

Flexibler Nutzer:innenkomfort in viertelstündlich CO₂-neutralen Plusenergiequartieren

Flucco+

Zelger T., Schneider S., Lipp B., Bell D., Schindler M.,
Tabakovic M., Kerschbaum E.,
Muñoz-Czerny U., Huemer-Kals V.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

01/2024

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leitung: DI Theodor Zillner

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Flexibler Nutzer:innenkomfort in viertelstündlich CO₂-neutralen Plusenergiequartieren

Flucco+

FH Technikum Wien

FH-Prof. Momir Tabakovic PhD, DI Thomas Zelger, Manfred Schindler
MSc. Simon Schneider MSc, Elisabeth Kerschbaum Msc, Mag. Daniel
Bell, Marlene Winter Msc, Fabian Brandstätter Msc, Ines Mlinaric
Msc, Carmrn Wagner Msc, Matthias Zechmeister Msc, Bianca Zeller,
Msc, Lily Xiyun Hergovich Msc

IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH

DI Dr. Bernhard Lipp, DI Ute Muñoz-Czerny, Alexander Baranyai BSc,
Mag. Veronika Huemer-Kals, Mag. Rudolf Bintinger

Käferhaus GmbH

Dr.Jochen Käferhaus, Ing. Wieland Moser

Kleboth und Dollnig ZT GmbH

Arch. DI Andreas Kleboth

Stadtgemeinde Korneuburg

Ing Wolfgang Schenk

Stadtentwicklungsfonds Korneuburg

Mag. Roland Raunig

Aichinger Hoch- und Tiefbau GmbH

Ing. Stefan Forstner

**Abteilung für Umwelthygiene und Umweltmedizin, ZPH,
Medizinischen Universität Wien**

Dr. Hans-Peter Hutter, Kathrin Lemmerer MSc.

WEB Windenergie AG

DI Roman Prager

Wien, Jänner, 2024

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffenen Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der Projektergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK barrierefrei publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at frei zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

DI Theodor Zillner

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

1	Kurzfassung	9
2	Abstract	11
3	Ausgangslage	12
4	Dynamischer Nutzer:innen-Komfort	14
4.1	Grundlagen Behaglichkeitsuntersuchungen	14
4.1.1	Thermische Wahrnehmung	14
4.1.2	Komfortmodelle	15
4.2	Ziele und Methoden	19
4.2.1	Sozialwissenschaftliche Erhebungen	19
4.2.2	Behaglichkeitsuntersuchungen	22
4.3	Ergebnisse	28
4.3.1	Sozialwissenschaftliche Erhebungen	28
4.3.2	Behaglichkeitsuntersuchungen	41
5	Flexibilitätssignale	64
5.1	Methoden und Inhalt	64
5.1.1	Bewertung der Signal-Nutzbarkeit	65
5.1.2	Windkraft „Proxy-Signale“	67
5.1.3	Residuallastsignale	68
5.1.4	Windprognose-Fehler als Signal	75
5.2	Ergebnisse	77
5.2.1	Historische Lastflüsse und Emissionsintensitäten	77
5.2.2	Primärenergie-Konversionsfaktoren stündlich	81
5.2.3	Verfügbare Windkraft-Erzeugungsprofile	82
5.2.4	Proxy-Signale: Gesamtösterreichische (A) und standortspezifische (B) Windkraftleistung	83
5.2.5	Residuallastsignale	87
5.2.6	Windprognosedifferenz	96
5.2.7	CO ₂ -Intensität der elektrischen Energieversorgung als Netzsignal	97
5.2.8	Einfluss von Bauweise und thermisch aktiver Bauteilmasse auf die Verwertbarkeit von Netzdienstlichkeitssignalen	101
5.3	Diskussion	102
5.3.1	Mittlere Länge und Frequenz: Charakteristisch Signal-Eigenschaften	102
5.3.2	Signalvergleich	102
5.3.3	Zeitliche Auflösung	103

5.3.4	Netzdienlichkeitssignale in der Zertifizierung von Plusenergiequartieren.....	103
5.3.5	Korrelation der Windkraft-Proxy-Signale zur Emissionsintensität.....	104
6	Integration und Bewertung im Quartier	106
6.1	Methoden und Inhalt	106
6.1.1	Parametrisierung.....	106
6.1.2	Implementierung und Modellierung.....	107
6.1.3	Klimaneutralität	111
6.1.4	Erstellung von Energiekonzepten	116
6.1.5	Parametervariation und Variantendefinition	116
6.1.6	Energetische Bewertung.....	122
6.1.7	Ökologische Bewertung.....	123
6.1.8	Ökonomische Bewertung	126
6.1.9	Quantifizierung von Flexibilitätsparametern und Netzdienlichkeitsbewertung.....	130
6.1.10	Signalvariation	132
6.2	Energiekonzepte der Beispielquartiere.....	134
6.2.1	Referenzobjekt: EFH Aichinger als energieflexibles Einfamilienhaus (EFH)	134
6.2.2	Referenzobjekt: MFH MGG22 als energieflexibles Mehrfamilienhaus (MFH)	139
6.2.3	Plusenergiequartier Werft Korneuburg.....	141
6.2.4	Plusenergiequartier „Smart Block“ Geblergasse	159
6.2.5	Sonnendorf Schwoich.....	165
6.3	Energetische und ökologische Bewertung	169
6.3.1	Referenzobjekt: Einfamilienhaus Aichinger.....	170
6.3.2	Referenzobjekt: Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse.....	173
6.3.3	Werft Korneuburg	178
6.3.4	Geblergasse	191
6.3.5	Sonnendorf Schwoich.....	194
6.4	Ökonomische Bewertung	205
6.4.1	Bauwerkskosten.....	205
6.4.2	Lebenszykluskosten.....	208
6.4.3	Lebenszykluskosten und kumulierte Gesamtkosten.....	215
6.4.4	Zusammenfassung der ökonomischen Bewertung.....	226
6.5	Anwendung der Flexibilitätssignale	227
6.5.1	Einfluss des Temperaturbandes.....	227

6.5.2	Einfluss der Gebäudeeigenschaften (Baustandard und Bauweise)	229
6.5.3	Einfluss Annualer/saisonaler Signale.....	231
6.5.4	Vergleich der Signale.....	232
6.5.5	CO ₂ -Intensität als Netzsignal.....	234
6.6	Diskussion.....	242
7	Schlussfolgerungen.....	243
7.1.1	Sozialwissenschaftliche Erhebungen.....	243
7.1.2	Behaglichkeitsuntersuchungen.....	243
7.1.3	Charakteristisch Signal-Eigenschaften: Mittlere Länge und Frequenz und Anwendung 244	
7.1.4	Integration und Bewertung im Quartier.....	245
8	Ausblick und Empfehlungen.....	247
9	Verzeichnisse.....	248
10	Anhang.....	273
10.1	Data Management Plan (DMP).....	273
10.2	Datenanalyse	276
10.2.1	Electricity Maps Datensatz Homogenisierung	276
10.2.2	Lineare Residuallastsignale.....	279
10.3	Variantentabellen der Simulationen.....	285
10.3.1	Mobilitätsregionen.....	292
10.3.2	Aufbauten je Bauweise.....	293
10.4	Ergänzende Vergleiche ökonomische Betrachtung	298
10.4.1	Bauwerkskosten Überblick	298
10.4.2	Überblick Summen Kosten Bauwerk, Wiederbeschaffung, Restwerte und Wartung 299	
10.4.3	Sensitivitätsanalyse Energiepreise – ergänzende Vergleiche	300
10.4.4	Lebenszykluskosten: Übersicht und ergänzende Vergleiche.....	306
10.4.5	Kumulierte Gesamtkosten	307
10.4.6	Vergleich der Kostenarten im Überblick	308

1 Kurzfassung

Das Ziel des Projekts ist die Verbesserung der Planungsgrundlagen für energieflexible Gebäude in den Bereichen dynamischer Nutzerkomfort, Netzdienlichkeit und ganzheitlicher Bewertung. Die Ergebnisse umfassen ein dynamisches Nutzerkomfort-Modell, viertelstündliche "CO₂-Signale" des Stromnetzes und eine holistische Energieflexibilitätsbewertung an Plusenergiequartieren. Hintergrund ist das saisonale Überangebot und die Unterversorgung erneuerbarer Energie, insbesondere vor dem Hintergrund prognostizierter Zunahmen bis 2050. Es wird betont, dass klimaverträgliche Energieszenarien zu hochvolatiler Stromerzeugung führen, erfordern jedoch flexible Stromnetze bis 2030.

Im Rahmen des Projektes wurden unterschiedliche Behaglichkeitsmodelle auf ihre praktische dynamische Prognosegenauigkeit überprüft. Für die Untersuchungen standen die ACR Prüfbox bei der AEE INTEC in Gleisdorf, eine Wohnung mit Büronutzung in einem Gebäude mit Bauteilaktivierung sowie Wohnhäuser im realen Wohnumfeld zur Verfügung. So konnte ein großer Datensatz mit Informationen zur empfundenen Behaglichkeit auf Basis von Fragebögen und – aufgrund von durchgeführten Erhebungen von Herzraten mit Hilfe von Mini-EKGs – physiologischen Befindlichkeit der Proband:innen gewonnen werden. Es zeigte sich, dass die Modelle mit einer adaptiven Komponente – d.h. Modelle, die die Anpassungsfähigkeit der Gebäudenutzer:innen an unterschiedliche Temperaturen berücksichtigen – eine deutlich höhere Übereinstimmung mit den Angaben der Proband:innen haben als stationäre Wärmebilanzmodelle.

Das Projekt entwickelte weiters heuristische Ansätze zur Optimierung von Regel-Signalen für Quartierspeicher. Robuste Szenarien wurden geschaffen, um Signale an die Quartiersnutzbarkeit anzupassen, ermöglicht durch das Verhältnis von aktiver Beladung und passiver Entladung. Dies legt den Grundstein für kollektive Flexibilitätsgewinnung verschiedener Gebäudetypen. Die Anwendung der entwickelten Signale erfordert eine umfassende Netzdienlichkeits-Bewertung. Die Synthetisierung saisonaler Signale zeigt Optimierungsbedarf, der durch datengetriebene Modelle oder modellprädiktive Steuerungen angegangen werden kann. Trotzdem bleibt die prognose- und lernunabhängige Signalerstellung sinnvoll. Die Analyse des Aufheiz- und Abkühlverhaltens ermöglicht die Generierung geeigneter Signale, abhängig von angemessener Netzdienlichkeits-Bewertung.

Die Anwendung von DSM-Maßnahmen in einem bestimmten Temperaturband zeigt signifikanten netzdienlichen Vorteil, wobei bereits ab 1 K Temperaturband eine deutliche Steigerung der Netzdienlichkeit festgestellt wird. Unterschiede in Wärmeschutzstandards und Bauteilmassen beeinflussen das nutzbare Temperaturband. Die Universalität des gewählten Ansatzes wird betont, da geringfügige Unterschiede bei der Anwendung von Signalen aus verschiedenen Jahren auftreten, was die Eignung für modellprädiktive Steuerungen unterstreicht.

Die Lebenszyklusanalyse betont die Notwendigkeit des Umstiegs auf erneuerbare Energien, insbesondere durch effektive Maßnahmen wie maximale Photovoltaik-Nutzung und Sektorkopplung mit Elektromobilität. Die Berücksichtigung des fossilen Energiebedarfs für Mobilität bietet große Optimierungspotenziale. In der Errichtungsphase sind Holzmassivbauweise und Leichtbauweise besonders umweltfreundlich.

Ökonomisch betrachtet sind Investitionen in erneuerbare Energien wie Photovoltaik und Erdwärmenutzung effizient. Die Optimierung der Gebäudehülle rentiert sich unter Förderbedingungen. Die Batteriespeicherung zur Flexibilitätserhöhung ist aktuell nicht wirtschaftlich rentabel. Die Optimierung des Mobilitätsverhaltens und die Steigerung des E-Mobilitätsanteils führen zu erheblichen Einsparungen, wobei nur Investitionen in E-Tankstellen berücksichtigt wurden.

