	Gas	89386	88455	m ³	1,04	–
	Wärme	784290	789470	kWh	0,66	–
	Strom	4521	4310	kWh	4,67	–
GasK_1600kW	Gas	3147	2644	m ³	15,98	Kaum genutzt
	Wärme	25040	24620	kWh	1,68	Kaum genutzt
	Strom	131	93	kWh	29	Kaum genutzt
BHKW1	Gas	269432	267584	m ³	0,69	–
	Wärme	1446148	1437020	kWh	0,63	–
	Strom	1714064	1662019	kWh	3,03	Stromzähler nicht direkt am BHKW
BHKW2	Gas	266259	262734	m ³	1,32	–
	Wärme	1418602	1398767	kWh	1,40	–
	Strom	1716512	1615431	kWh	5,89	Stromzähler nicht direkt am BHKW
BioMK	Hack-schnitzel	–	–	–	–	Nicht möglich
	Wärme	1519357	1508992	kWh	0,68	–
AbKM	Kälte	726040	726575	kWh	0,07	–
	Heizwasser	2710063	2461930	kWh	9,16	–
	Kühlwasser	3272001	4024752	kWh	23,01	–
	Strom	41274	37701	kWh	8,66	–
KKM	Kälte	245720	246315	kWh	0,24	Parametriert nach Datenblatt
	Kühlwasser	486030	432002	kWh	11,12	Parametriert nach Datenblatt
	Strom	83052	94641	kWh	13,95	Messwert unplausibel
FK	Kälte	173420	173749	kWh	0,19	Nicht möglich
	Strom	58008	64616	kWh	11,39	Nicht möglich

5.4.2 Szenario II: Variation der Rangreihenfolgen: Priorisierung AbKM

In diesem Szenario wird stets die FK gefolgt von der AbKM bevorzugt zur Kältebereitstellung eingesetzt. In Zeiträumen, in welchen diese beiden Erzeuger nicht ausreichen, wird die KKM unterstützend hinzugeschaltet. Dieses Szenario entspricht im Wesentlichen der Realisierung im Krankenhaus. Die detaillierten Simulationsergebnisse sind in Tabelle 21 des Anhangs zu entnehmen.

Der gestapelte Verlauf der Kälteerzeugung ist in Abbildung 98 für die Szenarien AbKM-W1 bis W3 dargestellt. Da diese sich kälteseitig nicht unterscheiden, ist im Gegensatz zur Wärmeerzeugung ein Diagramm ausreichend. Verglichen mit dem Referenzfall lässt sich ein ähnlicher Verlauf feststellen. Laut dem Simulationsmodell kann durch die AbKM eine höhere – mit Herstellerangaben korrelierende – Kälteleistung bereitgestellt werden. Verglichen zum Referenzfall erhöht sich daher der Anteil der AbKM von 63,4 % mit nun ca. 924 MWh auf ca. 80,7 % des Gesamtkältebedarfs. Der Anteil der FK ist unverändert und lediglich ca. 4,1 % (entspricht ca. 47 MWh) entfallen hingegen auf die KKM.

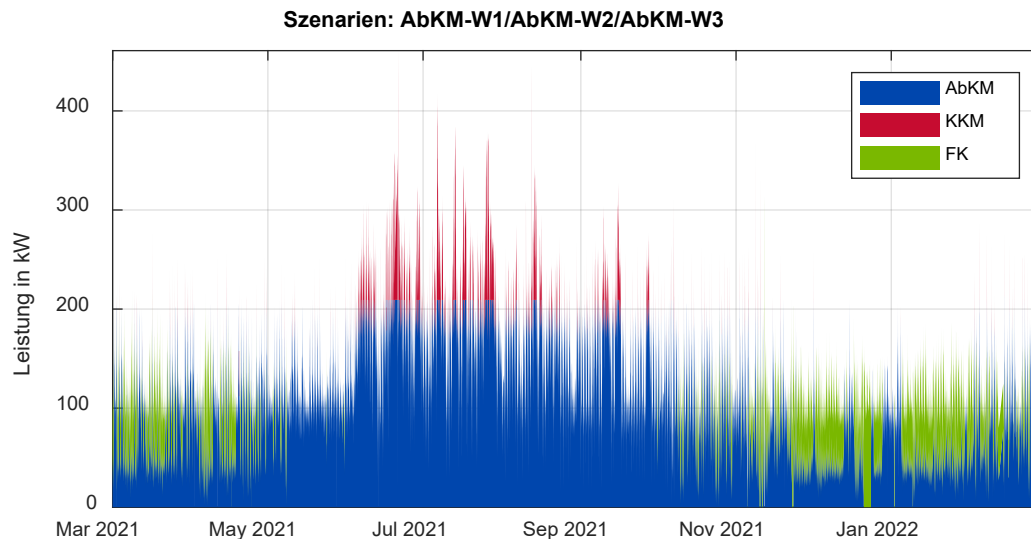


Abbildung 98: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung (Szenarien: AbKM-W1/AbKM-W2/AbKM-W3)

Der ermittelte Wärmebedarf der AbKM dient mit den Verbrauchsdaten der restlichen Wärmeerzeuger als Eingangsdaten für die Wärmeerzeugersteuerung. Durch diese wird der Anlageneinsatz für die folgenden drei Szenarien bestimmt. Der BioMK-Einsatz unterscheidet sich in allen Fällen nicht vom Referenzfall.

In Szenario AbKM-W1 wird nach dem BioMK zunächst bevorzugt BHKW1 eingesetzt, wodurch dieses nahezu ganzjährig betrieben werden kann (vgl. Abbildung 99). Die bereitgestellten ca. 1677 MWh entsprechen ca. 8103 Volllaststunden und betragen somit ca. 31,8 % des jährlichen Wärmebedarfs der Klinik. Stillstandzeiten aufgrund von Wartung und Inspektion werden in dem Modell nicht berücksichtigt. Durch BHKW2 können 1390 MWh des Bedarfs versorgt werden, welche 26,3 % des Gesamtbedarfs entsprechen. Mit der Priorität 4 wird bei einer höheren Leistungsanforderung folglich Gask_560kW eingesetzt, welcher vorwiegend in Zeiträumen ohne BioMK betrieben wird. Der Anteil am Gesamtenergiebedarf beträgt ca. 13,3 % (entspricht 702 MWh). Eine weitere Steigerung des Bedarfs führt zu einer Anforderung von Gask_1600kW. Da ein derart hoher Leistungsbedarf selten benötigt wird, beträgt der Anteil an dem Gesamtbedarf mit ca. 2 MWh lediglich ca. 0,03 %.

In Szenario AbKM-W2 wird Gask_560kW eine höhere Priorität als BHKW2 zugewiesen, siehe Abbildung 100. Während sich der Anteil von BHKW1 nur geringfügig auf 32,6 % (1736 MWh)

verändert, sinkt der Anteil des BHKW2 rapide auf 0,5 % (28 MWh). Kompensiert wird dies durch Gask_560kW, dessen Anteil auf nunmehr 38,4 % ansteigt (entspricht 2045 MWh). Der Einsatz von Gask_1600kW ist gegenüber dem Fall AbKM-W1 unverändert bei 0,03 % (2 MWh). In Szenario AbKM-W3 besitzt Gask_560 kW nach dem BioMK die höchste Priorität, gefolgt von BHKW1 und BHKW2. In dem gesamten Zeitraum können BHKW1 und BHKW2 kaum betrieben werden, vgl. Abbildung 101. In der Jahresbilanz sinkt der Wert auf eine anteilige Erzeugung von ca. 4,0 % (ca. 209 MWh) für BHKW1 und ca. 0,5 % (ca. 28 MWh) für BHKW2. Zur Kompensation beträgt der Anteil von Gask_560kW ca. 66,9 % (ca. 3539 MWh). Gask_1600kW trägt nach wie vor einen geringen Anteil von 0,03 % (ca. 2 MWh).

