



# REGENERATIVES VERSORGUNGSKONZEPT FÜR EINE GERIATRIE (BESTANDSGEBÄUDE) IN DRESDEN-LÖBTAU

DIPLOMARBEIT

eingereicht von: Georg Thomaschvili, 4636599

geboren: 30.05.1997, Bautzen

Institution: Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Institut für  
Bauklimatik, Professur für Technische Gebäudeausstattung und  
Klimagerechtes Bauen

Betreuende

Hochschullehrerin: Dr.-Ing. P. Freudenberg

Betreuender

wiss. Mitarbeiter: Dipl.-Ing. D. Weiss

Termin der Abgabe: 29.09.2023

# INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	IV
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	V
Definitionen:.....	I
1 Abstract .....	1
2 Einleitung .....	1
2.1 Problemstellung und Ziel .....	1
2.2 Forschungsfrage.....	2
2.3 Methodik.....	3
2.3.1 Beschreibung der Software .....	3
2.4 Stand der forschung.....	4
2.4.1 Energiekonzept – Teile und Zusammenwirken .....	4
2.4.2 Ausgewählte Anlagentechnik und Erneuerbare Energieerzeuger .....	6
2.4.3 Fernwärme in der Transformation.....	14
2.4.4 Regenerative Versorgung im Gebäudekontext .....	15
2.5 Politische Rahmenbedingungen von Energiekonzepten .....	16
2.6 Bestandsanalyse der Geriatrie Dresden Löbtau .....	19
2.7 Nutzungsanforderungen .....	30
2.8 Gebäude- und Nutzungseigenschaften bei Simulationen .....	32
3 Hauptteil.....	34
3.1 Simulation des IST-Zustandes .....	34
3.1.1 Rahmenbedingungen.....	34
3.1.2 Arbeitsschritte.....	34

3.1.3	Ergebnisse.....	39
3.2	Energiekonzepte.....	52
3.2.1	Variante 1 – PVT, Netzstrom, Sole-Wasser-WP .....	56
3.2.2	Variante 2 – PVT, Netzstrom, Sole-Wasser-WP, Luft-Wasser-WP.....	59
3.2.3	Variante 3 – PVT, Netzstrom, Fernwärme .....	60
4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	1
4.1	Unterlassungsvariante / Ist-Zustand – Netzstrom, Fernwärme.....	2
4.2	Investitionsvariante 1 – PVT, Netzstrom, Sole-Wasser-WP .....	2
4.3	Investitionsvariante 2 – PVT, Netzstrom, Sole-Wasser-WP, Luft-Wasser-WP.....	3
4.4	Investitionsvariante 3 – PVT, Netzstrom, Fernwärme .....	3
5	Diskussion .....	4
6	Schlussbetrachtung.....	9
6.1	Handlungsempfehlungen.....	9
6.2	Fazit.....	10
7	Verzeichnis der Anhänge.....	11
8	Anhang.....	12
8.1	Anhang 1: Eingaben Nach nutzungszone in SIMVICUS für das Bestandsgebäude 12	
8.2	Anhang 2: Eingaben in SIMVICUS für die Konstruktionen des Bestandsgebäudes 23	
9	Literaturverzeichnis.....	34
10	Weitere Quellen.....	36
10.1	Bildquellen.....	36
10.2	Benutzte Geräte / Hilfsmittel .....	36
11	Verzeichnis des Digitalen Anhangs .....	37

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Bedeutung des Modulabstandes.....	8
Abb. 2:	Überblick der nationalen, energiebezogenen Gesetzlage und ihrer praktischen Auswirkungen. Stand: 2022.....	16
Abb. 3:	Untersuchungsobjekt, Ansicht von Nordost .....	19
Abb. 4:	Befahrbare Rampe am Eingang und Nordwestfassade Neubau .....	21
Abb. 5:	Untersuchungsobjekt, Ansicht von Südwest mit Anlieferung im Untergeschoss .....	21
Abb. 6:	Explosionsisometrie mit Einteilung der Nutzungszonen ..	22
Abb. 7:	Regelgeschosse mit beispielhafter Zuordnung der Nutzungszonen.....	23
Abb. 8:	Exemplarisches Patientenzimmer.	
Abb. 9:	Fassadenoberfläche und Verschattungselemente des Neubaus. Unteransicht...	25
Abb. 10:	Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im Untergeschoss. ....	39
Abb. 11:	Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im Erdgeschoss.....	40
Abb. 12:	Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im 1. Obergeschoss. ....	41
Abb. 13:	Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im 2. Obergeschoss. ....	42
Abb. 14:	Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im 3. Obergeschoss. ....	43
Abb. 15:	Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im 4. Obergeschoss. ....	44
Abb. 16:	Jahresverlauf der Heizleistung .....	45
Abb. 17:	Fernwärmebedarf. Messwert.....	46
Abb. 18:	Jahresverlauf Kühlleistung.....	47
Abb. 19:	Verlauf der elektrischen Leistung. Gebäudemodell. Abb. 20: Lastgang elektrische Leistung.....	49
Abb. 21:	Jahresdauerlinie Heizleistung.....	49
Abb. 22:	Jahresdauerlinie Kühlleistung .....	50
Abb. 23:	Jahresverlauf Bezug von Netzstrom. Abb. 24: Jahresverlauf Netzeinspeisung...	53
Abb. 25:	Jahresverlauf der Eigenbedarfsdeckung.....	55
Abb. 26:	Schematische Darstellung des Energiekonzeptes. Prinzipskizze.....	58

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Klimatische Bedingungen der Solarenergienutzung in Deutschland.....	7
Tabelle 2: Vergleich der Emissionskennwerte ausgewählter Wärmebereitstellungs- systeme .....	9
Tabelle 3: Bescheinigung über die Energetische Bewertung nach FW 309 Teile 5 & 7 (Ausschnitt).....	20
Tabelle 4: Auflistung maßgebender Strombedarfe der Geriatrie (insgesamt).....	28
Tabelle 5: Übersicht Anforderungen und Energiekonzept-Varianten .....	60

## ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS

FWS	Frischwasserstation
Geriatric	Geriatrische Rehabilitationsklinik Dresden-Löbtau
PE	Primärenergie
PV	Photovoltaik
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TWW	Trinkwarmwasser
WP	Wärmepumpe
WÜKK	Wärmeübergangskoeffizient
WW	Warmwasser

## DEFINITIONEN:

<b>Außenluftvolumenstrom</b>	pro Zeiteinheit transportiertes Außenluftvolumen (vgl. Pohl, Martin, 2018, S. 5)
<b>Außenluftwechselrate</b> $n_L$ 1/h	Außenluftvolumenstrom pro m <sup>2</sup> Raumfläche, bzw. Angabe, wie oft die Raumluft unter Annahme einer idealen Verdrängungslüftung innerhalb einer Stunde im Mittel ausgetauscht wird. (vgl. Pohl, Martin, 2018, S. 5)
<b>Energie</b> – spezifische Betrachtung	„Energie setzt sich aus Exergie und Anergie zusammen. Exergie ist der Anteil von Energie, der vollständig in Nutzarbeit umgewandelt werden kann.“ (Bohne, 2022, S. 611) „Als Anergie wird der Bestandteil einer Energie bezeichnet, der in einem Prozess keine Arbeit verrichten kann.“ (Bundesverband Geothermie, 2023)
<b>Energiebedarf (= Arbeit W)</b> [J = Ws, alternativ kWh]	„Der Energiebedarf bzw. die Arbeit ist die Leistung multipliziert mit der Zeit und wird in Ws oder [in] kWh angegeben.“ (Bohne, 2022, S. 611)
<b>Jahres- Primärenergiebedarf</b>	[jährlicher] Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes, der zusätzlich zum Energiegehalt der eingesetzten Energieträger und von elektrischem Strom auch die vorgelagerten Prozessketten bei der Gewinnung, Umwandlung, Speicherung und Verteilung mittels Primärenergiefaktoren einbezieht,“ (GEG, 2020, S. 9)

<b>Gesamtenergiebedarf</b>	[Der] nach Maßgabe [der GEG] bestimmte Jahres-Primärenergiebedarf [...] eines Nichtwohngebäudes für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung sowie eingebaute Beleuchtung,“ (GEG, 2020, S. 9)
<b>Energiedurchlassgrad g eines Fensters</b>	„[...] Anteil des Sonnenlichts, der durch das Fenster in den Raum gelangt. Hiermit wird nicht nur die direkt transmittierte Strahlung erfasst, sondern auch der Energieeintrag, der durch Konvektion und Strahlung der erwärmten Scheibenoberflächen resultiert.“(Hagemeier et al., 2017, S. 19)
<b>Heiz- / Kühlgradtage</b>	„[...] Produkt aus der Zahl der Heiz- bzw. Kühltag und der Differenz zwischen der mittleren Außentemperatur und Raumtemperatur.“ (Bohne, 2022, S. 610)
<b>Leistung P [ W bzw. J/s]</b>	„Ein Watt [...] entspricht der Leistung, um pro Sekunde eine mechanische Arbeit von 1 Joule (J) zu verrichten. [...]Es handelt sich also um das „Potential“ und gibt zunächst keinen Hinweis auf den Bedarf (die Arbeit bzw. den „Verbrauch“).“ (Bohne, 2022, S. 611) Zu berücksichtigen ist, dass bei Anlagen zwischen einer installierten Nennleistung und der tatsächlich abgegebenen Leistung unterschieden wird.



<b>Nennleistung [W]</b>	[Vom] Hersteller festgelegte und im Dauerbetrieb unter Beachtung des vom Hersteller angegebenen Wirkungsgrades als einhaltbar garantierte größte Wärme- oder Kälteleistung in Kilowatt,“ (GEG, 2020, S. 10)
<b>Spitzenleistung [W]</b>	Gibt die maximale erreichbare Leistung von Energieerzeugern oder die maximale bezogene Leistung von Energieverbrauchern an. „Hierbei wird normalerweise jeweils über eine Viertelstunde gemittelt: Man ermittelt die maximal innerhalb von 15 Minuten bezogene Energiemenge und dividiert diese durch 15 Minuten = 0,25 Stunden. [Der Begriff Spitzenleistung wird gelegentlich nicht einheitlich verwendet. Bei Photovoltaikanlagen kann z.B. situativ mehr als die Spitzenleistung abgegeben werden.]“ (Paschotta, 2023)
<b>kWp</b>	„kWp (oder kWpeak) ist die Maßeinheit für die genormte Leistung (Nennleistung) einer Solarzelle oder eines Solarmoduls [...] bei Standard-Testbedingungen. [...] Es wird bei 25 °C Modultemperatur und 1000 W/m <sup>2</sup> Bestrahlungsstärke [...] gemessen“ (Umweltbundesamt, 2023)
<b>Niedrigstenergiegebäude</b>	[...] Gebäude, das eine sehr gute Gesamtenergieeffizienz aufweist und dessen Energiebedarf sehr gering ist und, soweit möglich, zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden soll,“ (GEG, 2020, S. 10)

# 1 ABSTRACT

The use of renewable energy for the supply of buildings and quarters is a key point to achieve the climate goals of Germany and thus to fulfill the requirements of the national building energy policy (Gebäudeenergiegesetz). At the same time, the energy efficiency of clinical institutions is a field with vast challenges and potentials. The aim of this thesis is to develop a supply concept based on regenerative energies for a geriatric rehabilitation clinic. First, the energy demand and usage characteristics of the clinic are being analyzed which leads to the creation of a building simulation model. Based on the building simulation, the supply and demand of energy are being studied and variants of a site-adapted supply concept are being derived from it. Afterwards, these variants are subject of an economical examination. Lastly, practical implications and measures of action are being suggested.

## 2 EINLEITUNG

### 2.1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIEL

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Konzept für die regenerative Energieversorgung eines Bestandsgebäudes einer geriatrischen Rehabilitationsklinik am Standort Dresden Löbtau zu entwickeln. Ebenfalls soll die Wirtschaftlichkeit dieses Energiekonzeptes überprüft werden. Die Besonderheit der vorliegenden Aufgabenstellung ist einerseits die Betrachtung eines großen Bestandsgebäudes, dessen Baukonstruktionen im Allgemeinen nicht verändert werden sollen. Andererseits ist dieses Bestandsgebäude Teil einer Klinik und vor diesem Hintergrund kommt dem kosteneffizienten und dafür notwendigerweise vorausschauend geplanten Betrieb des Gebäudes eine besondere Rolle im Hinblick auf einen zukunfts- und wettbewerbsfähigen Klinikstandort zu. Eine Kliniknutzung kann außerdem besondere Anforderungen an die Konditionierung der Innenräume stellen. Die Belange der im Bestandsgebäude praktizierten Altersmedizin (Geriatric) - einer Fachdisziplin, die besonders vulnerable Personen versorgt - müssen unbedingt beachtet werden.

Kliniken sind im Jahr 2023 mit steigenden Kosten und einem enormen finanziellen Druck konfrontiert. Gleichzeitig sind die Auswirkungen der Energiekrise in deutlich gestiegenen Energiekosten sichtbar. Die Energiekosten stellen ca. 2-3% der Gesamtkosten eines Krankenhauses dar. (vgl. Hagemeyer et al., 2017, S. 9) Obwohl der relative Anteil an den Gesamtkosten klein zu sein scheint, können Effekte auch in diesem Bereich äußerst gravierende Konsequenzen haben. Selbst kleine prozentuale Erhöhungen der Energiekosten können aufgrund der bisherigen Finanzierungsstruktur der Krankenhäuser zu enormen finanziellen Belastungen führen. (vgl. Rhön Stiftung, 2023, S. 5) Angesichts einer durch die Energiekrise bedingten starken und z.T. unvorhersehbaren Preisentwicklung werden die Vorteile erneuerbarer Energien und eigener Energieproduktion auch in diesem Feld deutlich.

Die Energieeffizienz von Kliniken ist ein Feld mit großen Potentialen „Im Mittel verbrauchten Krankenhäuser [2008] 357 kWh/m<sup>2</sup> Wärme und 119 kWh/m<sup>2</sup> elektrische Energie [...]“(Hagemeier et al., 2017, S. 9) Dabei ergeben sich Energieeinsparpotentiale von ca. 40% bei Strom und ca. 32% bei Wärme. (vgl. Viamedica, 2020, S. 5) 2022 haben deutsche Krankenhäuser pro Bett und Jahr durchschnittlich 7800 kWh Strom und 25000 kWh Wärme benötigt, dabei 2878 € bezahlt und 8,3 t CO<sub>2</sub> freigesetzt. (Rhön, 2023, S. 8) Der größte Anteil daran entfällt auf die Wärmeversorgung. „Als Energieträger kommen heute zum größten Teil Erdgas oder Heizöl zum Einsatz, die in einem Heizkessel oder BHKW in Wärme umgewandelt werden.“ (Hagemeier et al., 2017, S. 9–10) Nur ca. 14% der deutschen Kliniken haben 2021 selbst Strom durch Photovoltaik erzeugt. (vgl. Rhön, 2023, S. 10) Zudem ist die Technische Gebäudeausrüstung bei einer Vielzahl von Kliniken ineffizient eingestellt und es gibt großes Potenzial für Energieeinsparungen durch Instandsetzungen. (vgl. Rhön, 2023, S. 11) Gerade bei Großverbrauchern mit vierundzwanzigstündigem Betrieb wie Kliniken sind Punkte wie Klimaschutz und Reduktion von Treibhausgasemissionen relevant. Es ist von zentraler Bedeutung, dass der Primärenergiebedarf gesenkt wird – dazu ist der Ersatz von fossilen durch erneuerbare Energieträger ein geeignetes Mittel. (vgl. DKI, 2021, S. 5)

## 2.2 FORSCHUNGSFRAGE

Welches Energiekonzept für die geriatrische Rehabilitationsklinik am Standort Dresden Löbtau kann eine Versorgung auf der Basis von regenerativen Energieträgern gewährleisten und möglichst wirtschaftlich sein?

## 2.3 METHODIK

Zunächst wird ein Überblick über Grundlagen und Systeme der Energieerzeugung erstellt, dabei werden am vorliegenden Standort in Frage kommende Technologien berücksichtigt. Es folgt eine Bestandsanalyse der Geriatrie und ihres Nutzerbedarfes. Daraufhin wird unter Zuhilfenahme eines CAD-Programms ein digitales Modell des Gebäudes erarbeitet, das anschließend Grundlage für eine Gebäudesimulation mit SIM-VICUS ist. Die Simulationsergebnisse werden dabei entsprechend der Möglichkeiten anhand realer Messdaten validiert und grafisch ausgewertet. Basiert auf diesen Simulationsergebnissen werden drei Varianten von Energieversorgungskonzepten aufgestellt. Anschließend erfolgt eine Excel-basierte Betrachtung dieser Varianten. Schließlich erfolgt eine Wirtschaftlichkeitsbewertung des Originalzustandes sowie der Energiekonzepte und es werden Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der sinnvollsten Lösung in der realen Situation vorgeschlagen.

### 2.3.1 Beschreibung der Software

Die gewählte Gebäudesimulationssoftware ist SIM-VICUS, entwickelt durch das Institut für Bauklimatik an der Technischen Universität Dresden (IBK). Dies ist eine kostenlos verfügbare, open-source - basierte Gebäude- und Netzsimulationssoftware für dynamische Simulationsverfahren und geeignet für die energiebezogene Betrachtung von Gebäuden und städtischen Quartieren (vgl. IBK, 2023) SIM-VICUS benutzt als Rechenkern NANDRAD. Dieser ist geeignet für die „[komplexe Gebäudenenergiesimulation von Mehrzonenmodellen] und spezialisiert für die Berechnung großer massiver Gebäude mit vielen Zonen und detailliert modellierten Konstruktionen [...]“ (IBK, 2023) Durch POSTPROC2 ist in SIM-VICUS „[...] ein Programm für die wissenschaftliche Analyse und Aufbereitung von Simulationsergebnissen und Messdaten [integriert]. Es ist spezialisiert auf die effiziente Behandlung von großen zeitabhängigen/dynamischen Datenreihen [...]“ (IBK, 2023)

SIM-VICUS erlaubt außerdem die 3D – Modellierung von Gebäuden, jedoch angesichts des Umfangs des Untersuchungsobjektes wurde in der CAD-Software „Archicad 26“ von Graphisoft (Nemetschek) dreidimensional modelliert. Für diverse Nebenberechnungen und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde Microsoft Excel verwendet.

## 2.4 STAND DER FORSCHUNG

### 2.4.1 Energiekonzept – Teile und Zusammenwirken

Die Betrachtung des Energieflusses für ein Gebäude erfolgt als Bilanz über einen bestimmten Zeitraum, z.T. auch über den gesamten Lebenszyklus. Dabei stehen Faktoren mit Energiebedarf („-verbraucher“) Energiequellen („-erzeugern“) gegenüber. Der Energiebedarf wird v.a. durch die Gebäudeheizung und -kühlung, sowie den Strombedarf (z.B. Beleuchtung, Lüftungsanlagen, Anwendungsstrom) charakterisiert. Demgegenüber können vielfältige Energiequellen genannt werden: anfallende Wärmelasten aus dem Gebäudeinneren und aus solarer Einstrahlung auf Außenbauteile, sowie spezifische Energiequellen, die Nutzenergie liefern. Fällt die Bilanz zugunsten der Energiequellen aus, ist ein sog. Plusenergiegebäude gegeben. Andernfalls lassen sich Gebäude nach ihrem Verbrauch in verschiedene standardisierte Klassen einteilen, z.B. Niedrigstenergiegebäude oder Passivhäuser.

Zwischen der Bedarfsseite und der Verbrauchsseite liegt das Gebäudestromnetz, in das ggf. diverse Regelungstechnik und Speichersysteme integriert sind. Letztere können Speicher für spezifische Energieformen, oder aber auch massive Baukonstruktionen sein, die als thermische Speichermasse fungieren.

Beim Energiebedarf bestehen tageszeitliche Schwankungen, die durch die Nutzungsprofile charakterisiert sind. Z.B. ist der Anwendungsstrombedarf zur werktäglichen Tageszeit bedeutend höher als in der Nacht. Es resultieren Lastkurven, die auch kurzfristige Lastspitzen haben können. Energiequellen können auch eine veränderliche Leistung besitzen, insbesondere erneuerbare Energiequellen.

So ist z.B. bei Photovoltaikanlagen der Ertrag in den Sommermonaten und dabei v.a. tagsüber deutlich höher. Somit sind bei einigen erneuerbaren Energiequellen Ertrag und Bedarf nicht deckungsgleich. Dies würde bei einem in sich abgeschlossenen Stromnetz (Autarkie) zu erheblichen Problemen, z.B. einer instabilen Stromfrequenz und konsekutiven Ausfällen von „Energieverbrauchern“ führen. An diesem Punkt wird die Bedeutung der Netzsynchronisation mit dem öffentlichen Stromnetz und von Speichertechnologien deutlich. Bilanzielle Ausgleiche zwischen Energieangebot und -bedarf werden so erst möglich, derzeit jedoch nur bis zu gewissen Grenzen. Speichertechnologien können nur begrenzte Energiemengen aufnehmen. Ein Anschluss an das öffentliche Stromnetz erlaubt den Bezug und die Einspeisung von Strom, das Netz ist jedoch ebenfalls für eine stabile Frequenz ausgelegt. Die Möglichkeit, darin Stromüberschüsse zu speichern ist gering – dieser Faktor gewinnt an Gewicht, wenn viele erneuerbare Stromquellen zu gleichen Zeiten einspeisen. Die zeitliche und quantitative Abstimmung von Energiebedarf und -erzeugung muss auf Gebäudeebene grundsätzlich sorgfältig geschehen und eine konstante Bilanz anstreben. Dies beeinflusst die Auswahl von Energieträgern und Anlagentechnik inkl. Speicherarten. Auch ist die Verfügbarkeit von Energieträgern und deren Kosten am spezifischen Standort – somit die Wirtschaftlichkeit – bedeutsam für die Art des Energiekonzeptes.

Weitere Einflussfaktoren bei Energiekonzepten sind das spezifische Außenklima, der Einfluss des Nutzerverhaltens (Nutzerprofile), sowie die Konstruktion und Ausführung des Gebäudes (z.B. Fensterflächenanteil, Kubatur, Speichermassen, Sollwerte von Nutzungszonen, sommerlicher Wärmeschutz und Verschattung, ...). Ein technisches Ziel von Energiekonzepten ist ein möglichst geringer Jahres-Primärenergiebedarf des Gebäudes durch eine qualitativ hochwertige Gebäudehülle. Andererseits wird eine möglichst hohe Eigennutzung der selbst erzeugten Energie angestrebt, die durch Speichertechnologien ermöglicht wird. „Der Einsatz von Strom (hochwertiger Energie bzw. Exergie) für die [direkte Wärmeerzeugung und] Warmwasserbereitung widerspricht dem Ziel nachhaltige, energieeffiziente Systeme zu verwenden.“ (Bohne, 2022, S. 168) Es ist günstig, wann immer möglich Energie zu nutzen – z.B. in Form von Umgebungswärme.

Zusammenfassend kann ein geringer Energiebedarf des Gebäudes (Konstruktion) und dessen Deckung möglichst aus regenerativen Energiequellen und Anergie als Zielstellung festgehalten werden. Der Eigenverbrauch der erzeugten Energie sollte maximiert werden. Es ist bedeutsam, dass alle o.g. Faktoren bereits zu einem frühen Zeitpunkt der Gebäudeplanung so genau wie möglich bekannt sind – nur so ist die Erstellung von nachhaltigen Gesamtsystemen möglich. Dennoch wird aus diversen Untersuchungen deutlich, „dass geplante Energiebedarfe von denen realen im Gebäudebetrieb erheblich abweichen können.“ (Bohne, 2022, S. 613) Somit ist letztlich bei Bestandsgebäuden die Messung von Energieströmen vor Ort vor und in der Phase nach der Ausführung der Anlagentechnik ein bedeutsames Werkzeug.

## 2.4.2 Ausgewählte Anlagentechnik und Erneuerbare Energieerzeuger

Nachfolgend sollen einige im Fall der Geriatrie potentiell bedeutsame technische Zusammenhänge aufgezeigt werden. Für die funktionalen Grundlagen der vorgestellten Technologien kann auf die einschlägige Grundlagenliteratur verwiesen werden.

### Solarthermie

Solarthermie basiert auf dem Funktionsprinzip, dass kurzwellige Solarstrahlung eingefangen, an ein Wärmetransportierendes Medium übergeben und damit zur TWW-Bereitung nutzbar gemacht wird. (vgl. Bohne, 2022, S. 177) Thermische Solarkollektoren können in Flachkollektoren und Vakuumkollektoren unterschieden werden, wobei letztere einen höheren Wirkungsgrad haben. Da die Leistung der Kollektoren vom jeweils vorherrschenden Strahlungsangebot abhängig ist, besteht häufig eine Inkohärenz zwischen Energieangebot und -Bedarf. Daher sind Solarkollektoren häufig im Verbund mit anderen Energieerzeugern in Einsatz, d.h. Teil eines bivalenten Systems. (Bohne, 2022, S. 168) Solarkollektoren können ebenfalls zur (solaren) Kühlung eingesetzt werden.



Grobe Anhaltspunkte für die erste, generelle Einschätzung der Leistung einer Anlage, die die Sonnenstrahlung nutzt, können der Tabelle 1 entnommen werden.

<b>Maximale Strahlungsleistung auf senkrecht bestrahlter Fläche</b>	<b>ca. 1 kW/m<sup>2</sup></b>
Strahlungsleistung bei sehr dichter Bewölkung	ca. 0,02 kW/m <sup>2</sup>
Leistungsbereich der diffusen Strahlung bei bewölktem Himmel mit vollständig verdeckter Sonne	ca. 0,02–0,25 kW/m <sup>2</sup>
Jährliche Einstrahlung auf horizontale bzw. 45° nach Süden geneigte Fläche	900–1200 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximalwert der täglichen Einstrahlung (sehr klares Sommerwetter)	ca. 8 kWh/(m <sup>2</sup> d)
Minimalwert der täglichen Einstrahlung (sehr trübes Wetter)	ca. 0,1 kWh/(m <sup>2</sup> d)
Mittelwert der täglichen Einstrahlung an den 100 besten Sonnentagen des Jahres	ca. 5,5 kWh/(m <sup>2</sup> d)
Einstrahlung an den 100 ungünstigsten Tagen des Jahres	kleiner als 1 kWh/(m <sup>2</sup> d)
Jährliche Sonnenscheindauer	1300–1900 h/a

Tabelle 1: Klimatische Bedingungen der Solarenergienutzung in Deutschland.

Quelle: (Bohne, 2022, S. 177)

Dabei ist hervorzuheben, dass in Deutschland ca. 900-1200 kWh Strahlungsenergie pro m<sup>2</sup> und Jahr auf einer horizontalen oder südexponierten Fläche zu erwarten sind. Bei Solarthermischen Anlagen muss darauf geachtet werden, dass die Neigungswinkel der Kollektoren für den Sonnenstand in der Jahreszeit geeignet sind, in der die hauptsächlichen Wärmeerträge benötigt werden. Im Sommer ist ein steiler Einstrahlungswinkel zu beachten – dementsprechend sollten die Kollektoren eher flach geneigt sein. Im Winterhalbjahr in Deutschland ist der Einstrahlungswinkel der Sonne deutlich flacher und eine stärkere Kollektorneigung von bspw. 50° ist vorteilhaft. (vgl. Bohne, 2022, S. 178)

Außerdem ist die Ausrichtung in den Süden maßgeblich für die Energieerträge. Die Abweichung von der idealen Südausrichtung von Solarmodulen sollte nicht größer als 35° sein, wenn auch im Winterhalbjahr eine ausreichende Leistung erzielt werden soll. (vgl. Bohne, 2022, S. 178)

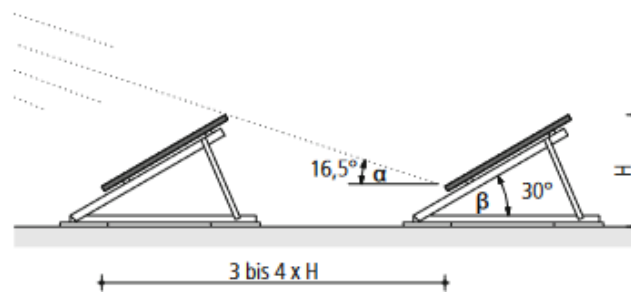


Abb. 1: Bedeutung des Modulabstandes

Quelle: (Bohne, 2022, S. 178)

Des Weiteren muss bedacht werden, dass sich die einzelnen Elemente nicht gegenseitig verschatten – hierfür sind entsprechende Abstände nötig. Bei Verschattung droht ein großer Einbruch des Wirkungsgrades. I.d.R. speist eine Solarthermische Anlage einen WW-Speicher und wird für eine jährliche Deckung des Warmwasserbedarfs von ca. 50% ausgelegt. Dabei ist zu beachten, dass es weder zu einer Über- noch zu einer Unterdimensionierung kommt, da in beiden Fällen wirtschaftliche Nachteile drohen würden. (vgl. Bohne, 2022, S. 177–179)

### Wärmepumpen

Wärmepumpen machen Umweltenergie bzw. Anergie für die Wärmegewinnung nutzbar. (vgl. Bohne, 2022, S. 252) Bei der Gewinnung von Wärme oder Kälte werden dabei die Quellen in der Umwelt abgekühlt bzw. erwärmt. Dabei wird unter Einsatz eines kleinen Anteils elektrischer Energie (Hilfsenergiebedarf) i.d.R. ein Vielfaches an thermischer Energie aus Anergie nutzbar gemacht und dem Heizsystem zugeführt. WP erreichen im Vergleich mit verschiedenen Wärmebereitstellungssystemen relativ hohe Primärenergienutzungsgrade bei geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Heizsystem	Primärenergie-nutzungsgrad [kWh/kWh]	CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg/kWh]
Elektroheizung (Strommix)	0,4	0,6–0,61
Öl/Gasheizung (Brennwert)	0,8–0,85	0,2–0,3
Elektrowärme-pumpe	1,4–1,8	0,18–0,23
Gasmotor-wärmepumpe	1,5–1,8	0,15–0,2
Holzpelletshei-zung	0,6–0,7	0,05–0,1
BHKW	1,5	0,05–(-0,3)

Tabelle 2: Vergleich der Emissionskennwerte ausgewählter Wärmebereitstellungssysteme

Quelle: Bohne, 2022, S. 206

Als Wärmequellen für eine WP-Anlage kommen allgemein in Betracht: Außenluft, Wärme aus dem Erdreich in oberflächennahen Schichten oder in tieferen Schichten, Oberflächenwasser, Grundwasser und Abwärme. Oberflächennahe Schichten des Erdreichs können über Erdkollektoren nutzbar gemacht werden, diese beanspruchen i.d.R. jedoch eine relativ große horizontale Verlegefläche. Tiefere Schichten des Erdreichs können über Erdsonden bzw. -Bohrungen, die üblicherweise in bis zu 100m Tiefe reichen, genutzt werden. Es ist dabei jedoch zu beachten, dass die Temperaturänderungen durch den Eintrag von Wärme oder Kälte durch die Wärmepumpennutzung mittelfristig zu einer Verminderung der Effizienz der Anlage führen können, bis hin zu ggf. einer Vereisung des Erdreiches um die Bohrung herum. Die Fähigkeit des Erdreiches, die ursprüngliche Temperatur wiederherzustellen, kann durch die Entzugsleistung der Wärmepumpe kurzfristig überbeansprucht werden. Somit ist zu bedenken, dass die thermische Regeneration der Wärmequelle bei der Dauer und Leistung der Energieentnahme durch die Wärmepumpe berücksichtigt wird. Eine Möglichkeit liegt in der Nutzung einer Wärmepumpe zu Heizzwecken in der Heizperiode und zu Kühlzwecke im Sommerfall, wodurch die Quelle in der thermischen Bilanz ausgeglichen wird.