2 Abstract

The aim of the project is to improve the planning basis for energy-flexible buildings in the areas of dynamic user comfort, grid serviceability and holistic assessment. The results include a dynamic user comfort model, quarter-hourly "CO₂ signals" from the electricity grid and a holistic energy flexibility assessment of plus-energy neighbourhoods. The background is the seasonal oversupply and undersupply of renewable energy, especially against the background of predicted increases by 2050. It is emphasised that climate-compatible energy scenarios lead to highly volatile power generation, but require flexible power grids until 2030.

As part of the project, different comfort models were tested for their practical dynamic forecasting accuracy. The ACR test box at AEE INTEC in Gleisdorf, a flat with office use in a building with component activation and residential buildings in a real living environment were available for the tests. This made it possible to obtain a large data set with information on perceived comfort on the basis of questionnaires and - due to the recording of heart rates using mini ECGs - the physiological state of the test subjects. It was shown that the models with an adaptive component - i.e. models that take into account the adaptability of building users to different temperatures - have a significantly higher level of agreement with the information provided by the test subjects than stationary heat balance models.

The project also developed heuristic approaches for optimising control signals for district storage systems. Robust scenarios were created to adapt signals to neighbourhood usability, enabled by the ratio of active loading and passive unloading. This lays the foundation for collective flexibility harvesting of different building types and the application of the developed signals requires a comprehensive grid utility assessment. The synthesis of seasonal signals shows the need for optimisation, which can be addressed by data-driven models or model-predictive control systems. Nevertheless, forecast and learning-independent signal generation remains useful. The analysis of the heating and cooling behaviour enables the generation of suitable signals, depending on an appropriate grid serviceability assessment.

The application of DSM measures in a specific temperature band shows significant benefits for the grid, with a significant increase in grid efficiency being observed from as little as 1 K temperature band. Differences in thermal insulation standards and component dimensions influence the usable temperature band. The universality of the chosen approach is emphasised, as slight differences occur when using signals from different years, which underlines the suitability for model predictive controls.

The life cycle analysis emphasises the need to switch to renewable energies, in particular through effective measures such as maximum photovoltaic use and sector coupling with electromobility. The consideration of fossil energy requirements for mobility offers great potential for optimisation. Solid timber construction and lightweight construction are particularly environmentally friendly in the construction phase.

From an economic point of view, investments in renewable energies such as photovoltaics and geothermal energy utilisation are efficient. Optimising the building envelope pays off under subsidy conditions. Battery storage to increase flexibility is currently not economically viable. Optimising mobility behaviour and increasing the proportion of e-mobility leads to considerable savings, whereby only investments in e-charging stations were taken into account.

3 Ausgangslage

Energieflexibilität – damit soll es zukünftig möglich sein, zwar vorhersehbare, aber zeitlich nicht beeinflussbare Energiemengen aus erneuerbaren Energiequellen (Sonne, Wind) direkt zu nutzen und heute teils noch diametral gegenüberstehende Interessen von Akteur:innen in der Energieversorgung, dem Netz- und Gebäudebetrieb, der Immobilienentwicklung, sowie der Nutzer:innen und letztlich der Gesellschaft besser zu verbinden. So sollen die Energienetze entlastet und die Notwendigkeit von zusätzlichen saisonalen Speichern reduziert werden. Denn aus heutiger Sicht ist nicht nur eine rasche Erhöhung von Energieeffizienz und erneuerbarer Energieversorgung erforderlich, sondern ebenso die Anpassung der Verbrauchsverläufe an hochvolatile Stromerzeugung mithilfe möglichst breit einsetzbarer Speicher über Stunden bis Monate.

Eine wichtige Rolle in der Energieflexibilisierung werden Gebäude und Quartiere spielen, deren Konstruktionsweise, Ausstattung und Benutzung eine gute Möglichkeit bieten, den Verbrauch an die volatile Produktion anzupassen und damit die Nutzung regenerativer Energiequellen zu verbessern. Da Nutzer:innen sehr sensibel auf Komforteinschränkungen reagieren können, erscheint es wesentlich, die Akzeptanz energieflexibler Angebote im Alltag besser zu erforschen, denn die Realisierung monetärer Vorteile durch Energieflexibilität für Nutzer:innen und Betreiber:innen stellt nur einen – inzwischen konsequent beforschten – Faktor dar.

Die derzeitige Aufgabenstellung besteht in der Quantifizierung und Abwägung der mehrdimensionalen Zusatznutzen (und Nachteile), die sich für die einzelnen Stakeholder:innen durch Flexibilisierung von Energiedienstleistungen ergeben.

Ziel des Projekts ist die Verbesserung der Planungsgrundlagen für energieflexible Bestands- und Neubauten in drei konkreten Bereichen:

1. Der Weiterentwicklung bestehender Modelle thermischen Nutzer:innenkomforts für dynamische Rahmenbedingungen,
2. der Quantifizierung zukünftiger Netzdienlichkeit durch Erstellung von „CO₂-Signalen“ bzw. „EE-Peak-Shaving Signalen“ des österreichischen Stromnetzes und
3. der holistischen Erprobung des Komfort- und CO₂-Modells an drei beispielhaften Plusenergiequartieren hinsichtlich dieser Bewertungsdimensionen unter Berücksichtigung der Ökobilanz sowie der Investitions- und Lebenszykluskosten.

Die drei Ergebnisse des Projekts sind:

1. ein experimentell überprüfbares dynamisches Nutzer:innenkomfort-Modell, das Rückschlüsse über die Akzeptanz thermischer Energieflexibilitätsmaßnahmen erlaubt,
2. stündlich aufgelöste „CO₂-Signale“ bzw. „EE-Peak-Shaving Signals“ des österreichischen Stromnetzes nach verschiedenen erneuerbaren Energieszenarien 2030 – 2050,
3. die holistische Energieflexibilitätsbewertung (inkl. Erg 1 und 2) anhand dreier potentieller Plusenergiequartiere, sowie heuristische Methoden zu deren Optimierung.

In den Mittagsstunden der Sommermonate kommt es zu Überangeboten erneuerbarer Energie, an den Tagesrändern und im Winter zu Unterversorgung – trotz der durchschnittlich doppelt so hohen Windkraft-Erträge im Winter.

Auch die Hochrechnung der technischen und ökonomischen Implikationen eines bilanziell zu 100% auf erneuerbaren Energiequellen (EE) basierenden Elektrizitätssystems für das Jahr 2030 in Österreich zeigt, dass sich bei signifikanter EE-Erhöhung im Vergleich zu einem konservativen Szenario eine negative Residuallast von mehr als 2.000 Stunden (22,8 %) im Jahr 2030 ergibt. Und damit die Notwendigkeit, einen signifikanten Überschuss „intelligent“ zu verbrauchen, zu exportieren oder zu speichern.

Gegenüber 2030 ist laut Energie-Szenario „Transition“, dass die globalen Klimaschutzziele der COP21 national übersetzt, für Österreich bis 2050 bei doppeltem Stromverbrauch im Vergleich zu 2015 (UBA, 2017) eine Verdreißigfachung der PV-Leistung und Verfünffachung der Windkraft erforderlich. Dies führt zu einer nochmals deutlich häufigeren Anzahl an Stunden mit „negativen“ Residuallasten. Gleichzeitig wird auch der Wärme- und Transportsektor immer stärker elektrifiziert, und die unterschiedlichen Sektoren hängen immer stärker voneinander ab (Sektorkopplung).

4 Dynamischer Nutzer:innen-Komfort

Die Einbindung unterschiedlicher Nutzer:innengruppen und Stakeholder im Rahmen des Forschungsprojekts wurde zur Erreichung fünf konkreter Zielsetzungen umgesetzt. Im Fokus der Erhebungen standen sowohl die Erfassung der Nutzer:innenakzeptanz in Hinblick auf unterschiedlichen Wohnkomfort und Raumtemperatur bzw. potenzielle Flexibilitätsmaßnahmen, die sich konkret an die Bewohner:innen energieflexibler Gebäude richteten, als auch standardisierte und qualitative Erhebungen in den ausgewählten Testgebieten. Dabei wurde durch die Kombination der Erfassung objektiver Gebäude- und Komfortparameter sowie des subjektiven Komfortempfindens eine umfassende Datenbasis hinsichtlich der Anforderungen unterschiedlicher Nutzer:innengruppen und Anforderungsprofile geschaffen.

Darüber hinaus dienten die Erhebungen unter Bewohner:innen der Erfassung von Interaktions- und Nutzungsmustern mit der relevanten Gebäudetechnik, sowie den Potentialen zu automatisierter Steuerung von Heiz- und Kühlprozessen. Die Ableitung von Motivations- und Incentive-Strategien zur möglichen Umsetzung der Flexibilitätssteigerungsmaßnahmen wurden im Rahmen von Expert:inneninterviews erfasst und strukturiert aufbereitet.

Das gesamte Forschungsdesign mit Fokus auf den dynamischen Nutzer:innenkomfort umfasste somit ein breites Spektrum an Methoden, Erhebungs- und Analyseprozessen, welche im Projektverlauf, u.a. angepasst an Einschränkungen durch die COVID-19-Pandemie, in Abstimmung mit dem begleitenden Expert:innenbeirat umgesetzt wurden.

4.1 Grundlagen Behaglichkeitsuntersuchungen

4.1.1 Thermische Wahrnehmung

Das Verständnis von Faktoren, die zu individuellen Unterschieden in der menschlichen thermischen Wahrnehmung führen, gewinnt unter anderem aufgrund von Herausforderungen wie dem Klimawandel und einer alternden Gesellschaft an Bedeutung.

Bei der Beurteilung der thermischen Wahrnehmung sind zwei Dimensionen einzubeziehen:

- Die **thermische Empfindung** wird als objektive oder deskriptive Dimension betrachtet und häufig mit einer Sieben-Punkte-Skala bewertet (kalt/kühl/etwas kühl/neutral/etwas warm/warm/heiß).
- Der **thermische Komfort** (bzw. Behaglichkeit) ist die affektive Komponente der thermischen Wahrnehmung, die Bewertung erfolgt mit einer Sechs-Punkte-Skala (sehr unbehaglich/unbehaglich/eher unbehaglich/eher behaglich/behaglich/sehr behaglich).

Für die Aktivierung eines thermoregulatorischen Verhaltens bei Menschen ist das thermische Unbehagen (nicht die thermische Empfindung) entscheidend.

Ausgangspunkt bei der Bewertung des **thermischen Komforts** ist die Neutraltemperatur als thermischer Zustand des Menschen, bei dem eine Erwärmung oder Abkühlung der Umgebung nicht erwünscht ist. Er wird laut Hensen (Hensen, 1991) definiert als jener Zustand, in dem es keinen Impuls dazu gibt, die Umgebung durch das eigene Verhalten zu verbessern.

Gerade in der letzten Dekade wurde in den Definitionen von thermischem Komfort verstärkt die Wechselwirkung des Menschen mit der thermischen Umgebung sowie seiner Reaktion darauf betont. Statt statischer Konzepte, die vor allem aus der technischen Machbarkeit und der Dimensionierung von Klimaanlage ausgingen, treten verstärkt interdependente Betrachtungsweisen in den Vordergrund, die nicht nur physikalische und physiologische, sondern auch psychologische und kulturelle Aspekte (z.B. „Erwartungshaltungen“) berücksichtigen.

4.1.2 Komfortmodelle

Für die Bewertung des thermischen Komforts stehen unterschiedliche Modelle zur Verfügung, wobei alle Modelle zum Ziel haben, den thermischen Komfort von Individuen zu verstehen und vorherzusagen. Je nach angewendetem Komfortmodell werden unterschiedliche Parameter in die Berechnung einbezogen.