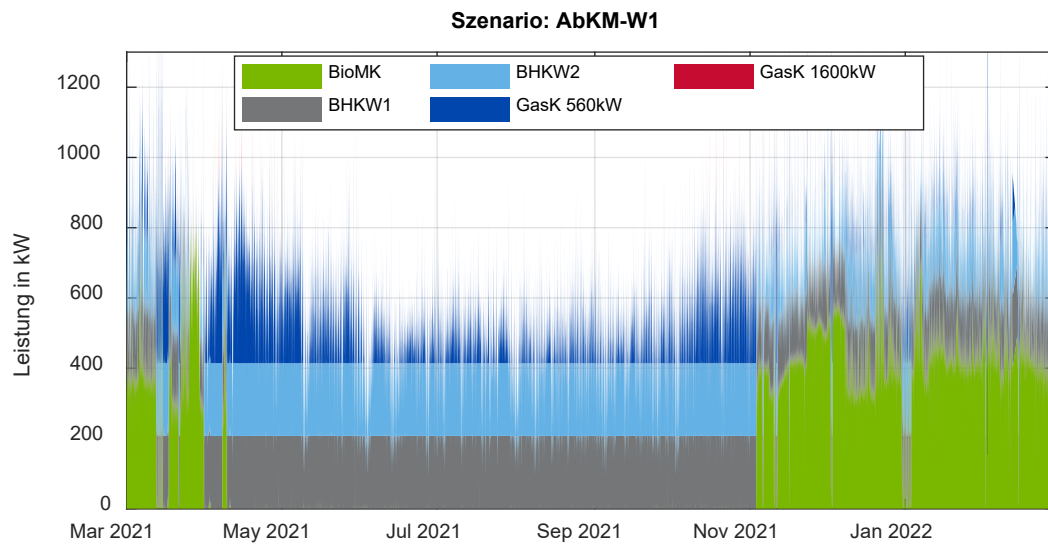


Abbildung 99: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: AbKM-W1)

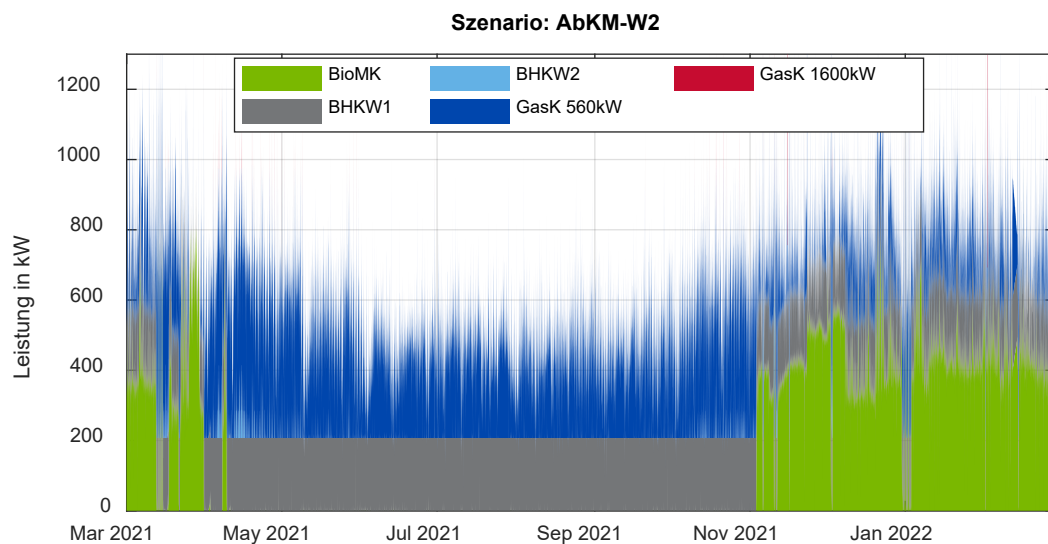


Abbildung 100: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: AbKM-W2)

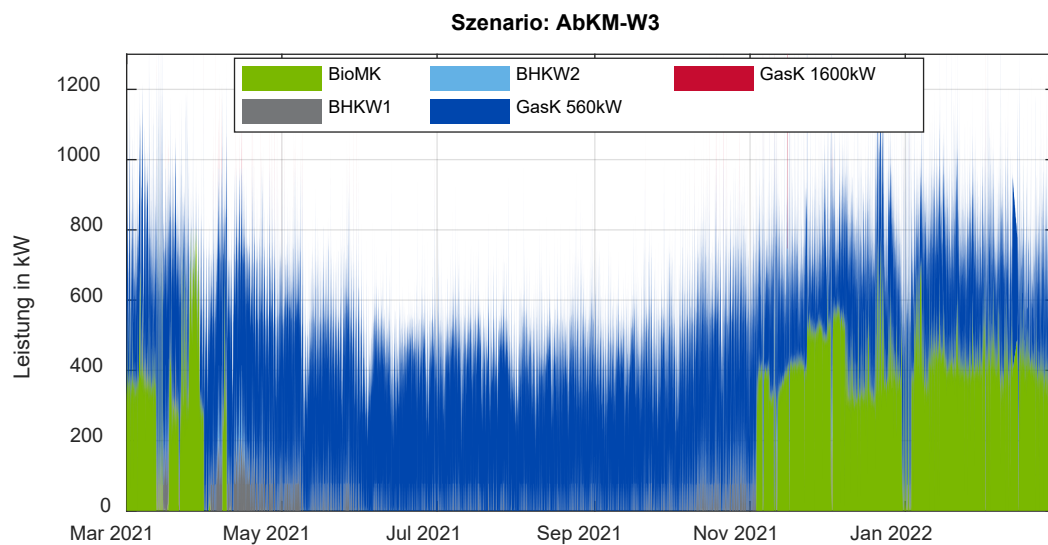


Abbildung 101: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: AbKM-W3)

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 detaillierten Simulationsergebnisse sind in Tabelle 21 des Anhangs zu entnehmen.

Der gestapelte Verlauf der Kälteerzeugung ist in Abbildung 102 für die Fälle W1 bis W3 illustriert. Der Anteil der FK, welche wie im Referenzfall vorwiegend im Winter verwendet wird, beträgt 15,0 % (174 MWh). Durch die höhere Nennleistung von ca. 269 kW kann die KKM als priorisierter Erzeuger bereits ca. 84,0 % (ca. 970 MWh) des Gesamtbedarfs decken. Lediglich ca. 1 % (11 MWh) entfällt auf die AbKM.

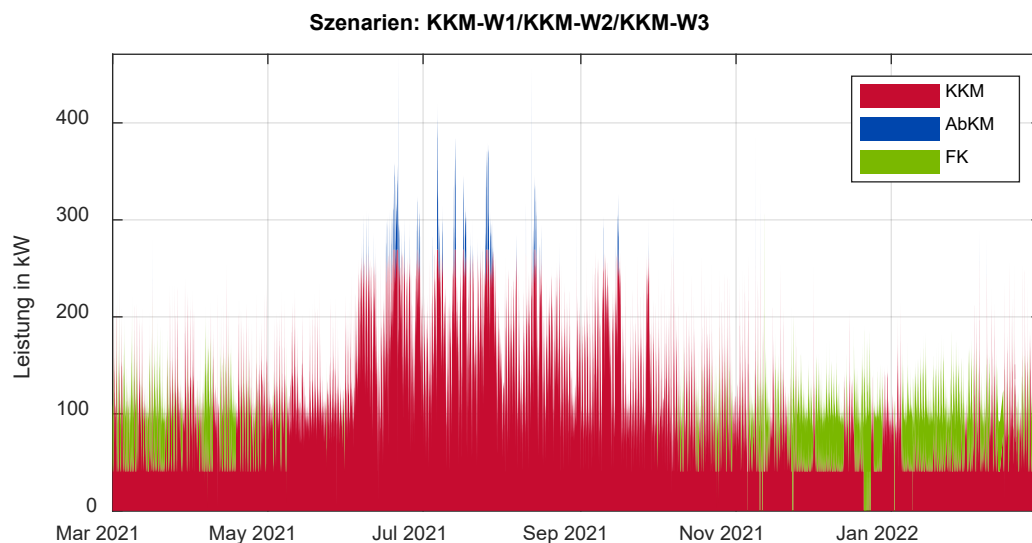


Abbildung 102: Gestapelter Verlauf der Kälteerzeugung (Szenarien: KKM-W1/KKM-W2/KKM-W3)

Folglich reduziert sich der Gesamtwärmebedarf, wodurch ein ausgeprägter saisonaler Verlauf entsteht, welcher in Abbildung 103 dargestellt wird. Insbesondere in den Sommermonaten herrscht eine deutlich niedrigere benötigte Wärmeleistung vor. Daher kann selbst BHKW1 in Szenario KKM-W1 mit der höchsten Priorität nach dem BioMK deutlich seltener und häufig nur bei gedrosselter Last betrieben werden. Der größte Anteil entfällt mit 40,0 % auf den BioMK (1509 MWh). Trotz einer Verringerung der Wärmemenge auf ca. 1316 MWh führt der niedrigere Gesamtwärmebedarf dazu, dass BHKW1 ca. 34,8 % deckt. Der nächsthöhere Anteil von ca. 19,1 % (721 MWh) wird durch BHKW2 mit der nächsthöheren Priorität bereitgestellt. Während in der wärmeren Jahreshälfte die beiden BHKWs nahezu den kompletten Wärmebedarf versorgen können, muss auch in der kälteren Periode GasK_560kW trotz Wegfall der AbKM nur selten zugeschaltet werden. Dieser erzeugt 230 MWh, was einem Anteil von ca. 6,1 % entspricht. Auf GasK_1600kW entfallen 0,4 MWh, welche ca. 0,01 % entsprechen.