Eine weitere Wärmequelle kann besonders wirtschaftlich und nachhaltig sein: Die Nutzung von ohnehin anfallender Abwärme bzw. Prozessabwärme oder Restwärme aus Abluft in der Umgebung des Gebäudes oder auch am Gebäude selbst. Dabei können sich auch Quartierslösungen bzw. Nahwärmekonzepte anbieten, gerade wenn z.B. bei Produktionsprozessen betriebsbedingt Wärmelasten abzuführen sind (vgl. Bohne, 2022, S. 252)

Nachfolgend eine Anmerkung zur technischen Auslegung eines WP-Systems. Es ist möglich, sog. bidirektionale Wärmepumpen für Heizzwecke und für Kühlzwecke zu benutzen und so eine große Steigerung der Effizienz zu erreichen, nicht jedes Produkt ist aber dafür geeignet. Des weiteren ist es möglich, eine Direktkühlung zu betreiben – d.h. einen einfachen Durchlauf von kühlerem Wasser aus der Umwelt durch z.B. ein FBH-System. Daraus kann eine enorme Einsparung an elektrischer Energie für Kühlzwecke resultieren, deshalb sollte diese Maßnahme bei der Planung einer WP immer überprüft werden.

Die Ermittlung der Effizienz einer Wärmepumpe kann mit folgenden Formeln veranschaulicht werden: „Die Leistungszahl COP (en: coefficient of Performance) kennzeichnet das Verhältnis von nutzbarer Wärmeenergie zur aufgenommenen elektrischen Energie des Verdichters:“ (Bohne, 2022, S. 255) Dabei gilt:

$$COP = \frac{\phi C}{P_{el}}$$

$\phi C$  ... nutzbare Wärmeenergie, die vom Verflüssiger der Wärmepumpe abgegeben wird (kW)

$P_{el}$ ... elektrischer Energiebedarf des Elektromotors der Wärmepumpe (kW<sub>el</sub>)

Quelle: Bohne, 2022, S. 255

„[Der COP-Wert] bewegt sich in einer Größenordnung zwischen 2 und 6. Das bedeutet, pro aufgewendeter Energieeinheit wird das 2–6-fache an Energieausbeute erzielt, oder anders ausgedrückt: mit 1 kWh Strom (je nach Antrieb des Kompressors) von 1–3 kWh Umgebungsenergie, wird 2–6 kWh Nutzwärme erzeugt.“ (Bohne, 2022, S. 256)

Die Bandbreite des COP-Werts erstreckt sich von 2 bis 6. Dies impliziert, dass für jede zugeführte Energieeinheit eine Ausbeute von 2 bis 6 Einheiten erzielt wird. Beispielsweise kann 1 kWh Strom genutzt werden, um zwischen 1 und 3 kWh Umgebungsenergie aufzunehmen, was wiederum zur Erzeugung von 2 bis 6 kWh Nutzwärme führt. (vgl. Bohne, 2022, S. 256) Ein niedriger Temperaturunterschied zwischen der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur des Heizsystems sollte v.a. bei WP mit Elektroantrieb angestrebt werden. Dadurch kann der COP-Wert gesteigert und die Effizienz des Systems erhöht werden. (vgl. Bohne, 2022, S. 256)

Es folgt ein weiterer etablierter Kennwert: „Die mittlere Leistungszahl, als Durchschnittswert über die Dauer eines Jahres gerechnet, wird Jahresarbeitszahl [SPF] genannt.“ (Bohne, 2022, S. 256) Dabei gilt für elektrische Wärmepumpen:

$$SPF = \frac{Q_{wp}}{E_{hw}}$$

$Q_{wp}$ ...Gesamte, jährlich abgegebene Wärmemenge der Wärmepumpe

$E_{hw}$ ...Gesamte, jährlich aufgenommene Elektroenergie der Wärmepumpe

Quelle: Bohne, 2022, S. 256

WP erreichen üblicherweise Temperaturen von bis zu ca. 66°C im Heizungsvorlauf. Da üblicherweise Heizmitteltemperaturen von 70 °C ausreichen, sind heutige Systeme durchaus so auslegbar, dass ohne die Verwendung fossiler Brennstoffe eine ausreichende Gebäudetemperierung erreicht werden kann. (vgl. Bohne, 2022, S. 204) Während die anfänglichen Investitionskosten bei Wärmepumpen oft im Vergleich zu anderen Energieerzeugern hoch ausfallen, so sind aufgrund der o.g. Sachverhalte in der Nutzungszeit deutliche Einsparungen bei den aus dem Wärmebedarf resultierenden Betriebskosten zu erwarten. Somit ist eine zügige Amortisation von Wärmepumpen in der Regel zu erwarten. Bei üblichen Lebenszyklen und -dauern eines Heizsystems fallen die maßgeblichen Kosten während der Nutzung an. Dort liegt somit auch das größte Einsparpotential. Somit können Wärmepumpen einen großen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit und Unabhängigkeit eines Energiekonzeptes leisten.

Vielfach bewirken jedoch die hohen Investitionskosten eine Entscheidung für andere Wärmeerzeugungssysteme und somit im Lebenszyklus des Systems höhere Kosten.

### Photovoltaik

Bei PV wird Solarstrahlung direkt in elektrischen Gleichstrom umgewandelt. *Dabei wird auch diffuses Sonnenlicht genutzt.* (vgl. Bohne, 2022, S. 539) Solarzellen aus monokristallinem bzw. polykristallinem Silizium können derzeit einen Wirkungsgrad von ca. 20% erreichen. (vgl. Bohne, 2022, S. 539) Um die Nutzung des selbst erzeugten Stroms zu maximieren und Lastspitzen für das öffentliche Stromnetz zu vermeiden, ist es sehr oft notwendig, eine Photovoltaikanlage im Verbund mit einem elektrischen Speichersystem zu betreiben (Siehe ebenfalls Kapitel „Regenerative Versorgung im Gebäudekontext“).

Ein Richtwert für den Vergleich der Effizienz unterschiedlicher PV-Modul-Produkte untereinander ist der kWp-Wert. „Die Nennleistung von 1 Wp (Watt peak = Spitzenleistung) wird für 1000 W/m<sup>2</sup> Einstrahlungsstärke und 25 °C Zelltemperatur definiert (unbedeckter Sonnenhimmel und senkrechte Einstrahlung). Die durchschnittlich erzielbare Leistung liegt z. T. erheblich niedriger“ (Bohne, 2022, S. 542) Die Tabelle 1 liefert auch bei PV-Anlagen einen groben ersten Anhaltspunkt für einen zu erwartenden Ertrag einer allgemeinen Produktwahl.

Die elektrische Effizienz von Photovoltaikmodulen wird durch deren Modulneigung, Ausrichtung und ggf. Verschattung beeinflusst. Dabei resultieren Abweichungen in der Modulneigung von ca. 20° und Abweichungen in der Ausrichtung von ca. 30-40° nach Osten oder Westen nur in geringfügigen Verlusten. (vgl. Bohne, 2022, S. 543) Bei Verschattung kann der Energieeintrag jedoch abhängig von Faktoren wie z.B. der Bewölkung oder der Teilverschattung durch Objekte erheblich sinken. Einbußen von bis ca. 90% im Vergleich zur Spitzenleistung können resultieren. Dabei müssen selbst geringe Verschattungen durch z.B. Antennen oder Schornsteine bedacht werden: „In einem Solarmodul bestimmt die Zelle mit der geringsten Bestrahlung den Strom aller mit ihr in Reihe geschalteter Zellen.“

Falls eine zeitweilige Verschattung unumgänglich ist, sollten Module so verschaltet werden, dass sich die Verschattung nur auf einzelne Strings und nicht auf die gesamte Anlage auswirkt.“ (Bohne, 2022, S. 542)

PV-Module können sich im Betrieb bis auf 70°C erwärmen. Bei hohen Temperaturen nimmt der elektrische Wirkungsgrad von Solarzellen jedoch ab. Dem kann durch die Ausführung der Unterkonstruktion begegnet werden, z.B. indem man bei an der Fassade montierten Modulen eine Hinterlüftung vorsieht. (vgl. Bohne, 2022, S. 543)

Bei PV-Anlagen kann bei einer fachgerechten Planung oft mit einer zügigen Amortisation gerechnet werden. Ein maßgebender Faktor ist dabei die Lebensdauer der gewählten Module. Photovoltaik und Solarthermie können auch in sog. PVT-Modulen kombiniert werden. Diese erhöhen den Wirkungsgrad, indem gleichzeitig Wasser erwärmt wird. „Durch den Einsatz von Low-E-Beschichtungen konnte das Fraunhofer ISE den thermischen Wirkungsgrad optimieren, sodass abgedeckte PVT-Kollektoren für herkömmliche solarthermische Anwendung wie Trinkwassererwärmung und Raumheizung geeignet sind.“ (Fraunhofer ISE, 2023) Ein hervorzuhebender Effekt ist, dass durch die Abführung von Wärmelasten an das Kühlmedium zudem die Temperatur der Photovoltaikmodule gesenkt und somit deren Wirkungsgrad etwas erhöht werden kann.

### Sonstiges

Um den Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen, werden auf Wasserstoff basierende Energieerzeugungstechnologien nicht näher betrachtet. Die Kosten eines Energiekonzeptes, das Wasserstoff als Energieträger einschließt, wären zum jetzigen Stand der Technik sehr wahrscheinlich nicht mit der Praxis vereinbar. Außerdem wären Schwierigkeiten bei der Erreichung eines ausreichenden Wirkungsgrades zu erwarten.

### 2.4.3 Fernwärme in der Transformation

Fernwärmenetze sind Teil einer kommunalen Wärmeplanung, d.h. die Gemeinden und Städte sind für den Ausbau zuständig. Fernwärmenetze verbinden Energieerzeuger über gedämmte Rohrleitungssysteme mit zahlreichen Verbrauchern. Häufig wird Abwärme aus einer Kraft-Wärme-Kopplung benutzt. Bei dieser wird durch den Energieerzeuger neben Strom ebenfalls Wärme freigesetzt, es resultiert i.d.R. ein hoher Primärenergienutzungsgrad und somit eine effiziente Umwandlung des Energieträgers in Endenergie. Moderne Fernwärmenetze sind meist als Heißwasserleitungen mit Vorlauftemperaturen von max. 180 °C und -drücken zwischen 5 und 17 bar ausgeführt. Die Primärenergiefaktoren nach dem GEG können für jedes Fernwärmenetz spezifisch sein. Ein Großteil der Fernwärmenetze wird derzeit nicht durch erneuerbare, sondern durch konventionelle Energieträger, z.B. Erdgas, gespeist. Dabei resultieren unweigerlich CO<sub>2</sub> – Emissionen. Jedoch im Hinblick auf die hohe Effizienz der Wärmebereitstellung können solche Netze ggf. Übergangslösungen auf dem Weg zu einem erneuerbaren Energiebezug darstellen. Auch wird die Umstellung auf eine durch Energie aus Wasserstoff-Systemen gespeiste Fernwärme diskutiert. Gegenwärtig bieten Fernwärmenetze jedoch z.T. eine gewisse Unsicherheit bei der Entwicklung der Verbrauchspreise, v.a. dann, wenn die gesamte Wärmeversorgung eines Gebäudes nur von Fernwärme abhängt. Die Verfügbarkeit von Fernwärmenetzen muss zudem ebenfalls geprüft werden, oft ist ein Ausbau noch lokal beschränkt. Jedoch ist 2023 in Deutschland die kommunale Wärmeplanung ein wichtiges politisches Ziel und es ist zu erwarten, dass die Verbreitung von Fernwärmenetzen zunehmen wird. Eine ggf. vorliegende kommunale Wärmeplanung sollte in einen weitsichtigen Entscheidungsprozess um eine Wärmeversorgung einfließen, bevor alternative Wärmeerzeuger geplant werden. Sollte die Fernwärme aus überwiegend erneuerbaren Quellen stammen, wäre eine zudem sehr effiziente Wärmeversorgung gesichert. (vgl. Bohne, 2022, S. 276) Auf die Situation am Standort der Geriatrie wird im Kapitel „Bestandsanalyse“ eingegangen.



## 2.4.4 Regenerative Versorgung im Gebäudekontext

Die Einbindung von regenerativen Energiequellen im Nichtwohnungsbau kann bestimmte Herausforderungen mit sich bringen, denen bei sorgfältiger Planung jedoch gut begegnet werden kann. Nichtwohngebäude zeichnen sich meist durch ein großes Leitungsnetz mit zahlreichen, z.T. leistungsstarken und sensiblen Verbrauchern aus, die eine zuverlässige Netzstabilität benötigen. Ein hoher Gesamtenergiebedarf, zusammen mit einer oft vorhandenen Grundlast sind herausfordernd bei der Eigenstromerzeugung durch erneuerbaren Energien. Diese können meist nicht den gesamten Bedarf decken, jedoch einen gewissen Anteil, der spezifisch für das jeweilige Energiekonzept ist. Die Zusammenführung von Betriebsdaten durch die Gebäudeautomation bzw. Gebäudeleittechnik ist für eine Abstimmung der Anlagentechnik erforderlich. Eine detaillierte Mess-Steuer- und Regelungstechnik, im Rahmen eines Betriebsmonitorings kann Grundlage für eine Fehlererkennung und Adaption, somit eine Optimierung der Anlagentechnik sein. Somit können Betriebszeiten und Laststufen angepasst, Fehler in der Anlagentechnik erkannt und Stromüberschüsse besser genutzt bzw. reduziert werden. Eine entscheidende Rolle bei der Vereinigung von Energieangebot und -bedarf liegt auch bei den Speichertechnologien. Hierbei kann auf die einschlägige Literatur verwiesen werden. Andererseits können Wärmemengen im Gebäude auch zeitversetzt zur Heizung und Kühlung beitragen. Dies kann in Zeiten eines Energieüberangebotes durch die Erwärmung bzw. Kühlung von massiven Baukonstruktionen mittels flächig verlegten Rohrsystemen, wie sie auch in Fußbodenheizungen üblich sind, geschehen. Je nach der thermischen Speichermasse von Massivbauteilen können bestimmte Zeiträume abgedeckt werden. Somit kann die Eigennutzung des erzeugten Stroms maximiert und ein Netzbezug in ertragsarmen Zeiten reduziert werden. Es ist auch möglich, Anergie in Abwärme aus der Gerätenutzung, im Gebäude zu Heizzwecken einzubeziehen, z.B. indem Wärmepumpen diese wie Umgebungswärme nutzen und an das Heiznetz weitergeben.

## 2.5 POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN VON ENERGIEKONZEPTEN

Die allgemeinen, gesetzlichen Rahmenbedingungen von Energiekonzepten in Deutschland können wie folgt zusammengefasst werden: Die europäische Gesetzesgrundlage bilden v.a. die EU-Energieeffizienz-Richtlinie (Energy Efficiency Directive, EED) und die „Energy Performance of Buildings Directive, EPBD“. (vgl. Bohne, 2022, S. 610) Auf den europäischen Richtlinien aufbauend, sind folgende nationale Gesetzgebungen festgelegt, die auf Gebäude angewendet werden. In Deutschland gilt das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) und das Gebäudeenergiegesetz (GEG). Das EEG beschreibt für den Gebäudekontext hauptsächlich finanzielle Aspekte der Nutzung, insbesondere der Einspeisung und dem Bezug von Energie aus erneuerbaren Quellen.

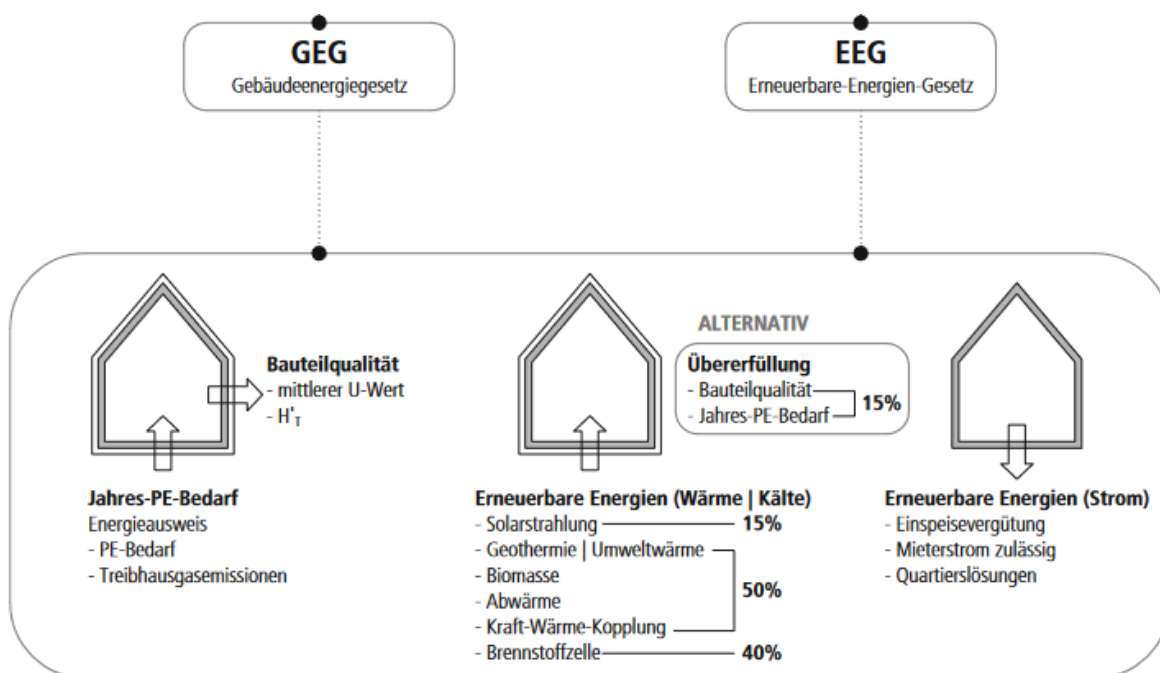


Abb. 2: Überblick der nationalen, energiebezogenen Gesetzlage und ihrer praktischen Auswirkungen. Stand: 2022

Quelle: (Bohne, 2022, S. 611)

Das GEG trat 2020 in Kraft und „[...] enthält Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden, die Erstellung und die Verwendung von Energieausweisen sowie an den Einsatz erneuerbarer Energien in Gebäuden. Die frühere EnEV [Energieeinsparverordnung], das EnEG [Energieeinsparungsgesetz] und das EEWärmeG [Erneuerbare Energien Wärmegesetz] wurden mit dem GEG zusammengeführt [und dadurch abgelöst].“ (GEG, 2020) Das GEG wurde 2023 novelliert. Das GEG zielt auf höhere Energieeinsparungen bei Gebäuden und einen gesteigerten Einsatz von erneuerbaren Energieträgern zur nachhaltigen Deckung des Wärme- Kälte- und Strombedarfs. Es gilt, dass die Vorgaben des Gesetzes „[...] nach dem Stand der Technik erfüllbar sowie [...] wirtschaftlich vertretbar sein [müssen].“ (GEG, 2020 §5 und §1) Das GEG arbeitet mit einer Bilanz des sog. Gesamtenergiebedarfs, dafür ist es nötig, den Jahres-Primärenergiebedarf zu berechnen. Für Nichtwohngebäude gilt dabei die DIN V 18599 und ihre Nutzungszonen (Siehe §21). Es werden grundsätzliche Unterscheidungen zwischen Neubauprojekten und Bestandsgebäuden getroffen. Erstere sind u.a. als sog. „Niedrigstenergiegebäude“ (Siehe Definitionen) auszuführen und dürfen bestimmte Grenzwerte der thermischen Qualität der Gebäudehülle nicht überschreiten. Außerdem muss ein Anteil des Gebäudeenergiebedarfs aus erneuerbaren Quellen stammen. Das GEG legt für neu zu errichtende Gebäude fest, „[...] dass die Gesamtenergiebilanz von Gebäuden ermittelt wird und [Grenzwerte durch ein Referenzgebäude ermittelt werden]“ (Bohne, 2022, S. 609) Das Referenzgebäude bei Nichtwohngebäuden ist in Anlage 2 zu §18 Absatz1 des GEG beschrieben.

Bei Bestandsgebäuden gilt im wesentlichen, dass Vorgaben des GEG nur anzuwenden sind, sofern eine maßgebliche Änderung oder Sanierung der Außenbauteile oder der TGA erfolgt – z.B. ein Austausch des Wärmeerzeugers. (vgl. §§ 48, 50, 57, 65) Eine Ausnahme, die eine Nachrüstung der Gebäudehülle regelt, ist z.B. der § 47. Außerdem gilt, dass bestehende Anlagen der TGA im Allgemeinen dann nicht verändert werden dürfen, wenn die Änderung zu einer schlechteren energiebezogenen Qualität des Gebäudes führen würde. (vgl. §57)

Im Fall der Änderung bestehender Gebäude, ist laut §50 GEG vorgegeben, dass

„[das] Nichtwohngebäude insgesamt

a) den Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und eingebaute Beleuchtung den auf die Nettogrundfläche bezogenen Wert des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Referenzgebäudes [...] um nicht mehr als 40 Prozent überschreitet und

b) das [...] 1,25fache der Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche [...] um nicht mehr als 40 Prozent überschreitet.“

Es existiert außerdem die Richtlinie „Nachhaltigkeit in Bau und Betrieb von Krankenhäusern“ VDI 5800 Blatt 1, die auch für Rehakliniken Vorbildcharakter haben kann. Die Richtlinie betrachtet die „[...] für die Nachhaltigkeit üblicherweise geltenden Dimensionen „Ökologie“, „Ökonomie“ und „Soziales“ [...]“ (VDI 5800-1, 2020) Diese sind auch für die Betrachtung von Energiekonzepten sinnvoll, die zudem wie in der Praxis üblich über einen Lebenszyklus geplant werden sollten. Ferner schlägt die Richtlinie für viele Versorgungsbereiche von Gesundheitsbauten energetische Optimierungen bzw. Einsparpotentiale vor.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sowohl praktisch als auch gesetzbezogen eine höhere Energieeffizienz im Wesentlichen durch eine höhere Qualität der Gebäudehülle oder durch Änderungen an der Anlagentechnik erzielt werden kann. Letztere können eine gesteigerte Effizienz der Anlagentechnik oder den Ersatz konventioneller durch erneuerbare Energieträger / Abwärme umfassen (geringerer Primärenergiefaktor). Die vorhandenen gesetzlichen Regelungen und finanziellen Anreize fördern den Einsatz erneuerbarer Energien in vielfacher Hinsicht.

## 2.6 BESTANDSANALYSE DER GERIATRIE DRESDEN LÖBTAU



Abb. 3: Untersuchungsobjekt, Ansicht von Nordost

Quelle: (Blobeit, 2007)

Die Geriatrie liegt im dresdener Stadtteil Löbtau in zweiter Bebauungsreihe. Es liegt eine lockere Bebauung in form eine Gruppe aus freistehenden, mehrgeschossigen Gebäuden vor, die die gleiche bauliche Typologie erkennen lassen. Das Gelände ist von alten, hohen Bäumen und großzügigen Grünflächen geprägt, in die die Rehabilitationsklinik eingebettet ist. Vor Ort existiert neben den üblichen Strom- und Wasseranschlüssen das zentrale Fernwärmenetz der DREWAG-Stadtwerke Dresden GmbH (ZFHN). Dieses allein wird derzeit für die Deckung des Heizwärmebedarfs und des Trinkwarmwasserbedarfs benutzt. Das ZFHN wird durch eine Kraft-Wärme-Kopplung gespeist. Es besitzt einen niedrigen Primärenergiefaktor  $f_p$  von 0,30 und einen Emissionsfaktor  $f_{CO_2eq}$  von 0,0 kg/MWh (DREWAG, 2023).

Jedoch wird das Fernwärmenetz zu einem überwiegenden Teil aus Wärmeerzeugern, die mit Erdgas betrieben werden, gespeist. Somit ist es derzeit eingeschränkt geeignet für ein Energiekonzept basierend auf erneuerbaren Energien. Die dresdener Fernwärme ist laut der DREWAG als Ersatzmaßnahme laut GEG zugelassen.

	MWh	Deckungs- anteil <i>DA</i>	Pflicht- anteil <i>PA</i>	Erfüllungs- grad <i>EG</i>
<b>Wärmenetzeinspeisung gesamt</b>	<b>5.581.436</b>			
aus Kraft-Wärme-Kopplung (hocheffizient):	4.858.711	87%		
hiervon aus fossilen Brennstoffen	4.827.660	86%		
hiervon aus Erdgas	4.821.119	86%	50%	173%
hiervon aus Heizöl	6.540	0%	50%	0%
hiervon aus Biogas	18.117	0%	30%	1%
hiervon aus Biomethan	12.934	0%	30%	1%
aus sonstigen Wärmeerzeugern:	722.725	13%		
hiervon aus Solarstrahlung	253	0%	15%	0%
hiervon aus Strom (Power to Heat)	2.100	0%		
hiervon aus Erdgas	701.973	13%		
hiervon aus Heizöl	18.399	0%		
insgesamt aus erneuerbaren Energien	31.304	1%		
<b>Erfüllungsgrad der Fernwärme <i>EG<sub>FW</sub></i></b>				<b>175%</b>

Die Anforderungen des § 44, GEG 2020 an die Fernwärme sind erfüllt?  
"Effiziente Fernwärme" nach EU-Effizienz-Richtlinie?

JA  
JA

Tabelle 3: Bescheinigung über die Energetische Bewertung nach FW 309 Teile 5 & 7 (Ausschnitt)

Quelle: (DREWAG, 2023)

Die Klinik besteht aus einem einzigen Gebäude. Zwei 1891 errichtete, symmetrische, viergeschossige Gebäudeteile umschließen einen neuen Teil, der 2000 errichtet wurde (nachfolgend Neubau) und bis zu fünf Geschosse besitzt. Eine Recherche beim Landesamt für Denkmalpflege Sachsen ergab, dass die historischen Gebäudeteile unter Denkmalschutz stehen. Der Haupteingang des Gebäudes wird durch eine mit Fahrzeugen des Krankentransportes befahrbare Rampe erschlossen. Die Anlieferung von Gebrauchsgütern erfolgt über eine separate Zufahrt und Rampe direkt in das Untergeschoss.

Im Untergeschoss befinden sich v.a. dienende Funktionen, sowie Technikflächen, Maschinenräume, Notstromaggregate, der Hausanschlussraum, sowie die Heizungs- und RLT-Zentrale. Räume der Elektrotechnik liegen in allen Geschossen entlang des Personenaufzugsschachtes.