Im Folgenden werden drei Modelle beschrieben, die in vorliegender Studie für die Komfortbewertung herangezogen wurden. In zwei Modellen wird der Grad der Zufriedenheit mit den thermischen Umgebungsbedingungen als Funktion des Energieumsatzes, des Wärmedämmwertes der Bekleidung (clothing-Faktor) sowie des thermischen Mikroklimas ermittelt. Beim adaptiven Behaglichkeitsmodell fließt nur der „Mittelwert“ der Außentemperatur und die Innentemperaturen (operative Innentemperatur) ein. Es ist daher ein sehr einfaches Behaglichkeitsmodell, welches nur auf Gebäude mit Nutzer:inneneinfluss angewendet werden darf.

4.1.2.1 Wärmebilanzmodell oder „Fanger-Modell“ (ÖNORM EN ISO 7730)

In den 1960er und 1970er Jahren entwickelte Povl Ole Fanger ein Modell des thermischen Komforts (*DIN EN ISO 7730*, o. J.), das auf folgenden Einflussparametern basiert:

- Lufttemperatur
- Strahlungstemperatur
- Relative Feuchte, bzw. Dampfdruck
- Luftgeschwindigkeit
- Aktivitätsgrad
- Kleidung

Das Behaglichkeitsmodell nach Fanger ist ein stationäres Wärmebilanzmodell, mit dem das thermische Empfinden sowie die Anzahl an thermisch Unzufriedenen von größeren Personengruppen unter bestimmten raumklimatischen Bedingungen vorhergesagt werden können. Es beruht auf einer objektivierten Bewertung des thermischen Komforts durch die Vorhersage des mittleren Stimmenwertes (Predicted Mean Vote: PMV) und der prozentualen Unzufriedenheit (Predicted Percentage of Dissatisfied: PPD).

Die wesentlichen Zusammenhänge wurden in Klimakammerexperimenten in Dänemark und den USA ermittelt. Eine wichtige Grundannahme ist, dass das Empfinden von thermischem Komfort nicht mit dem Außenklima zusammenhängt. Die Bewertung hat in der EN ISO 7730 (*DIN EN ISO 7730*, o. J.) ihren Niederschlag gefunden und wird auch als „rational approach“ bezeichnet. Das Modell ist weit verbreitet und wird in der Gebäudeplanung und -simulation eingesetzt, insbesondere bei der Klimatisierung von Gebäuden. Dieses Behaglichkeitsmodell hat auch Eingang in die EN ISO 16798-1 gefunden und ist Standardmodell für vollklimatisierte Räume/Gebäude.

Dieses Modell wird vor allem in folgenden Punkten kritisiert:

- Adaption des menschlichen Körpers an die Umgebung wird nicht berücksichtigt
- Kennwerte wurden im Labor bzw. Klimakammern ermittelt, diese Situation ist nicht unbedingt auf reale Situationen übertragbar
- Schwüle ist nicht ausreichend berücksichtigt

4.1.2.2 Adaptive Modelle

Adaptive Modelle gehen im Vergleich zu Fanger von einer deutlich stärkeren Gewichtung der Anpassungsfähigkeit von Menschen aus. Sie beruhen unter anderem auf der Beobachtung, dass Menschen in unterschiedlichen Klimazonen unterschiedliche Komfortbewertungen haben, abhängig vor allem von den vorherrschenden Außentemperaturen.

Adaptives Modell nach Humphreys und De Dear

Das adaptive Komfortmodell wurde von Humphreys und Nicol (Humphreys & Nicol, 2004) einerseits und De Dear und Brager (De Dear & Brager, 2002) andererseits entwickelt. Die Grundlagen dieses Ansatzes („adaptive approach“) wurden vor allem aus Felduntersuchungen und breit angelegten statistischen Untersuchungen ermittelt. Eine Implementierung normativer Art findet sich in ASHRAE 55-2017 (fußend vor allem auf einer umfangreichen Arbeit von De Dear et al) und EN 16798-1 (*DIN EN 16798-1*, o. J.) (ehemals EN 15251).

Wesentlich an diesem Modell ist der Ansatz, dass das Empfinden von thermischem Komfort nicht nur von klimatischen Bedingungen des Innenraums (neben Aktivität und Kleidung) abhängen (wie in ISO 7730), sondern vor allem auch von den Außenbedingungen, aber auch anderen Kenngrößen. Als Kenngröße der Außenkonditionen wird nicht die aktuelle Außenlufttemperatur, sondern der gleitende Außenlufttemperatur-Mittelwert herangezogen. Als Maßstab für die Komforttemperatur wird die operative Temperatur vorgeschlagen (Nicol & Humphreys, 2010), differenziertere Modelle werden als nicht zielführend angesehen. In Abhängigkeit vom gleitenden Außenlufttemperatur-Mittelwert werden unterschiedliche Komfortklassen (Klassen I, II, und III) für Mindest- und Maximaltemperaturen angegeben. Diese Klassen stellen unterschiedliche Erwartungshaltungen an den Komfort von Räumen, bzw. Gebäuden dar.

Die Grundform des adaptiven Modells, abgeleitet aus Feldstudien, wird oft wie folgt angegeben:

$$T_{comf} = a + b * T_{out} [^{\circ}C] \quad (1)$$

T_{comf} ... behagliche Raumtemperatur

T_{out} ... Außentemperatur oder mittlere monatliche Außentemperatur

a und b sind Konstanten, die aus der Regressionsanalyse von Feldstudien ermittelte wurden.

Verschiedene Studien können unterschiedliche Werte für a und b haben, und es kann unterschiedliche Modelle für verschiedene Kontexte geben (z. B. natürlich belüftete Gebäude vs. klimatisierte Gebäude). In EN 16798-1 werden für T_{comf} folgende Parameter angegeben: $a = 18,8$ und $b = 0,33$. Für die Klasse II ergibt sich ein unteres Limit der Temperaturklassengrenze von $T_{comf} = -4$ und ein oberes Limit von $T_{comf} = +3$. Diese Grenzen werden im informativen Anhang B angegeben. Der Anhang kann national unterschiedlich gestaltet sein. So hat beispielsweise Deutschland einen eigenen nationalen

Anhang mit einem deutlich abgeänderten Grenztemperaturverlauf im Bereich der höheren Temperaturen und einem **stündlichen** Bezugs-Außentemperaturmittelwert.

Für die Änderungsgeschwindigkeit der operativen Temperatur innerhalb dieser Komfortbänder werden keine Grenzwerte angegeben. Das Modell wird hauptsächlich für Gebäude ohne mechanische Kühlung in gemäßigten Klimazonen verwendet.

Die folgenden Voraussetzungen sind für die Anwendung des adaptiven Modells laut EN 16798-1 erforderlich:

- Gebäude ohne aktive Kühlung
- Nutzer:innen können Bekleidung an eigene Anforderungen anpassen
- Fenster sind offenbar und können von den Nutzer:innen nach eigenem Wunsch geöffnet werden

Die Einschränkung auf Gebäude ohne aktive Kühlung ist unter Forscher:innen keineswegs Konsens, sondern ist der normativen Umsetzung geschuldet.

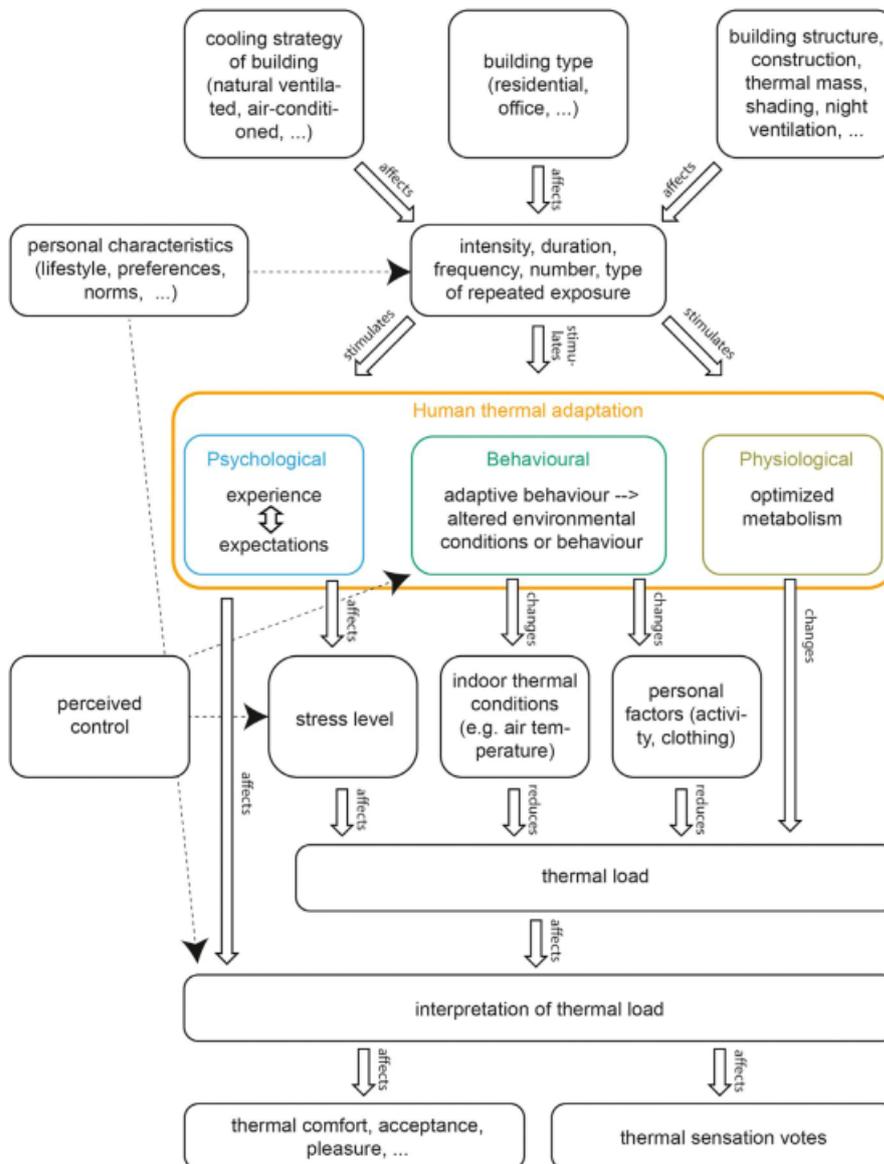
Adaptives Wärmebilanzmodell (ATHB) nach Schweiker

Das adaptive Wärmebilanzmodell (ATHB) kombiniert den adaptiven Komfortansatz mit bestehenden Wärmebilanzmodellen (Schweiker, 2022). Auch für Schweiker sind, wie für den adaptiven Ansatz, die folgenden Ursachen für eine verstärkte Anpassungsfähigkeit von Menschen verantwortlich:

- Verhaltensanpassung
- Physiologische Anpassung
- Psychologische Anpassung

Im ATHB-Modell wurden individuelle Gleichungen für verhaltensbedingte, physiologische und psychologische Anpassung erstellt. Diese bilden die Eingangswerte *Isolationsgrad der Kleidung* (Clothing-Faktor) und *Stoffwechselrate* (MET), welche entsprechend diesen Gleichungen angepasst werden. Untersuchungen zeigten, dass das ATHB-Modell für natürlich belüftete und klimatisierte Gebäude unter Berücksichtigung der thermischen Wahrnehmung - abhängig von physiologischen und psychologischen Faktoren wie Stoffwechselrate und wahrgenommene Kontrolle – validere Daten liefert als das Fanger- und das adaptive Modell (Schweiker & Wagner, 2015).