In Szenario KKM-W2 wird dem GasK_560kW eine höhere Priorität als BHKW2 zugeordnet, siehe Abbildung 104. Der BioMK liefert ca. 38,9 % (1509 MWh). 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 37,3 % (1446 MWh)

gesteigert werden. Der Anteil des BHKW2 sinkt hingegen auf 0,2 % (9 MWh), da dieses praktisch kaum eingesetzt werden kann. Der Anteil von GasK_560kW hingegen steigt auf ca. 23,5 % (911 MWh), während der Anteil von GasK_1600kW unverändert bei 0,01 % (0,4 MWh) bleibt.

In Abbildung 105 ist der gestapelte Verlauf der Leistung für Szenario KKM-W3 dargestellt, in welchem GasK_560kW die höchste Priorität nach dem BioMK besitzt, welcher 38,8 % (1509 MWh) des Wärmebedarfs deckt. Dadurch kann dieser mit 2320 MWh ca. 59,4 % des jährlichen Wärmebedarfs decken. Beide BHKWs werden vorwiegend nur im Winter eingesetzt, wodurch deren Anteil auf ca. 1,6 % (64 MWh) bzw. 0,2 % (9 MWh) sinkt. Der Anteil von GasK_1600kW bleibt unverändert bei 0,01 % (0,4 MWh).

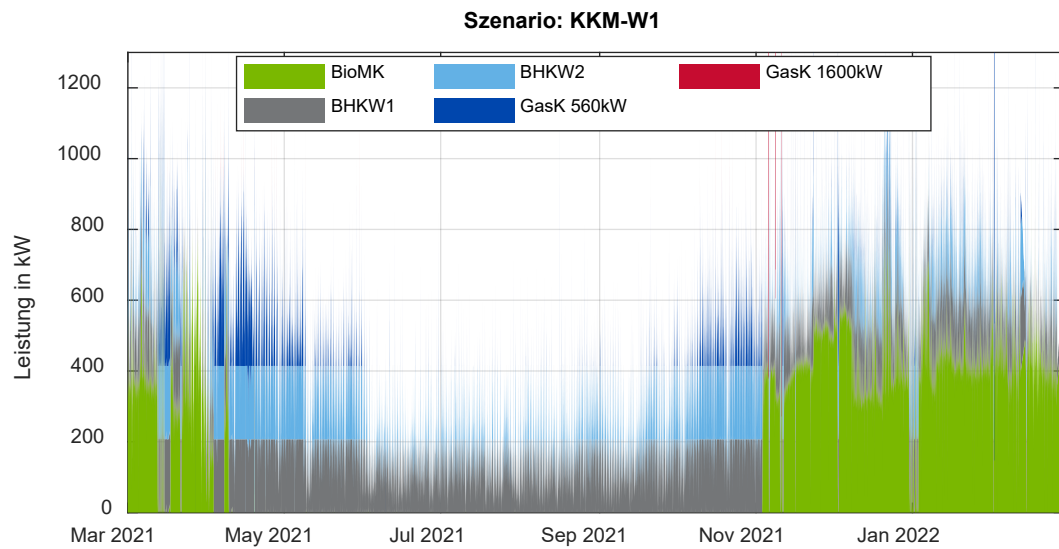


Abbildung 103: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: KKM-W1)

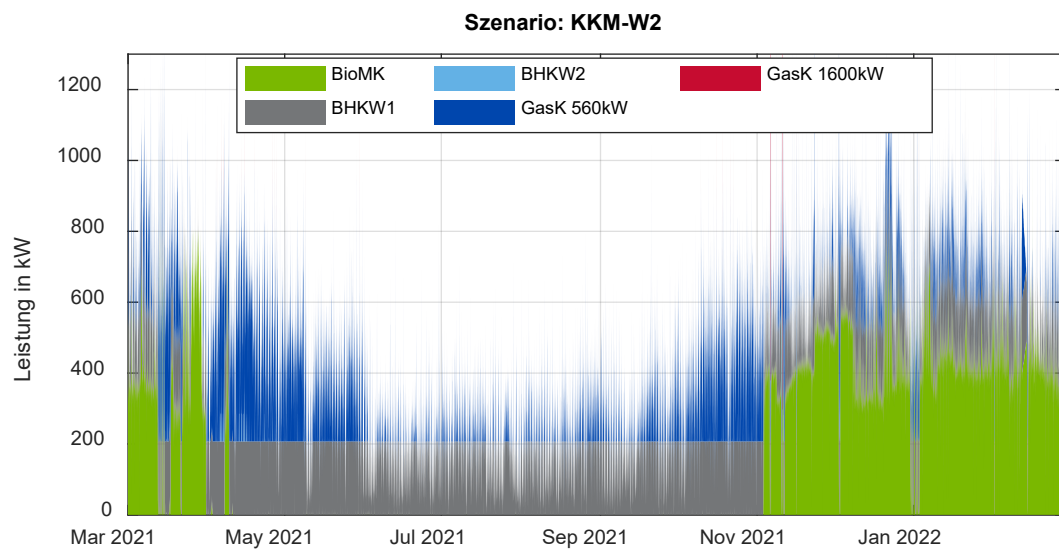


Abbildung 104: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: KKM-W2)

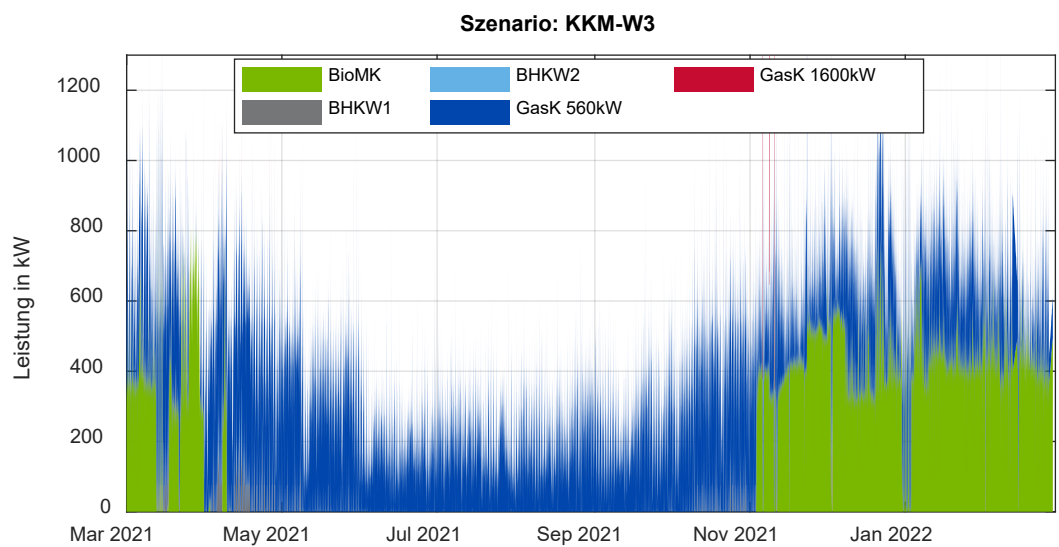


Abbildung 105: Gestapelter Verlauf der Wärmeerzeugung (Szenario: KKM-W3)

5.4.4 Zusammenfassung und Bewertung der Simulationsergebnisse

In diesem Kapitel 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 sowie der Simulationsergebnisse sind Tabelle 21 bis Tabelle 26 des Anhangs zu entnehmen.

Zunächst ist in Abbildung 106 die bereitgestellte Nutzkälte für die untersuchten Szenarien aufgeschlüsselt nach den jeweiligen Erzeugern dargestellt. In den Referenzszenarien, welche den realen Anlageneinsatz repräsentieren, stellt die AbKM den Großteil der benötigten Kälte bereit. Der nächsthöhere Anteil wird durch die KKM bereitgestellt, wobei der Anteil der FK am geringsten ausfällt. Durch die bevorzugte Nutzung der AbKM kann diese in den Szenarien AbKM-W1 bis W3 einen größeren Anteil des jährlichen Kältebedarfs versorgen, wohingegen die KKM einen sehr geringen Anteil trägt. Der Anteil der FK bleibt unverändert. Konträr dazu kann die KKM in den Szenarien KKM-W1 bis W3, in welchen diese eine höhere Priorität besitzt, annähernd den gesamten Jahreskältebedarf zusammen mit der FK decken, während die AbKM lediglich einen sehr geringen Anteil trägt.