Abb. 5: Untersuchungsobjekt, Ansicht von Südwest mit Anlieferung im Untergeschoss

Quelle: Georg Thomaschvili



Abb. 4: Befahrbare Rampe am Eingang und Nordwestfassade Neubau

Quelle: Georg Thomaschvili

Nachfolgend eine kurze Beschreibung der maßgebenden Nutzungen: Die Klinik führt 82 Betten und umfasst vorwiegend Normalpflegestationen mit Zweibettzimmern und einigen Einbettzimmern zur stationären Versorgung geriatrischer Patient\*innen. Daran angegliedert sind Räume zur Untersuchung und Diagnostik, zur Behandlung, Räume der Psychologie, Ergo- und Physiotherapie, Logopädie, der Sozialdienste und der Seelsorge. Zur Klinik gehören außerdem ein akutgeriatrischer Bereich und ein tagesklinischer Bereich (ambulante Versorgung). Im Untergeschoss liegen Räume der Physiotherapie, sowie die Bäderabteilung. Im Erdgeschoss befindet sich der tagesklinische Bereich, Räume der Diagnostik, Küchen und die Cafeteria. Im 1. bis 3. Obergeschoss liegen die Normalpflegestationen. Im 4. Obergeschoss befinden sich Räume der Physiotherapie, des Lauftrainings und des Sozialdienstes. Auf allen Geschossen verteilt liegen zudem Räume mit dienenden Funktionen, Büros, Lager, etc. Das detaillierte Raumprogramm ist der Abb 7 sowie den Grundrissen im digitalen Anhang zu entnehmen.

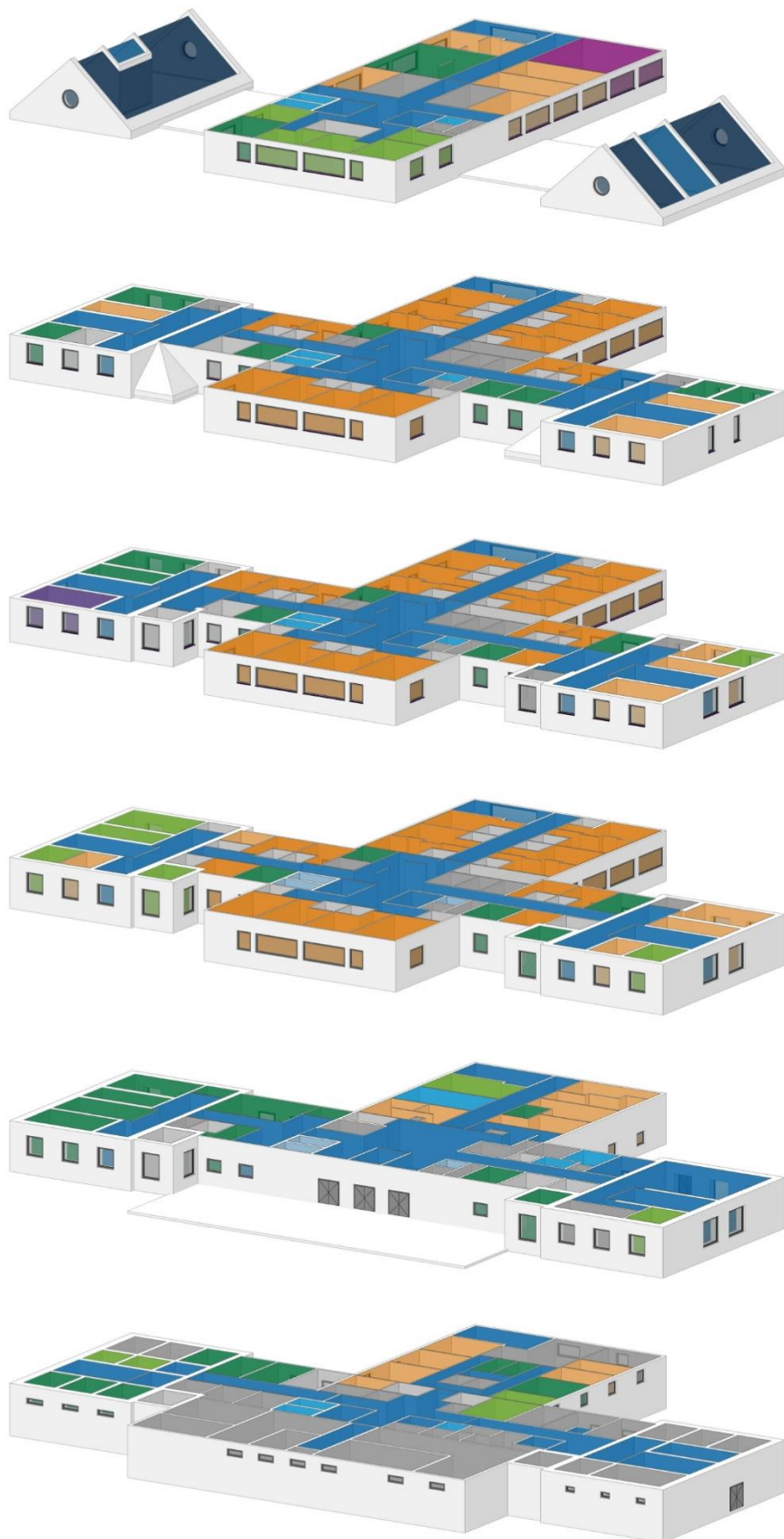


Abb. 6: Explosionsisometrie mit Einteilung der Nutzungszonen (Legende Siehe Abb. 7). Eigene Darstellung.



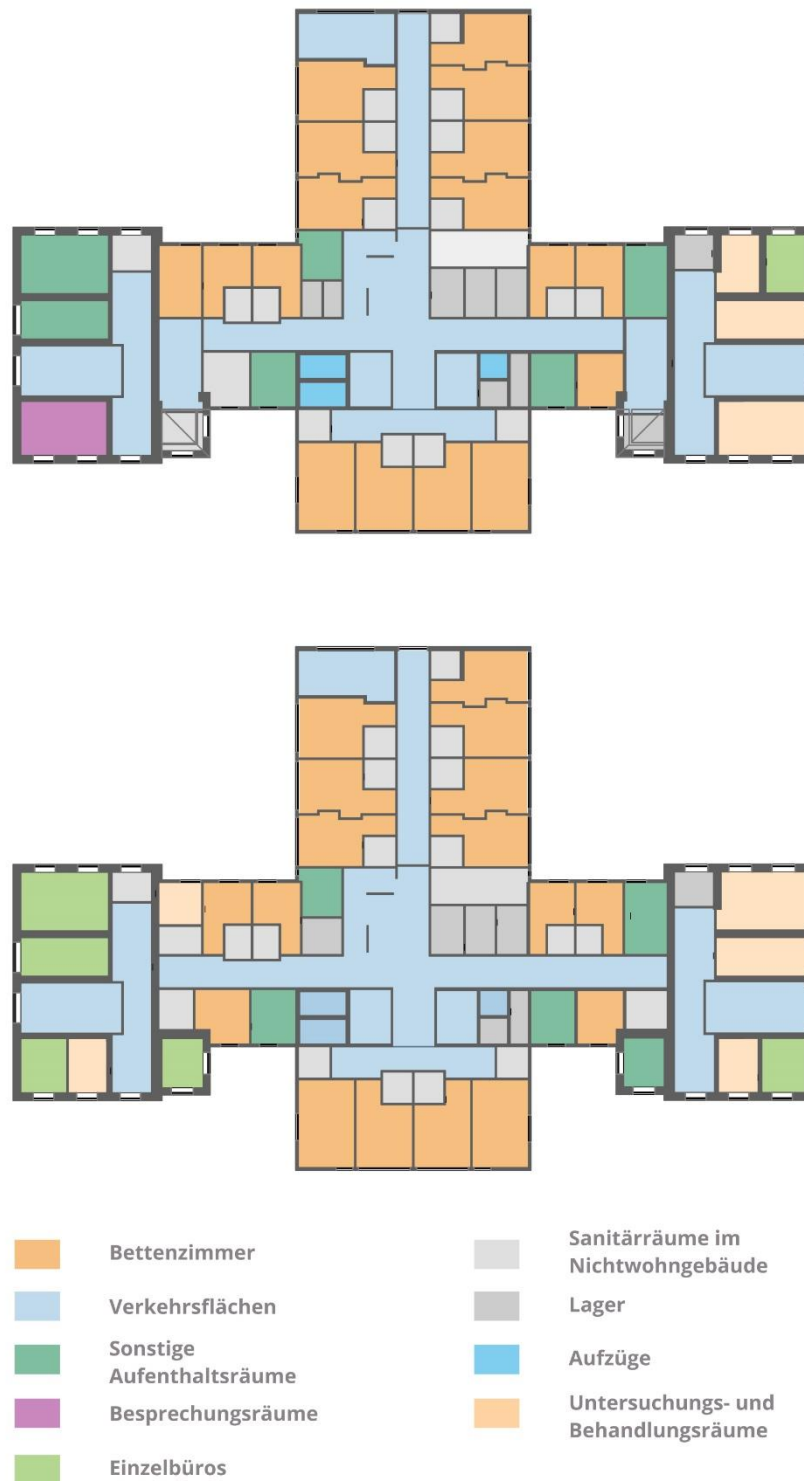


Abb. 7: Regelgeschosse mit beispielhafter Zuordnung der Nutzungszonen. Eigene Darstellung.





Vorige Seite: Abb. 8: Exemplarisches Patientenzimmer. Ein hoher Anteil freier Fensterlüftung war bei der Ortsbegehung zu sehen. Abb. 9: Fassadenoberfläche und Verschattungselemente des Neubaus. Unteransicht. Quelle: Georg Thomaschvili

Nachfolgend wird die Konstruktion des Gebäudes beschrieben. Zu den Konstruktionen der denkmalgeschützten, historischen Gebäudeteile konnten keine Unterlagen ausfindig gemacht werden, es existieren nur mündliche Angaben der Bauabteilung des Krankenhausträgers. Daher erfolgen Annahmen, die aufgrund des Informationsstandes, epochentypischer Merkmale und Beobachtungen nach einer Ortsbegehung zu erwarten sind. Die historischen Gebäudeteile sind kompakt und in schwerer Massivbauweise errichtet, mit z.T. 80 cm dicken Außenwänden. Diese bestehen aus ungedämmtem, verputztem Ziegelmauerwerk, dessen Wanddicke mit zunehmender Geschosshöhe abnimmt. Die Außenwände haben ca. 2,5 m hohe Holz-Verbundfenster in einer Lochfassade, es gibt keine außenliegende Verschattung. Über die Geschosdecken ist nur bekannt, dass sie keine Flächenheizung besitzen. Die oberste Geschosdecke ist zudem

nicht gedämmt. Epochentypisch schließt sich ein Schrägdach mit einem Holzdachstuhl und einer Ziegeldeckung an. Für alle Außenbauteile sind im Vergleich zu heutigen Standards der Bauweise hohe U-Werte und somit Transmissionswärmeverluste anzunehmen. Jedoch ist durch die massive Bauweise der Wände eine große thermische Speichermasse vorhanden, die eine hohe thermische Pufferwirkung gegenüber Schwankungen im Außenklima erwarten lässt.

Der Neubau besitzt einen viergeschossigen Grundkörper, der die beiden historischen Gebäudeteile verbindet. In diesem Grundkörper liegt ein fünfgeschossiger Flügel, der nach Südosten herausragt und dadurch eine weniger kompakte Kubatur erzeugt. Der Neubau ist als Stahlbetonskelettkonstruktion ausgeführt. Die Außenwand besteht aus einer Betonkonstruktion mit außenliegender Glaswolle-Dämmung, an die sich eine hinterlüftete Vorhangfassade mit einer Oberfläche aus Glaspaneelen anschließt. In der Fassade befinden sich Fensterbänder aus öffnbaren Stahlfenstern mit Wärmeschutzisolierverglasung. Vor den Fassadenöffnungen befinden sich kippbare Glaslamellen, die ursprünglich den Sonnenschutz gewährleisten sollten.

Diese sind jedoch defekt, stattdessen werden manuell zu bedienende Jalousien in der Rauminnenseite verwendet. Dadurch sind erhöhte Strahlungswärmelasten in den an der Fassade liegenden Räumen zu erwarten. Zusätzlich zu den Fensterbändern findet sich am nördlichen Treppenhaus gelegen eine großflächige Verglasung über vier Geschosse. Der Neubau besitzt Geschossdecken aus Stahlbeton mit einer Fußbodenheizung und wird durch nach dem Stand der Technik gedämmte Flachdächer abgeschlossen. Die Dachfläche des viergeschossigen Grundkörpers ist begehbar, dient der Bewegung im Freien und besitzt dafür einige Sportgeräte. Das Dach des fünfgeschossigen Flügels ist nicht begehbar und besitzt eine Funkantenne. Die Außenkonstruktionen des Neubaus sind nach einem relativ modernen Stand der Technik gedämmt, somit resultieren geringere Wärmeverluste als bei den historischen Gebäudeteilen. Es ist dennoch zu erwarten, dass der allseitige, großflächige Einsatz von Glas in der Fassade im Sommer hohe Transmissionswärmegewinne fördert. Zudem sind die Außenwände deutlich dünner als beim historischen Gebäudeteil, somit ist auch eine geringere thermische

Speichermasse vorhanden und Temperaturschwankungen sind wahrscheinlicher. Konstruktive Details des Neubaus befinden sich im digitalen Anhang.

Nachfolgend werden anlagenbezogene Charakteristika beschrieben. In beiden Gebäudeteilen wurden statische Heizkörper verbaut, im Neubau existieren wie oben erwähnt zusätzlich Fußbodenheizungen. Die TWW- und Wärmebereitstellung erfolgt zentral über den Fernwärme-Anschluss mit Wärmeübergabestation. Für die TWW-Bereitung existiert ein Speicherladesystem. Bei dem TWW-Rohrleitungsnetz sind Zirkulationsleitungen mit einer zusätzlichen elektrischen Rohrbegleitheizung installiert. Somit wird Wasser im System permanent umgewälzt, dabei in Wärmeerzeugern bzw. Speichern erwärmt und steht an allen Zapfstellen jederzeit mit der geforderten Mindesttemperatur zur Verfügung. (vgl. Bohne, 2022, S. 182) „Zirkulationsleitungen können dazu beitragen, ein Wachstum von Legionellen in Trinkwasserleitungen bei Anlagen mit ausgedehnten Leitungsnetzen zu vermindern [...]“.(Bohne, 2022, S. 183) Eine grafische Darstellung des gemessenen Endenergiebedarfs an Wärme ist im Kapitel „Simulation des Ist-Zustandes“ im Unterkapitel „Ergebnisse“ abgebildet. Der gesamte jährliche Bedarf an Wärmeenergie beläuft sich auf ca. 630 MWh.

Im Gebäude ist eine RLT-Anlage mit einer integrierten Kältemaschine mit einer Nennleistung von 83 kW installiert. Diese übernimmt die Frischluftversorgung und die Konditionierung der Zuluft. Es ist eine Wärme-, jedoch keine Kälterückgewinnung installiert. Für den Betrieb der Lüftungsanlage (RLT) existiert kein Zeitplan, sodass ein durchgehender Betrieb der beiden Ventilatoren mit insgesamt 29,1 kW angenommen werden muss. Bei der Begehung am 23.06.2023 war auch festzustellen, dass ein großer Teil der Fenster im Neubau geöffnet war, ein Anteil des Luftwechsels also parallel durch freie Lüftung erfolgte. Es ist aus mehreren Gründen von einem erhöhten Kühlbedarf der Patient\*innenzimmer auszugehen, da keine außenliegende Verschattung verfügbar ist – allenfalls eine innenliegende, die durch manuelle Jalousien realisiert wurde. Dies bedingt höhere solare Wärmegewinne in den Räumen und wird durch die Effekte der Klimaerwärmung weiter verstärkt.

Die geriatrische Versorgung der Klinik ist geprägt durch einen einfachen Stationsbetrieb. Spezialisierte Bereiche wie Intensivpflegestationen oder OP-Bereiche einschließlich der

dafür nötigen hausinternen Sterilisationen fehlen. Die Geriatrie arbeitet bei der eigentlichen Diagnostik und Therapie mit vergleichsweise wenigen, lediglich grundlegenden medizinischen Geräten, deren Betriebszeiten zudem überschaubar sind. Beispielsweise kommen neben der üblichen IT-Infrastruktur (PC's, Server, etc.) Ultraschall-, EKG-Geräte oder Bestrahlungsgeräte der physikalischen Therapie zum Einsatz, der häufig eine Stunde nicht überschreitet. Diese Umstände bewirken einen für Krankenhäuser vergleichsweise geringen Strombedarf von ca. 590 MWh.

<b>Verbraucher</b>	<b>Leistung</b>
Rampenheizung	43 kW
Zwei Bettenaufzüge	Je 23 kW
Personenaufzug	15 kW
Ultraschall-Geräte	Je 750 W
Bestrahlungsgeräte physikalische Therapie	Je 500 W

Tabelle 4: Auflistung maßgebender Strombedarfe der Geriatrie (insgesamt).

In Tab. 4 sind maßgebende Leistungen des Gebäudebetriebs aufgeführt, eine grafische Darstellung des gemessenen Stromverbrauchs ist im Kapitel „Simulation des Ist-Zustandes“ im Unterkapitel „Ergebnisse“ dargestellt. Der größte eigenständige Teil des Strombedarfes entfällt laut der Aussage des Trägers auf die Nutzung der zwei Bettenaufzüge. Zudem ist in Frostperioden eine Rampenheizung für die Enteisung der zuführenden Rampe des Erdgeschosses der Klinik aktiv. Tagsüber ist die Beleuchtung in den Verkehrsflächen stets aktiv, die restliche Beleuchtung ist bedarfsabhängig und wird durch die Nutzer gesteuert. Nachtsüber ist eine reduzierte Beleuchtung aktiv, v.a. in den durch das Personal genutzten Bereichen (z.B. Schwesternstützpunkt).

Bestimmte Aspekte des Energiebedarfs können durch die Tagesabläufe der Patient\*innenversorgung beeinflusst werden – so z.B. der Strombedarf: Der Tagesablauf in den Bettenzimmern ist durch die medizinischen Abläufe festgelegt und sieht vereinfacht wie folgt aus: Die Patient\*innen werden zur morgendlichen Pflege um ca 7 Uhr geweckt. Die Körperwäsche findet bei den auf Hilfe angewiesenen Patient\*innen

zwischen 7:30 und 8:30 Uhr statt. Im Tagesverlauf verteilt finden Visiten und Untersuchungen durch das ärztliche Personal statt. Im Zeitkorridor zwischen 9:00 und 14:00 werden die Patient\*innen vom Personal der Physiotherapie mobilisiert und versorgt. Die Besuchszeiten für Angehörige liegen in den Nachmittagsstunden. Auch finden die Tätigkeiten des Personals hauptsächlich tagsüber statt und beanspruchen dabei z.B. die IT-Infrastruktur oder die Frequenz der Aufzugsfahrten. Somit resultiert ein tagsüber erhöhter Bedarf an Strom.

## 2.7 NUTZUNGSANFORDERUNGEN

Die Bettenzimmer sind rund um die Uhr belegt und das Personal arbeitet in entsprechenden Schichten - an jedem Jahrestag. Aufgrund der angespannten Lage um die Verfügbarkeit von Rehaklinik-Plätzen und aus gesundheitswirtschaftlichen Gründen wird von einer stetigen Vollbelegung aller Betten des Hauses und einem über das Jahr weitgehend konstanten Strom- und TWW-Bedarf ausgegangen. Da die vorliegende Gebäudenutzung der Patient\*innenversorgung dient, sind bestimmte Mindeststandards bei der Raumklimatisierung und Energieversorgung unumgänglich. Dies umfasst z.B. eine immer in gleichbleibender Qualität verfügbare, angemessene Temperierung und Lüftung der Bettenzimmer. Auch muss allzeit Trinkwarmwasser und Strom zur Deckung des Bedarfes vorhanden sein. Dies setzt die zuverlässige Verfügbarkeit von Energie voraus und muss auch bei der Planung eines erneuerbaren Energiekonzeptes berücksichtigt werden.

Der Stromverbrauch der Geriatrie muss durch das Energiekonzept ebenfalls vollumfänglich abgedeckt werden, die Verfügbarkeit von Strom muss für einen reibungslosen Klinikbetrieb zu jeder Zeit sichergestellt werden. Somit dürfen auch Diskrepanzen zwischen Angebot an erneuerbaren Energiequellen und dem Energiebedarf nicht zu Einschränkungen in den Nutzungsabläufen führen. Es sind in Kliniken üblicherweise Notstromaggregate und ggf. Batteriespeicher vorhanden, um kurze Stromausfälle überbrücken zu können. Dennoch sollte auch ein auf erneuerbaren Energiequellen basierendes Versorgungskonzept eine ausreichende Netzstabilität gewährleisten.

Die DIN V 18599 befasst sich mit der „[...] Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“. (DIN V 18599-10, 2018) Eine Kliniknutzung stellt spezifische Anforderungen an das Raumklima, die in Teil 10 der DIN V 18599 angegeben sind. Die dort beschriebenen Nutzungsprofile definieren spezifische Bereiche, die durch Ihre Nutzungsart differenziert werden können. Dies sind bspw. Verkehrsflächen und Bettenzimmer (Patient\*innenzimmer). Die Nutzungsprofile legen dabei Ziel-Parameter fest- z.B. Ziel-



Temperaturen und Mindestaußenluftwechselraten. Außerdem werden charakteristische Einflussgrößen des Raumklimas angegeben - z.B. übliche innere Wärmelasten und Nutzungszeiten. Kliniken können zwar eigene, strengere Kriterien festlegen, dies ist jedoch im Fall der Geriatrie nicht erfolgt. Daher wurden die Anforderungen der zutreffenden Nutzungsprofile in der DIN V 18599 Teil 10 für die Simulation der Geriatrie übernommen (Siehe Kapitel „Simulation des Ist-Zustandes“, Unterkapitel „Arbeitsschritte“). Im Fall der Mindestaußenluftvolumenströme wurden basierend auf den Vorgaben der Norm Mindest-Luftwechselraten in der im Anhang beigefügten Excel-Datei „Berechnungen“ ermittelt.

In der Geriatrie liegen Normalpflegestationen vor, d.h. gewöhnliche, allgemeine Pflegebereiche. Hierfür sind keine besonderen hygienischen Anforderungen an die Luftaufbereitung festgelegt. Für Krankenhäuser gibt es zusätzlich zur DIN V 18599 weitere Regelwerke. Darunter ist die DIN 1946 Teil 4 für „[...] Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden [...] des Gesundheitswesens“ und Leitlinien (z.B. die Leitlinie für RLT in Krankenhäusern). (DIN 1946 -4, 2018), (vgl. Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V., 2023) Letztere sieht keine über die DIN V 18599 Teil 10 hinausgehenden hygienischen Anforderungen an den Lüftungsbetrieb in Normalpflegestationen vor, lediglich sollten unreine Arbeitsräume mit einer ausreichend dimensionierten Entlüftung ausgestattet sein.

Für die TWW-Erwärmung gilt das Arbeitsblatt W 551 des DVWG als anerkannte Regel der Technik. Das TWW im Kontext einer zentralen Warmwasserversorgung in einer Klinik und insbesondere einer Geriatrie ist der thermischen Desinfektion zu unterziehen. Es muss damit gerechnet werden, dass Patient\*innen mit einer geschwächten Immunabwehr, was im geriatrischen Kontext häufig vorliegen kann, empfindlich für Krankheitserreger z.B. aus dem Trinkwassernetz sind. Gleichzeitig stellen „[...] Gebäude mit weitverzweigten Warmwassernetzen wie Hotels und Krankenhäuser [...]“ Risikobereiche für eine Legionellenausbreitung dar. (Bohne, 2022, S. 184) Die Mindesttemperatur des Warmwassers an der Zapfstelle und im gesamten Vorlauf-Strang sollte daher 60 °C betragen.

Die Geriatrie operiert derzeit mit einer Warmwassertemperatur von 70°C. Dies reduziert die Überlebensdauer von Legionellen zusätzlich und wird in der vorliegenden Arbeit als fixe Größe für die Energiekonzepte gewählt. (vgl. Bohne, 2022, S. 184)

## 2.8 GEBÄUDE- UND NUTZUNGSEIGENSCHAFTEN BEI SIMULATIONEN

Für die Aufstellung eines Energiekonzeptes werden energetische Kennwerte, wie z.B. der Jahres-Heizenergiebedarf benötigt. Man kann diese Kennwerte bei Nichtwohngebäuden einerseits „manuell“ oder mittels einfacher, stationärer Softwarelösungen gemäß der DIN V 18599 und dem GEG berechnen. Eine Alternative sind Gebäudesimulationen, die eine dynamische, instationäre Betrachtung der gesamten energetisch relevanten Parameter durchführen. Dabei wird ein Modell des Gebäudes nach Art eines digitalen Zwillings erstellt.

Die Gebäudesimulation ist einerseits aufgrund der Komplexität des Untersuchungsobjektes und seiner zahlreichen Nutzungszonen gewählt worden. Herkömmliche Berechnungen – z.B. nach der DIN V 18599 bieten nicht die notwendige Detaillierung und wären zu aufwändig. Die Verfahren basierend auf der DIN V 18599 bspw. resultieren in einem hohen Rechenaufwand mit einer entsprechenden Fehleranfälligkeit und einer geringeren Genauigkeit im Vergleich zur Gebäudesimulation. Nur durch eine Gebäudesimulation können bei dem vorliegenden Objekt ausreichend Parameter mit ihren Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Außerdem können energetische Parameter in ihrem zeitlichen Verlauf (z.B. stündliche Werte) dargestellt werden. Dies ermöglicht es, Effekte zu erkennen, die z.B. mit einer stationären Berechnung des Energiebedarfs nach der DIN V 18599 nicht dargestellt werden könnten. Dies ist bedeutend – v.a. angesichts der Tatsache, dass bei erneuerbaren Energieerzeugern häufig Energieangebot und -Bedarf zeitlich auseinanderliegen.

Dadurch kann die an die Simulation anschließende Wahl von Energieerzeugungssystemen und Anlagentechnik spezifischer als bei herkömmlichen Rechenverfahren erfolgen und es können Lösungen für die konstante Bereitstellung von Energie ausgearbeitet werden. Eine Simulation bedeutet jedoch zu Beginn einen großen Eingabeaufwand bzw. Datenumfang.

## 3 HAUPTTEIL

### 3.1 SIMULATION DES IST-ZUSTANDES

#### 3.1.1 Rahmenbedingungen

Unter Berücksichtigung der Parameter aus den Abschnitten „Bestandsanalyse“ und „Nutzungsanforderungen“ werden in der Gebäudesimulation die erforderlichen Energiebedarfe für den aktuellen Zustand des bestehenden Gebäudes ermittelt. Die erforderlichen Eingaben in SIM-VICUS werden im folgenden Kapitel ausführlich erläutert. Die detaillierten Eingaben für Nutzungsprofile und Bauteile sind im Anhang aufgeführt und in den SIM-VICUS-Projektdateien im digitalen Anhang enthalten.

Das Außenklima am Standort der Geriatrie wurde mithilfe einer vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bezogenen Datei in SIM-VICUS abgebildet. Diese Datei enthält Klimadaten für das Testreferenzjahr (TRY) 2017 am Standort Dresden Löbtau, wobei die Bezugskordinaten im World Geodetic System 1984 (WGS84) bei 51,0523° N und 13,7160°O liegen. Es handelt sich hierbei um Klimadaten eines exemplarischen Jahres nach Einschätzung des DWD.

#### 3.1.2 Arbeitsschritte

Zunächst wurde das Bestandsgebäude in der CAD-Software Archicad 26 dreidimensional modelliert und als IFC-Datei (Industry Foundation Classes) exportiert. Da die Simulation in SIM-VICUS eine eigene Parametrierung des Modells verlangt, wurden zur Vereinfachung in der CAD-Software ausschließlich Wände, Decken- und Bodenplatten, Dächer und Fenster als Bauelemente verwendet. Der Schwerpunkt dieses Arbeitsschrittes lag darin, ein sauber gezeichnetes, kongruentes Gebäudemodell mit einer korrekten Indizierung der Bauteile zu erzeugen.

Andernfalls könnten Schwierigkeiten bei dem Einlesen der IFC-Datei in SIM-VICUS resultieren. Besondere Herausforderungen waren an dieser Stelle programminterne Probleme bei einigen Zeichenwerkzeugen des CAD-Programms in Verbindung mit nicht exakt orthogonalen Original-Plangrundlagen.

Im nächsten Schritt wurde die exportierte IFC-Datei in SIM-VICUS eingelesen. Dort wurden die Bauteile des Gebäudemodells anschließend konstruktiv definiert, ihnen wurden Randbedingungen sowie physikalische Beziehungen zugewiesen. Die genauen Definitionen der Bauteile sind im Anhang als Tabelle und im digitalen Anhang in der SIMVICUS-Projektdatei angefügt. Für die Ermittlung der Randbedingungen, die die Ermittlung der Wärmeübergangswiderstände einschließt, wurde die Norm DIN EN ISO 6946 mit ihrer Berichtigung verwendet.

Anschließend wurden alle Räume des Gebäudemodells folgenden Nutzungszonen gemäß der DIN V 18599 Teil 10 zugeordnet:

- Besprechungsräume
- Bettenzimmer
- Sanitärräume im Nichtwohngebäude
- Untersuchungs- und Behandlungsräume
- Lager
- Verkehrsflächen
- Sonstige Aufenthaltsräume
- Küchen in Nichtwohngebäuden
- Einzelbüros

Modifizierte Nutzungszonen wurden für Aufzüge und die Kaltdächer der historischen Gebäudeteile, sowie für simulationsinterne Zwecke eingerichtet.