Abbildung 4-1: Zusammenhänge im erweiterten ATBH-Modell von Schweiker (Schweiker, 2022)



In Abbildung 4-1 sind die Zusammenhänge und Einflüsse auf den thermischen Komfort, die thermische Akzeptanz und das thermische Empfindungs-Voting nach dem erweiterten ATHB-Modell von Schweiker dargestellt. Die Zusammenhänge zu bestimmen, gelingt mit unterschiedlicher Sicherheit. Um diese zu ermitteln, wurde ein machine-learning Ansatz, inklusive Training, Validierung und Testphase gewählt. Als Datenbasis diente die ASHRAE Global Thermal Komfort Datenbank. Die Ergebnisse mit dem ATHB-Modell zeigen eine erhöhte Vorhersagegenauigkeit bei einer Vielzahl von Außenklimata, Gebäudetypen und Kühlungsstrategien von Gebäuden.

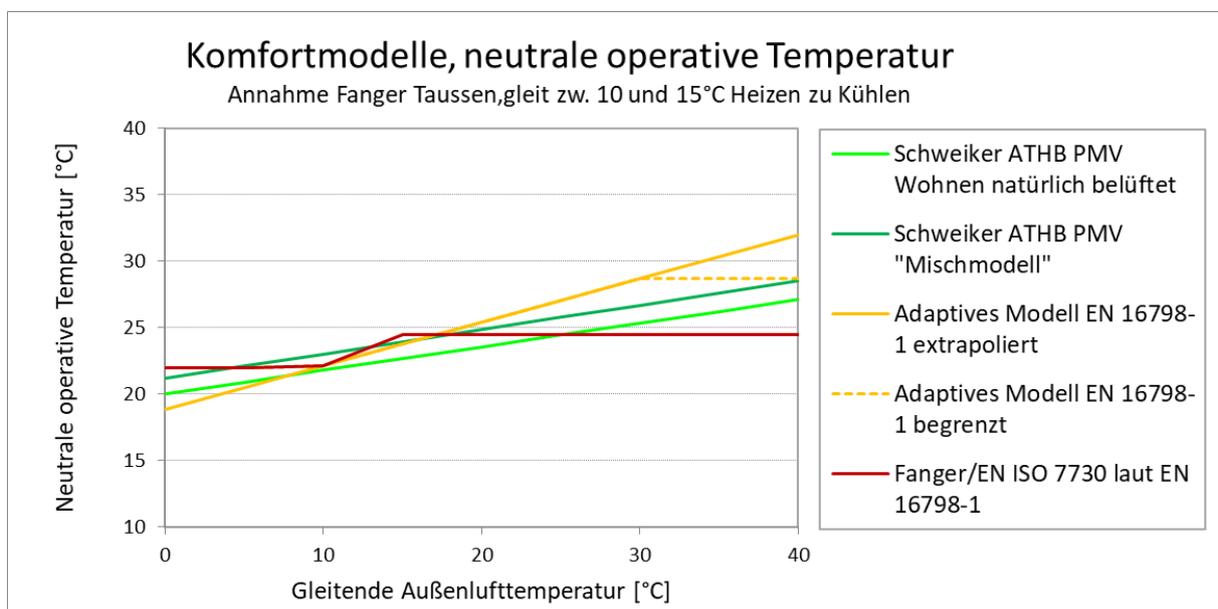
Fazit Komfortmodelle

Die drei angeführten Modelle koexistieren, wobei Fangers Modell auf einem mechanistischen thermodynamischen Ansatz basiert und festgelegte Standards verwendet, während die adaptiven Modelle die Anpassungsfähigkeit und Individualität der Menschen betonen. Nach EN 16798-1 wird für klimatisierte Gebäude aktuell EN ISO 7730 herangezogen. Für Gebäude ohne aktive Kühlanlage wird in einigen europäischen Ländern das adaptive Behaglichkeitsmodell verwendet. Es gibt jedoch auch unterschiedliche Ausprägungsformen dieses Modells, beispielsweise in Holland.

Der Ansatz von Schweiker hat den Vorteil, beide Modelle zu vereinen und eine höhere Prognosegenauigkeit zu erzielen. Der Aufwand für das erweiterte Modell zur Bestimmung der Abhängigkeiten ist jedoch beträchtlich. Hier gehen die rein adaptiven Modelle einen deutlich einfacheren Weg, welche in jüngster Zeit auch versuchen, dynamische Komponenten (Nicol et al., 2022) wie Allästhesie¹ einschließen.

Abbildung 4-2 stellt die neutrale Temperatur (d.h. die Temperaturen mit dem geringsten Anteil an Unzufriedenen, bzw. einem PMV-Wert von 0) für die 3 diskutierten Behaglichkeitsmodelle dar.

Abbildung 4-2: Neutrale operative Temperatur für drei wesentliche Komfortmodelle: Wärmebilanzmodell („Fanger“), adaptives Modell und adaptives Wärmebilanzmodell ATHB („Schweiker“). Das Wärmebilanzmodell berücksichtigt nicht explizit die Außenkonditionen, allerdings ergeben sich durch die hier gewählten typischen Bekleidungsstärken von 0,75 clo im Winter und 0,5 clo im Sommer und typischer Raumluftfeuchten und Luftgeschwindigkeiten nicht klimatisierter Räume entsprechend unterschiedliche neutrale Temperaturen



Für die detaillierte Komfortbewertung in den Quartieren wird das Modell nach Schweiker wegen der besten Korrelation in den Messungen verwendet.

4.2 Ziele und Methoden

4.2.1 Sozialwissenschaftliche Erhebungen

Zentrales Ziel der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung war es, ein breites Spektrum an Fragestellungen und Hypothesen zu adressieren, die es letztlich ermöglichen, Wohnkomfort in energieflexiblen Gebäuden im Allgemeinen und das subjektive thermische Komfortempfinden in Abhängigkeit von Flexibilisierungsmaßnahmen im Speziellen zu operationalisieren. Es sollte die aktive Einbindung aller relevanten Interessens- und Stakeholdergruppen im Zuge von Interviews und Co-Creation Workshops erfolgen.

Um dies zu ermöglichen, wurden in Abhängigkeit von den Charakteristika der ausgewählten Testgebiete (verfügbare Technologien, Informationsgrad der Bewohner:innen, Projektfortschritt etc.)

¹ Anmerkung: Wahrnehmung eines Reizes an einer anderen Stelle als der, an der er erzeugt wird

und den Erfahrungen aus Vorprojekten unterschiedliche empirische Erhebungen geplant und umgesetzt. Dabei kamen sowohl qualitative Verfahren als auch standardisierte Erhebungsmethoden zum Einsatz, die am jeweiligen Erkenntnisinteresse und den oben angesprochenen Testgebieteigenschaften ausgerichtet waren.

Die Erhebung, wie die Bewohner:innen energieflexibler Gebäude zu entsprechenden Maßnahmen eingestellt sind bzw. welche Bedürfnisse und Erfahrungen sie diesbezüglich hatten, wurde zu folgenden Themen durchgeführt:

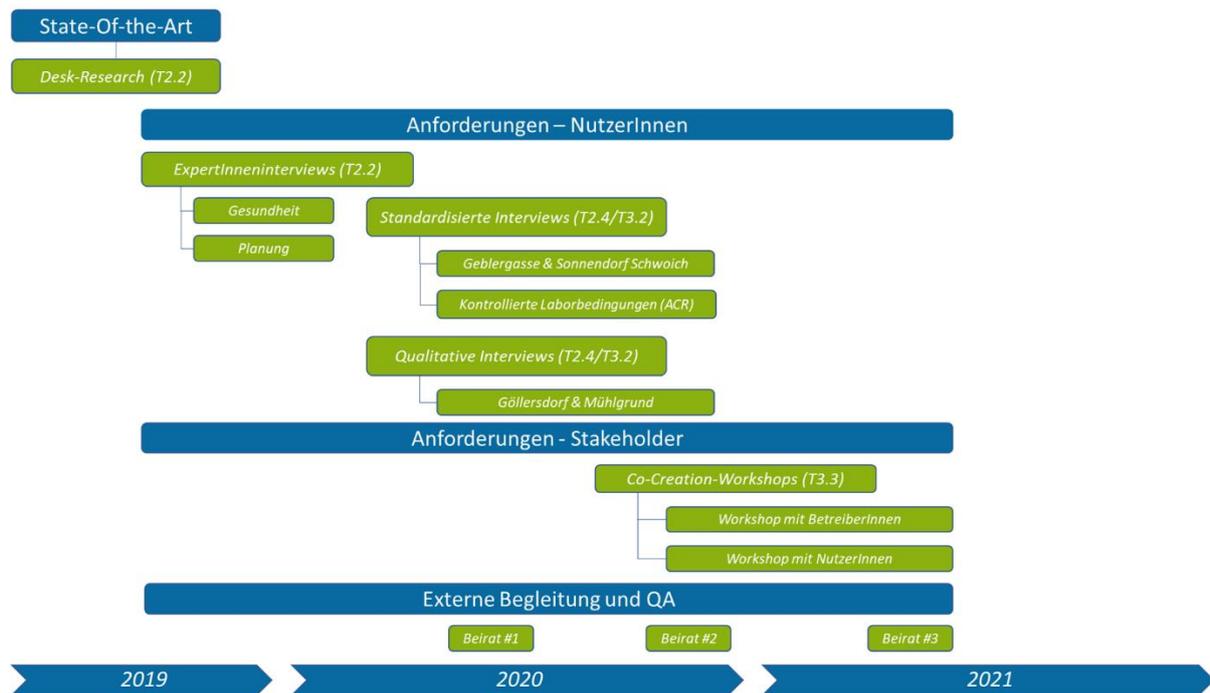
- Einstellungen und Erfahrungen zu Flexibilisierungsmaßnahmen
- Identifikation von Anreizen zur Förderung der Akzeptanz von Flexibilisierungsmaßnahmen
- subjektiver (thermischer) Wohnkomfort
- Erfahrungen und Bewertungen der Wohnsituation allgemein

Daraus sollte abgeleitet werden können, welche (qualitativen und quantitativen) Indikatoren den subjektiven Wohnkomfort konstituieren, welche Faktoren diesen beeinflussen und wie dieser zur Testung in experimentellen Settings über die bekannten Methoden hinaus operationalisiert werden kann. Darüber hinaus sollten Vorbehalte und Einstellungen zur Flexibilisierung im Wohnkontext erfasst werden. Erfahrungen aus einigen aktuellen standardisierten Erhebungen in internationalen Projekten zeigen diesbezüglich, dass Motive für Zustimmung, Ablehnung oder Akzeptanz für entsprechende Maßnahmen und die Beweggründe für Entscheidungen in diesem Zusammenhang noch kaum bekannt sind. Letztlich war das Ziel in Abhängigkeit vom Erhebungskontext (Mehrfamilienkomplexe urban/Einfamilienhäuser ländlich), Hypothesen für die später im Projekt durchgeführten Experimente abzuleiten.