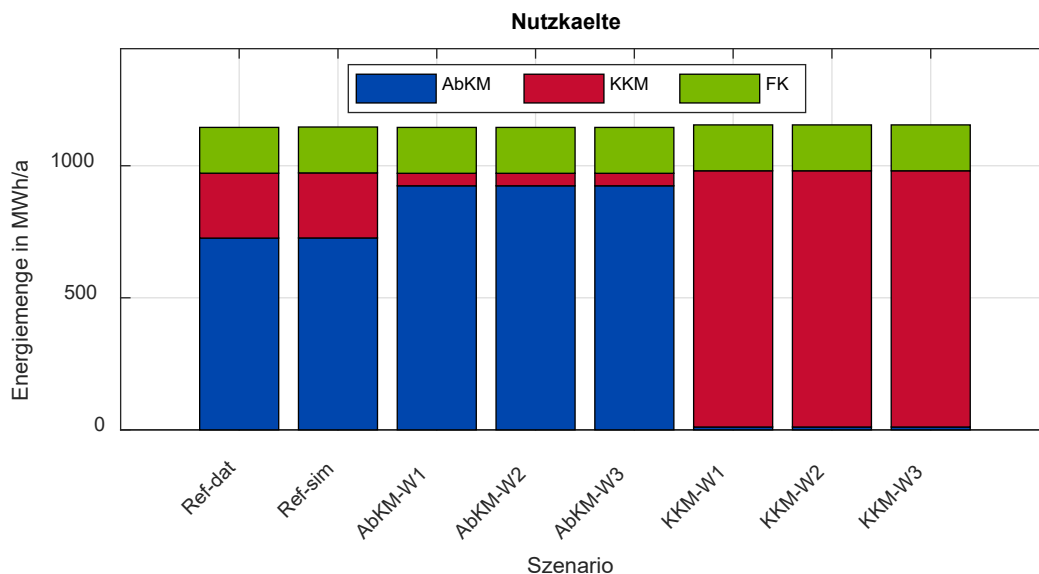


Abbildung 106: Beiträge der Kälteerzeuger zur Bereitstellung von Nutzkälte für die betrachteten Szenarien

Analog zur Kälteseite ist in Abbildung 107 die Zusammensetzung der erzeugten Wärmemenge dargestellt. In den Referenzszenarien, welche de in der Realität umgesetzten Anlageneinsatzplanung entsprechen, 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 den Szenarien AbKM-W1 bis W3 fällt allgemein der Wärmebedarf höher aus, da die AbKM häufiger in Betrieb ist. Der Einsatz beider BHKWs kann in Fall AbKM-W1 gegenüber dem Referenzfall gesteigert werden. Verbunden ist dies mit einer Reduktion 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 AbKM-W2. Die Differenz wird durch Gask_560kW kompensiert. In Fall AbKM-W3 ist eine weitere deutliche Steigerung des Anteiles des kleineren Gaskessels festzustellen, welcher hier die höchste Priorität nach dem BioMK besitzt. Unterdessen reduziert sich die Energiemenge beider BHKWs erheblich. In den Szenarien KKM-W1 bis W3 wird durch die Priorisierung der elektrisch betriebenen KKM eine deutliche Verringerung des Gesamtwärmebedarfs um ca. 25 % erzielt. Die anteilige Menge der beiden BHKWs an der Gesamterzeugung fällt in Szenario KKM-W1 am höchsten aus, während die restliche Energiemenge hauptsächlich durch den BioMK und den kleineren Gaskessel zur Verfügung gestellt wird. In Fall KKM-W2 findet BHKW2 kaum Anwendung, währenddessen der größte Anteil auf den BioMK entfällt. Der Anteil des kleinen Gaskessels steigt in Fall KKM-W3 beträchtlich, während auch BHKW1 kaum eingesetzt wird.

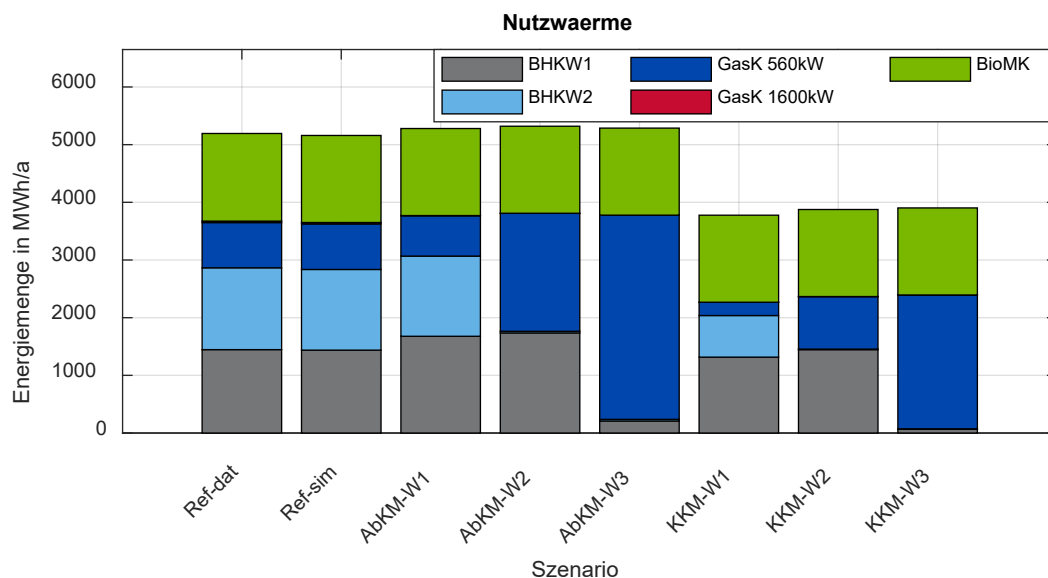


Abbildung 107: Beiträge der Wärmeerzeuger zur Bereitstellung von Nutzwärme für die betrachteten Szenarien

In Abbildung 108 ist eine Gegenüberstellung des elektrischen Netzbezugs für sämtliche Szenarien mit unterschiedlichen PV-Ausbaustufen dargestellt. Für den Bestandsfall werden lediglich die bereits installierten PV-Anlagen berücksichtigt. Im Fall Parkhaus werden zusätzlich Simulationsdaten der HS-Hof für eine PV-Fläche über dem Parkhaus mitberücksichtigt, wodurch der Netzbezug für sämtliche Fälle merklich reduziert werden kann. Für den Fall Parkfläche wird analog eine größere PV-Fläche angenommen, wodurch der Netzbezug deutlich reduziert werden kann. In den Fällen, in welchen die KKM priorisiert wird, fällt durch den generell höheren Strombedarf die Steigerung verglichen mit dem Referenzfall größer aus. Durch den Zubau beider Anlagen kann hingegen der Netzbezug kaum gesteigert werden, was durch den zeitlichen Versatz zwischen Stromerzeugung und Bedarf begründet wird. Für sämtliche Konfigurationen zeigt sich, dass eine Priorisierung der BHKWs den Netzbezug deutlich verringert werden kann.

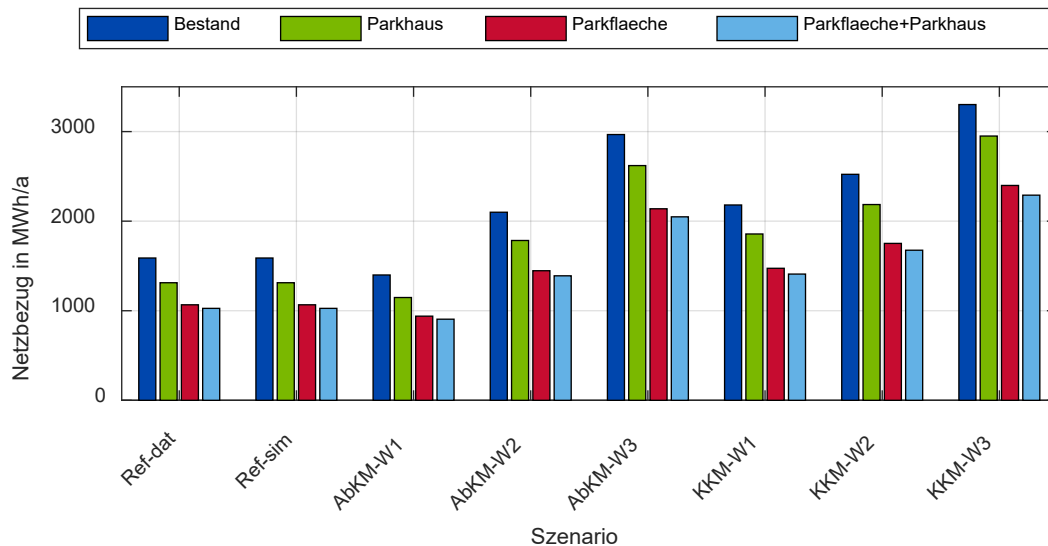


Abbildung 108: Zusammenfassung des Netzbezugs elektrischer Energie für sämtliche Szenarien

In Abbildung 109 ist die elektrische Netzeinspeisung für sämtliche Szenarien mit unterschiedlichen PV-Größen dargestellt. Für den Bestandsfall muss in kaum einer Konfiguration überschüssiger Strom in das Netz eingespeist werden. Auch im Fall der zusätzlichen Anlage auf dem Parkhaus müssen nur sehr geringe Energiemengen in das Netz eingespeist werden, wobei diese durch eine Priorisierung der KKM oder eine niedrigere Priorität der BHKWs beinahe vollständig ausgeschlossen werden können. Mit der größeren Ausbaustufe Parkfläche hingegen müssen stets erhebliche Mengen in das Netz eingespeist werden, da die Erzeugung den Bedarf der Klinik übersteigt. Durch Kombination beider zusätzlicher Anlagen steigt diese Menge für sämtliche Szenarien deutlich, da die Einsparung des Netzbezugs sehr gering ausfällt, vgl. Abbildung 108. Generell kann durch eine Priorisierung der KKM und eine niedrigere Priorität der BHKWs die eingespeiste Energiemenge reduziert werden.