Bei der Parametrierung der Nutzungszonen in SIM-VICUS wurden die in das Programm integrierten Anforderungen der gleichnamigen Nutzungsprofile der DIN V 18599 Teil 10 übernommen. Diese Normwerte umfassen einen großen Teil der für die Gebäudesimulation relevanten Parameter. Für die Betrachtung im Rahmen einer Diplomarbeit sind diese Werte geeignet, da die Genauigkeit ausreichend ist und der Aufwand für Messungen von Betriebsparametern vor Ort zu groß wäre. Bei den folgenden Bezugnahmen auf Werte sind – sofern nichts anderes genannt wird – immer die durch SIM-VICUS vorgegebenen Werte und ihre zeitlichen Verläufe gemeint.

Nachfolgend wird das Vorgehen dabei anhand wesentlicher Kategorien von Anforderungen beschrieben: Für die meisten Nutzungszonen wurden für die internen Lasten (elektrische, Personen- und Beleuchtungslasten), sowie für die Thermostat-Sollwerte (Heiz- und Kühlsollwerte) die in SIM-VICUS vorhandenen Werte und deren zeitlichen Verläufe (Zeitpläne) eingegeben. Die eingegebenen Personenlasten berücksichtigen außer in den Küchen und Verkehrsflächen eine metabolische Aktivitätsrate von 70 W sensibler Wärme gemäß der DIN V 18599. Dieser Wert wurde gewählt, um die geringe körperliche Aktivität in den meisten Nutzungszonen abzubilden. Bei den Verkehrsflächen hingegen ist eine erhöhte körperliche Aktivität, z.B. durch Bettenschieben, berücksichtigt worden (Siehe SIM-VICUS-Projektdatei).

Nachfolgend ein Beispiel für die Anforderungen an die Ziel-Temperaturen in den Bettenzimmern. Aus dem entsprechenden Nutzungsprofil der DIN 18599 Teil 10 ergeben sich eine Mindesttemperatur von 21 °C und eine Maximaltemperatur von 24°C. Diese werden in SIM-VICUS in der Thermostatsteuerung der zugehörigen Nutzungszone eingetragen. Diese Werte sollen durchgängig eingehalten werden, es gibt keine Nachtabsenkung. Daher ist auch im Zeitplan der Thermostatsteuerung eine stets konstante Temperatur vorgegeben worden. Für die übrigen Nutzungszonen wurde entsprechend verfahren (Siehe Anhang). Die Temperierung wurde dabei wie folgt angenommen: Ein lufttemperaturgeführtes Thermostat steuert die Beheizung mit tageszeitlichen Unterschieden. Falls nötig, werden die betreffenden Räume von 4:00 bis 18:00 auf Zieltemperaturen von 21°C beheizt oder auf 24°C gekühlt.

Zwischen 18:00 und 4:00 kann das Temperaturniveau in diesen Räumen entweder auf 17°C sinken oder auf 28°C steigen. Somit wird vereinfacht eine nächtliche Temperaturabsenkung bzw. -anstieg berücksichtigt. Außerdem werden Heiz- und Kühlgrenzen für alle Nutzungszonen festgelegt. Dies sind Maximalleistungen, die in den zuständigen Heiz- / Kühlsystemen installiert sind und an die Räume abgegeben werden können.

Lüftungsanforderungen werden auch in den Nutzungsprofilen der DIN V 18599 Teil 10 festgelegt. Dies sind z.T. lediglich Vorgaben eines flächenbezogenen Mindestaußenluftvolumenstroms. Das Eingabeformat in SIMVICUS sieht jedoch Luftwechselraten (1/h) vor. Daher wurden die Werte der DIN V 18599 Teil 10 für jede Nutzungszone in Mindestluftwechselraten umgerechnet. Für Bettzimmer ist dies z.B. eine Luftwechselrate von 1,4 1/h. Für die übrigen Nutzungszonen wurde entsprechend verfahren (Siehe Excel-Datei „Berechnungen“). Zur Nachbildung der bereits in der RLT der Geriatrie installierten Wärmerückgewinnung wurde angenommen, dass 80 % der Wärme der Abluft zurückgewonnen werden können. Somit wurden in einem weiteren Schritt die ermittelten Luftwechselzahlen mit dem Faktor  $(1 - 0,8)$  multipliziert. Die somit errechneten Luftwechselzahlen wurden schließlich im Eingabefeld „natürliche Belüftung“ in SIM-VICUS eingegeben. Für die Infiltration wurde für das gesamte Gebäude zu jedem Zeitpunkt ein Standardwert der Luftwechselrate von 0,2 1/h angenommen (gemäß DIN 2067 -10). Dies gilt entsprechend für alle Nutzungsprofile und wird nachfolgend nicht mehr gesondert erwähnt.

Die Verschattungseinstellungen wurden für alle Nutzungszonen stark vereinfacht festgelegt, da ohnehin nur eine manuelle Verschattung vorhanden ist, zu deren Effekten keine Messwerte existieren: Ab einer solaren Einstrahlung von 200 W auf die betreffende Fassadenfläche wird die Verschattung aktiviert, unterhalb von 50 W wird sie deaktiviert.

Um die Leistungen der Aufzüge, Rampenheizung und RLT zu berücksichtigen, wurden Werte durch eine vereinfachte Excel-Berechnung ermittelt und anschließend als elektrische Lasten in die eigens dafür definierte Nutzungszone „Simulationszwecke“ des Gebäudemodells in SIM-VICUS integriert.

Für diese Werte wurde eine elektrische Leistung aus der Nutzung der Aufzüge, der Rampenheizung und der Ventilatoren der RLT-Anlage angenommen. Die Leistung der Ventilatoren soll vereinfacht die Gesamtleistung der RLT-Anlage widerspiegeln. Die Ermittlung der o.g. Lasten ist in der beiliegenden Excel-Datei „Lastermittlung“ aufgeführt. Anmerkung: Bei der Auswertung der Gebäudesimulation ist ein Fehler bemerkt worden, der jedoch nur in der Excel-Tabelle „Lastermittlung“ und „Auswertung“ korrigiert werden konnte, nicht jedoch in der SIM-VICUS-Datei. Die betreffenden Anmerkungen sind an entsprechender Stelle vermerkt.

Nach der Parametrierung des Gebäudemodells erfolgt eine vorläufige Simulation des bestehenden Gebäudes und eine Auswertung in POST-PROC, der in SIM-VICUS integrierten Auswertungsoberfläche. Dort wurden zunächst die Raumtemperaturen überprüft und Räume identifiziert, die die Ziel-Temperaturen nicht einhalten. Anschließend wurden die Heiz- und Kühlgrenzen dieser Räume in SIM-VICUS in weiteren Simulations-Probelaufen iterativ angepasst, bis die Temperaturanforderungen der Räume weitgehend eingehalten wurden.

Dann erfolgte die finale Simulation des Ist-Zustandes der Geriatrie. Parallel dazu wurde im Excel-Dokument „Auswertung“ der Jahres-Wärmebedarf und der Jahres-Elektroenergiebedarf der Geriatrie errechnet. Für den Jahres-Wärmebedarf wurde ein TWW-Bedarf in Excel-Dokument „Berechnungen“ ermittelt.

Schließlich wurde eine grobe Validierung des Jahres-Wärmebedarfs und des Jahres-Elektroenergiebedarfs des Gebäudemodells durchgeführt, indem sie mit den in Realität gemessenen Strom- und Fernwärme-Bedarfen der Geriatrie abgeglichen wurden. Dies wird im Nachfolgenden Unterkapitel näher beschrieben.



### 3.1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Jahressimulation der Geriatrie sind im Folgenden aufgeführt und mit aus POSTPROC2 ausgelesenen Diagrammen belegt. Durch die Simulation wurden das thermische Verhalten der Gebäudehülle und der Einfluss von zu erwartenden elektrischen und thermischen Lasten betrachtet. Somit wurden Einflüsse von Transmission, Lüftungswärmeverlusten, solaren und internen Wärmegewinnen betrachtet. Auf Grundlage der Ausgabedaten der Simulation konnten im Nachgang durch eine Excel-basierte Betrachtung (Siehe Anlage „Auswertung“) Elektroenergieverbräuche und Lastverläufe in ihrem zeitlichen Verlauf ermittelt werden. Die Elektroenergieverbräuche der RLT-Anlage, der Aufzüge und der Rampenheizung, sowie eine nächtliche Absenkung / Anstieg der Raumtemperaturen vieler Nutzungszonen wurden vereinfacht berücksichtigt. Bei dieser Simulation wurde jedoch noch nicht der Einfluss von regenerativen Energieerzeugern, wie z.B. einer PV-Anlage, berücksichtigt.

#### Temperaturen

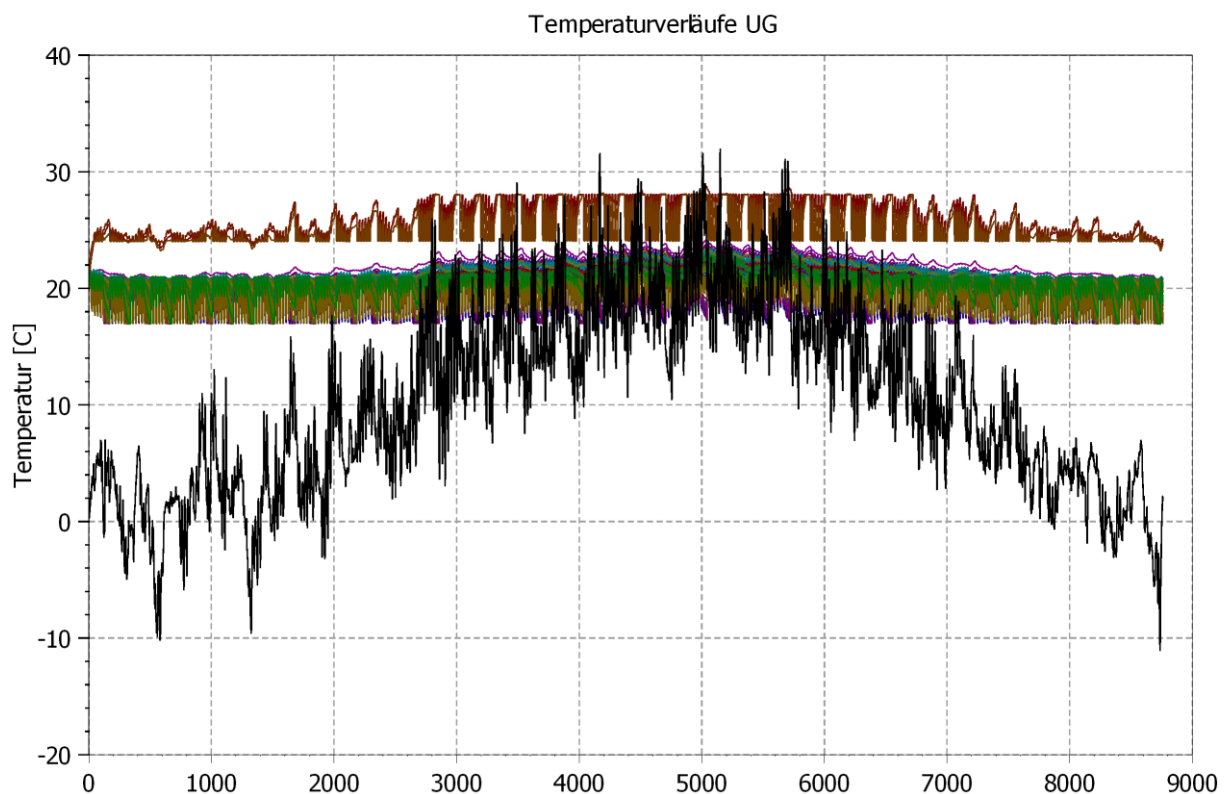


Abb. 10: Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im Untergeschoss. Die X-Achse stellt die Stunden des Jahres dar [h]. Die schwarze Kurve zeigt die Außenlufttemperatur.

Der Temperaturverlauf des Untergeschosses (Siehe Abb. 8) zeigt, dass die Mehrzahl der Räume bei den angenommenen Lasten ganzjährig in einem Bereich von 17 °C bis ca. 24°C liegt. Die im Unterkapitel „Arbeitsschritte“ beschriebene, gesonderte Nutzungszone zur Berücksichtigung der elektrischen Lasten der RLT, Aufzüge und Rampenheizung ist der Heizungs-Raum im Untergeschoss. Durch diese Lasten hat dieser Raum höhere interne Wärmegewinne und liegt in einem erhöhten Temperaturkorridor von 23°C bis 28°C. In der realen Situation fallen diese Wärmegewinne nicht in einem Raum, sondern verteilt über das Gebäude, z.T. auch den Außenraum an.

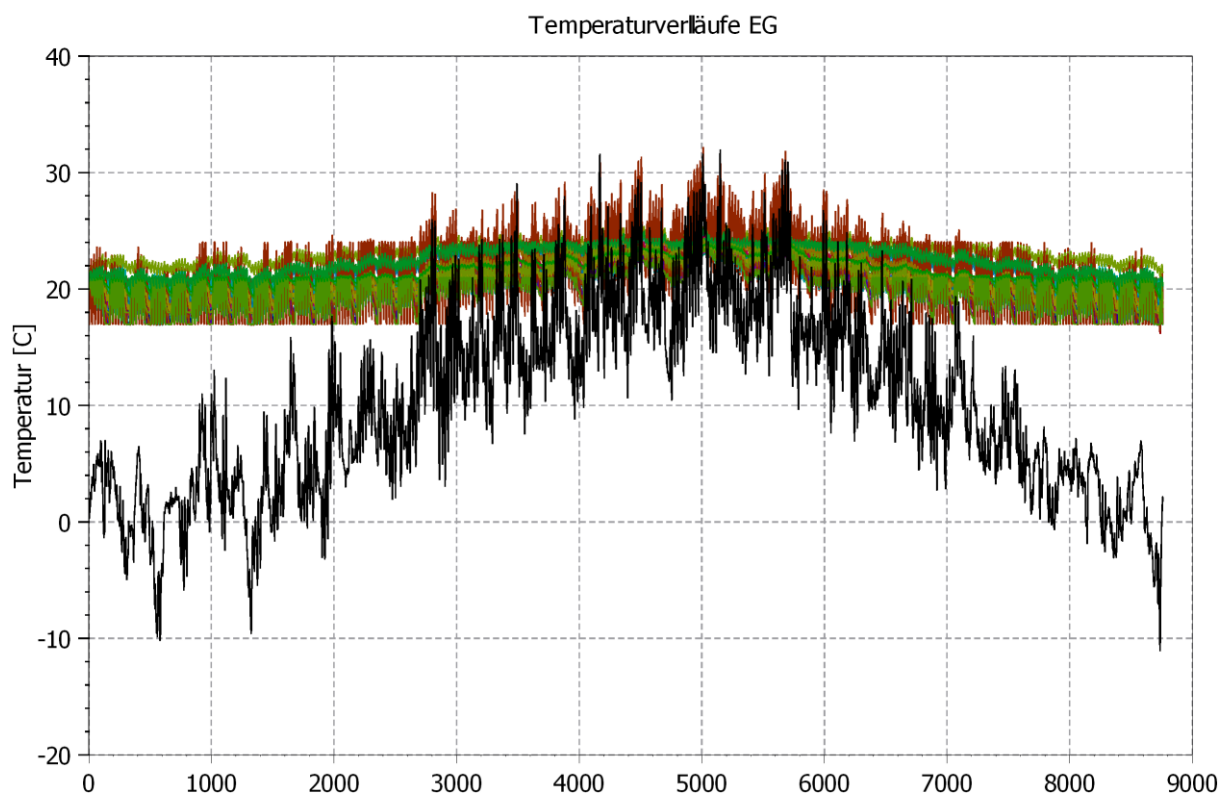


Abb. 11: Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im Erdgeschoss. Die X-Achse stellt die Stunden des Jahres dar [h]. Die schwarze Kurve zeigt die Außenlufttemperatur.

Der Temperaturverlauf des Erdgeschosses (Siehe Abb. 9) bewegt sich zwischen 17°C und 33°C. Einige Räume folgen in den Sommermonaten stark und mit wenig Zeitverzug der Außenlufttemperatur bis auf deren maximale Werte. Diese Räume könnten also Probleme mit dem sommerlichen Wärmeschutz oder eine für die anfallenden Wärmelasten unterdimensionierte Kühlleistung besitzen. Hohe interne Wärmegewinne sind in den Küchen zu erwarten, da besonders hohe Wärmelasten aus der Nutzung der elektrischen Geräte angenommen wurden. Dadurch könnten diese Räume im Sommerfall überhitzen.

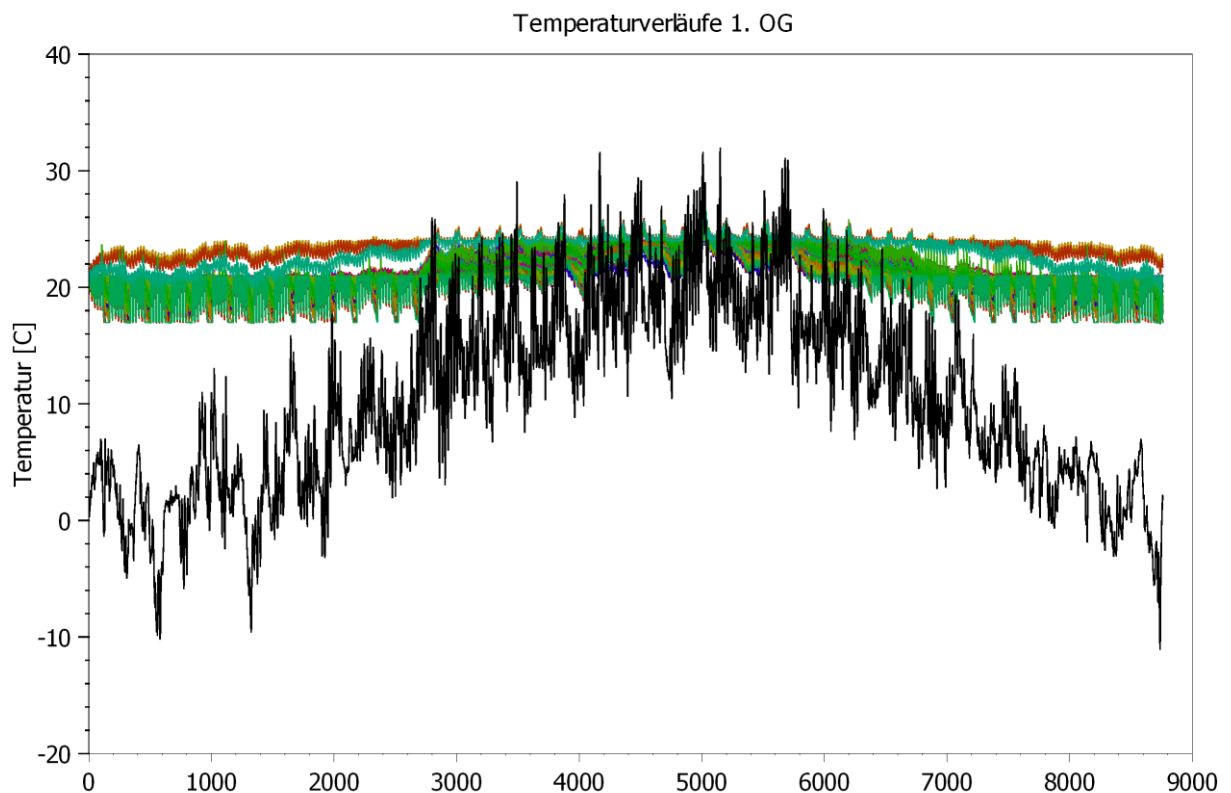


Abb. 12: Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im 1. Obergeschoss. Die X-Achse stellt die Stunden des Jahres dar [h]. Die schwarze Kurve zeigt die Außenlufttemperatur.

Das Temperaturniveau im 1. Obergeschoss (Siehe Abb. 10) bewegt sich zwischen ca. 17°C und 26 °C. Es bestehen dabei nur kurzzeitige, geringe Abweichungen vom Korridor der Zieltemperaturen.

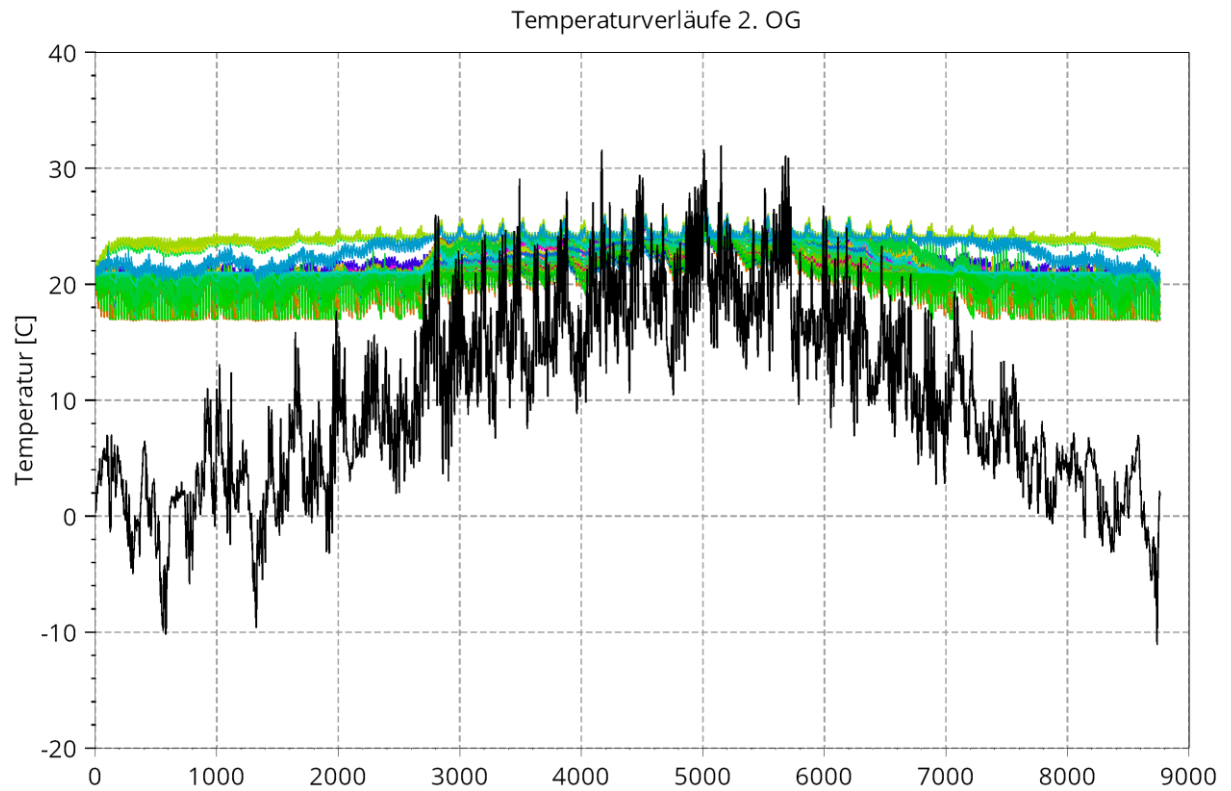


Abb. 13: Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im 2. Obergeschoss. Die X-Achse stellt die Stunden des Jahres dar [h]. Die schwarze Kurve zeigt die Außenlufttemperatur.

Das Temperaturniveau im 2. Obergeschoss bewegt sich zwischen ca. 17°C und 27 °C. Es bestehen dabei nur kurzzeitige, geringe Abweichungen vom Korridor der Zieltemperaturen.

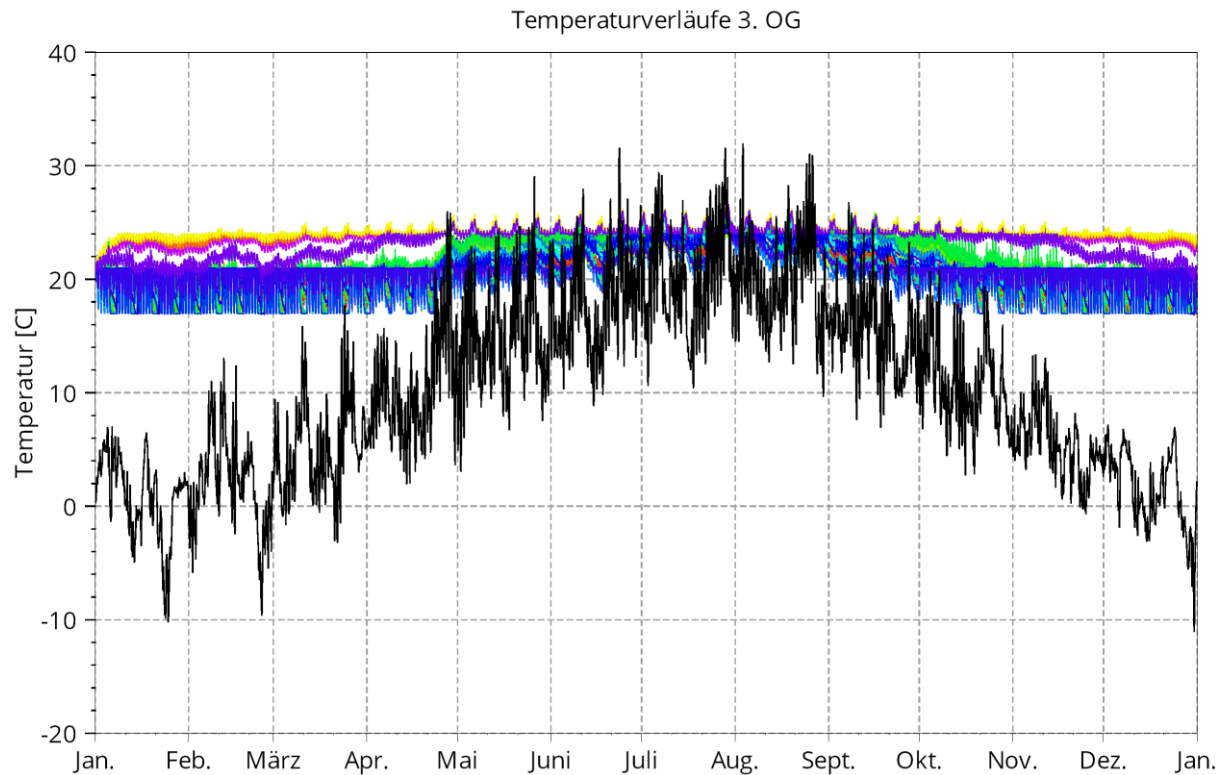


Abb. 14: Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im 3. Obergeschoss. Die X-Achse stellt die Stunden des Jahres dar [h]. Die schwarze Kurve zeigt die Außenlufttemperatur.

Das Temperaturniveau im 3. Obergeschoss bewegt sich zwischen ca. 17°C und 26 °C. Es bestehen dabei nur kurzzeitige, geringe Abweichungen vom Korridor der Zieltemperaturen.

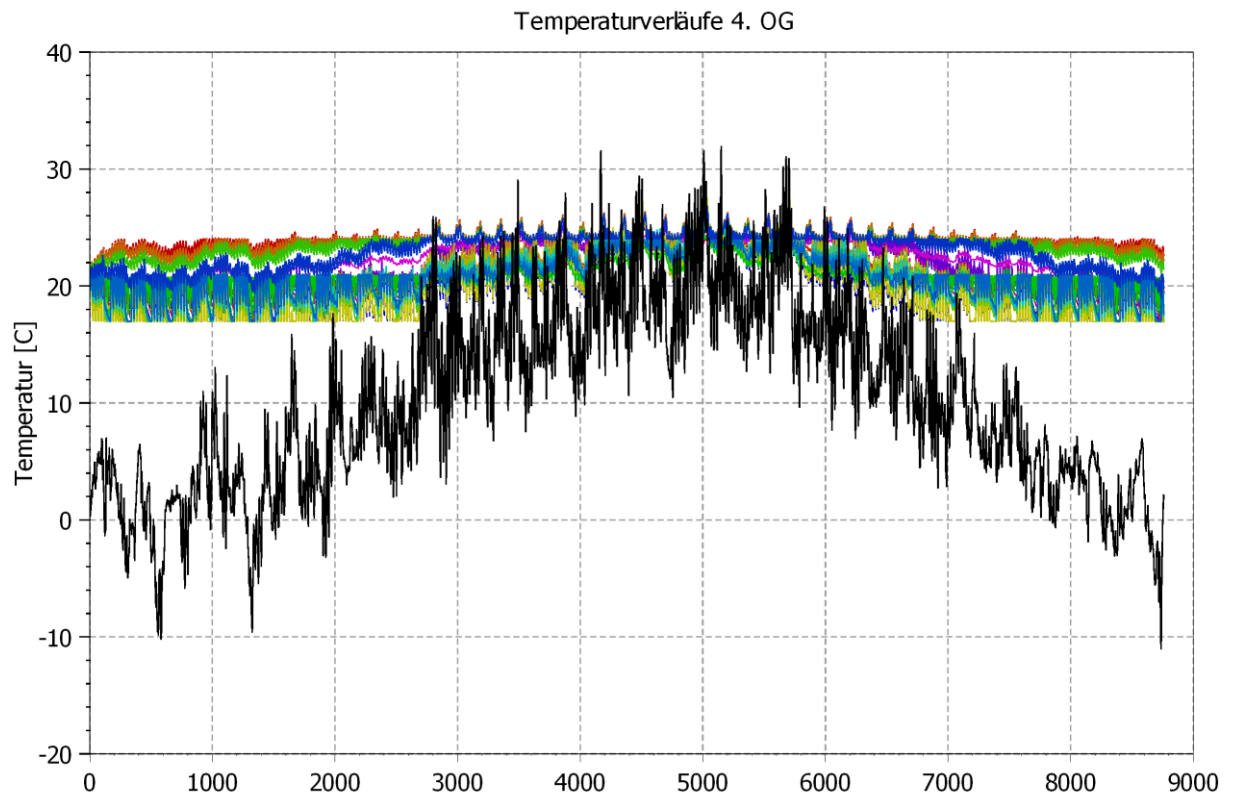


Abb. 15: Qualitative Darstellung der Raumtemperaturen im 4. Obergeschoss. Die X-Achse stellt die Stunden des Jahres dar [h]. Die schwarze Kurve zeigt die Außenlufttemperatur.