Die weltweite Pandemie führte vor allem im Frühjahr 2020 zu einer Verzögerung bei Rekrutierung und Kontaktherstellung der Teilnehmer:innen in den ausgewählten Testbeds. Trotz dieser Umstände konnten in allen Testgebieten Erhebungen, die mit Unterstützung des externen Expert:innenbeirats konzeptualisiert wurden, umgesetzt werden:

- Expert:innenbefragungen zur Erhebung der zentralen Komfortparameter aus Expert:innen-sicht und zur Identifikation von Rahmenbedingungen und Konkretisierung des Stands des Wissens
- Teilstandardisierte Befragung im Quartier Geblergasse zur Erfassung der Bedürfnisse, Erfahrungen und Erwartungen von Bewohner:innen eines sanierten Bestandsquartiers.
- Qualitative Befragungen im Quartier Mühlgrund (MGG22, Wien) zur Operationalisierung subjektiven (thermischen) Komfortempfindens unter den Bewohner:innen.
- Standardisierte Befragung unter den zukünftigen Bewohner:innen des Quartiers Sonnendorf in Schwoich (Tirol) zur Erfassung von Kaufgründen, Erwartungen und Bedürfnissen im Kontext energieflexibler Quartiere.
- Qualitative Befragung der Bewohner:innen energieflexibler Einfamilienhäuser

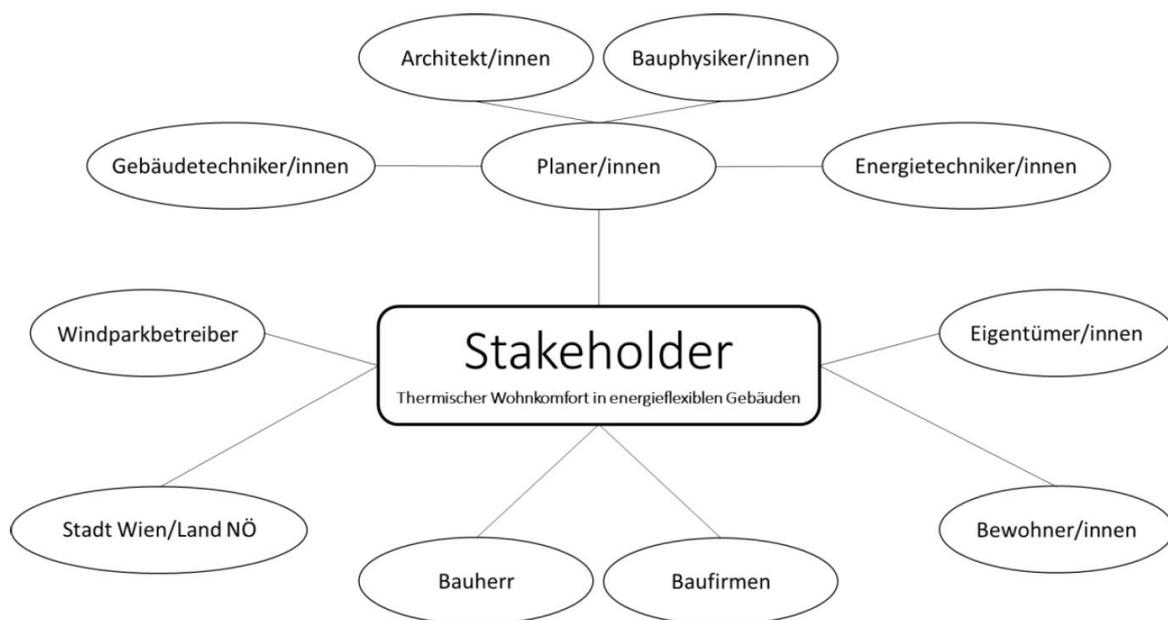
Abbildung 4-3: ursprüngliches Prozessdesign der Nutzer:innen- und Stakeholdereinbindung



Expert:innensicht und mögliche Maßnahmen

Im Rahmen von 12 Expert:inneninterviews wurden Personen aus den Bereichen Architektur und Bauphysik, Energieplanung, Umweltpsychologie und Haustechnik anhand leitfadengestützter Gespräche zu jenen Themen befragt, die einen Einfluss auf den (thermischen) Wohnkomfort haben. Dadurch konnten zentrale Inhalte hinsichtlich des aktuellen Status der Planung von energieflexiblen Gebäuden und entsprechender Maßnahmen, um den thermischen Wohnkomfort für die Bewohner:innen zu maximieren, gesammelt werden.

Abbildung 4-4: relevante Stakeholder im Kontext der Fragestellungen im Projekt Flucco+ (Wagner, 2020)



Ziel der Gespräche mit Expert:innen aus relevanten Disziplinen war die Evaluierung der Erkenntnisse aus den sozialwissenschaftlichen Erhebungen unter bestehenden und zukünftigen Bewohner:innen energieflexibler Gebäude. Die Verbindung möglicher Maßnahmen zur Förderung der Akzeptanz von Flexibilisierungsmaßnahmen mit den konkreten Bedürfnissen und Erwartungen auf Bewohner:innenseite spielte dementsprechend eine zentrale Rolle, um mögliche Barrieren und Hindernisse im Rahmen der Umsetzung aufzuzeigen.

Im Rahmen der Datenanalyse kam das Softwaresystem WinRelan basierend auf dem Problemlösungsverfahren GABEK zum Einsatz (Zelger, 2023). Dabei handelt es sich um ein Verfahren zur Bearbeitung von Problemen, welche auf Grundlage von Wissens- und Erfahrungsberichten von Personengruppen erfolgt. Die Datenbasis ist dabei immer Textmaterial, welches Transkriptionen von Interviews, Kund:innenfeedbacks, oder Ähnliches sein kann. Ziel des Verfahrens ist es, Einzelaussagen zu sinnvollen Bedeutungsclustern zusammenzuführen. Dafür kommt eine Kombination aus manuellen und automatisierten Prozessen zum Einsatz, wobei hier explizit unterschiedliche Analysewege und unterschiedliche Analyst:innen zu verschiedenen Ergebnissen bzw. Erkenntnissen kommen können.

4.2.2 Behaglichkeitsuntersuchungen

Im Rahmen eines ausgearbeiteten Untersuchungsdesigns erfolgte die Überprüfung des Hypothesenmodells zu Komfort und nutzer:innenakzeptierten Regelungskonzepten anhand von Befragungen - begleitet von physiologischen Untersuchungen - unter Labor- und Realbedingungen. Dazu wurden (a) Untersuchungen in der ACR Prüfbox (Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6) durchgeführt, um unter vorgegebenen Bedingungen Behaglichkeit und Komfortempfinden von 21 Testpersonen zu erheben. Dafür wurden Szenarien ausgewählt, die in dieser bzw. ähnlicher Form in energieflexiblen Gebäuden auftreten können und die Proband:innen zu ihrem aktuellen Empfinden befragt. Zusätzlich wurden für die Dauer der drei Erhebungstage in der Prüfbox Messungen der Herzratenvariabilität durchgeführt. Außerdem erfolgten (b) Befragungen und physiologische Messungen im realen Wohnumfeld. Zusätzlich fanden in einer verfügbaren, mittels Bauteilaktivierung konditionierten Wohnung im Wohnquartier MGG22 (c) Erhebungen von Raumluftparametern, physiologischen Daten und Befragungen unter den Teilnehmer:innen statt (Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12). Dieses Vorgehen erlaubte im Sinne der experimentellen Annäherung an möglichst lebensumfeldnahe Nutzungsformen wertvolle zusätzliche Erkenntnisse im Vergleich zu den anderen Test-Settings.

In folgender Aufstellung sind die unterschiedlichen Settings, die erhobenen Daten sowie die Anzahl der Teilnehmenden angeführt. Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchungsprojekte findet sich in Kapitel 6.

Tabelle 4-1: Untersuchungsobjekte sowie durchgeführte Erhebungen und Anzahl der Proband:innen

Untersuchungsobjekte	Erhebungszeitraum	Fragebogen		umidus		HRV		Anzahl Teilnehmende	externe Raumluftparameter
		Papier	online	Raumluftparameter	Behaglichkeits-Fragebogen	Elektroden	Gurt		
Fassadenbox Gleisdorf	10/20 - 04/21	x				x		21	x
EFH Weinviertel	02/21 - 12/21	x		x	tw		tw.	11	
MGG22 (BewohnerInnen)	02/21 - 12/21	x		x	tw			4	
MGG22 (2-tägig) - Winter	02-04/22	x		x	x	x		25	
MGG22 (2-tägig) - Sommer	06-07/22	x		x	x	x		6	
Schwoich	05/22 - 06/23		x	x	tw			3	

Herzratenmessungen

Die Herzrate wird durch das vegetative Nervensystem ständig den aktuellen Anforderungen angepasst. Stress und körperliche Belastung führen zu einer erhöhten Herzrate, um unseren Organismus bei der

größeren Leistungsanforderung besser mit Blut und damit Sauerstoff zu versorgen. Je schneller und flexibler das Herz auf geänderte Anforderungen reagiert, desto besser die Anpassungsfähigkeit und desto höher die Herzratenvariabilität (HRV).

Die HRV wird von einer Reihe von Determinanten beeinflusst (z. B. Alter, Geschlecht, allgemeiner Gesundheitszustand) und kann sich durch externe Einflüsse verändern. So spielt beispielsweise die Tageszeit eine Rolle bei der Erhebung der HRV, ebenso die aktuelle Tätigkeit, Wochentag sowie aktuelle Befindlichkeit und Stresssituation. Die Auswertung und Analyse der HRV-Daten im Projekt erfolgten zwar unter Berücksichtigung erfassbarer Parameter, dennoch ist es von Bedeutung, den Einfluss veränderbarer Variablen auf das Messergebnis so weit wie möglich zu reduzieren. Aus dem Grund wurden die Messungen in der Prüfbox bei gleicher Tätigkeit (leichte Büroarbeit) durchgeführt, die Erhebungen im realen Wohnumfeld erfolgten über den Zeitraum eines Monats idealerweise jeweils am gleichen Wochentag bei ähnlicher Tätigkeit. Zeitgleich zur HRV-Messung erfolgte die Dokumentation der jeweiligen Tätigkeit, Befindlichkeit und des Temperaturempfindens. Durch Analyse der HRV-Daten durch externe Spezialist:innen konnten zusätzlich zur subjektiven Befindlichkeit objektive, abbildbare Gesundheitsdaten zur Beurteilung des Komforts herangezogen werden.

4.2.2.1 ACR Prüfbox

Die ACR Prüfbox der AEE INTEC verfügt über ein umfangreiches Messsystem zur Erhebung der raumklimatischen Gegebenheiten an unterschiedlichen Positionen im Raum sowie in den raumumschließenden Flächen. Anhand des „Messbaumes“ (Abbildung 4-7) können Luft- und operative Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO₂-Konzentration und Luftgeschwindigkeit in Höhe von 10, 110 und 170 cm oberhalb des Fußbodens gemessen werden.

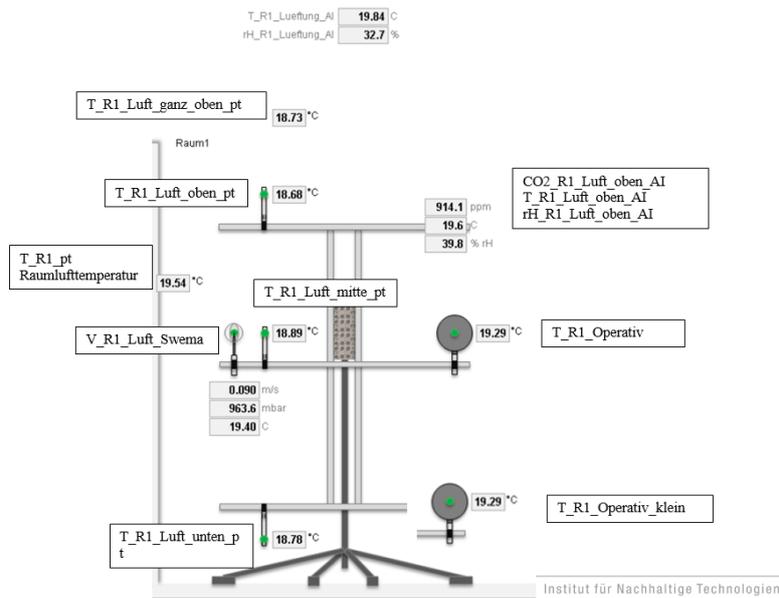
Abbildung 4-5: ACR Prüfbox Außenansicht



Abbildung 4-6: ACR Prüfbox innen (Testraum)



Abbildung 4-7: Schema des Messbaumes zur Erhebung raumklimatischer und CO₂-Daten in der Prüfbox



Es wurde vorab ein Temperaturszenario festgelegt, das die normativ festgelegten Komfortgrenzen über- bzw. unterschreitet (Abbildung 4-8). Nach einer halbstündigen Phase der Akklimatisierung bei 22°C zu Beginn der Untersuchung stieg die operative Temperatur rasch auf 27°C. Danach erfolgte eine Abkühlphase auf 20,5°C und eine weitere Aufheizphase auf 23°C.