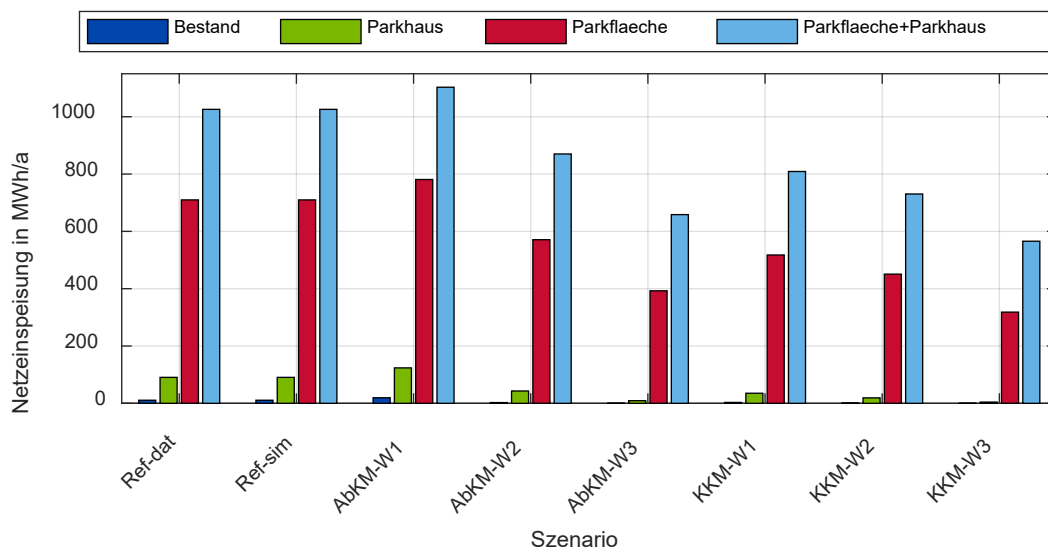


Abbildung 109: Zusammenfassung der Netzeinspeisung elektrischer Energie für sämtliche Szenarien

Als Verbrauchswert ist in Abbildung 110 der Gasverbrauch für die unterschiedlichen Szenarien dargestellt. Die Werte aus Ref-dat und Ref-sim fallen sehr ähnlich aus. In Szenario AbKM-W1 ist durch den höheren Anteil der AbKM zunächst ein leicht höherer Gasverbrauch zu verzeichnen. In den Fällen AbKM-W2 und AbKM-W3 ist durch den vermehrten Einsatz von GasK_560kW ein sinkender Gasverbrauch feststellbar, verbunden mit einer geringeren erzeugten elektrischen Energiemenge. In den Szenarien KKM-W1 bis W3 ist generell, durch den geringeren Wärmebedarf verursacht, ein verminderter Gasverbrauch zu verzeichnen. Der Unterschied zwischen Szenario KKM-W1 und KKM-W2 fällt hingegen geringer aus. Letztlich ist in Fall KKM-W3, in welchem vorwiegend die KKM als Kälte- und GasK_560kW als Wärmeerzeuger eingesetzt wird, der geringste Gasverbrauch zu verbuchen, welcher einer Reduktion von ca. 57 % gegenüber dem Referenzfall entspricht.

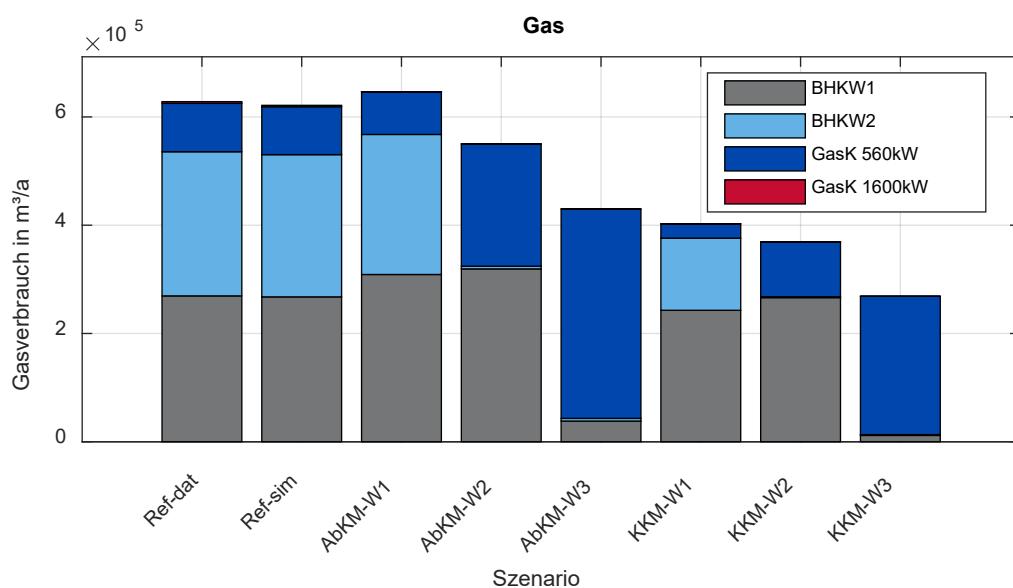


Abbildung 110: Zusammenfassung des Gasverbrauchs der Wärmeerzeuger für sämtliche Szenarien

Zur Bewertung der unterschiedlichen Betriebsstrategien sollen im Folgenden die laufenden Kosten sowie der CO₂-Ausstoß herangezogen werden, wobei die Preise und CO₂-Faktoren aus Tabelle 20 über den gesamten Betrachtungszeitraum als konstant angenommen werden.

Zunächst ist in Abbildung 111 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 Ref-dat und der dazugehörigen Referenzsimulation Ref-sim zeigt eine gute Übereinstimmung.

Variante AbKM-W1, in welcher der Anteil der AbKM sowie der BHKWs leicht größer ausfällt, schneidet aus ökonomischer Sicht verglichen mit der Referenz leicht besser ab. Die Fälle AbKM-W2 und W3 stellen aus ökonomischer Sicht jedoch eine Verschlechterung dar, da der BHKW-Einsatz und somit die Stromproduktion sinkt. Ein ähnlicher Verlauf mit tendenziell höheren Werten ist für die Fälle KKM-W1 bis W3 zu verzeichnen, was insbesondere auf verringerten BHKW-Laufzeiten zurückzuführen ist. Generell lässt sich durch den PV-Ausbau für

sämtliche Szenarien eine Verbesserung erzielen, welche für die größere PV-Fläche größer ausfällt. Durch die Kombination beider zusätzlicher PV-Anlagen lässt sich die Annuität gegenüber der Variante PV-Parkfläche kaum reduzieren, da eine große Energiemenge für einen relativ niedrigen Preis in das Netz eingespeist werden muss. Die Berechnung der Annuität erfolgt nach aktuellen Preisen für das Jahr 2022.