Das Temperaturniveau im 4. Obergeschoss bewegt sich zwischen ca. 17°C und 26 °C. Es bestehen dabei nur kurzzeitige, geringe Abweichungen vom Korridor der Zieltemperaturen.

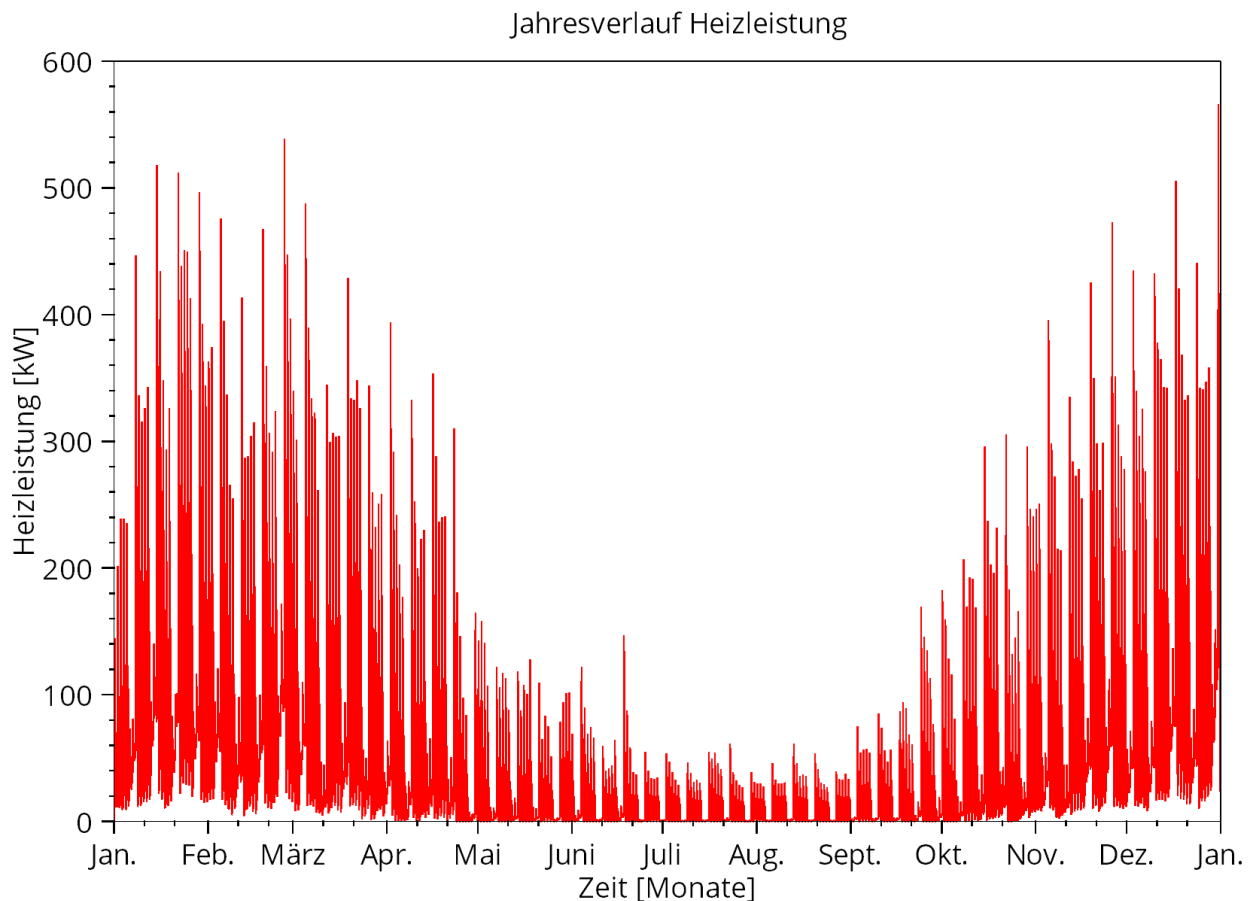


Abb. 16: Jahresverlauf der Heizleistung

Die durch die Simulation ermittelte Heizleistung folgt einem jahreszeitlichen Verlauf mit einem Minimum zwischen Juli und September und maximalen Werten zwischen Januar und März. Dies spiegelt das Klima am Gebäudestandort mit dessen charakteristischem Verlauf der Außenlufttemperaturen wider. Im Zeitraum zwischen Oktober und Mai muss ein Großteil des Heizenergiebedarfs zur Verfügung stehen. Zu beachten ist, dass im Sommer auch ein -wenn auch niedriger- Wärmebedarf anfällt. Das verwendete TRY 2017 besitzt relativ moderate monatliche Temperaturen. Wenn ein Jahr mit strengem Winter gewählt worden wäre, wären höhere Maximalwerte der Heizleistung zu erwarten gewesen. Im Diagramm sind zudem lokale Maxima und Minima der Heizleistung zu sehen. Dies erklärt sich durch die thermische Trägheit der Gebäudemasse. Bei einer Wiederaufheizung, z.B. nach einer nächtlichen Temperaturabsenkung, muss eine erhöhte Heizleistung aufgebracht werden, bis die Bauteile thermisch beladen sind und die Raumtemperatur auf das Zielniveau steigt.

Es ergibt sich ein Jahres--Heizenergiebedarf von 491025 kWh/a bzw. 73,1 kWh/m<sup>2</sup>a bei einer beheizten Gebäudefläche von 6769m<sup>2</sup>. Ein hoher Heizenergiebedarf ist bei einem großen Gebäudevolumen mit einer großen thermischen Speichermasse zu erwarten. Der vorliegende Bedarf ist fällt jedoch im Vergleich mit vielen anderen Krankenhäusern moderat aus.

Zur groben Validierung des simulierten Jahres- Heizenergiebedarfs wird der Wert mit der Messung des realen Fernwärmebedarfes an der zentralen Wärmeübergabestation der Geriatrie verglichen. Dieser liegt bei 630500 kWh/a . Der simulierte Jahres- Heizenergiebedarf inklusive eines per Excel ermittelten TWW-Energiebedarfes liegt bei 598600 kWh/a und damit nur geringfügig niedriger als der Messwert. Damit ist der simulierte Wert dennoch plausibel und das Gebäudemodell kann für die Aufstellung des Energiekonzeptes verwendet werden. Die Rechnung zur Ermittlung des TWW-Energiebedarfes ist in Excel-Datei „Berechnungen“ angefügt.

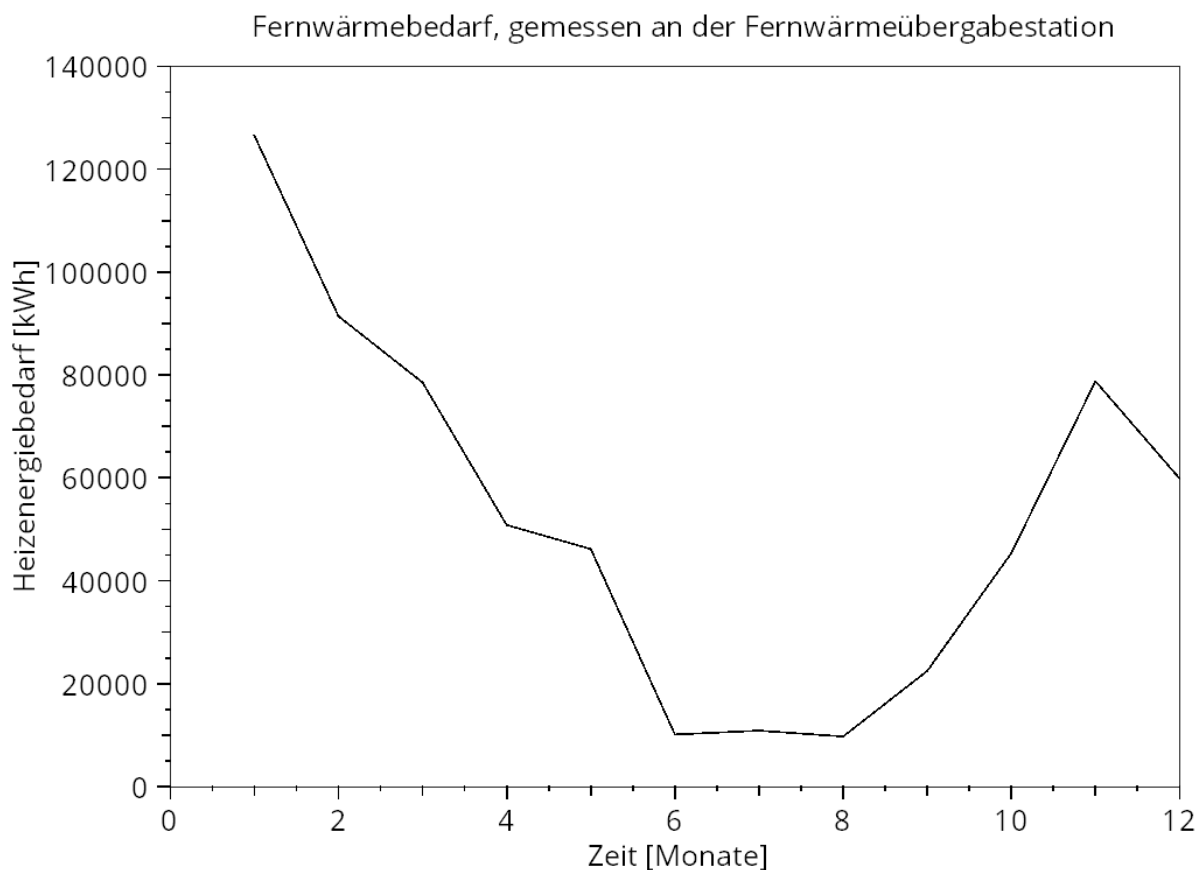


Abb. 17: Fernwärmebedarf. Messwert. Quelle: Geriatriische Klinik.



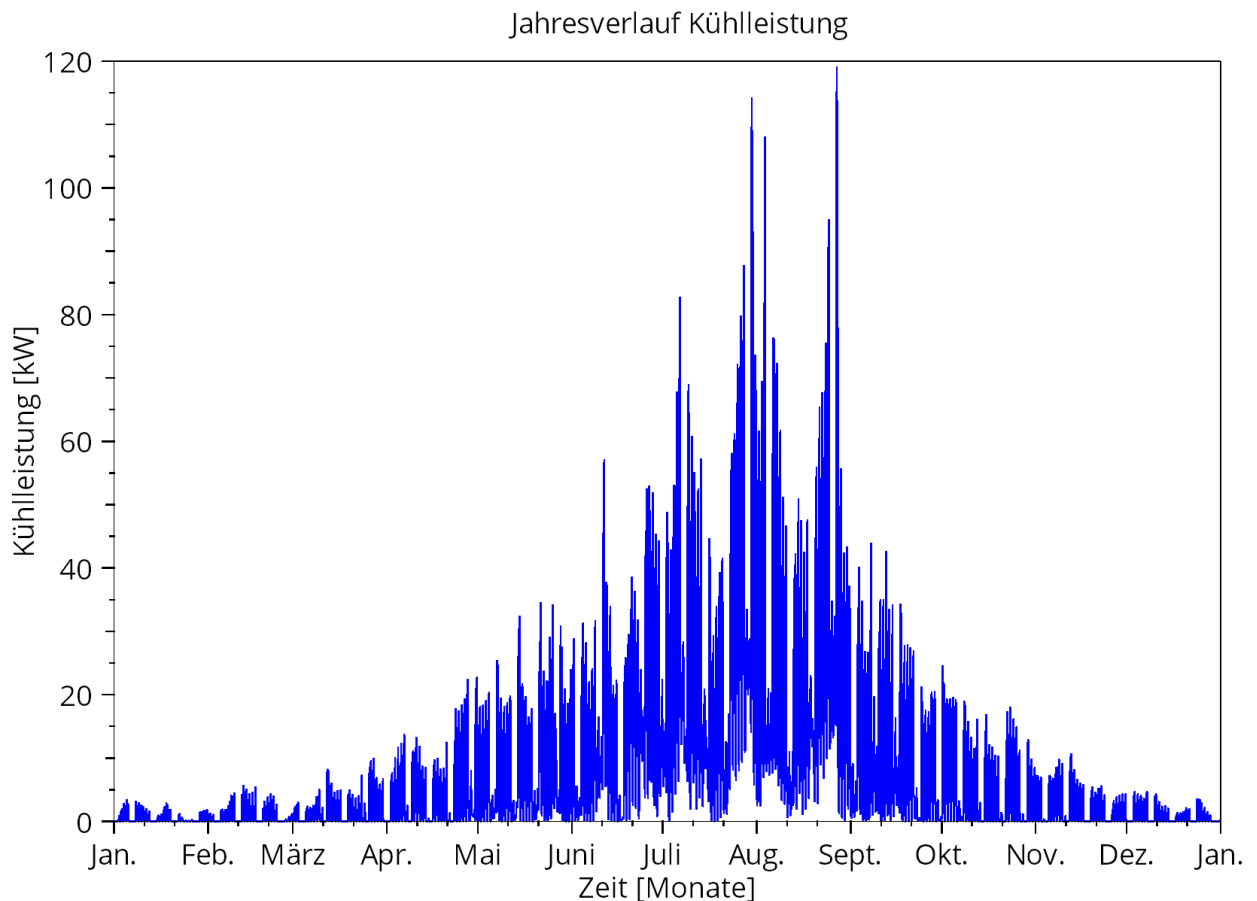
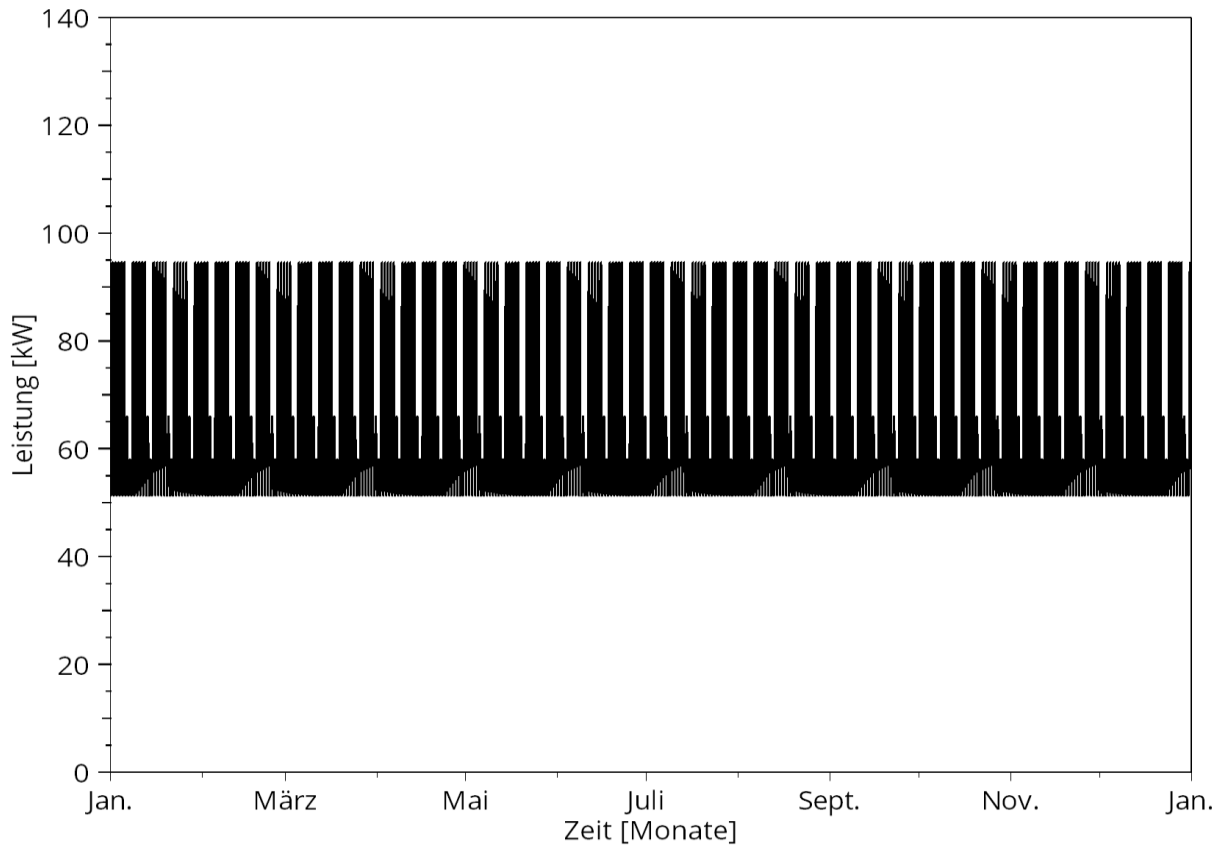


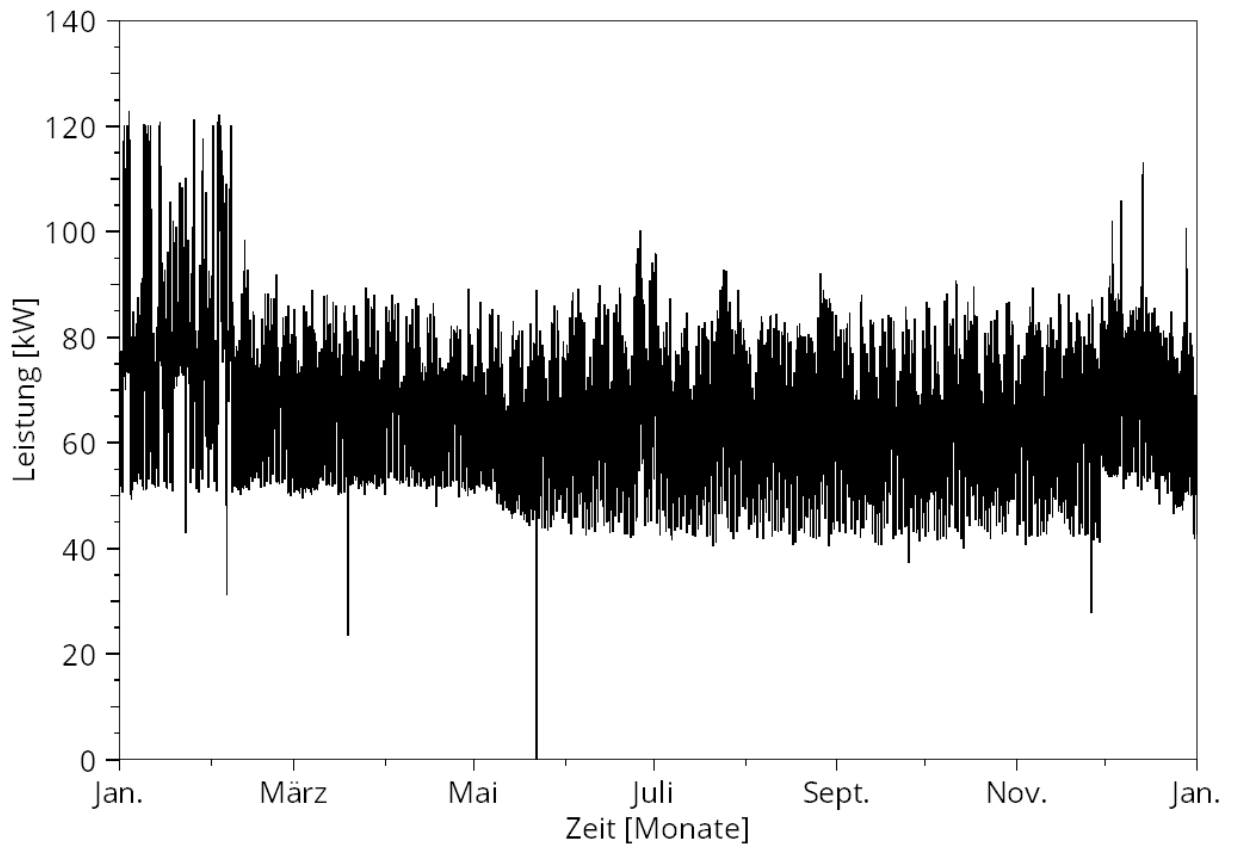
Abb. 18: Jahresverlauf Kühlleistung.

Die durch die Simulation ermittelte Kühlleistung unterliegt wie die Heizleistung einer jahreszeitlichen Schwankung mit minimalen Werten zwischen Dezember und März und einem Maximum zwischen Juli und September. Wenn statt des TRY 2017 ein Jahr mit heißem Sommer angenommen worden wäre, würde das Maximum der Kühlleistung höher liegen. Der maßgebliche Kühlenergiebedarf fällt zwischen Mai und Oktober an. Zu beachten ist, dass im Winter auch ein -wenn auch niedriger- Kühlenergiebedarf anfällt. Dieser resultiert wahrscheinlich durch hohe interne Wärmegewinne in einigen Räumen. Dabei muss auch die Nutzungszone „Simulationszwecke“ beachtet werden – die einen kleinen Fehler dadurch verursacht, dass darin unrealistisch hohe interne Wärmegewinne auf einer kleinen Raumgrundfläche anfallen. Wie bei der Heizleistung gibt es auch bei der Kühlleistung Lastspitzen, die durch die thermische Trägheit der Bauteile verstärkt werden. Es ergibt sich ein Kühlenergiebedarf von 74205 kWh/a bzw. 11 kWh/m<sup>2</sup>a bei einer zu kühlenden Gebäudefläche von 6769 m<sup>2</sup>.

Verlauf der elektrischen Leistung des Gebäudemodells



Lastgang elektrische Leistung, gemessen am Hausanschlussraum



Vorige Seite: Abb. 19: Verlauf der elektrischen Leistung, Gebäudemodell, Abb. 20: Lastgang elektrische Leistung, Messung, Quelle: Geriatriische Klinik

Der gesamte jährliche Strombedarf beträgt in der Simulation rund 584700 kWh/a. Aus der Messung des realen Stromverbrauchs am Hausanschluss resultiert ein Jahresstrombedarf von 589900 kWh/a. Die Werte liegen so nah beieinander, dass das Simulationsmodell für die Aufstellung des Energiekonzeptes benutzt werden kann.

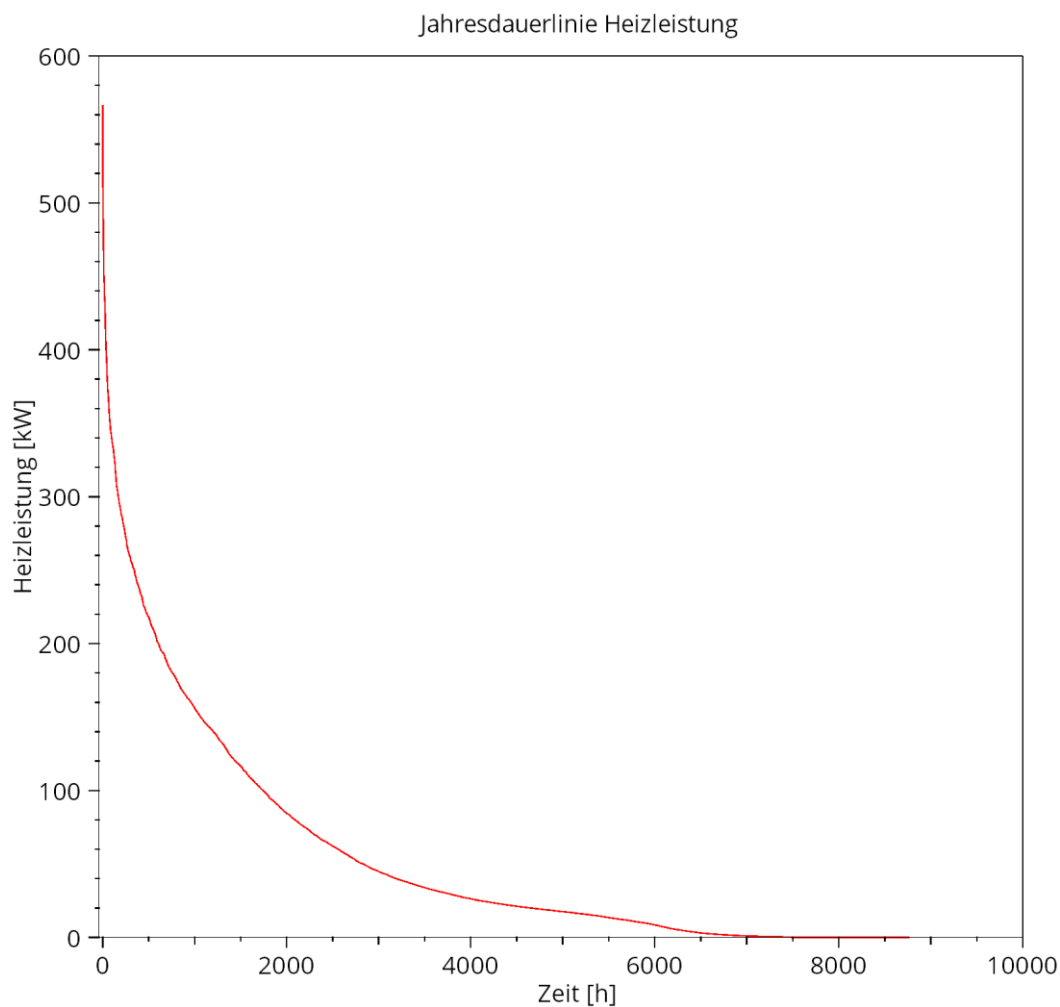


Abb. 21: Jahresdauerlinie Heizleistung.

„Die Jahresdauerlinie wird für den jeweiligen Standort nach der Jahreshäufigkeit der Heizstunden bis zu einer bestimmten Wärmeleistung für das Gebäude erstellt.“ (Bohne, 2022, S. 274)

Dabei handelt es sich um die kumulative Darstellung der Zeiten in denen bestimmte Leistungen anfallen. Somit ist die Jahresdauerlinie ein wertvoller Gesichtspunkt für die Auslegung und spezifische Betrachtung von u.a. WP-Systemen. Es ist ersichtlich, dass die Heizleistung 100 kW nur an ca. 1800 Stunden jährlich überschreitet. Die maximale im Jahresverlauf benötigte Heizleistung beträgt 578,6 kW. Dies stellt jedoch nur äußerst kurzzeitige Spitzenwerte dar. Somit kann die WP auch für geringere Leistungen als die o.g. Maximalleistung ausgelegt werden. Den Lastspitzen kann v.a. über Speichertechnologien begegnet werden.