Abbildung 4-8: Schematischer Verlauf der operativen Temperatur im Untersuchungsraum der Prüfbox

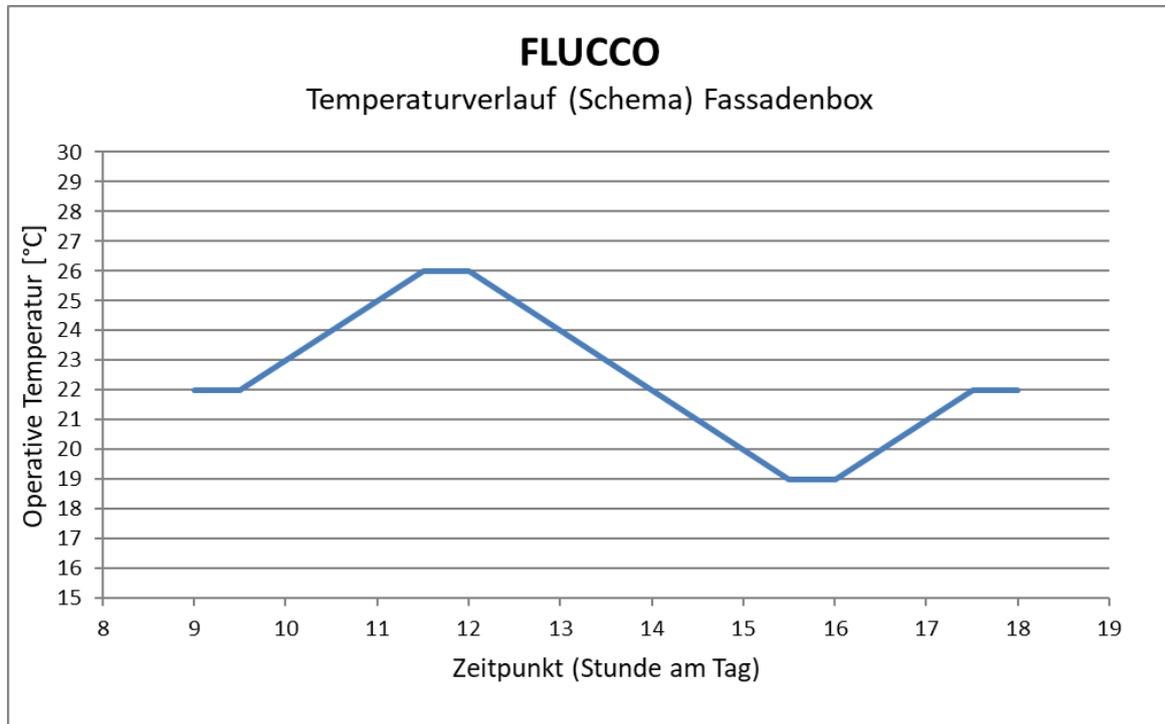
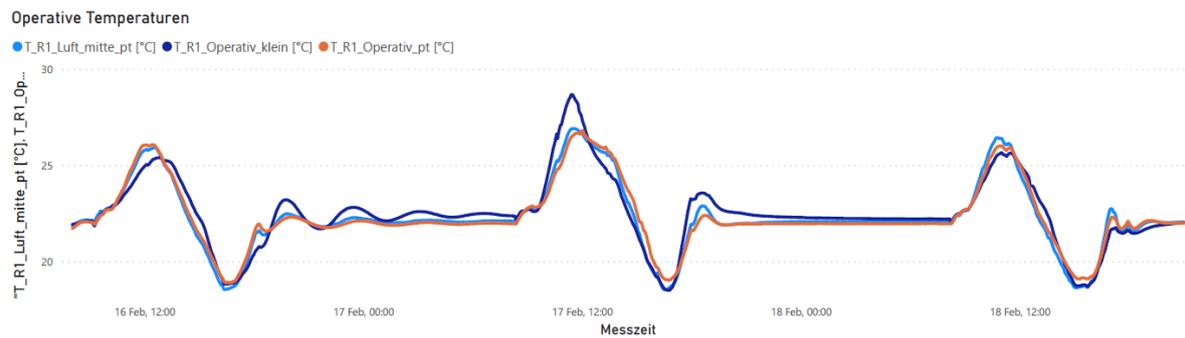


Abbildung 4-9: Gemessener Verlauf der operativen Temperatur im Untersuchungsraum der Prüfbox über drei Tage



Im Zeitraum Oktober 2020 bis April 2021 nahmen 21 Personen an den Untersuchungen in der Prüfbox der AEE INTEC in Gleisdorf teil, wobei mit Hilfe der ersten beiden Proband:innen der Fragebogen an das Untersuchungsszenario angepasst wurde. Grundlage für den Fragebogen waren die ISO 7730 (*DIN EN ISO 7730*, o. J.) sowie die ISO 10551 (*DIN EN ISO 10551*, o. J.).

Das Durchschnittsalter der Proband:innen betrug 40 Jahre, der/die älteste Teilnehmende war 61, der/die jüngste 29 Jahre alt. Der Frauenanteil betrug rund 30 %. Alle Proband:innen wurden aus dem Umfeld der Projektpartner:innen rekrutiert.

Durchschnittlich erfolgte eine Abfrage zur Behaglichkeit an 14 Zeitpunkten pro Untersuchungstag, wodurch sich bei 21 Proband:innen mit je drei Untersuchungstagen eine Anzahl von rund 900 Datensätzen zu Behaglichkeitsangaben, Klimadaten und physiologischen Daten ergibt.

Auf Grundlage der ISO 7730 wurden mithilfe der Proband:innenangaben zu ihrer momentanen Kleidung (Clothing-Faktor) und Tätigkeit (Stoffwechselrate MET) die Werte PMV (predicted mean vote) und PPD (predicted percentage of dissatisfied) zum jeweils herrschenden Klima in der ACR Prüfbox berechnet. Diese Daten wurden anschließend den Angaben der Proband:innen zu ihrer Behaglichkeit gegenübergestellt und nach Verbesserungsmöglichkeiten des Modells mit Hilfe der erfassten physiologischen Parametern wie der Herzrate und der Herzratenvariabilität gesucht.

In die Bewertung flossen die in der Prüfbox erhobenen Daten zu relativer Lufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit, operativer Temperatur (jeweils an mehreren Punkten im Raum) sowie die CO₂-Konzentration ein. Zusätzlich wurden mittels Elektroden der Firma *autonom health* die Herzrate und Herzratenvariabilität über einen Zeitraum von drei Tagen erhoben. Hier wurden Zusammenhänge zwischen Herzratenvariabilitätsparametern (lineare und nichtlineare) und den Behaglichkeitsbewertungen der Proband:innen mit einer extensiven statistischen Analyse gesucht.

Eine weitere Forschungsfrage war die Verbesserungsmöglichkeit des Behaglichkeitsmodells nach ISO 7730 mit Hilfe eines Herzratenmodells zur Bestimmung der körperlichen Tätigkeit. Bei diesen Modellen muss die Ruheherzrate der Proband:innen bestimmt werden. Die Bestimmung des Ruhepuls erfolgte im Schlaf und wurde folgendermaßen ermittelt: In einem ersten Schritt wurde die Herzrate jedes Probanden und jeder Probandin in eine Herzrate (Herzschläge pro Minute) umgerechnet. Um Messfehler zu reduzieren, wurden alle Herzraten kleiner 20 exkludiert und gelöscht. Danach wurde von den übrig gebliebenen Daten die 1%-, 2%- und 5%-Quantile berechnet. Für den Ruhepuls wurde je nach Varianz der drei Quantilen die kleinsten Quantile mit kleiner Varianz ausgewählt (bei kleiner Varianz die 1 % Quantile, bei großer Varianz die 5 % Quantile).

4.2.2.2 Wohnumfeld

An der Untersuchung im realen Wohnumfeld nahmen insgesamt 15 Personen aus Wien und Niederösterreich teil, wobei elf davon in Einfamilienhäusern und vier im mehrgeschossigen Wohnbau lebten. Zusätzlich fanden Untersuchungen in drei Wohnhäusern im Sonnendorf Schwoich (Tirol) statt. In den Wohnhäusern wurde mit den umidus-Messgeräten (Abbildung 4-10) Temperatur, Luftfeuchtigkeit und CO₂-Konzentration im Wohnraum gemessen. Mittels eines auf dem Messgerät installierten Fragebogens konnten die Teilnehmenden mehrmals pro Tag Angaben zu ihrer Zufriedenheit mit der jeweiligen Klimasituation in ihrem Wohnraum machen. Erhoben wurden mittels digitalem Fragebogen Alter, Größe, Gewicht (jeweils in Klassen angeführt, z. B. Alter von 20 bis 30 Jahre, von 31 bis 40 Jahre usw.), Geschlecht, Kleidung sowie Zufriedenheit mit der Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftqualität.

Die Daten wurden in ähnlicher Weise wie in der Prüfbox-Studie ausgewertet, jedoch mit einem deutlich reduzierten Mess-Set bezüglich der Temperaturerfassung. Im Zuge der Untersuchungen im realen Wohnumfeld stellte sich heraus, dass die HR- und HRV-Messungen mittels Brustgurt nicht in dem Maße zuverlässig waren wie die HR- und HRV-Messungen in der Prüfbox mittels unmittelbar auf dem Körper angebrachten Rekorder. Dies liegt vermutlich daran, dass sich die Studienteilnehmer:innen zwar für eine Untersuchungs-Teilnahme entschieden haben, allerdings nicht aktiv auf die HRV-Messung geachtet haben und es so zu einer hohen Messfehlerquote kam.

Abbildung 4-10: Messgerät zur Erhebung von Innenraumlufttemperatur, -feuchtigkeit und CO₂-Konzentration (umidus). Inkl. Schnittstelle zu openWeather-Daten zur Integration von Außenlufttemperatur und -feuchtigkeit. Ein implementierter Fragebogen ermöglicht die Abfrage von Daten zur Behaglichkeit. Sämtliche Daten werden bei bestehender WLAN- bzw. GSM-Verbindung in eine Mess-Cloud übertragen.



4.2.2.3 Homeoffice

In einer mittels Bauteilaktivierung klimatisierten Wohnung in der Mühlgrundgasse (Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12) konnten die bewährten, bereits oben beschriebenen Mess- und Befragungstools zusätzlich bei 25 Testpersonen zum Einsatz gebracht werden. Der experimentelle Aufbau stützte sich dabei auf die Rekrutierung freiwilliger, externer Personen, die jeweils ein bis zwei Testtage in der genannten Wohneinheit mit Bürotätigkeiten verbrachten.

Wie in der Prüfbox machten die Proband:innen Angaben zu Temperaturempfinden, -präferenzen und führten HRV-Messungen durch. Im Gegensatz zu den Prüfboxuntersuchungen wurden keine Szenarien mit extremen Raumklimasituationen ausgewählt.

Durch das realitätsnahe Setting konnten so sowohl wertvolle Ergänzungen zu den Erhebungen in den Prüfboxen als auch zu den Wohnumfeldmessungen gesammelt werden. Dadurch ergaben sich neue

Möglichkeiten des Datenvergleichs und zur Evaluierung und Validierung der eingesetzten experimentellen Methodik.