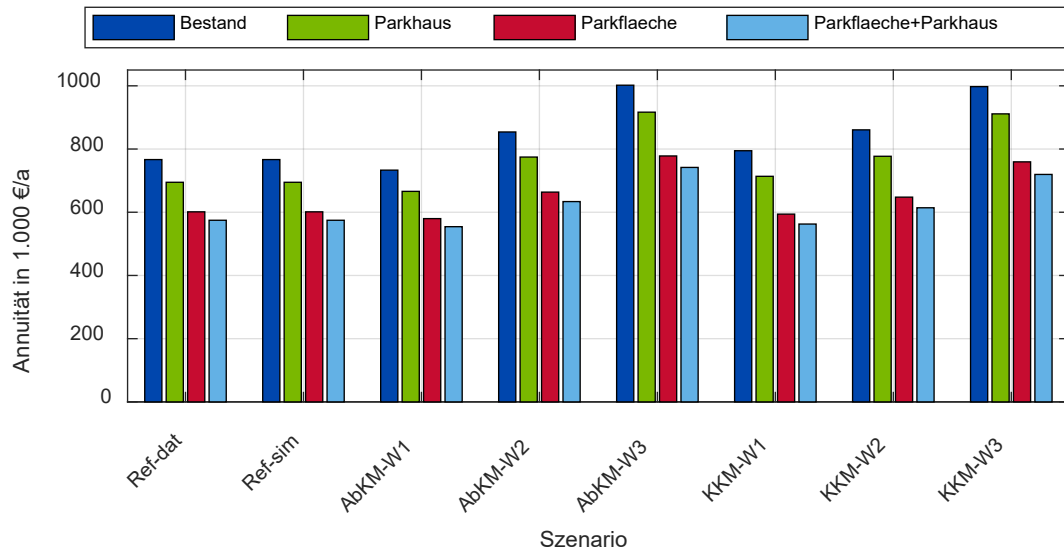


Abbildung 111: Zusammenfassung der Annuität für sämtliche Szenarien mit realen Preisen 2022

Um die Auswirkungen unterschiedlich stark steigender Preise aufzuzeigen, ist in Abbildung 112 die Annuität mit variierten Preisen dargestellt. Da zukünftige Preisentwicklungen schwer abschätzbar sind, wird im Folgenden als Extrembeispiel von einer Verdreifachung des Gaspreises, einer Verdopplung des Strompreises und einem 1,5-fach höheren Biomassepreis ausgegangen. Tendenziell zeigt sich ein ähnlicher Verlauf, verglichen mit den aktuellen Preisen, weshalb im Weiteren nur die Unterschiede aufgezeigt werden. Bedingt durch die höheren Gaspreise fällt der Vorteil einer höheren Priorisierung der BHKWs niedriger aus. Während mit aktuellen Preisen die AbKM der KKM stets zu bevorzugen ist, ist mit diesen Randbedingungen die KKM-Priorisierung vorteilhafter. Insbesondere durch einen zusätzlichen PV-Ausbau können für die Konfiguration KKM-W1 die größtmöglichen Ersparnisse erzielt werden.

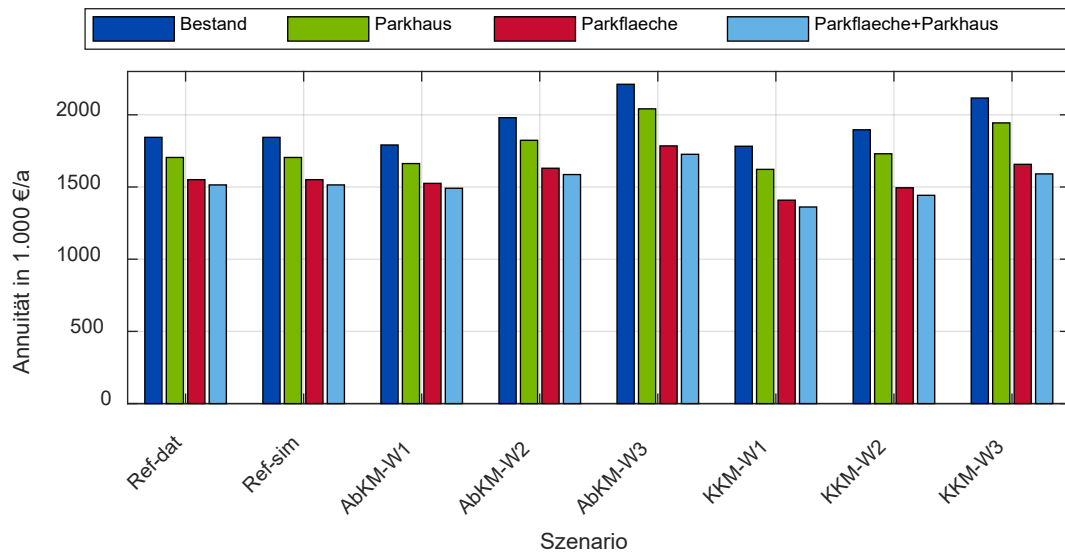


Abbildung 112: Zusammenfassung der Annuität für sämtliche Szenarien mit variierten Preisen

Der ökonomische Vorteil geht allerdings nicht zwangsläufig mit einer ökologischen Verbesserung einher (siehe Abbildung 113). Vielmehr ist ersichtlich, dass durch den höheren Wärmebedarf in den Fällen AbKM-W1 bis W3 die CO₂-Emissionen gegenüber den Fällen KKM-W1 bis W3 steigen. Ein Vergleich zwischen Ref-dat und Ref-sim zeigt gute Übereinstimmung.

Bei jährlicher Betrachtung stellt sich der KKM-W1 als Optimum heraus. Dies ist insbesondere auf den Einsatz des BioMKs zurückzuführen, welcher aus ökologischer Sicht stets zu bevorzugen ist und einen hohen Anteil der Wärmeerzeugung des verglichen mit AbKM-W1 bis W3 niedrigeren Wärmebedarfs leisten kann. Aufgrund der hohen CO₂-Faktoren des Strommix ist zudem der BHKW-Einsatz in beiden Konfigurationen vorteilhaft. Zudem können daher für sämtliche Fälle mit steigendem PV-Ausbau erhebliche Reduktionen der CO₂-Emissionen erzielt werden.

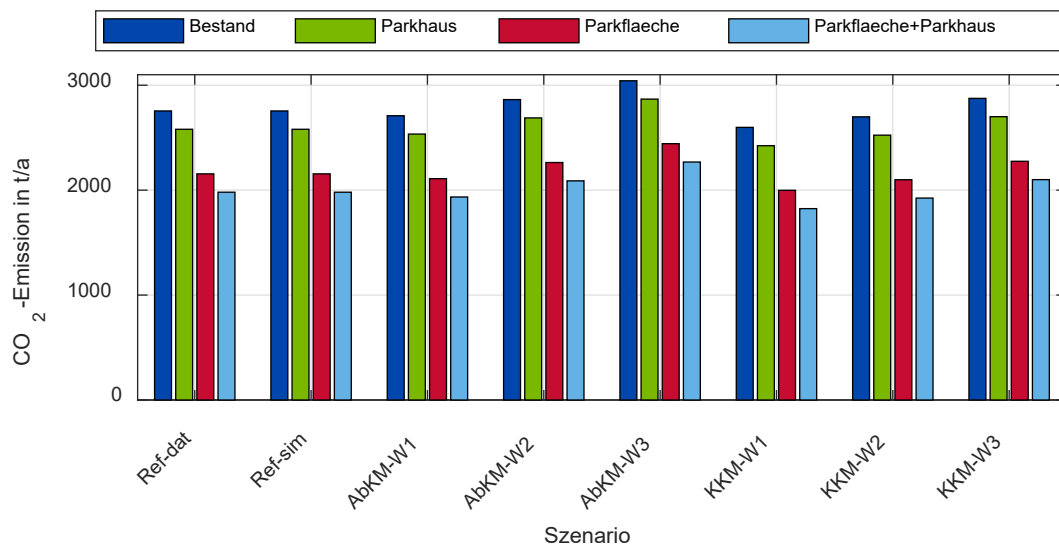


Abbildung 113: Zusammenfassung des Gesamt CO₂-Ausstoßes für sämtliche Szenarien

Die Ergebnisse der untersuchten Szenarien sind aus den nachfolgend genannten Gründen als bedingt übertragbar einzustufen:

- Die PV-Simulationen sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.
- Die Investitionskosten der zusätzlichen PV-Anlagen werden nicht berücksichtigt.
- Der Einsatz des BioMK sowie der FK wird nicht variiert.
- 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

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 2021/2022 und vereinfacht variierte Werte verwendet. Veränderliche Rahmenbedingungen wie beispielsweise die Einführung der CO₂-Steuer und der Ausbau erneuerbarer Energien des Strommix können zudem für eine Langzeitbetrachtung herangezogen werden.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der Klimaschutzanstrengungen rückten auch Krankenhäuser mit ihrem hohen Energiebedarf in den Fokus entsprechender Energie- und CO₂-Einsparmaßnahmen. In Bayern wurde der Green Hospital-Gedanke durch die zwei Ansätze „Green Hospital Initiative Bayern“ und das Leuchtturmprojekt „Green Hospital Lichtenfels“ (GHL) verwirklicht.

Der Ersatzneubau für das Helmut-G.-Walter-Klinikum in Lichtenfels sollte ein Best Practice Beispiel für 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 Hochschulen Hof und Coburg sowie die Universität Bayreuth im Rahmen der Technologie Allianz Oberfranken (TAO) und hat die Gewinnung neuer Erkenntnisse zum Konzept „Green Hospital“ zur Aufgabe.