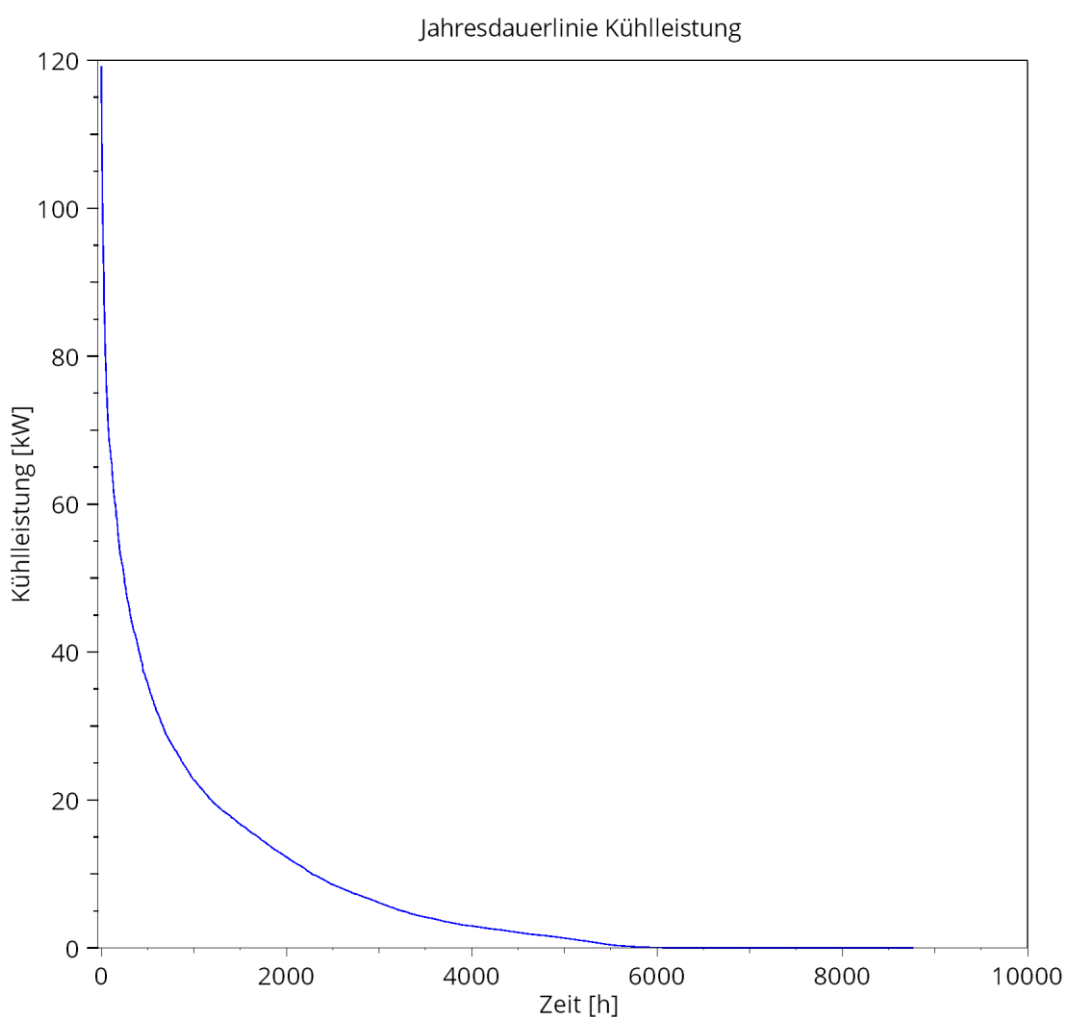


Abb. 22: Jahresdauerlinie Kühlleistung

Es ist ersichtlich, dass die Kühlleistung 20 kW nur an ca. 1200 Stunden jährlich überschreitet. Die maximale Kühlleistung im simulierten Jahr beträgt 119,1 kW.

Dieser Wert bildet analog zur Jahresdauerlinie der Heizleistung einen Anhaltswert aber keine Vorgabe für die Auslegung des Kälteerzeugungssystems. Dieses kann geringer als die Maximalleistung dimensioniert werden, falls Möglichkeiten zur Kältespeicherung zur Verfügung stehen.

## 3.2 ENERGIEKONZEPTE

Aufbauend auf den Ergebnissen der Gebäudesimulation des Bestandsgebäudes im derzeitigen Zustand werden nachfolgend Energiekonzepte aufgestellt. Diese werden im weiteren Verlauf der Arbeitsschritte nur über Excel-basierte Berechnungen untersucht. Dabei wurde der Ertrag der Energieerzeugung am Gebäude auf den Energiebedarf abgestimmt und drei Varianten von Energiekonzepten entwickelt. In der Literaturrecherche wurden bewährte, am vorliegenden Standort ebenfalls vielversprechende Energieerzeuger identifiziert. Deshalb wurde in dieser Arbeit kein grundsätzlich technologieoffener Ansatz gewählt, sondern ausgewählte bewährte Energiekonzepte untersucht.

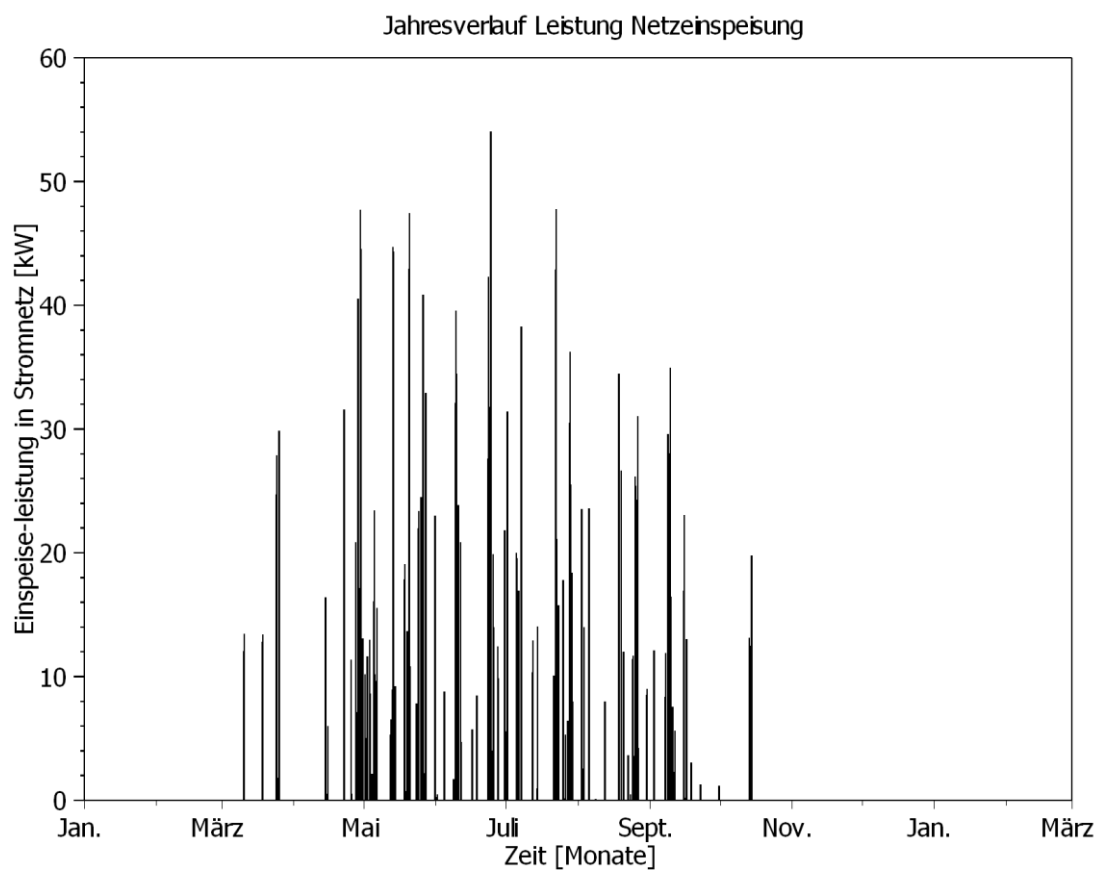
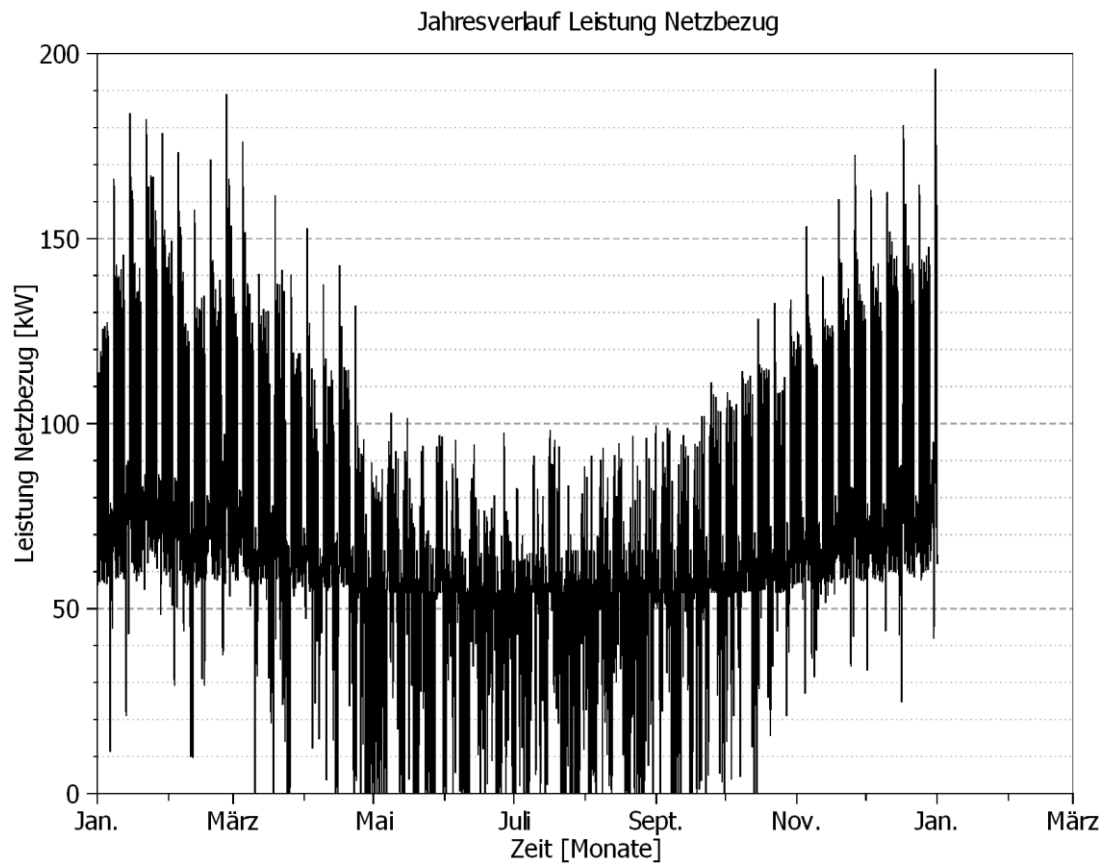
Jede Variante der Energiekonzepte umfasst den Einsatz einer netzgekoppelten PVT-Anlage auf den Dachflächen der Geriatrie. Nachfolgend wird ihre Betrachtung kurz beschrieben, die in der Excel-Datei „Auswertung“ beigefügt ist. Zur Berechnung des Stromertrags des PV-Bestandteils der PVT-Module (nachfolgend als PV-Module bezeichnet) wurde folgender Ansatz gewählt: Es wurde bereits während des im Kapitel „Simulation“ beschriebenen Durchganges der Gebäudesimulation eine Nebenrechnung über den NANDRAD-Rechenkern durchgeführt. Hierfür wurden nachfolgende Schritte durchgeführt, die in der Excel-Datei „Berechnungen“ im Reiter „Nebenrechnung Leistung Solaranlage“ aufgeführt sind: Es wurden zunächst Neigungswinkel der Module und deren prinzipiell mögliche Ausrichtung ermittelt. Zur Untersuchung der ertragsreichsten Ausrichtung auf dem Flachdach des Neubaus wurden dabei zwei Anordnungen der PV-Module definiert: eine Ausrichtung entlang der Längsseite des Neubau-Flügels und eine Ausrichtung entlang seiner Schmalseite. Außerdem wurden alle Schrägdachflächen mit ihren jeweiligen Ausrichtungen betrachtet. Für die daraus resultierenden 4 Kategorien wurde jeweils ein Sensor in der NANDRAD-Datei festgelegt. Daraufhin wurden die Neigungswinkel und Ausrichtungen in die NANDRAD-Datei eingegeben und die Simulation in SIM-VICUS durchgeführt. Dabei wurden die zu erwartenden Strahlungsstromdichten auf den vorab definierten Dachflächen auf Grundlage des Testreferenzjahres 2017 für jede Stunde des Jahres automatisch berechnet.

Daraufhin wurden die Modulflächen der PV-Module auf den Dachflächen ermittelt. Dabei ergab sich eine Modulfläche von ca. 712 m<sup>2</sup>– mit 254 m<sup>2</sup> für die Flachdachfläche des Neubaus und je 115 bis 117 m<sup>2</sup> für Schrägdachflächen in Südwest- bzw. Nordostexposition. Detaillierte Pläne zu Dachaufbauten, die die durch PVT nutzbare Fläche einschränken könnten, liegen nicht vor, sodass auch hierbei eine Annahme getroffen werden muss. Es ist lediglich bekannt, dass auf den Flachdächern des 3. Obergeschosses Brüstungen und einige Sportgeräte liegen (Therapiedach). Es wird angenommen, dass diese Dachflächen vorerst nicht für eine Photovoltaik-Anlage benutzt werden.

Die Strahlungsstromdichten aus der Gebäudesimulation wurden anschließend in die Excel-Datei „Auswertung“, Reiter „Strahlung und Ermittlung PV“ übertragen und die Leistung aller PV-Module für jede Stunde im Jahr berechnet. Für die PV-Module wurde dabei ein Wirkungsgrad von 20 % angenommen. Es wurde ein jährlicher Stromertrag von ca. 149500 kWh und eine maximal erreichte Leistung der Anlage von ca. 135 kW ermittelt. Der ermittelte Stromertrag wurde anschließend dem Gesamtstrombedarf der Geriatrie gegenübergestellt (Siehe Reiter „elektr. Leistungen PV + WP“ in der selben Datei). So wurden der jährliche Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz, die jährliche Einspeisung in das Netz sowie die Eigenbedarfsdeckung ermittelt.

Es wird ersichtlich, dass trotz des Einsatzes von PVT der überwiegende Anteil des Jahres-Elektroenergiebedarfes aus dem Netz eingespeist werden muss - insgesamt 590 MWh. Dennoch kann ein signifikanter Anteil des Eigenbedarfs gedeckt werden (144 MWh). Dies ist hauptsächlich zwischen März und November der Fall, doch auch in den übrigen Monaten verspricht die PVT-Anlage eine Entlastung beim Netzbezug.

Folgende Seite: Abb. 23: Jahresverlauf Bezug von Netzstrom. Abb. 24: Jahresverlauf Netzeinspeisung.





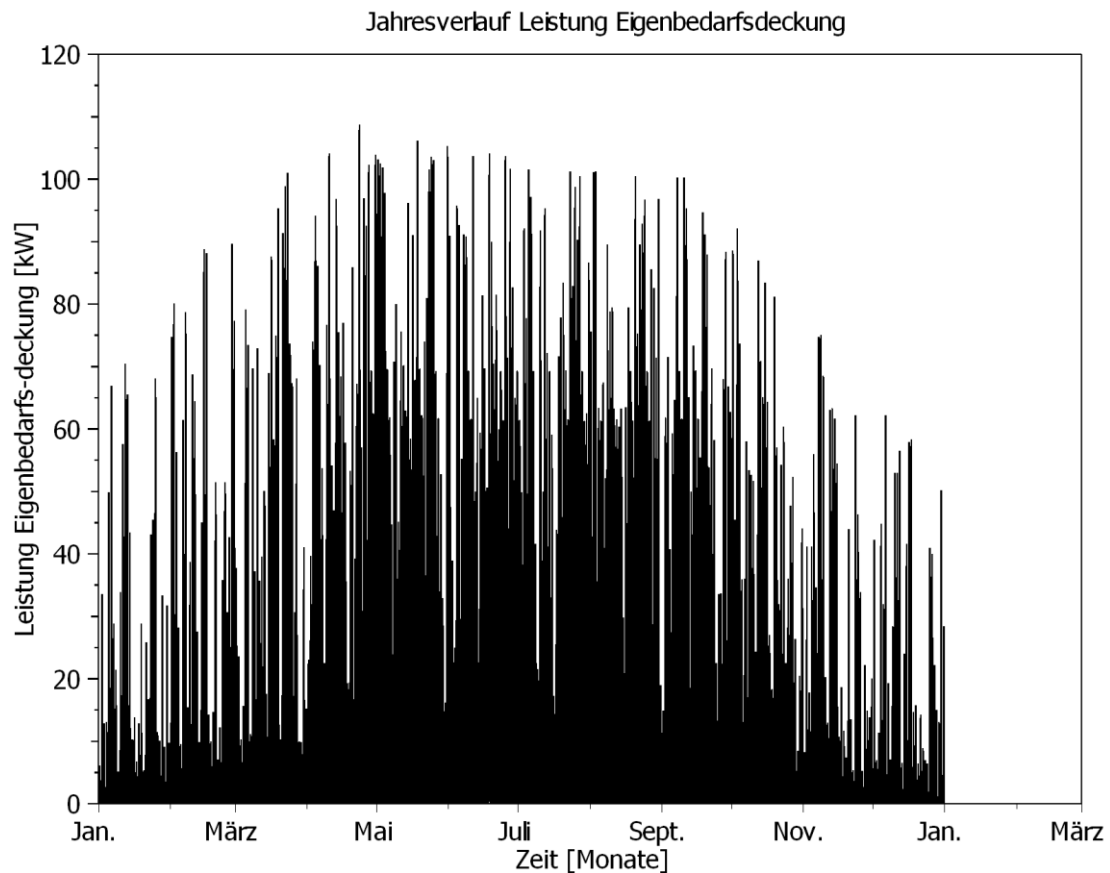


Abb. 25: Jahresverlauf der Eigenbedarfsdeckung.

Die Netzeinspeisung hingegen ist nur vereinzelt über den Zeitraum von wenigen Tagen möglich und beläuft sich auf 5,1 MWh, also auf unter 1% des Netzbezuges. Der Einfluss von Stromspeichern, die bei der angedachten PVT-Anlage zum Einsatz kommen würden, wurde in dieser Betrachtung aus Gründen des Umfangs nicht berücksichtigt. Die Eigenbedarfs-Deckung kann durch den Einsatz von Batterien jedoch gesteigert werden und müsste gesondert untersucht werden. Um den Umfang der Arbeit zu begrenzen, wird der solarthermische Bestandteil der PVT-Module nicht betrachtet.

Die bestehenden Notstromgeneratoren der Geriatrie werden in allen folgenden Varianten belassen, um die Ausfallsicherheit zu gewährleisten.

Nachfolgend wird die Betrachtung des Wärmeerzeugungssystems beschrieben, die ebenfalls in der Excel-Datei „Auswertung“ in den Reitern „Wärme“ und „elektr. Leistungen PV + WP“ dargestellt ist. Der maximale Wert des Wärmebedarfes des Gebäudes (Summe aus Heizleistung und Leistung zur TWW-Erwärmung) beträgt 578,6 kW. Dieser Wert bildet die Grundlage für das Konzept des Wärmeerzeugungssystems und der zugehörigen Speichertechnologien. Die Wärmeerzeugung soll bei zwei Konzeptvarianten über ein WP-System erfolgen. Dabei wurden Erdsonden und die Außenluft als Wärmequellen gewählt. In einer Studie des Deutschen Krankenhausinstitutes von 2021 wurden Erdsonden als Maßnahme zur Senkung des Primärenergiebedarfs durch Expertenkonsens ebenfalls favorisiert. (vgl. DKI, 2021, S. 4)

Für die Ermittlung der Nutzleistung der WP-Systems wurde in der o.g. Datei unter dem Reiter „elektr. Leistungen PV + WP“ eine Betrachtung durchgeführt, die nachfolgend erläutert wird. Für die Sole-Wasser-WP wurde ein COP von 4 und eine im Erdreich über das Jahr konstante Temperatur von 8°C angenommen. Zunächst wurde der elektrische Leistungsbedarf des Wärmepumpensystems für jede Stunde des Jahres ermittelt, indem die benötigte Wärmeleistung des Gebäudes inkl. TWW durch diesen COP-Wert geteilt wurde. Es resultiert ein jährlicher Elektroenergiebedarf von ca. 150 MWh. Die weitere Ausgestaltung des Wärmepumpensystems wird nachfolgend in zwei Varianten untersucht.

### 3.2.1 Variante 1 – PVT, Netzstrom, Sole-Wasser-WP

Die zuvor beschriebene PVT-Anlage wird übernommen und nicht näher erläutert.

Es liegt eine große zu temperierende Gebäudefläche von ca 6770 m<sup>2</sup> vor, zudem ist eine TWW-Vorlauftemperatur von 70°C zu gewährleisten. Es resultiert ein hoher Gesamtwärmebedarf des Gebäudes. Zu erwarten ist ein hoher Anteil am Wärmebedarf durch den ungedämmten, historischen Gebäudeteil, der zudem nur statische Heizkörper und eine große thermische Speichermasse besitzt.

Die dafür nötigen, hohen Vorlauftemperaturen und ggf. Spitzenlasten zu Aufheizzeiten könnten bei der Versorgung mit regenerativen Energieträgern grundsätzlich Schwierigkeiten bereiten. Bei WP sind maximale Vorlauftemperaturen von lediglich bis ugf. 66°C erreichbar und die Effizienz des Systems wird reduziert, wenn der Temperaturhub steigt. Somit wird die ergänzende Einbeziehung des bestehenden Fernwärmeanschlusses erwogen, der bei Spitzenlasten dazugeschaltet werden könnte. Auch ist die Wahl der Energiequelle für das WP-System so zu treffen, dass eine möglichst hohe Quellenergie zur Verfügung steht – dies ist bei Erdsonden der Fall, die bis zu 100m tiefe Erdschichten mit konstanten Temperaturen von ca. 8°C erschließen können.

Der Neubau besitzt neben statischen Heizkörpern FBH und eine gedämmte Gebäudehülle. Daraus sind für erneuerbare Energieträger besser geeignete Vorlauftemperaturen und geringere Spitzenlasten zu Aufheizzeiten zu erwarten. Die FBH mit ihren im Vergleich zu den statischen Heizkörpern niedrigen Vorlauftemperaturen können eine höhere Effizienz des WP-Systems bei der Wärmebereitstellung bewirken. Außerdem stehen im Neubau etwas geringere thermische Speichermassen zur Verfügung, somit ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Lastspitzen zu Aufheizzeiten zusätzlich geringer. Die FBH können zudem im Sommerfall zur Direktkühlung über die Erdsonden verwendet werden – ein großes Einsparungspotenzial an Strom, der andernfalls in der Kältemaschine der RLT verwendet werden würde resultiert.

In der 1. Variante wurde der alleinige Einsatz eines Sole-Wasser-WP-Systems untersucht. Unter Verwendung der benötigten Wärmeleistung des Gebäudes wurde die jährlich nötige Entzugsleistung aus dem Erdreich aller Erdsonden berechnet (Quellenergie). Diese ist die Grundlage für die Ermittlung der Anzahl der Erdsonden und liegt bei ca. 466 MWh/a. Hierbei wird angenommen, dass eine Erdsonde 7,5 MWh jährlich fördern kann. Es ergeben sich somit 63 Erdsonden. Das daran angeschlossene WP-System müsste theoretisch den maximalen Wärmebedarf des Gebäudes in Höhe von 578,6 kW decken können, aber durch den Einsatz eines WW-Speichers können Wärmeüberschüsse nachträglich zur Deckung des Bedarfs genutzt und somit Wärmeangebot und -bedarf teilweise entkoppelt werden.

Die Nennleistung des Sole-Wasser-WP-Systems wird demzufolge mit 200 kW angenommen. Gleichzeitig wird ein WW-Speicher von ca. 70 m<sup>3</sup> angenommen, um den Wärmebedarf vollständig decken zu können. Um jedoch die Größe des Speichers zu reduzieren und Spitzenbedarfe an Wärmeenergie abfedern zu können, wird in dieser Variante der bestehende Fernwärmeanschluss belassen und kann bei Bedarf z.B. zur Erwärmung des WW-Speichers zugeschaltet werden. Es wird jedoch angenommen, dass der Fernwärmebezug vermieden werden kann. Außerdem kann das große Speichervolumen im Untergeschoss der Geriatrie untergebracht werden, wo der Raum eines ehemaligen Bades leersteht.

Die Kühlung kann weiterhin über die in die bestehende RLT-Anlage integrierte Kältemaschine erfolgen. Bei Bedarf können die Erdsonden jedoch auch zur Direktkühlung verwendet werden – dies wird jedoch nicht rechnerisch betrachtet. Dabei würde das Erdreich um die Sonden thermisch regeneriert und somit ein langfristiges Sinken der Entzugsleistung verhindert werden können.

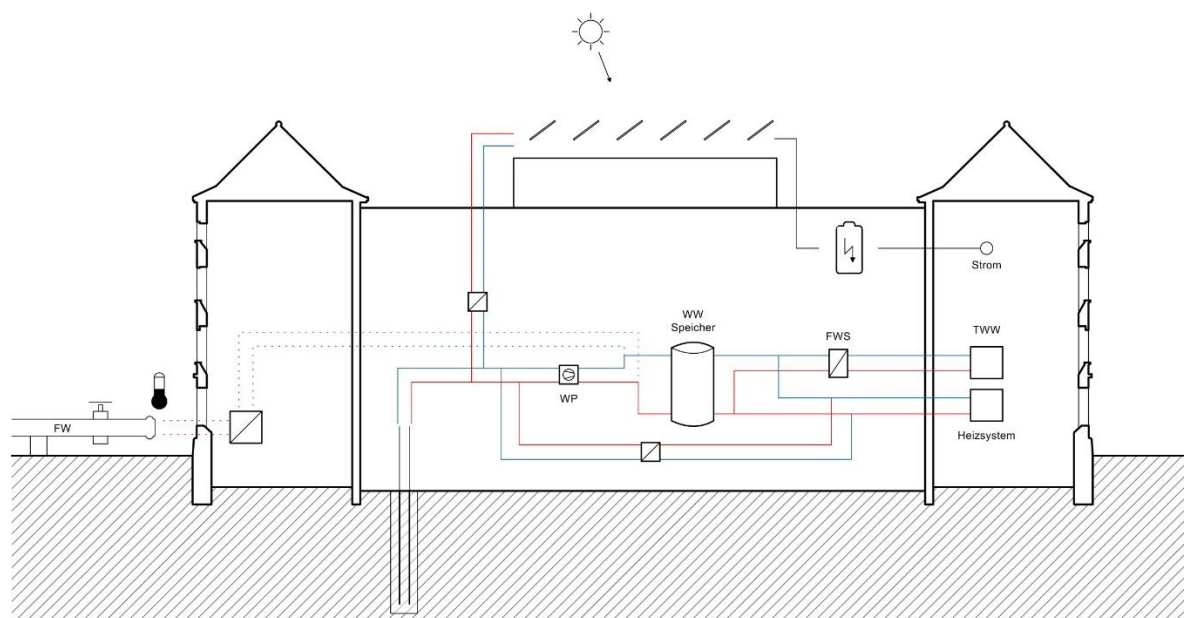


Abb. 26: Schematische Darstellung des Energiekonzeptes. Prinzipskizze. Quelle: Georg Thomaschvili

### 3.2.2 Variante 2 – PVT, Netzstrom, Sole-Wasser-WP, Luft-Wasser-WP

Die zuvor beschriebene PVT-Anlage wird übernommen und nicht näher erläutert.

Die zweite Variante beinhaltet den Einsatz eines Sole-Wasser-WP-Systems und eines Luft-Wasser-WP-Systems. Es wurde angenommen, dass unterhalb von einer Außenlufttemperatur von 8°C das Sole-Wasser-WP-System die gesamte Wärmeleistung des Gebäudes inkl TWW-Bereitung übernimmt. Über 8°C wird alternativ das Luft-Wasser-WP-System eingeschaltet.

Das Sole-WP-System übernimmt in Variante 2 nur 419 MWh des jährlichen Wärmebedarfes, daraus resultiert ein geringerer Quellenergiebedarf bei den Erdsonden von ca. 326 MWh. Somit wären hier nur 44 Erdsonden mit einer Entzugsleistung von 7,5 MWh jährlich nötig.

Das Sole-Wasser-WP-System wird jedoch auf die gleiche Leistung wie bei Variante 1 ausgelegt: 578,6 kW, wobei wieder 200 kW Nennleistung gewählt werden. Grund hierfür ist das Zusammenfallen der maximalen Wärmebedarfs-Leistung des Gebäudes mit Außentemperaturen < 8°C, wobei das Luft-WP-System noch nicht aktiviert wird. Im realen Fall könnte man einen bivalent-parallelen Betrieb beider Systeme in Betracht ziehen, dies wird jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet, um den Rahmen nicht zu sprengen.

Für das Luft-WP-System wird vereinfacht angenommen, dass es ebenfalls einen COP-Wert von 4 hat und im Jahr 180 MWh des Gesamt-Wärmebedarfes übernimmt. Dieses System müsste dafür auf eine Wärmeleistung von 366 kW ausgelegt werden, jedoch wird auch hier die Benutzung des WW-Speichers gewählt und die Nennleistung der Luft-WP-Systems mit 183 kW angenommen. Bei der Auslegung des WW-Speichers wird die selbe Größe wie in Variante 1 gewählt.

Auch hier wird die Kühlung über die bestehende RLT-Anlage realisiert, durch eine Direktkühlung im Sommerfall könnte jedoch auch hier das Erdreich um die Erdsonden regeneriert werden. Es wird ebenfalls der bestehende Fernwärmeanschluss belassen und angenommen, dass der Fernwärmebezug vermieden werden kann.

### 3.2.3 Variante 3 – PVT, Netzstrom, Fernwärme

Die zuvor beschriebene PVT-Anlage wird übernommen und nicht näher erläutert. In dieser Variante wird jedoch der Fernwärmeanschluss als alleinige Wärmequelle belassen. Überdies gibt es keine Modifikationen.

In [Tab. 5](#) ist eine Übersicht über die Anforderungen aus den Kapiteln „Bestandsanalyse“ und „Nutzungsanforderungen“, sowie über die Energiekonzept-Varianten dargestellt.