Abbildung 4-11: 1220 Wien, Mühlgrundgasse 24/26 (MGG22)



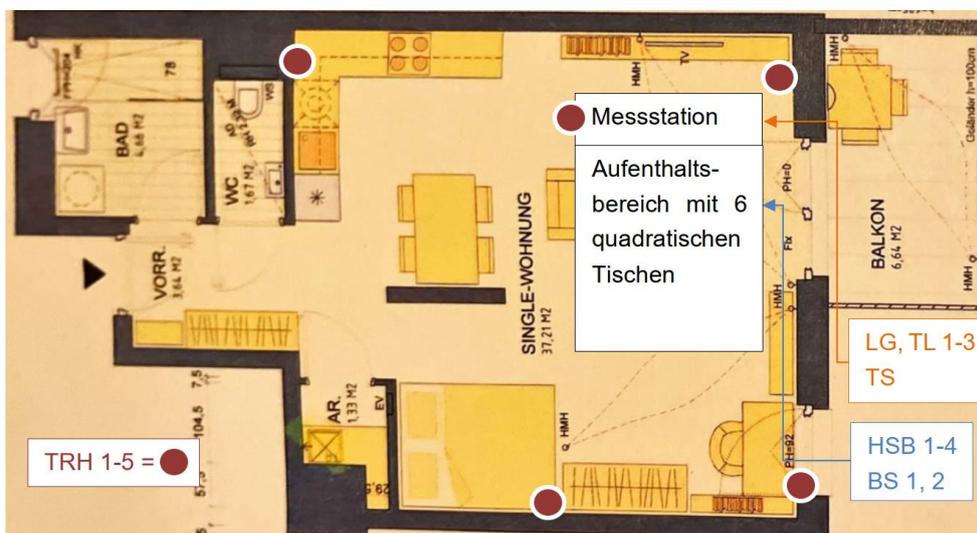
Abbildung 4-12: Testwohnung MGG22



Tabelle 4-2: Liste der verwendeten Messsensoren mit Abkürzungen, gemessenen Parametern, Herstellern, Stückzahlen und Modellbezeichnungen (Brandstätter, 2022)

gemessene Parameter	Modellbezeichnung	Hersteller	Anzahl	Abkürzung
Feuchtigkeit, Temperatur, CO ₂ -Konzentration	HSB V4.0 GSM	HSBS GmbH	4	HSB 1-4
Temperatur	TRH01-I	HSBS GmbH	5	TRH 1-5
Luftgeschwindigkeit	Swema 03+	Swema	3	LG 1-3
Strahlungstemperatur eines schwarzen Körpers	Swema 05	Swema	1	TS
Beleuchtungsstärke	STM 550 Multisensor Module	EnOcean	2	BS 1,2
Temperatur, Luftfeuchtigkeit	HygroWin (HC2-WIN-USB)	ROTRONIC AG	1	TL 1-3

Abbildung 4-13: Grundriss der Messwohnung mit Positionierung der Messgeräte und Sensoren



4.3 Ergebnisse

Folgend werden die Ergebnisse aus den definierten und beschriebenen Methoden vorgestellt.

4.3.1 Sozialwissenschaftliche Erhebungen

Durch Zusammenführung der physiologischen Daten (HRV-Daten), der Raumklimawerte sowie der Angaben der Proband:innen zur Temperaturempfindungen, thermischen Behaglichkeit, thermischen Akzeptanz, Raumluftqualität usw. konnten aufgrund des relativ großen Datensatz umfangreiche Ergebnisse generiert werden.

Im Zeitraum zwischen Mai und Juni 2020 konnten im Rahmen von qualitativen Erhebungen auf Grundlage von leitfadengestützten Interviews und standardisierten Surveys insgesamt 35 Bewohner:innen aus energieflexiblen Bestandsgebäuden in Hinblick auf folgende zentrale Parameter befragt werden:

- Erhebung des subjektiven Komfortempfindens im aktuellen Wohnumfeld
- Nutzer:innenakzeptanz in Hinblick auf Wohnkomfort/Raumtemperatur und Flexibilitätsmaßnahmen
- Differenzierung unterschiedlicher Nutzer:innengruppen und Anforderungsprofile
- Bewertung möglicher Motivations- und Incentive-Strategien zur Flexibilitätssteigerung

Die entsprechenden Samples und Erhebungsmethoden verteilten sich dabei wie folgt:

- Befragung Geblergasse (Wien): standardisierte Interviews (n=7)
- Befragung in Schwoich (Tirol): standardisierte Interviews (n=12)
- Befragung Mühlgrund (Wien): leitfadengestützte, qualitative Interviews (n=9)
- Befragung EFH der Fa. Aichinger (Niederösterreich): leitfadengestützte, qualitative Interviews (n=7)

Ziel des gewählten Methodenmixes war dabei vor allem, neben der Nutzung bewährter, standardisierter Skalen im Bereich des (thermischen) Wohnkomforts und des generellen Umweltverhaltens, explorative Ergebnisse in Hinblick auf möglich Barrieren zu Flexibilisierungsmaßnahmen und entsprechende, potentielle Anreize zur Verhaltensanpassung und Akzeptanzsteigerung zu generieren. Sowohl Planung als auch methodische Umsetzung (Datenerhebung und -analyse) wurden durch den Flucco+-Expert:innenbeirat begleitet und Zwischenschritte und Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

Operationalisierung von Wohnkomfort und Einflussfaktoren auf den thermischen Komfort

Im Rahmen von neun leitfadengestützten Interviews mit Bewohner:innen des MGG22 konnte qualitativ erfasst werden, welche Faktoren Einfluss auf Wohnortwahl, Wohnkomfort und thermische Behaglichkeit haben. Generell zeigte sich im Rahmen dieser Erhebungen, dass wie bereits in anderen Studien festgestellt die extrinsischen Faktoren thermischen Komforts wie Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte auch aus Bewohner:innensicht zentral sind. Es zeigte sich allerdings auch, dass für ein ideales Innenklima in einer Wohnung nicht automatisch maximaler Wohnkomfort impliziert ist, da aus Nutzer:innensicht intrinsische Faktoren eine ebenso relevante Bedeutung haben.

Allgemein als zentrale Faktoren für die Wahl einer Wohnung bei der Suche wurden vor allem Lage und Verkehrsanbindung, die Wohnungsaufteilung inkl. der Anzahl der Zimmer, aber auch die finanzielle Leistbarkeit genannt. Daneben stellen verfügbare Freiflächen und Grünruhelagen wichtige Entscheidungsfaktoren für einen Wohnort dar. Als Ausschlusskriterien bei der Wohnungssuche wurden die Verwendung einer Gasheizung, und zu wenig weitläufige Wohnanlagen genannt.

Bei genereller Betrachtung des subjektiven Wohnkomforts gab ein Großteil der Befragten an, dass Einrichtungsgegenstände und die Wohnungsausstattung als wesentlich für den subjektiven Eindruck wahrgenommen werden. Mehr als die Hälfte der Bewohner:innen sehen eine bestimmte Wohnungsgröße oder eine konkrete Wohnungsaufteilung als ausschlaggebend für das eigene Wohlempfinden. Ebenfalls wichtig ist das Vorhandensein einer Freifläche, Ordnung und Sauberkeit in der Wohnung und Ruhe bzw. das Ausbleiben von Lärm in der Wohnanlage.

Wohnkomfort und thermische Behaglichkeit werden als differenzierte und exklusive Begriffe wahrgenommen, die sich in entscheidenden Dimensionen überschneiden. Dabei zeigen die Ergebnisse der Interviews, dass unter thermischer Behaglichkeit das subjektive Wärmegefühl oder Wärmeempfinden in der Wohnung subsumiert wird. Dabei wird die thermische Behaglichkeit in erster Linie auf die Temperatur bezogen bzw. auf das allgemeine Raumklima, wobei sich beide Bereiche erwartungsgemäß gegenseitig beeinflussen.

Neben den objektiv messbaren Faktoren von Temperatur, Luftfeuchte/-trockenheit konnten im Rahmen der Gespräche mit den Bewohner:innen allerdings auch weitere Faktoren bzw. individuelle Maßnahmen gesammelt werden, die sich auf den thermischen Komfort auswirken. Unter anderem erwähnten Befragte, dass das Essen von saisonal üblichen Speisen, wie warme Suppen im Winter und kühle Salate im Sommer, oder das Verändern der Dekorationsfarben, sowohl Einfluss auf den subjektiven Wohnkomfort als auch auf das subjektive thermische Wohlbefinden hat. Dekorationselemente in kalten Farben, wie beispielsweise blau, können den Bewohner:innen ein kühlendes Gefühl vermitteln. Werden Bewohner:innen mit warmen Farben, wie rot, umgeben, wird ein wärmeres Gefühl vermittelt.

Generell stellt die Zufriedenheit mit dem genutzten Heizsystem einen wichtigen Prädiktor für den Komfort der Befragten dar. Vor allem bei längeren Aufenthalten wird die Temperatur in den Wintermonaten, als zu kühl eingeschätzt wurde, wodurch Anpassungen der Kleidung notwendig sind. Die Erreichung der Wohlfühltemperatur wird dabei vor allem durch das träge Heizsystem verzögert, da die Auswirkungen der Umstellung erst Tage später spürbar sind (MGG22 ist mit Betonkernaktivierung für Wärmeabgabe und sommerlicher Temperierung ausgerüstet). Dies führt dazu, dass größere Anpassungen durch Bewohner:innen eher vermieden werden. Weitere negative Erfahrungen beziehen sich auf Temperaturschwankungen bei der Umstellung von Winterbetrieb auf Sommerbetrieb, wodurch ungewollte und unangenehm niedrige Temperaturen der Wohnung zustande kamen. Hinsichtlich Luftfeuchte, Lufttrockenheit bzw. der allgemeinen Luftqualität zeigte sich eine hohe Zufriedenheit mit dem Heizsystem im Gebäude.

Ein wichtiger Aspekt, der hinsichtlich der Oberflächentemperaturen und deren Auswirkungen auf den thermischen Komfort genannt wurde, stellt die niedrige Bodentemperatur, welche durch die Nutzung der Deckenkühlung im Sommer durch darunter liegende Wohneinheiten zustande kommt.

Als zentral für die generelle Bewertung der teilnehmenden Bewohner:innen kann die Einstellung zu Energiethemen angenommen werden, welche in Kombination mit der Selbsteinschätzung bzgl. Wissen

und Verhalten auch Annahmen über mögliche Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung und Teilhabebereitschaft (z.B.: an Flexibilisierungsmaßnahmen) ermöglicht.

Zusätzlich zu den qualitativen Erhebungen im Quartier MGG22 wurden ebenfalls leitfadengestützte Interviews in sieben Haushalten in Einfamilienhäusern in Niederösterreich geführt. Hinsichtlich der technischen Ausstattung der Gebäude sind alle mit einer effizienten Gebäudehülle ausgestattet, um den Niedrigstenergiestandard zu erreichen. Alle Gebäude werden über Wärmepumpen beheizt bzw. gekühlt, ein Teil verfügt zusätzlich über Wohnraumlüftungen. Zusätzlich sind die Wärmepumpen mit dem nahegelegenen Windpark verknüpft, wodurch Fußbodenheizungen und Betondecken als Energiespeicher genutzt werden und verstärkt erwärmt bzw. gekühlt werden können.