Die Schwerpunkte lagen dabei im Gebäude(energie)monitoring, welches von den Hochschulen Hof und Coburg durchgeführt wurde, sowie im Anlagenmonitoring durch die Universität Bayreuth.

Im Rahmen des Projektes wurden über 1200 Datenpunkte (Sensoren/Energiezähler) installiert. Die in zwei Betriebsjahren gespeicherten Daten und die daraus generierten Auswertungen und Erkenntnisse ermöglichen einen umfassenden Einblick in die Energieströme eines modernen Klinikums. Ohne zeitaufwendige und umfangreiche Plausibilitätsprüfungen wäre eine Auswertung der Daten nicht möglich gewesen.

Der entsprechende Projektablauf, die einzelnen Projektphasen sowie die dabei entstandenen Verzögerungen und die Verlängerung des Forschungsvorhabens sind bereits im Zwischenbericht beschrieben worden.

Für beide Bilanzjahre (März 2020 bis Februar 2021 bzw. März 2021 bis Feb 2022) 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 in beiden Bilanzjahren um ca. 18 % unter dem Richtwert der VDI 3807 lag und ca. 42 % unter dem Wert des alten Krankenhauses. Beim Kennwert Strom wurde allerdings der Richtwert der VDI 3807 um ca. 244 % bzw. 251 % (Bilanzjahr 1 bzw. 2) überschritten. Der niedrigere Verbrauch an Heizenergie des GHL ist u. a. auf die, im Vergleich zum alten Gebäude bzw. entsprechender Vergleichsgebäude der VDI 3807, gute Wärmedämmung des GHL in Anlehnung an den Passivhaus-Standard zurückzuführen. Beim höheren Stromverbrauch des GHL ist u. a. die im Verhältnis zum alten Gebäude umfangreichere technische Ausstattung (RLT, MRT, etc.) zu beachten, die anscheinend auch nicht bei den schon in den 1990er Jahren erhobenen Mittel-/Richtwerten der VDI 3807 vorhanden war. Der Wasserverbrauch des GHL lag deutlich unter den Vergleichskennwerten (jeweils ca. 36 %).

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 ca. 28 % (Bilanzjahr 1) und ca. 29 % (Bilanzjahr 2) höherer gemessener Verbrauch gegenüber dem berechneten Wert des Energieausweises und bei der Endenergie eine Abweichung von 43 % bzw. 38 %. Der Vergleich des im Energieausweis des GHL angegebenen (berechneten) gesamten Primärenergiebedarfs (beide Bilanzjahre) ergab für die entsprechend gemessenen Jahres-Endenergien, die mit unterschiedlichen Primärenergie-Faktor-Ansätzen auf Primärenergie umgerechnet wurden, je nach Ansatz um 22 % / 21 % (Variante 1), 64 % / 62 % (Variante 2), bzw. 88 % / 81 % (Variante 3) höhere Werte als im Energieausweis. Eine mögliche Ursache der Differenzen könnte sein, dass die Annahmen bei der Berechnung von der tatsächlichen Nutzung des Gebäudes deutlich abweichen. Die hinterlegten Nutzungsprofile entsprechen nicht der späteren tatsächlichen Nutzung.

Der gesamte elektrische Energieverbrauch betrug im Jahr 2021 3.479 MWh und im Jahr 2020 3.380 MWh. Der Anteil der Großgeräte (GG) macht ca. 10 % des Gesamtverbrauchs aus. Der Gebäudeteil Nordflügel (Nord) hat (hier Zeitraum 1.3.2020 bis 28.2.2021) einen Anteil von ca. 56 % am Gesamtverbrauchs der elektrischen Energie, Mitte (Mitte) ca. 3 %, Südflügel (Süd) ca. 33 % und die Energiezentrale (EZ) ca. 6 % (Gesamt delta ca. 2 %). Eine genauere Aufschlüsselung des elektrischen Verbrauchs erfolgt im Kapitel 4.8.5.

Der gesamte Wärme-/Kälteenergieverbrauch in beiden Bilanzjahren unterscheidet sich kaum, trotz einiger signifikanter Abweichungen, die auf unterschiedliche Monatsdurchschnittstemperaturen und Anlagenbetriebsweisen zurückzuführen sind. Es lassen sich Wechselwirkungen zwischen steigenden Außentemperaturen, die einerseits zu sinkenden Heizenergieverbräuchen und andererseits zu steigenden Kühlenergieverbräuchen führen, feststellen. Diese Effekte heben sich über die Jahressumme betrachtet fast vollständig auf. Die Kältebereitstellung erfolgt bezogen auf beide Bilanzjahre zu 68 % über die Absorptionskältemaschine (AKM, nutzt Abwärme BHKWs), zu 15 % über die Kompressionskältemaschine (KKM) und zu 17 % über die Freie Kühlung. Grundlastverbraucher wie die Umluftkühlung, die medizinischen Großgeräte als auch die EDV-Kühlung sind für 58 % des Kälteenergieverbrauches verantwortlich. Der restliche Anteil wird für die Gebäudeklimatisierung benötigt und ist stärker saisonal abhängig.

Wird die Wärmeerzeugung betrachtet, produzieren beide gasbetriebenen Block-Heizkraftwerke (BHKWs) ca. 56 % der Wärmeenergie, während 27 % auf den Biomassekessel und ca. 17 % auf die Gas-NT-Kessel entfallen. Der Wärmeenergieverbrauch verteilt sich zu ca. 25 % auf die AKM, zu 20 % auf den Altbau, zu 55 % auf das GHL an sich und zu 2 % auf die Heizzentrale. Der Nordflügel benötigt dabei ca. 56 % der Wärmeenergie, während der Südflügel nur ca. 44 % verbraucht. Viele technische Einrichtungen wie z.B. OP-Säle oder die Notaufnahme/Intensivstation sind im Nordflügel angesiedelt, was dort zu einem erhöhten Energiebedarf führt. Der Nutzenergieverbrauch verteilt sich in etwa mit 22 % auf die Warmwasserbereitstellung, mit ca. 5 % auf die Fußbodenheizung, mit 16 % auf die statischen Heizkörper und mit ca. 57 %

auf die Raumluftechnik (Nord- plus Südflügel). Die Beheizung des Hubschrauberlandeplatzes im Nordflügel wurde für die Berechnung der Anteile nicht mitberücksichtigt.

Die Raumluftechnik ist für mehr als 70 % des Wärmeenergieverbrauchs im GHL (Neubau) verantwortlich, wenn das Bestandsgebäude (Altbau) und der Verbrauch der AKM-Anlage nicht mitberücksichtigt werden. Der elektrische Energieverbrauch der Ventilatoren beträgt fast 25 % des elektrischen Gesamtenergiebedarfs der gesamten Anlage (GHL, Bestandsbau und Heizzentrale). Außerdem wurden die benötigten Vorlauftemperaturen der RLT-Heizregister untersucht. Diese liegen selten über 60 °C. Die Register könnten auch über entsprechende Wärmepumpen versorgt werden, was zu einem deutlich reduzierten Erdgasverbrauch führen würden, allerdings sollte die dafür benötigte elektrische Antriebsenergie gebäudenah und erneuerbar bereitgestellt werden. Die gesamte Wärmeverteilung (Verrohrung) im GHL erfolgt mit mehr als 85 °C Vorlauftemperatur, was eine separate Ankopplung der RLT-Anlagen über eine zusätzliche Wärmepumpe erschwert.

In Zuge dieser Auswertungen wurde auch das theoretisch nutzbare Abwärmepotenzial untersucht, dass an den Rückkühleinrichtungen der Kältemaschinen vorliegt. Dort könnte ein weiterer Wärmepumpenprozess (Hochtemperaturwärmepumpe - Vorlauftemperatur Heizseite > 85 °C) angekoppelt werden. Während der Sommermonate, Juni bis September, könnte mit dem Abwärmepotenzial das komplette Gebäude (Alt- + Neubau) versorgt werden, wenn man berücksichtigt, dass zum Abwärmepotenzial noch der Teil der elektrischen Antriebsenergie hinzukommt, den die nötige Wärmepumpe beisteuern würde. Dieser Deckungsgrad ließe sich noch weiter steigern, wenn die KKM als Grundlastkälteerzeuger eingesetzt werden würde.

Die Sankey-Diagramme in Kapitel 4.8.9 beschreiben auf eine einfache und übersichtliche Art und Weise die grundlegenden Energieflüsse im GHL in beiden Bilanzjahren. In der erweiterten Darstellung sind zusätzlich die einzelnen Wärme- und Kälteenergieerzeuger aufgeschlüsselt, und Wärmeenergieverbraucher detaillierter dargestellt worden.

Außerdem wurden die CO₂-Emissionen der GHL-Energieversorgung untersucht. Die Darstellung erfolgte als Gesamtemission und als Emission pro Krankenhausbett (276 Betten).