Folgende Seite: Tabelle 5: Übersicht Anforderungen und Energiekonzept-Varianten

	<b>Anforderungen   Ist-Zustand</b>	<b>Ist-Zustand</b>	<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
<i>Allgemein</i>	82 Betten  Temperierte Gebäudefläche 6769 m <sup>2</sup>  Ganzjährig Wärme- und Strom-Grundlast  Versorgungssicherheit  Keine Modifikation Gebäudehülle				
<i>Strombedarf</i>	Max. Leistungsbedarf 196 kW  Täglich ähnlicher Strombedarf	Netzstrom	PVT: 135 kW + Netzstrom	PVT: 135 kW + Netzstrom	PVT: 135 kW + Netzstrom
<i>Wärme + TWW   Kälte</i>	Ganzjährig Wärme- und Kältebedarf  <b>Max. nötige Leistung Wärme 579 kW</b>  <b>Max. nötige Leistung Kälte 119 kW</b>  <b>Min. Temperatur TWW-Vorlauf 70°C</b>  Jahres-Wärmebedarf inkl. TWW 599 MWh/a  Höchster Wärmebedarf: November-April  Alt- und Neubau: statische Heizkörper  Neubau: zusätzlich FBH  Altbau: hohe Transmissionswärmeverluste, hohe Speichermassen  Neubau: hohe solare Wärmelasten, mäßige Speichermassen	Fernwärmeanschluss	Bivalentes, bidirektionales Sole- Wasser- WP-System: Erdsonden  + Fernwärmeanschluss  + Kühlung über RLT  + Ergänzend Direktkühlung über Erdsonden	Bivalentes, bidirektionales Sole- Wasser-WP-System: Erdsonden  + Luft-Wasser-WP-System  + Fernwärmeanschluss  + Kühlung über RLT  + Ergänzend Direktkühlung über Erdsonden	Fernwärmeanschluss  + Kühlung über RLT
<i>Speicherung</i>	-	-	WW Speicher + Elektrospeicher	WW Speicher + Elektrospeicher	Elektrospeicher

## 4 WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG

Vereinfachte Berechnung:  
 Annahme Lebensdauer aller Anlagen: 20 Jahre  
 Annahme: 100% Eigenkapitalanteil  
 Berechnung ohne Förderungen  
 Preissteigerung 3.00%

### Unterlassungsvariante / Ist-Zustand

Fernwärme

t [Jahre]	Kosten [€]	
	Wartungskosten	Strom Fernwärme
0		
1	478121	189922
2	492465	195620
3	507239	201488
4	522456	207533
5	538129	213759
6	554273	220171
7	570901	226777
8	588029	233580
9	605669	240587
10	623839	247805
11	642555	255239
12	661831	262896
13	681686	270783
14	702137	278907
15	723201	287274
16	744897	295892
17	767244	304769
18	790261	313912
19	813969	323329
20	838388	333029
Summe	12847290	5103271
<b>Gesamt Summe</b>	<b>17950561 €</b>	<b>17.95 Mio €</b>

### Investitionsvariante 1

PVT  
 Sole-Wasser-WP und Bohrungen  
 WW Speicher  
 Fernwärme als Backup

t [Jahre]	Kosten [€]			
	Investitionskosten	Wartungskosten	Strom	Fernwärme
0	314424			
	31442			
	630000			
	247059			
	210000			
1		8641	479747	0
2		8901	494149	0
3		9168	508982	0
4		9443	524260	0
5		9726	539997	0
6		10018	556206	0
7		10318	572901	0
8		10628	590097	0
9		10947	607809	0
10		11275	626052	0
11		11613	644843	0
12		11962	664197	0
13		12321	684132	0
14		12690	704665	0
15		13071	725813	0
16		13463	747597	0
17		13867	770034	0
18		14283	793144	0
19		14711	816947	0
20		15153	841464	0
Summe	1432925	232198	12893035	0
<b>Gesamt Summe</b>	<b>14558158 €</b>	<b>14.56 Mio €</b>		



Vereinfachte Berechnung:  
 Annahme Lebensdauer aller Anlagen: 20 Jahre  
 Annahme: 100% Eigenkapitalanteil  
 Berechnung ohne Förderungen  
 Preissteigerung 3.00%

Investitionsvariante 2

- PVT
- Sole-Wasser-WP und Bohrungen
- Luft-Wasser-WP
- WW-Speicher
- Fernwärme als Backup

t [Jahre]	Kosten [€]			
	Investitionskosten	Wartungskosten	Strom	Fernwärme
0	314424			
	31442			
	440000			
	247059			
	180000			
	210000			
1		10278	479747	0
2		10586	494149	0
3		10904	508982	0
4		11231	524260	0
5		11568	539997	0
6		11915	556206	0
7		12272	572901	0
8		12640	590097	0
9		13020	607809	0
10		13410	626052	0
11		13812	644843	0
12		14227	664197	0
13		14654	684132	0
14		15093	704665	0
15		15546	725813	0
16		16012	747597	0
17		16493	770034	0
18		16988	793144	0
19		17497	816947	0
20		18022	841464	0
Summe	1422925	276168	12893035	0

Gesamt Summe 14592128 €  
 14.59 Mio €

Investitionsvariante 3

- PVT
- Fernwärme

t [Jahre]	Kosten [€]			
	Investitionskosten	Wartungskosten	Strom	Fernwärme
0	314424			
	31442			
1		6288	426116	189922
2		6477	438913	195620
3		6671	452093	201488
4		6872	465669	207533
5		7078	479653	213759
6		7290	494056	220171
7		7509	508891	226777
8		7734	524171	233580
9		7966	539909	240587
10		8205	556120	247805
11		8451	572817	255239
12		8705	590014	262896
13		8966	607728	270783
14		9235	625973	278907
15		9512	644766	287274
16		9797	664122	295892
17		10091	684059	304769
18		10394	704594	313912
19		10706	725745	323329
20		11027	747531	333029
Summe	345866	168974	11452938	5103271

Gesamt Summe 17071049 €  
 17.07 Mio €

Nachfolgend wird das Vorgehen bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der einzelnen Energiekonzepte kurz beschrieben. Die Berechnungen inkl. detaillierter Anmerkungen sind in der Excel-Datei „Auswertung“ in den Reitern „Investitionskosten“, „Betriebskosten“ und „Wirtschaftlichkeitsbetrachtung“ aufgeführt.

Besonderheiten der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind, dass aus dem Betrieb einer ohnehin notwendigen Gebäudetechnik anfallende Kosten verglichen werden. Es wird ein Vergleich der kosteneffektivsten Anlagenkonzepte durchgeführt, bei der aufgrund der vorhandenen Energieresourcen Gewinnerzielung kein Ziel sein kann. Es wird kein Vergleich einer Anlage am Kapitalmarkt durchgeführt. Außerdem wird eine Investitionsentscheidung innerhalb eines Unternehmens betrachtet und es sind im vereinfachten Ansatz keine dritten Parteien beteiligt. Günstige Gesamtkosten über den Lebenszyklus der Anlagentechnik, Nachhaltigkeit und eine zukunftsichere Versorgung sind vordergründige wirtschaftliche Ziele.

Zur Vereinfachung wurde ausschließlich die Anlagentechnik betrachtet, die durch die Energiekonzepte resultiert – und das in ihrem Lebenszyklus. Außerdem wurde angenommen, dass die RLT und weitere Anlagentechnik der Geriatrie in den nächsten 20 Jahren keine Wartungs-/ Instandhaltungskosten verursacht.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Lebensdauer aller angeschafften Anlagen beträgt 20 Jahre
- Die Investitionen werden durch Eigenkapital gedeckt
- Es existiert eine jährliche Preissteigerung von 3%
- 

Folgende Faktoren wurden nicht betrachtet:

- Die Inflationsentwicklung
- Der Einfluss von Fördermitteln
- Der Einfluss von Fremdkapital und -kosten
- Die Abschreibung
- Steuerliche Erleichterungen

Die wesentlichen Einflussfaktoren auf die vorliegende Betrachtung sind einerseits die Betriebskosten für Strom und Fernwärme, die den Preisanpassungen durch die Versorgungsunternehmen unterliegen, andererseits die Investitionskosten der Anlagenbestandteile. Wenn die tatsächliche Lebensdauer dieser Komponenten abweicht, können zudem signifikante wirtschaftliche Einflüsse entstehen. So z.B. im Fall einer längeren Lebensdauer – dabei würden sich die Einsparungen an Betriebskosten im Vergleich zur Unterlassungsvariante noch deutlicher herausstellen. Die angenommene jährliche Preissteigerung zeigt beim Vergleich des ersten und des zwanzigsten Jahres des Lebenszyklus ebenfalls deutliche Effekte. Die Rolle der Einspeisevergütung für Strom-Einspeisungen ist dagegen überaus gering. Die Rolle der Anlageneffizienz, z.B. des genauen COP-Wertes des WP-Systems, kann über die entstehenden Energiebezugskosten ebenfalls einen wichtigen Einfluss auf die Gesamtkosten haben. In weiteren Untersuchungen wäre die Rolle von Fördermitteln zu betrachten. Dies kann aufgrund des Zeitrahmens in dieser Arbeit nicht geschehen.

#### 4.1 UNTERLASSUNGSVARIANTE / IST-ZUSTAND – NETZSTROM, FERNWÄRME

Die Unterlassungsvariante verursacht über den betrachteten Zeitraum Gesamtkosten von ca. 18 Mio €. Sie ist damit gemäß der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die ungünstigste Option.

Die Kosten werden maßgeblich durch den Strombedarf verursacht – er hat einen Anteil von ca. 13 Mio €. Damit wären Maßnahmen zur Verringerung des Strombezuges aus dem Netz äußerst sinnvoll.

#### 4.2 INVESTITIONSVARIANTE 1 – PVT, NETZSTROM, SOLE-WASSER-WP

Aus diesem Energiekonzept resultieren Gesamtkosten von ca. 14,5 Mio. € und eine Einsparung von ca. 3,5 Mio € im Vergleich zur Unterlassungsvariante.

Es fallen Investitionskosten von insgesamt ca. 1,4 Mio € an. Dabei entfallen die größten Anteile auf die Erdbohrungen für die Erdsonden (ca. 630000 €) und die Beschaffung der PVT-Anlage (ca. 314000 €). Im betrachteten Zeitraum ist bei den beschafften Anlagen mit insgesamt ca. 230000 € Wartungskosten zu rechnen.

Durch die Annahme, dass der Fernwärmebezug vermieden wird, fallen hierfür keine Kosten an und es könnten ca. 5,1 Mio € eingespart werden.

#### 4.3 INVESTITIONSVARIANTE 2 – PVT, NETZSTROM, SOLE-WASSER-WP, LUFT-WASSER-WP

Aus diesem Energiekonzept resultieren Gesamtkosten von ca. 14,6 Mio. € und eine Einsparung von ca. 3,5 Mio € im Vergleich zur Unterlassungsvariante. Es fallen Investitionskosten von insgesamt ca. 1,4 Mio € an. Dabei entfallen die größten Anteile auf die Erdbohrungen für die Erdsonden (ca. 440000 €) und die Beschaffung der PVT-Anlage (ca. 314000 €). Zu beachten ist hierbei, dass die eingesparten Kosten durch die reduzierte Anzahl der Erdsonden die Anschaffung des Luft-Wasser-WP-Systems aufwiegen und hierdurch gleichzeitig Vorteile bei der Effizienz der Wärmeversorgungsanlage bewirken könnten.

Es ist mit Wartungskosten in Höhe von ca. 276000 € zu rechnen – damit sind diese nur geringfügig höher gegenüber der Investitionsvariante 1.

Durch die Annahme, dass der Fernwärmebezug vermieden wird, fallen hierfür in dieser Variante ebenfalls keine Kosten an.

#### 4.4 INVESTITIONSVARIANTE 3 – PVT, NETZSTROM, FERNWÄRME

Aus diesem Energiekonzept resultieren Gesamtkosten von ca. 17 Mio € und eine Einsparung gegenüber der Unterlassungsvariante in Höhe von ca. 1 Mio € über den angenommenen Lebenszyklus der Anlage. Die Investitionsvariante 3 ist den Varianten 1 und 2 unterlegen, da um ca. 2,5 Mio € höhere Kosten verursacht werden.

## 5 DISKUSSION

Das Bestandsgebäude der Geriatrie Dresden Löbtau besitzt eine zu temperierende Fläche von ca. 6800 m<sup>2</sup> auf insgesamt 5 Geschossen. Es sind 82 stationäre Betten vorhanden, die in voller Belegung versorgt werden. Obwohl der Energiebedarf im Vergleich mit dem Durchschnitt der Krankenhäuser relativ gering ausfällt, ist es trotzdem für erneuerbare Energiekonzepte auf dem vorliegenden Grundstück allein ein in der Bilanz nicht zu deckender Wärme- und Strombedarf.

Charakteristika des Gebäudes sind einerseits ein täglich relativ gleichbleibender Strombedarf mit einer immer vorhandenen Grundlast. Es liegen i.d.R. hohe thermische Speichermassen vor, es muss eine TWW-Temperatur von 70°C sichergestellt werden, die historischen Gebäudeteile sind nicht gedämmt und die Verschattung am Neubau ist funktionsuntüchtig. Dadurch sind Lastspitzen im Gebäudebetrieb unvermeidbar. Deshalb und durch den hohen Gesamt-Energiebedarf sind bei den betrachteten Energiesystemen anspruchsvolle Rahmenbedingungen gesetzt, die den maximalen Energieertrag, der auf dem Grundstück realisierbar ist, benötigen würden. Gleichzeitig ist der Bezug von Netzstrom in der Energiebilanz nicht zu vermeiden. Dennoch kann der Einsatz von erneuerbaren Energiequellen in allen betrachteten Varianten eine z.T. deutliche finanzielle und Ressourcen-Entlastung bewirken.

Andererseits liegen auch Vorteile für erneuerbare Energiekonzepte vor: das Vorhandensein einer FBH im Neubau ist der Nutzung eines WP-Systems zuträglich, da die Vorlauftemperaturen geringer als bei statischen Heizkörpern ausfallen und somit eine erhöhte Effizienz des Systems resultiert, v.a. bei der gleichmäßigen Temperierung der Bettzimmer auf einem niedrigen Temperaturniveau. Der Einsatz einer FBH führt zudem zu einer geringeren Aufwirbelung von Staub und Krankheitserregern, was ein positiver Nebeneffekt in einer Kliniknutzung ist. Die hohen thermischen Speichermassen des Gebäudes könnten zudem als kostengünstiger Wärme- oder Kältespeicher bei Erzeugungsüberschüssen dienen. Dies müsste jedoch näher untersucht werden.

Bevor Energiekonzepte aufgestellt werden, wäre die Reduzierung des Gesamtenergiebedarfes durch die thermische Optimierung der Gebäudehülle ein zentraler Schritt. Eine nachträgliche Dämmung der Gebäudehülle der historischen Gebäudeteile wäre jedoch voraussichtlich aufgrund von Auflagen im Zusammenhang mit dem Denkmalstatus mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden. Die Modifikation der Gebäudehülle wird zudem durch den Krankenhausträger nicht gewünscht. Eine Ausnahme könnte jedoch eine Dämmung der obersten Geschossdecken darstellen – diese ist mit geringem Aufwand, geringen Kosten und keiner Änderung des äußeren Erscheinungsbildes verbunden. Dagegen hat der dort entstehende Wärmeverlust einen maßgeblichen Anteil an den Transmissionswärmeverlusten der gesamten Gebäudehülle. Ebenso könnte ggf. ein ca. 3 cm Dämmputz auf der Außenwand des Altbaus angebracht werden – dies würde ebenfalls kaum etwas am Erscheinungsbild ändern und wäre mit deutlich weniger Aufwand herzustellen als z.B. eine nachträgliche Innendämmung. Außerdem wären auch Energieeinsparungsmaßnahmen auszureizen, bevor eine Dimensionierung von Anlagentechnik und Energiequellen stattfindet. Nachfolgend einige Beispiele: Auf die Heizlast kann sich positiv auswirken, wenn in der Heizperiode die freie Lüftung minimiert und stattdessen die maschinelle Lüftung mit Wärmerückgewinnung eingesetzt wird. Hier besteht zugleich ein wesentlicher Einfluss durch das Nutzerverhalten, da das Ausmaß der freien Fensterlüftung nicht vorhersagbar ist. Stromeinsparungen wären durch die Einführung von Zeitplänen mit Teillastbetriebszeiten bei der RLT und Kältemaschine möglich. (Siehe auch DKI, 2021, S. 4) Bei der Datenermittlung im Rahmen dieser Arbeit stellte sich heraus, dass dies noch nicht der Fall ist. Dies würde auch die beobachtete Grundlast senken. Bei der TWW-Bereitung könnte ebenfalls ein nächtlicher Teillastbetrieb in Frage kommen. In der Literatur ist vermerkt, dass nächtliche Abschaltungen einer Zirkulationsleitung wahrscheinlich keine bedenkliche Legionellenzunahme bewirken (vgl. Bohne, 2022, S. 185).

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Energiekonzepte beruhen auf bewährten erneuerbaren Technologien, die auch am Standort der Geriatrie Potential besitzen. Wesentliche Kriterien sind ein effizienter Umgang mit der Grundstücksfläche, eine Maximierung der Energieerträge und eine wirtschaftliche Durchführbarkeit.

Ein weiterer Punkt ist, dass bei den untersuchten Energiekonzepten der Eigenverbrauch der erzeugten Energie maximiert und die Netzeinspeisung minimiert werden sollte. Vor dem Hintergrund sind Speichertechnologien und thermische Speichermassen des Gebäudes von besonderer Bedeutung. Zudem ist eine intelligent arbeitende Steuerungstechnik zur Koordination des Energiekonzeptes von entscheidender Bedeutung für einen effizienten Betrieb. Es sollte dabei z.B. angestrebt werden, dass Überschüsse aus der PVT-Anlage auf die Wärmepumpe übertragen werden, die den WW-Speicher oder die thermischen Speichermassen aufheizen würde.

Im Vergleich zu den anlagenspezifischen Energiekonzepten ist die Unterlassungsvariante die ungünstigste Option. Einerseits verursacht sie laut der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die höchsten Kosten. Andererseits ist sie in Anbetracht der immer noch hohen fossilen Anteile im öffentlichen Strommix und der dresdener Fernwärme die am wenigsten nachhaltige Option in Bezug auf Treibhausgasemissionen. Die Variante 1 (PVT, Netzstrom, Sole-Wasser-WP) ist die günstigste Option. Hierbei werden unter der Annahme, dass zusätzlich keine Fernwärme bezogen werden muss, die Fernwärmekosten der Unterlassungsvariante eingespart. Diese Einsparungen übersteigen die zusätzlichen Investitions- und Wartungskosten erheblich. Durch den Einsatz von WP-Systemen resultiert zwar ein etwas höherer Strombedarf, jedoch kann bei einem effizient gestalteten Gesamtsystem durch den Einsatz des Stroms ein Vielfaches an thermischer Energie aus der Umwelt nutzbar gemacht werden - insbesondere über einen angenommenen Lebenszyklus von 20 Jahren. Über die Erdsonden kann auch die Kühlung der Räume mit FBH mit einem äußerst geringen Energieeinsatz unterstützt und ggf. sogar vollständig übernommen werden. Diese Thematik war kein Bestandteil der vorliegenden Arbeit, wäre aber ein lohnenswerter Untersuchungsgegenstand, v.a. wenn ggf. ein zusätzlicher Einsatz von Kapillarrohrmatten und Kühldecken in Räumen der Geriatrie möglich wäre. Die Maximierung des Eigenverbrauchs bei Lastspitzen der PVT-Anlage kann zudem bspw. genutzt werden, indem bei solarem Überangebot über die WP-Systeme thermische Speichermassen mit Wärme oder Kälte „beladen“ werden. So stünde für nachfolgende Unterangebotszeiten ein thermischer Puffer zur Verfügung.

Der Einsatz von PVT-Modulen bietet den Vorteil, dass auf der verfügbaren Dachfläche sowohl Photovoltaik-Strom als auch Warmwasser erzeugt werden kann. Damit wird der Wirkungsgrad beider Technologien am wirkungsvollsten vereint- ein Faktor, der angesichts der begrenzten Dachfläche der Geriatrie sehr bedeutsam ist. Die höheren Anschaffungskosten im Vergleich zu herkömmlichen Photovoltaik-Anlagen wären dabei gerechtfertigt. Das erwärmte Wasser wäre zusätzlich zu den Erdsonden eine Wärmequelle für die Sole-Wasser-WP und könnte dadurch die Erdsonden-Zonen thermisch entlasten. Diese Option wurde jedoch nicht untersucht, um den Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht zu sprengen. Es empfiehlt sich jedoch unbedingt die genaue Ermittlung der potentiellen PV-Modulfläche sowie möglicher Verschattungseffekte, die u.U. eine hohe Leistungsminderung der PVT-Anlage verursachen könnten, durch Fachplaner. Es stellt sich hierbei die Frage, ob die Investition in PV-Flächen auf den nordost-exponierten Dachflächen tatsächlich wirtschaftlich wäre, insbesondere wenn Verschattungen nicht ausgeschlossen sind. Andererseits wäre zu untersuchen, ob ein Einsatz von PVT-Elementen auf den Therapiedächern in Frage kommt.

Alle anderen untersuchten Varianten der Energiekonzepte bieten ebenfalls erhebliche Einsparungen gegenüber der Unterlassungsvariante, diese fallen jedoch geringer als bei der Variante 1 aus. Bei allen Energiekonzepten lässt sich ein in der Bilanz überwiegender Bezug von Strom aus dem öffentlichen Netz nicht vermeiden. Hierdurch wäre jedoch ggf. eine relative Abhängigkeit bei Preisanpassungen durch die Versorgungsunternehmen gegeben. Dies könnte vor dem Hintergrund von Energiekrisen weiter an Bedeutung gewinnen. Immerhin kann bei zwei Energiekonzepten voraussichtlich die Abhängigkeit von Fernwärme und den damit verbundenen Kosten deutlich verringert werden.

Bei der vorliegenden Arbeit muss jedoch beachtet werden, dass sie gewissen Einschränkungen unterliegt. Es handelt sich um eine Studienarbeit, die im gegebenen Zeitrahmen nicht die Fülle an Parametern berücksichtigen kann, die für die Erstellung eines Energiekonzeptes notwendig sind. Bereits bei der Grundlagenermittlung konnten nur wenige reale Daten gewonnen werden, Messungen vor Ort waren nicht möglich.



Somit sind die vorliegenden Ergebnisse v.a. bei den Energiebedarfen, den Leistungen der Anlagentechnik und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur als vorsichtige Tendenzen zu verstehen, zumal zahlreiche Vereinfachungen getroffen werden mussten. Daher ist unbedingt ein Fachplaner für eine nähere Betrachtung zu konsultieren. Für die Erstellung einer aussagekräftigen Gebäudesimulation ist außerdem eine umfangreiche Datengrundlage sehr bedeutend. Es waren jedoch nur reale Messdaten zum Elektroenergiebedarf und Fernwärmebedarf bekannt. Diese lagen zudem nur in Form eines Lastgangprofils vor, das den kompletten Bedarf des Gebäudes beinhaltet, nicht jedoch die einzelnen Bedarfe von Nutzungszonen respektive Räumen. Diese mussten daher aus der DIN V 18599 - 10 angenommen werden, was bei der vorliegenden Betrachtung zu relevanten Ungenauigkeiten führen kann. Weitere bedeutende Werte mussten ebenfalls aus der Norm angenommen werden oder durch vereinfachte Rechnungen ermittelt werden. Dies betrifft die Luftwechselzahlen, die Zeitstruktur der internen Lasten und Energiebedarfe des Gebäudes, den TWW-Bedarf, die elektrischen Leistungen der bestehenden Geräte und Anlagentechnik und ihre Zeitstruktur, sowie viele weitere Parameter. Grundsätzlich wird auch in der einschlägigen Literatur deutlich, dass derzeit viele Kliniken nur wenige Daten zu Energiebedarfen und Parametern der Anlagentechnik erfassen. Immer wieder werden umfangreiche Messungen an der Anlagentechnik vor Ort nötig sein, wie in einer Studie des Fraunhofer UMSICHT dargelegt. (vgl. Hagemeier et al., 2017, S. 44) Durch die wenigen verfügbaren Messwerte war auch die eingehende Validierung des Gebäudemodells kaum möglich.

Bei anderen Rahmenbedingungen als in der vorliegenden Arbeit könnten sich bedeutsame Einflüsse ergeben. So wäre z.B. eine längere Lebensdauer der Anlagentechnik mit noch höheren Kosteneinsparungen verbunden. Auch ist das Außenklima Schwankungen unterworfen. Dies könnte einen – wenn auch geringen – Faktor für Ungenauigkeiten bei der Gebäudesimulation darstellen. Das lokale Klima am Standort der Geriatrie wird möglicherweise nicht exakt abgebildet, da bspw. folgende Faktoren nicht berücksichtigt werden: Verschattungen durch Bäume, wärmespeichernde Objekte in der Umgebung (Bahndamm, Bodenbelag am Parkplatz), erhöhte Verdunstung und -kühlung durch die umliegende Grünfläche.

Ebenso können Änderungen des lokalen Klimas zum Zeitpunkt der Projektrealisierung im Vergleich zu 2017 eintreten. Die Anlagentechnik wurde unter Annahme der moderaten, exemplarischen Klimadaten des TRY 2017 betrachtet. Sollten sich die Klimarandbedingungen signifikant ändern, so müssten die Systeme ggf. neu abgestimmt werden. Außerdem ist die Rolle des Nutzerverhaltens bedeutend. Außer dem Ausmaß der freien Fensterlüftung und damit einhergehender Energieverluste kann der tatsächliche TWW-Bedarf die Energiebilanz stark beeinflussen. Auch ist der Einfluss von Nutzungsänderungen, die in der Medizin zu erwarten sind, nicht genau vorhersagbar. Es könnten z.B. Großgeräte in die Klinik integriert werden, wodurch ein ganz anderes Strom-Lastprofil entstehen würde. Ein fein abgestimmtes Energiekonzept wäre bei umfangreichen Nutzungsänderungen zwingend neu zu betrachten.

## 6 SCHLUSSBETRACHTUNG

### 6.1 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

- Die Dämmung der obersten Geschossdecken des historischen Gebäudeteils mit einer leistungsfähigen Wärmedämmung sollte durchgeführt werden.  
Die Außenwände könnten mit einem Dämmputz versehen werden.
- Ebenfalls sollten die Energieeinsparmaßnahmen an der Anlagentechnik durchgeführt werden.
- Es ist zu empfehlen, dass die Planung eines PVT-Systems in Kombination mit einem Sole-Wasser-WP-System und ggf. einem Luft-WP-System und den dazugehörigen Speichern durch Fachplaner erwogen wird.
- Die Auslegung von Speichertechnologien sollte weiterführend untersucht und maximiert werden. Der bestehende Fernwärmeanschluss kann dabei als Reserve bei Spitzenlasten genutzt werden.
- Für das Energiekonzept sollte eine spezifische, intelligent arbeitende Steuerungstechnik geplant werden.

## 6.2 FAZIT

Um ein Energiekonzept auf Basis von erneuerbaren Energien aufzustellen bedarf es einer umfassenden Betrachtung. Dafür ist die Gebäudesimulation ein essenzielles Werkzeug. Nur so können ausreichend Daten in ihren Wechselwirkungen und zeitlichen Strukturen in die Betrachtung einbezogen werden. Grundlage einer soliden Gebäudesimulation kann nur eine umfassende und valide Datenlage sein. Gerade diese ist jedoch bei Kliniken noch oft nicht anzutreffen.

Der Kliniksektor ist enormen finanziellen Belastungen ausgesetzt – da die Energiepreise zu dem Druck beitragen sind ein energieeffizienter Gebäudebetrieb und die eigene Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen vordergründige Handlungsschwerpunkte. Wärmepumpen-Anlagen können eine gute Eignung im Hinblick auf die Unterstützung der Deckung des Wärmebedarfes einer Klinik haben. Kritische Rollen sind bei der Ausgestaltung von Speichermaßnahmen und Steuerungstechnik zu finden, die für viele Energiekonzepte einen maßgeblichen Einfluss auf die Effizienz haben werden. Obwohl die vorliegende Betrachtung aufgrund der geringen Datenlage nur grundlegende Tendenzen und Konzeptideen vermittelt, sind jedoch die Problematik der Datenverfügbarkeit und Potentiale für Energieeinsparungen offengelegt worden.

Auch ist eine Gebäudesimulation in der Handhabung aufwändig und ohne fundierte Fachkenntnisse nicht ohne Weiteres anwendbar. Für spezifische Betrachtungen in diesem Komplexitätsgrad sind Fachplaner notwendig.

## 7 VERZEICHNIS DER ANHÄNGE

Anhang 1	Eingaben nach Nutzungszone in SIM-VICUS für das Bestandsgebäude	12
Anhang 2	Eingaben in SIM-VICUS für Bauteilkonstruktionen	23

## 8 ANHANG

### 8.1 ANHANG 1: EINGABEN NACH NUTZUNGSZONE IN SIMVICUS FÜR DAS BESTANDSGEBÄUDE

Anmerkung 1: Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit sind Modifikationen am simulierten Gebäude erfolgt. Dabei wurden wenige Parameter angepasst, sodass im vorliegenden Anhang vereinzelt noch veraltete Werte aufgeführt sein könnten. Die Modelle und Dateien mit dem aktuellen Stand sind im digitalen Anhang beigefügt.

Anmerkung 2: Bei den Verschattungseinstellungen erfolgte die gebäudeübergreifende Annahme eines globalen horizontalen Sensors mit folgenden Grenzwerten, ab denen die Verschattung heruntergefahren wird: Horizontal: 200 W/m<sup>2</sup>, N-O-S-W: 150 W/m<sup>2</sup>, Totband: 50 W/m<sup>2</sup>. Die Verschattungseinstellungen werden nachfolgend nicht gesondert erwähnt.

Anmerkung 3: Abkürzungen im Anhang: SV...SIM-VICUS

	Nutzungszone Besprechungsräume
Interne Lasten	
Elektrische Lasten	Leistung ca. $2 \frac{W}{m^2}$  Zeit d. Einträge: 7-10 & 13-15, Wochenende nicht
Personenlasten	Personenlasten werden mit ca 70 W pro Person und h angenommen  Bilanzierungsmethode m <sup>2</sup> pro Person  Max. Personenbelegung: 3 m <sup>2</sup> pro Person  Zeit d. Einträge: 7-10 + 13- 15, Wochenende nicht

Beleuchtungslasten	<p>Leistung ca. <math>7 \frac{W}{m^2}</math></p> <p>Zeit d. Einträge: 7-17:00, Wochenende nicht</p>
<p>Infiltration</p> <p>Natürliche Belüftung</p>	<p>Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von <math>0,2 \frac{1}{h}</math></p> <p>LWZ aus Tabelle im Anhang</p>
<p>Steuerung</p> <p>Thermostat</p>	<p>Es wurden die Thermostat-Sollwerte aus SIM-VICUS übernommen. Annahme: lufttemperaturgeführt</p> <p>Heizsollwert: 21 °C, Nachtabsenkung: 17°C, Wochenende: durchgängig 17°C</p> <p>Kühlsollwert: Außerhalb Nutzungszeit: 28°C zwischen 18 Uhr abends und 4 Uhr morgens, in Nutzungszeit (wochentags): 24 °C</p> <p>Toleranz: 0,1 K</p>

	Nutzungszone Bettenzimmer
<p>Interne Lasten</p> <p>Elektrische Lasten</p> <p>Personenlasten</p>	<p>SV</p> <p>Leistung: 4 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: ganztägig, Schwerpunkt zwischen 7 und 17:00</p> <p>angepasste SV-Eigenschaften</p> <p>Bilanzierungsmethode: m<sup>2</sup> pro Person</p> <p>Max. Personenbelegung: 12 m<sup>2</sup> pro Pers</p>

<p>Beleuchtungslasten</p>	<p>Sonstige Eigenschaften: wie SV Original-Eigenschaften</p> <p>Zeit d. Einträge: ganztägig gleich angenommen (Vollbelegung, maximale Auslastung)</p> <p>Immer 70 W / Pers und h Sensible Wärmeabgabe</p> <p>SV</p> <p>Leistung: ca 5 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: Annahme: durchgängiger Betrieb</p>
<p>Infiltration</p> <p>Natürliche Belüftung</p>	<p>Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von <math>0,2 \frac{1}{h}</math></p> <p>SV</p>
<p>Steuerung</p> <p>Thermostat</p>	<p>SV</p> <p>Lufttemperaturgeführt</p> <p>Heizsollwert: dauerhaft 21 °C</p> <p>Kühlsollwert: dauerhaft 24°C</p> <p>Toleranz 0,1 K</p>

	Nutzungszone Sanitär Nichtwohngebäude
<p>Interne Lasten</p> <p>Elektrische Lasten</p> <p>Personenlasten</p> <p>Beleuchtungslasten</p>	<p>keine</p> <p>angepasste SV-Eigenschaften</p> <p>Annahme: keine Belegung</p> <p>SV</p> <p>Leistung: ca 4,7 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: zwischen 7 und 17 Uhr</p>
<p>Infiltration</p> <p>Natürliche Belüftung</p>	<p>Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von <math>0,2 \frac{1}{h}</math></p> <p>SV</p>
<p>Steuerung</p> <p>Thermostat</p>	<p>SV</p> <p>Lufttemperaturgeführt</p> <p>Heizsollwert: 21 °C zwischen 4 und 17 Uhr, Nachtabsenkung auf 17°C</p> <p>Kühlsollwert: 24°C zwischen 4 und 17 Uhr, sonst 28°C</p> <p>Toleranz 0,1 K</p>



	Nutzungszone Untersuchungs- und Behandlungsräume
<p>Interne Lasten</p> <p>Elektrische Lasten</p> <p>Personenlasten</p> <p>Beleuchtungslasten</p>	<p>SV</p> <p>Leistung: 7 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: 7-10 und 13-17, am WE nicht</p> <p>SV</p> <p>Bilanzierung: m<sup>2</sup> pro Person</p> <p>Max. Belegung: 6 m<sup>2</sup> pro Person</p> <p>Zeit d. Einträge: 7-10 und 13-17, am WE nicht</p> <p>Immer 70 W / Pers und h</p> <p>SV</p> <p>Leistung: ca. 9,4 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: 7-17, am WE nicht</p>
<p>Infiltration</p> <p>Natürliche Belüftung</p>	<p>Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von <math>0,2 \frac{1}{h}</math></p> <p>SV</p>
<p>Steuerung</p> <p>Thermostat</p>	<p>SV</p> <p>Lufttemperaturgeführt</p> <p>Heizsollwert: 21 °C zwischen 4 und 17 Uhr, sonst: 17-18°C □ korrigieren?</p> <p>Kühlsollwert: 24°C zwischen 4 und 17 Uhr, sonst 28 °C</p> <p>Toleranz 0,1 K</p>

	Nutzungszone Lager
<p>Interne Lasten</p> <p>Elektrische Lasten</p> <p>Personenlasten</p> <p>Beleuchtungslasten</p>	<p>keine</p> <p>SV, „Lager, Technik, Archiv Personen Anwesenheit“ Keine Personen</p> <p>SV</p> <p>Leistung: ca. 3,4 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: 7-17, am WE nicht</p>
<p>Infiltration</p> <p>Natürliche Belüftung</p>	<p>Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von <math>0,2 \frac{1}{h}</math></p> <p>SV</p>
<p>Steuerung</p> <p>Thermostat</p>	<p>SV</p> <p>Lufttemperaturgeführt</p> <p>Heizsollwert: 21 °C zwischen 4 und 17 Uhr, sonst: 17-18°C</p> <p>Kühlsollwert: 24°C zwischen 4 und 17 Uhr, sonst 28 °C</p> <p>Toleranz 0,1 K</p>

	Nutzungszone Verkehrsflächen
<p>Interne Lasten</p> <p>Elektrische Lasten</p> <p>Personenlasten</p> <p>Beleuchtungslasten</p>	<p>Annahme: Elektrische Geräte Untersuchungs- und Behandlungsräume</p> <p>Leistung: 7 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: 7-10 und 13-17, am WE nicht</p> <p>„Personen Verkehrsflächen“ Eigene Belegungs- + Aktivitätszeitpläne Annahme: 6-19: 10 m<sup>2</sup> pro Person, dauerhaft 1 Person, metabolische Aktivitätsrate 100 W dauerhaft, da Betten + Geräte schieben, Physio mit Patient, Essen austeilern, Putzen, etc.</p> <p>19-6: 10 m<sup>2</sup> pro Person, dauerhaft 0,25 Person, metabolische Aktivitätsrate 70 W dauerhaft</p> <p>„Flure des allgemeinen Pflegebereichs Beleuchtung Nutzungszeit_angepasst“</p> <p>Leistung: ca. 2,6 W/m<sup>2</sup> für 7-20:00, sonst Energieverwaltungszeitplan: 0,5</p>
<p>Infiltration</p> <p>Natürliche Belüftung</p>	<p>Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von <math>0,2 \frac{1}{h}</math></p> <p>SV</p>
<p>Steuerung</p> <p>Thermostat</p>	<p>Annahme Lufttemperaturgeführt</p> <p>Heizsollwert: 21 °C zwischen 4 und 17 Uhr, sonst: 17°C</p> <p>Kühlsollwert: 24°C zwischen 4 und 17 Uhr, sonst 28 °C</p> <p>Toleranz 0,1 K</p>

	Nutzungszone sonstige Aufenthaltsräume
Interne Lasten Elektrische Lasten	SV  Leistung: 2 W/m <sup>2</sup>  Zeit d. Einträge: 8-18, am WE nicht
Personenlasten	SV  Bilanzierung: m <sup>2</sup> pro Person  Max. Belegung: 3 m <sup>2</sup> pro Person  Zeit d. Einträge: 7-18, am WE nicht  Immer 70 W / Pers und h
Beleuchtungslasten	SV  Leistung: ca. 5 W/m <sup>2</sup>  Zeit d. Einträge: 7-18, am WE nicht
Infiltration	Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von $0,2 \frac{1}{h}$
Natürliche Belüftung	Beschreiben der programmseitigen Werte (Anlehnung an DIN 18599)
Steuerung Thermostat	SV  Lufttemperaturgeführt  Heizsollwert: 21 °C zwischen 4 und 18 Uhr, sonst: 17-18°C  Kühlsollwert: 24°C zwischen 4 und 18 Uhr, sonst 28 °C  Toleranz 0,1 K

	Nutzungszone Küche Nichtwohngebäude
<p>Interne Lasten</p> <p>Elektrische Lasten</p> <p>Personenlasten</p> <p>Beleuchtungslasten</p>	<p>SV</p> <p>Leistung: 300 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: 9-23, am WE nicht</p> <p>SV</p> <p>Bilanzierung: m<sup>2</sup> pro Person</p> <p>Max. Belegung: 10 m<sup>2</sup> pro Person</p> <p>Zeit d. Einträge: 10-23, am WE nicht</p> <p>Immer 80 W / Pers und h</p> <p>SV</p> <p>Leistung: ca. 8 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: 10-23, am WE nicht</p>
<p>Infiltration</p> <p>Natürliche Belüftung</p>	<p>Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von <math>0,2 \frac{1}{h}</math></p> <p>Beschreiben der programmseitigen Werte (Anlehnung an DIN 18599)</p>
<p>Steuerung</p> <p>Thermostat</p>	<p>SV</p> <p>Lufttemperaturgeführt</p> <p>Heizsollwert: wochentags 21 °C zwischen 7 und 23 Uhr, sonst: 17-18°C</p> <p>Kühlsollwert: 24°C zwischen 7 und 23 Uhr, sonst 28 °C</p> <p>Toleranz 0,1 K</p>

	Nutzungszone Einzelbüro
<p>Interne Lasten</p> <p>Elektrische Lasten</p> <p>Personenlasten</p> <p>Beleuchtungslasten</p>	<p>SV</p> <p>Leistung: 1,9 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: meiste: 7-18, Grundlast: wochentags dauerhaft, am WE nichts</p> <p>SV</p> <p>Bilanzierung: m<sup>2</sup> pro Person</p> <p>Max. Belegung: 14 m<sup>2</sup> pro Person</p> <p>Zeit d. Einträge: 7-18, am WE nicht</p> <p>Immer 70 W / Pers und h</p> <p>SV</p> <p>Leistung: ca. 9 W/m<sup>2</sup></p> <p>Zeit d. Einträge: 7-18, am WE nicht</p>
<p>Infiltration</p> <p>Natürliche Belüftung</p>	<p>Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von <math>0,2 \frac{1}{h}</math></p> <p>Beschreiben der programmseitigen Werte (Anlehnung an DIN 18599)</p>
<p>Steuerung</p> <p>Thermostat</p>	<p>SV</p> <p>Lufttemperaturgeführt</p> <p>Heizsollwert: wochentags 21 °C zwischen 4 und 18 Uhr, sonst: 17-18°C</p> <p>Kühlsollwert: 24°C zwischen 4 und 18 Uhr, sonst 28 °C</p> <p>Toleranz 0,1 K</p>

	Nutzungszone Kaldach Spitzboden
Infiltration	Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von $0,2 \frac{1}{h}$

	Nutzungszone Aufzüge
Infiltration	Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von $0,2 \frac{1}{h}$

	Nutzungszone „Simulationszwecke“
Interne Lasten Elektrische Lasten	Leistung: 86300 W  Zeit d. Einträge: durchgängig
Infiltration  Natürliche Belüftung	Einheitliche, gebäudeübergreifende Luftwechselrate von $0,2 \frac{1}{h}$  Annahme zu Simulationszwecken: $27 \frac{1}{h}$

Für die raumluftechnische Anlage (RLT) existiert kein Betriebszeitplan bzw. Stufenbetrieb. Daher erfolgt die Annahme eines durchgehenden Betriebes mit den in der obigen Tabelle genannten Kennwerten für die natürliche Belüftung. Dies bedingt, dass die Ventilatoren mit gleicher Leistung ganzjährig betrieben werden.

Für die Kältemaschine wird angenommen, dass diese nur nach Bedarf eingeschaltet wird, damit eine Zieltemperatur von max. 24°C im Zuluftvolumenstrom (RLT) eingehalten werden kann. Berechnung- in Excel-Datei „Berechnungen“

## 8.2 ANHANG 2: EINGABEN IN SIMVICUS FÜR DIE KONSTRUKTIONEN DES BESTANDSGEBÄUDES

Bauteil	Kennwerte	
<b>Bodenplatte Neubau</b>	Dicke	Annahme 90 cm
	U-Wert*****	Annahme 0,6717 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.o.n.u.	Annahme Fließestrich 6 cm; Trittschalldämmung 4cm; Stahlbeton 80 cm rho = 2400 kg/m <sup>3</sup>
	Randbedingungen *****	Wärmeleitung
	SeiteA	WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K Wärmeleitung
	Seite B	WÜKK 1000 W/m <sup>2</sup> K
	<b>Neubau Boden an Außenluft</b>	Dicke
	U-Wert*****	0,3024 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.o.n.u.	Fließestrich 6cm; Trittschalldämmung 4cm; Stahlbeton 20cm; Dämmung 8cm
	Randbedingungen *****	Wärmeleitung
	SeiteA	WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K Wärmeleitung
	Seite B	WÜKK 17 W/m <sup>2</sup> K



		Solar adsorption Constant, adsorption coeff. = 0.6 Long wave radiation exchange Constant, emissivity = 0.9
<b>Außenwand Neubau erdberührt</b>	Dicke	38 cm
	U-Wert*****	0,4533 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.i.n.a.	Stahlbeton ( 2400 kg/m <sup>3</sup> ) 30cm; Dämmschicht extrudierter Polystyrol-Hartschaum (Lambda
	Randbedingungen	0,040 W/mK) 8cm
	SeiteA	8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	1000 W/m <sup>2</sup> K
<b>Außenwand Neubau an Luft</b>	Dicke	28 cm (ohne hinterlüftete Vorhangfassade)
	U-Wert*****	Gesamt: 0,4417 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.i.n.a.	Thermisch relevant: Stahlbetonwand rho = 2400 kg/m <sup>3</sup> (20cm); diffusionsoffene Glaswolle (8cm) mit außenliegender Glasvlieskaschierung*; <b>Thermisch nicht relevant:</b> hinterlüftete Fassadenunterkonstruktion aus Stahlprofilen und einer Luftschicht von 15,2 cm; Fassadenoberfläche bestehend aus Glaselementen (ESG) mit einer Dicke von 0,8 cm**

## Randbedingungen

	Wärmeleitung
Seite A	WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
	Wärmeleitung
Seite B	WÜKK 17 W/m <sup>2</sup> K

Solar adsorption - Constant,  
adsorption coeff. = 0.6  
Long wave radiation exchange -  
Constant, emissivity = 0.9

---

**Fenster und Türen**
**Neubau**

Uw-Wert*****	1,3 W/m <sup>2</sup> K laut Planunterlagen***
SHGC	Annahme 0,6
Bauart	Stahlfenster-Bänder mit Wärmeschutzisolierverglas mit HZK - Beschichtung Außen: 6 mm Floatglas Scheibenzwischenraum: 16mm Innen: 6mm VSH Gesamtdicke: 28mm
Randbedingungen	
Seite A	
Seite B	Stahlrahmen mit einer Breite zwischen 78 mm und 104 mm,
U-Wert*****	Annahme: Stahlblech-Rahmen einheitlich konstante Breite von 80 mm um eine Fensterposition herum mit einer Materialdicke von 3mm
Bauart	

---

	Randbedingungen	Wärmeleitung
	Seite A	WÜKK 6,8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 17 W/m <sup>2</sup> K
<b>Therapiedach Neubau und nicht überbaute Bereiche des UG</b>	Dicke	42cm
	U-Wert*****	0,1644 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.o.n.u.	Schotter 19cm, Dämmung Styrodur
	Randbedingungen SeiteA	22 cm; Stahlbeton (rho 2400 kg/m <sup>3</sup> ) 20cm
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K Wärmeleitung WÜKK 17 W/m <sup>2</sup> K Solar adsorption Constant, adsorption coeff. = 0.6 Long wave radiation exchange Constant, emissivity = 0.9
<b>Dach Neubau</b>	Dicke	45cm
	U-Wert*****	0,1515 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.o.n.u.	Flachdachkonstruktion Dämmung Styrodur 25 cm; Stahlbeton (rho 2400 kg/m <sup>3</sup> ) 20cm
	Randbedingungen	

	SeiteA	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 17 W/m <sup>2</sup> K Solar adsorption Constant, adsorption coeff. = 0.6 Long wave radiation exchange Constant, emissivity = 0.9
<b>Neubau Innenwand</b>	Dicke	20 cm
	Material	Gipsputz 1cm; Gipskartonplatte 1,3cm; Mineralwolle 15,5cm; Gipskartonplatte 1,3cm; Gipsputz 1cm
	Randbedingungen	Wärmeleitung
	SeiteA	WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
<b>Neubau Geschossdecke</b>	Dicke	35cm
	Material	18cm Fließestrich; Stahlbeton 20cm
	Randbedingungen	
	SeiteA	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
<b>Bodenplatte Altbau (Annahme)</b>	Dicke	26 cm
	U-Wert*****	4,0184 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.o.n.u.	Fließestrich 6 cm; Stahlbeton 20 cm (rho = 2400 kg/m <sup>3</sup> )

	Randbedingungen	
	Seite A	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 1000 W/m <sup>2</sup> K
<b>Außenwand Altbau (Annahme)</b>	Dicke	Zwischen 80cm und 50cm je nach Geschoss (Siehe beigefügte Grundrisse). Es werden zur Vereinfachung einheitlich 60cm angenommen.
	U-Wert*****	1,1 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.i.n.a.	Gipsputzschicht 1cm, Ziegelmauerwerk (Vollziegel; lambda 0.745 W/mK; rho 1736,5 kg/m <sup>3</sup> ) 57cm, Kalkputzschicht 2cm
	Randbedingungen	
	Seite A	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 17 W/m <sup>2</sup> K
		Heat conduction Constant, heat transfer coefficient = 17 W/m <sup>2</sup> K Solar adsorption Constant, adsorption coeff. = 0.6 Long wave radiation exchange Constant, emissivity = 0.9

---

<b>Außenwand Altbau erdberührt (Annahme)</b>	Dicke	125 cm
		1,125 W/m <sup>2</sup> K
	U-Wert*****	Gipsputzschicht 1 cm, Vollziegel- Mauerwerk (lambda 0.745 W/mK;
	Material v.i.n.a.	rho 1736,5 kg/m <sup>3</sup> ) 124 cm
	Randbedingungen	
	Seite A	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
Seite B	Wärmeleitung WÜKK 1000 W/m <sup>2</sup> K	

---

## Fenster und Türen

### Altbau

#### (Annahme)

Uw-Wert\*\*\*\*\*

SHGC-Wert

Bauart

Holzverbundfenster mit 2  
Einfachscheiben 68mm  
Holzrahmen b = 80 mm, Pfosten  
und Riegel b = 100mm, Annahme  
einer Materialdicke von 20 mm

Randbedingungen

Wärmeleitung

WÜKK 6,8 W/m<sup>2</sup>K

Wärmeleitung

WÜKK 17 W/m<sup>2</sup>K

<b>Geschossdecken und oberste Geschossdecke</b>	Dicke	30cm
<b>Altbau (Annahme)</b>	U-Wert*****	2,491 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.o.n.u.	Fließestrich 10cm; Stahlbetondecke 20cm
	Randbedingungen	
	Seite A	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
<b>Innenwand Altbau dünn (Annahme)</b>	Dicke	17,5 cm
	Material	Gipsputz 1cm, Vollziegel-Mauerwerk (lambda 0.745 W/mK; rho 1736,5 kg/m <sup>3</sup> ) 15,5 cm, Gipsputz 1cm
	Randbedingungen	
	Seite A	Wärmeleitung
	Seite B	WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
<b>Innenwand Altbau dick (Annahme)</b>	Dicke	30cm
	Material	Gipsputz 1cm, Vollziegel-Mauerwerk (lambda 0.745 W/mK; rho 1736,5 kg/m <sup>3</sup> ) 28 cm, Gipsputz 1cm
	Randbedingungen	
	Seite A	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K

	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
<b>Dach Altbau (Annahme)</b>	Dicke	21cm
	U-Wert*****	1,853 W/m <sup>2</sup> K
	Material v.o.n.u.	Schrägdachkonstruktion Ziegeldeckung 3cm, Holzbalken (d = 16cm) mit Luftschicht und Lehm (lambda 0,7 W/mK, rho 736 kg/m <sup>3</sup> ), Fichtenholzschalung (2cm)
	Randbedingungen	
	Seite A	Wärmeleitung WÜKK 8 W/m <sup>2</sup> K
	Seite B	Wärmeleitung WÜKK 17 W/m <sup>2</sup> K
		Solar adsorption Constant, adsorption coeff. = 0.6 Long wave radiation exchange Constant, emissivity = 0.9

\*:

Berechnung des U-Wertes durch SIM VICUS.

**Dämmung** laut Herstellerangaben: Glaswolle, Wärmeleitfähigkeit LAMBDA von 0,040 W/mK, WLG 040 oder 0,035 W/mK, WLG 035 – IM SIMVICUS angenommen wird eine Mineralwollendämmung mit einer einheitlichen LAMBDA von 0,040 W/mK, um konservativ



zu rechnen und ggf. geringfügige Abnutzungs- und Alterungseffekte ebenfalls zu berücksichtigen.

Die Dichte des **Stahlbetons** wird aufgrund fehlender Angaben mit  $2300 \text{ kg/m}^3$  angenommen, was einer typischen Trockenrohddichte bei Stahlbeton aus Normalbeton entspricht.

Eine Angabe **von thermisch nicht erheblich relevanten Konstruktionsbestandteilen** erfolgt für die Gebäudesimulation nicht. Dies umfasst z.B. Abdichtungen, Punktanker, vorgehängte und hinterlüftete Fassadenaufbauten, Sonnenschutzelemente etc.

Aufgrund von fehlenden Daten mussten zeittypisch erwartbare **Konstruktionen für den Altbau** angenommen werden.

**\*\*:**

In die Fassadenoberfläche ist vor den Wandöffnungen ein außenliegender Sonnenschutz aus Glaslamellen und Raffstores integriert, der zum Zeitpunkt dieser Arbeit nicht funktionstüchtig ist.

**\*\*\*:**

Aufgrund der geringen thermischen Unterschiede zwischen Türen und Fenstern wird in der Simulation ein einheitlicher U-Wert für alle Öffnungen des Neubaugebäudes angesetzt. Im digitalen Anhang sind Ausschnitte aus den Konstruktionszeichnungen angefügt.

---

\*\*\*\*\*:

unter Verwendung der zugewiesenen Randbedingung

\*\*\*\*\*:

Für die Randbedingungen werden durchschnittliche Wärmeübergangskoeffizienten für den Innenbereich  $h_{si} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  und den Außenbereich  $h_{se} = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$  zugrundegelegt. Für Oberflächen, die an Erdreich angrenzen, wird  $1000 \text{ W/m}^2\text{K}$  angenommen. Die Wärmeübergangskoeffizienten beinhalten den Strahlungs- und Konvektionsanteil.

## 9 LITERATURVERZEICHNIS

Bohne, D. (2022). *Gebäudetechnik und Technischer Ausbau von Gebäuden*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-37488-4>

Bundesverband Geothermie. (2023). *Anergie*. <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/a/anergie.html>

Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V. (2023). *Leitlinie Raumluftechnik im Krankenhaus*. <https://www.krankenhaushygiene.de/informationen/fachinformationen/leitlinien/556>

Deutsches Institut für Normung e.V. (2018). *DIN 1946-4:2018-09, Raumluftechnik\_ - Teil\_4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens*. Beuth Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31030/2881775>

Deutsches Institut für Normung e.V. (2018). *DIN V 18599-10:2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden\_ - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung\_ - Teil\_10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten*. Beuth Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31030/2874436>

Deutsches Krankenhaus Institut (2021). *Klimaschutz in deutschen Krankenhäusern -*. <https://www.dki.de/forschungsprojekte/publikationen>

DREWAG. (2023). *Dresdner Fernwärme*. Abgerufen am 29.9.2023 unter: [https://www.drewag.de/wps/portal/drewag/cms/menu\\_main/gewerbekunden/waerme/tarife/fernwaerme](https://www.drewag.de/wps/portal/drewag/cms/menu_main/gewerbekunden/waerme/tarife/fernwaerme)

Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist

Fraunhofer ISE. (2023). *PVTgen2*. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pvtgen2.html>

Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das durch Artikel 18a des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1237) geändert worden ist

Hagemeier, A., Schnier, M., & Beier, C. (2017). *Hospital Engineering—Teilprojekt „Energieeffizienz“*. <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/298599>

Institut für Bauklimatik der TU Dresden. (2023). *SIM-VICUS*. <https://www.sim-vicus.de/>

Institut für Bauklimatik der TU Dresden. (2023). *NANDRAD*. Nandrad. <https://www.bauklimatik-dresden.de/nandrad/index.php>

Paschotta, D. R. (2023). *Spitzenleistung*. <https://www.energielexikon.info/spitzenleistung.html>

Pohl, Martin. (2018). *Grundlagen der Bauklimatik. Vorlesung: Infiltration & Freie Lüftung*. Institut für Bauklimatik an der Technischen Universität Dresden.

Rhön Stiftung. (2023). *Energieeffizienz im Krankenhaus – Ein Handlungsleitfaden zu energiesparenden Ansätzen und Technologien*. <https://www.rhoenstiftung.de/energieeffizienz-im-krankenhaus-ein-handlungsleitfaden-zu-energiesparenden-ansaetzen-und-technologien/>

Umweltbundesamt. (2023). *kWp-Wert—SNS Umweltthesaurus*. [https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/\\_00608647.html](https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/_00608647.html)

Verein Deutscher Ingenieure. (2020). *VDI 5800 Blatt 1*. Beuth Verlag. <https://www.beuth.de/de/technische-regel/vdi-5800-blatt-1/319538855>

Viamedica Stiftung. (2020). *Klinergie 2020 – Energieeffizienz in deutschen Kliniken*. <https://www.viamedica-stiftung.de/klinergie>

# 10 WEITERE QUELLEN

## 10.1 BILDQUELLEN

Abb. 3: Blobelt, J. (2007). *Geriatrische Klinik Löbtau 2a*. Wikimedia. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20070401105DR\\_Dresden-L%C3%B6btau\\_Geriatrische\\_Klinik\\_Altonaer\\_2a.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20070401105DR_Dresden-L%C3%B6btau_Geriatrische_Klinik_Altonaer_2a.jpg)

Abb. 1,2 und

Tab 1,2: Bohne, D. (2022). *Gebäudetechnik und Technischer Ausbau von Gebäuden*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-37488-4>

Tab.3: DREWAG. (2023). *Dresdner Fernwärme*. Bescheinigung über die energetische Bewertung nach FW 309 Teile 5 & 7. Abgerufen am 29.9.2023 unter: <https://www.drewag.de/wps/wcm/connect/drewag/a056e05f-dce0-459d-b260-8aff31eb553f/FW309-Bescheinigung-ZFHN.pdf?MOD=AJPERES&CVID=ozz0ErT>

## 10.2 BENUTZTE GERÄTE / HILFSMITTEL

- Graphisoft (Nemetschek). Archicad 26. Zweck: 3D-Modellieren des Gebäudes
- Acca. BimViever. Zweck: Kontrolle der IFC-Datei
- Institut für Bauklimatik an der TU Dresden. SIMVICUS. Zweck: Gebäudesimulation
- Microsoft. Office 365. Zweck: Berechnungen und Erstellung der Schriftfassung.
- Zotero inkl. Browser- und Textverarbeitungs-Plugin. Zweck: Literaturverwaltung, Zitieren und Literaturverzeichnis

# 11 VERZEICHNIS DES DIGITALEN ANHANGS

Fotodokumentation der Ortsbesichtigung

Arbeitsdateien

Produktdatenblatt Dämmstoff Neubau

Konstruktionen Neubau

Selbe Infos: Außenwand, Sonnenschutz: Konstruktion\_1\_Horiz-Schnitt-  
Aussenecke und **Konstruktion\_2\_Fassade-Oeffnung-Sonnenschutz**  
**(anfügen)**

Sockel: c\_Konstruktion\_3\_Fassade-Sonnenschutz-Sockel

(Falls relevant: Innenwand u Geschossdecke) c\_Konstruktion\_4\_Fassade-  
Oeffnung-Innenwand-Geschossdecke

Attika: c\_Konstruktion\_6\_Attika

Sim-vicus

Excel

GR,Sch,Det,Besichtigung,



Erklärung

Hierdurch erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tage eingereichte Diplomarbeit selbständig verfasst und andere als die angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe.

Dresden, .....

.....

Unterschrift  
des Diplomanden