Im Bilanzjahr 1 entstanden durch die Nutzung von Erdgas 1.555 Tonnen CO₂, durch die Nutzung der Biomassefeuerung 58 Tonnen CO₂ und durch den Netzstrombezug 314 Tonnen CO₂, inklusive aller Vorketteneffekte. Im 2. Bilanzjahr verschlechterte sich ab November 2021 der CO₂-Emissionsfaktor des Strombezugs von 0,209 kgCO₂/KWh_{el} auf 0,419 kgCO₂/KWh_{el}. Der CO₂-Ausstoß durch die Nutzung des Erdgases lässt sich auf 1.459 Tonnen CO₂ beziffern. Die Biomasse verursachte 70 Tonnen CO₂. Die CO₂-Emission des Netzstrombezugs stieg um 217 auf 531 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Zudem wurden die Minderungseffekte der PV-Anlage und des Biomassekessels auf den CO₂-Ausstoß des GHL untersucht. Die PV-Anlage reduzierte die Emission pro Bilanzjahr im Schnitt um 25 Tonnen CO₂. Würde über dem Parkdeck eine zusätzliche PV-Anlage mit 370 kWp errichtet, könnte diese die CO₂-Emissionen im Schnitt um ca. 160 Tonnen CO₂ pro Jahr senken. Der Biomassekessel senkte die Emission um 282 Tonnen CO₂ (Bilanzjahr 1) bzw. 338 Tonnen CO₂ (Bilanzjahr 2), verglichen mit einer herkömmlichen Wärmeerzeugung über Erdgaskessel. Es besteht ein starker Zusammenhang zwischen der CO₂-Emission des Netzstrombezugs und

dessen CO₂-Faktor. Werden für die Berechnung der CO₂-Äquivalente des Netzstroms die Werte aus DIN V 18599 verwendet (0,550 kg_{CO2}/KWh_{el.}), ergeben sich theoretische CO₂-Emission von 2.431 Tonnen im Jahr 2020/21 und 2.439 Tonnen im Jahr 2021/22. Bezogen auf die Anzahl der Betten (276) entspricht dies einer Emission von 8,80 bzw. 8,84 Tonnen CO₂ pro Bett und Jahr. Werden hingegen die realen CO₂-Äquivalente des Netzstrombezugs verwendet, führen die Faktoren rechnerisch zu einer Erhöhung des CO₂-Ausstoßes um 504 bzw. 620 Tonnen CO₂ pro Bilanzjahr. Pro Krankenhausbett erhöht sich die Emissionen um 1,82 bzw. 1,38 Tonnen CO₂ pro Jahr.

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 GHK 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 wurden 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 folgte eine Darstellung der zur Bewertung der Anlagenfahrweise herangezogenen Kriterien Ökonomie und Ökologie. Dann wurden 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 konnten unterschiedliche Szenarien numerisch untersucht und mit dem Referenzzustand verglichen werden. So konnten das Betriebsverhalten der Anlagen analysiert und Optimierungsszenarien untersucht werden.

Aktuell ergeben sich durch die Auswirkungen des Ukrainekriegs bzgl. der Versorgungssicherheit mit Gas und der Entwicklung der Energiepreise vollkommen neue Fragestellungen für den Betrieb von Krankenhäusern. Das GHK verwendet neben dem bezogenen Strom als Energieträger Gas, Holzhackschnitzel sowie Solarenergie und besitzt diverse Anlagen zur Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung. Dadurch ist es möglich, die benötigten Anteile der Energieträger zu verändern und an verschiedene Randbedingungen anzupassen. Mithilfe der Anlagensimulation wurden von den Hochschulen die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen verschiedener Anlagenfahrweisen und möglicher Erweiterungen der PV-Anlage durchgespielt, sodass erste Hinweise und Empfehlungen auch für eine zukünftige optimale Anlagenfahrweise bei entsprechenden PV-Erweiterungen gegeben werden konnten. Hier bedarf es zukünftig verstärkter Forschungstätigkeit.

Die wichtigsten Ergebnisse dieses Berichts werden im Folgenden stichpunktartig zusammengefasst:

- Der Biomassekessel stellt sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht eine vorteilhafte Variante dar. Soweit technisch realisierbar, sollte dessen Einsatz weiter ausgebaut werden.
- Die bereits installierten BHKWs sollten aus ökonomischer Sicht aufgrund des gegenüber dem Gaspreis relativ hohen Strompreises in Deutschland weiter priorisiert werden. Auch bei einer Variation des Gaspreises stellt ein vermehrter BHKW-Einsatz noch einen finanziellen Vorteil dar.
- Hingegen sollte insbesondere bei steigenden Gaspreisen der Wärmeverbrauch möglichst reduziert werden, was durch eine Bevorzugung der elektrisch betriebenen KKM gegenüber der mit Wärme betriebenen AKM erzielt werden kann, wodurch der Wärmebedarf um ca. 25 % reduziert werden kann.
- Der Ausbau von zusätzlichen PV-Flächen stellt für die laufenden Kosten einen Vorteil dar, wobei dieser an den Bedarf der Klinik angepasst werden sollte. Zu große PV-Flächen würden zu einer übermäßigen Netzeinspeisung führen, welche vermieden werden sollte.

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.

Die Investitionskosten zusätzlicher PV-Anlagen müssen darüber hinaus in die Bewertung mit einfließen. Zudem kann der kombinierte Einsatz der Wärmepumpe mit dem Erdsondenfeld sowie der Bauteilaktivierung eine Verbesserung darstellen. 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 2021/2022 verwendet. In weiteren Betrachtungen sollten daher auch die Auswirkungen veränderlicher preislicher und politischer Rahmenbedingungen wie beispielsweise die Einführung der CO₂-Steuer für eine Langzeitbetrachtung herangezogen werden.

Tabelle 22: Berechnete Betriebskosten aktuelle Preise

Szenario	Bestand	PV-Parkfläche	PV-Parkhaus	PV-Parkhaus + PV-Park- fläche	Einheit
Ref-dat	767	601	695	575	T€
Ref-sim	767	601	695	575	T€
AbKM-W1	733	580	666	554	T€
AbKM-W2	854	664	775	634	T€
AbKM-W3	1002	778	917	742	T€
KKM-W1	795	594	714	563	T€
KKM-W2	861	648	777	614	T€
KKM-W3	998	759	911	720	T€

Tabelle 23: Berechnete Betriebskosten variierte Preise

Szenario	Bestand	PV-Parkfläche	PV-Parkhaus	PV-Parkhaus + PV-Park- fläche	Einheit
Ref-dat	1844	1551	1705	1514	T€
Ref-sim	1844	1551	1705	1514	T€
AbKM-W1	1791	1525	1662	1491	T€
AbKM-W2	1980	1630	1824	1586	T€
AbKM-W3	2211	1785	2041	1726	T€
KKM-W1	1782	1409	1622	1362	T€
KKM-W2	1896	1495	1730	1442	T€
KKM-W3	2116	1657	1944	1591	T€

Tabelle 24: Berechneter CO₂-Ausstoß

Szenario	Bestand	PV-Parkfläche	PV-Parkhaus	PV-Parkhaus + PV-Parkfläche	Einheit
Ref-dat	2755	2155	2580	1980	kg
Ref-sim	2755	2155	2580	1980	kg
AbKM-W1	2709	2109	2534	1935	kg
AbKM-W2	2863	2263	2688	2088	kg
AbKM-W3	3042	2443	2867	2268	kg
KKM-W1	2598	1998	2423	1824	kg
KKM-W2	2699	2099	2524	1924	kg
KKM-W3	2875	2275	2700	2100	kg

Tabelle 25: Berechneter Netzbezug

Szenario	Bestand	PV-Parkfläche	PV-Parkhaus	PV-Parkhaus + PV-Parkfläche	Einheit
Ref-dat	1589	1066	1313	1027	MWh
Ref-sim	1589	1066	1313	1027	MWh
AbKM-W1	1399	939	1148	906	MWh
AbKM-W2	2100	1447	1784	1390	MWh
AbKM-W3	2967	2138	2620	2048	MWh
KKM-W1	2181	1474	1857	1409	MWh
KKM-W2	2523	1752	2186	1676	MWh
KKM-W3	3302	2399	2950	2290	MWh

Tabelle 26: Berechnete Netzeinspeisung

Szenario	Bestand	PV-Parkfläche	PV-Parkhaus	PV-Parkhaus + PV-Parkfläche	Einheit
Ref-dat	11	710	91	1026	MWh
Ref-sim	11	710	91	1026	MWh
AbKM-W1	19	781	124	1103	MWh
AbKM-W2	3	571	43	870	MWh
AbKM-W3	0	393	9	658	MWh
KKM-W1	3	518	35	809	MWh
KKM-W2	1	451	19	730	MWh
KKM-W3	0	318	4	566	MWh