Im Vergleich zu den explorativen Erhebungen im Mehrfamilienquartier in der Mühlgrundgasse in Wien, zeigt sich, dass die erfassten Einflussfaktoren subjektiven thermischen Wohnkomforts auch unter den Bewohner:innen der Einfamilienhäuser bestätigt werden konnten. Konkret sind Temperatur, Luftfeuchte/-trockenheit, Luftzug, Luftqualität und die wahrgenommene Oberflächentemperatur objektiv messbare und von den Teilnehmer:innen wiederholt genannte Faktoren. Einzig die direkte Sonneneinstrahlung stellt im Kontext thermischen Komforts unter den Bewohner:innen der Einfamilienhäuser eine wichtige Rolle, während dies im Mehrfamilienhaus kein genannter Faktor ist. Beide Erhebungen zeigen, dass der allgemeine subjektive Wohnkomfort durch ein Zusammenwirken unterschiedlicher Faktoren, die sich nicht ausschließlich auf die räumliche Beschaffenheit des Wohnraumes beziehen, beeinflusst wird, dazu gehören: Raumhöhe, Sauberkeit und Ordnung, Freiheitsgefühl, Geruch, Gebäudeinterne Infrastruktur, Sonnenlicht, Nachbarschaft und Infrastruktur, Luftqualität, Einrichtung, Grünflächen, Lärmemissionen und Platz. Allgemein zeigte sich, dass in den Interviews mit den Bewohner:innen der Einfamilienhäuser ein vergleichsweise größeres Spektrum an Einflussfaktoren auf den Wohnkomfort identifiziert werden konnte. Einer der entscheidenden Faktoren für diesen Unterschied und die generell positiven Bewertungen könnten darauf zurückzuführen sein, dass die Bewohner:innen der Einfamilienhäuser ihr Gebäude selbst mitgeplant haben.

Auffallend in beiden Samples sind die Aussagen hinsichtlich des Energiekonzepts, welches in den Gebäuden zum Einsatz kommt: die Trägheit der Betonkernaktivierung führt teilweise bei den befragten Teilnehmer:innen in bestimmten Fällen zu Unzufriedenheit bzw. erfüllt nicht die Erwartungen, spezielle in den Übergangszeiten vom Sommer in den Winter. Allgemein sind die Bewohner:innen jedoch mit dem fortschrittlichen Energiekonzept in beiden Samples, Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern, zufrieden. Bezüglich der möglichen Anreize, Flexibilisierungsmaßnahmen zu akzeptieren, unterscheiden sich die beiden Samples deutlich: während in den Einfamilienhäusern vor allem ökonomische Anreize als wichtig erachtet werden, hat sich die Mehrheit der Befragten im Mehrfamilienquartier für nicht-ökonomische Anreize ausgesprochen.

Bei der vertiefenden Analyse der Transkripte aus den qualitativen Interviews anhand der GABEK Methode© zeigte sich, dass bei der thermischen Empfindung der Raumtemperatur als zu kalt, diese Wahrnehmung einen zentralen Stellenwert im subjektiven Komfortempfinden einnimmt. Allerdings wirken hier auch andere relevante Faktoren, wie z.B. der Luftzug, der vor allem im Zusammenhang mit Kälte als störend empfunden wird. Die wahrgenommene Oberflächentemperatur der Einrichtungsgegenstände spielt darüber hinaus in beiden Gebäudetypen eine zentrale Rolle und wirkt sich auch auf das Heizverhalten aus – wird bspw. der Fußboden als zu kalt empfunden, während die generelle Raumlufttemperatur als neutral bewertet wird, wird dennoch geheizt, um die

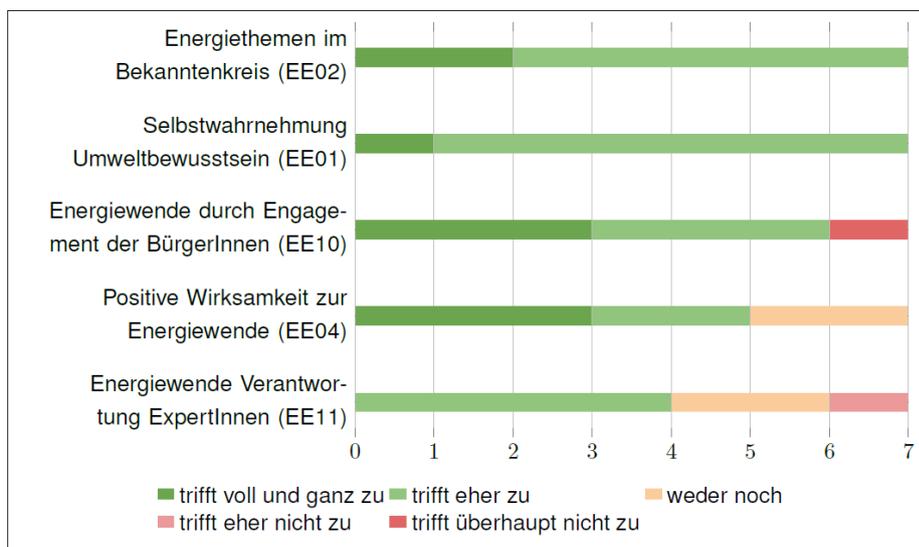
Oberflächentemperatur auf ein zufriedenstellendes Niveau zu heben. Die Kleidungswahl spielt generell wenig Rolle im Komfortempfinden und ist keine Entscheidungs determinante, basierend auf den qualitativen Interviews. Die Trägheit des energieflexiblen Systems wird in Mehrparteienhäusern negativer bewertet als in Einfamilienhäusern, während allgemein dem selbst gebauten Haus mehr Wohnkomfort zugeschrieben wird, da allein dessen Existenz Wohnkomfort generiert. Beide Haushaltsgruppen benennen (Tages)Licht als komfortsteigernd wobei es im urbanen Raum als bedeutsamer empfunden wird. Die Nachbarschaft hat nur im Stadtsample eine positive Auswirkung auf den Wohnkomfort.

Zusammenfassend zeigen die qualitativen Erhebungen, dass Modellierungen subjektiven thermischen Wohnkomforts nicht nur extrinsischen Einflüsse, sondern auch intrinsischen bzw. subjektive Einflussfaktoren darstellen müssen, um relevante Kausalitäten berücksichtigen zu können.

Bedürfnisse, Erfahrungen und Erwartungen von Bewohner:innen energieflexibler Gebäude

Die Erhebungen im Rahmen der standardisierten Befragungen in der Geblergasse, in Wien, zeigen in diesem Zusammenhang ein quantifizierbares Bild, das sich auch in den anderen Samples der Projekterhebungen gezeigt hat: Die Befragten schätzen sich generell als umweltbewusst ein und Umweltthemen sind Teil ihres Alltags bzw. des alltäglichen Diskurses im Bekanntenkreis und der Familie.

Abbildung 4-14: generelle Fragen zur Energieeinstellung (Geblergasse, n=7) (Mlinaric, 2020)



Außerdem gab die Mehrheit an, auf die positive Wirksamkeit ihres Handelns in Bezug auf die Energiewende zu vertrauen – der Möglichkeit einen eigenen, aktiven Beitrag zum Gelingen der Energiewende zu leisten. Darüber hinaus gehen die Teilnehmer:innen davon aus, dass die Energiewende durch gemeinschaftliches Engagement der Bürger:innen getragen wird.

Die Befragten schätzen ihre Energiesparmaßnahmen durchwegs positiv ein, der Großteil bewertet sie dem eigenen Empfinden nach aber weder angenehm noch unangenehm. Alle Befragten gaben an, eher aus Umweltbewusstsein Energie zu sparen, Kostengründe werden jedoch ebenfalls genannt. Generell besteht für die Befragten kein Komfortverlust, der mit energiesparendem Verhalten assoziiert wird. Hinderungsgründe für das Energiesparen sind hauptsächlich intrinsischer Natur (z.B. Bequemlichkeit, tägliche Gewohnheiten, oder individueller Heiz-/Wärmebedarf).

Abbildung 4-15: Primäre Gründe aus denen im Haushalt auf den Energieverbrauch geachtet wird (Geblergasse, n=7) (Mlinaric, 2020)

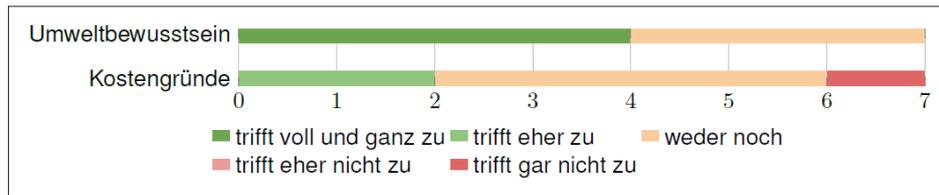
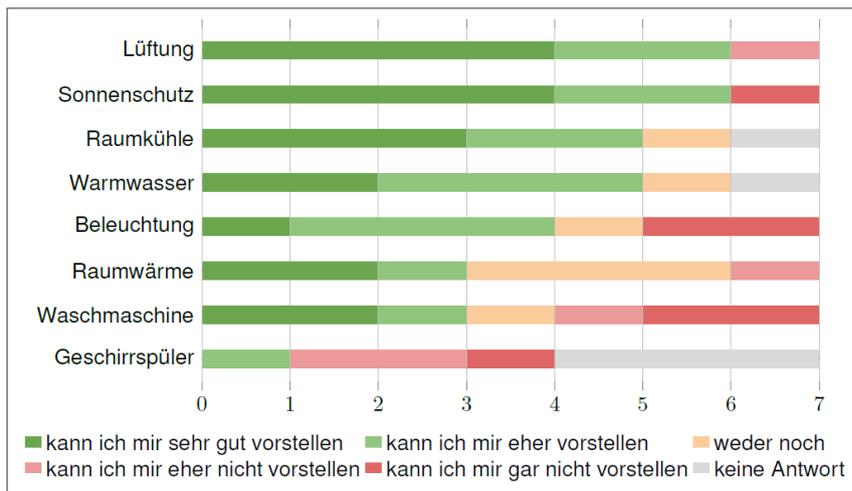


Abbildung 4-16: Bereiche im Wohnumfeld bei denen sich die Befragten vorstellen können sie automatisiert steuern zu lassen (Geblergasse, n=7) (Mlinaric, 2020)



Alle Befragten sind der Fremdsteuerung täglicher Prozesse im Haushalt (z.B.: Raumtemperatur, Haushaltsgeräten, Beleuchtung, etc.) durch intelligente Gebäudetechnik positiv gegenüber eingestellt, vor allem weil es einen technologischen Fortschritt darstellt und dieser positiv bewertet wird. Skepsis wegen zu viel externer Steuerung, die Angst vor Komfortverlust und der Wunsch nach der Möglichkeit manueller Regelung wurden in diesem Zusammenhang allerdings auch als mögliche Barrieren genannt.

Die Mehrheit der Befragten kann sich generell eine automatische Steuerung ausgewählter Prozesse im Haushalt vorstellen. Im Detail können sich die meisten Personen vor allem Lüftung und Sonnenschutz vorstellen automatisch steuern zu lassen. Allerdings stellen gerade die für den Energieverbrauch des Haushalts wichtigen Verbraucher Raumwärme, Waschmaschine und Geschirrspüler jene Bereiche bzw. Geräte dar, die nur ungern einer automatisierten Steuerung überlassen werden. Die Selbst- bzw. Mitbestimmung wurde als generelle Voraussetzung für die Teilnahmebereitschaft an Flexibilisierungsmaßnahmen genannt. Beim Großteil der Befragten stellt darüber hinaus die Angst vor individuellem Komfortverlust eine wichtige Hürde dar, wobei das generelle Verständnis der Handhabung entsprechender Automatisierungsprozesse, sowie eine klare Vermittlung der Vorteile, bspw. der Potentiale in Hinblick auf eine energieeffiziente Nutzung, unterstützt werden.

Die Befragten gaben an, in ihren Wohnungen nicht auf Komfort verzichten zu müssen, um sich energiesparend zu verhalten. Weiters sind sie zufrieden mit der Wohnungstemperatur und der Bedienung des Heizsystems. Für den Großteil der Befragten hat sich das Interesse durch den Einzug in das Gebäude verändert. Die Mehrheit fühlt sich im Haus gut über energiesparendes Verhalten informiert, einige benötigen jedoch mehr Information.

Die Mehrheit der Befragten sieht das Gebäude aufgrund der Vorreiterrolle als Imagegewinn. Eine Person fühlt sich wegen der Sanierung aus der Nachbarschaft ausgeschlossen.

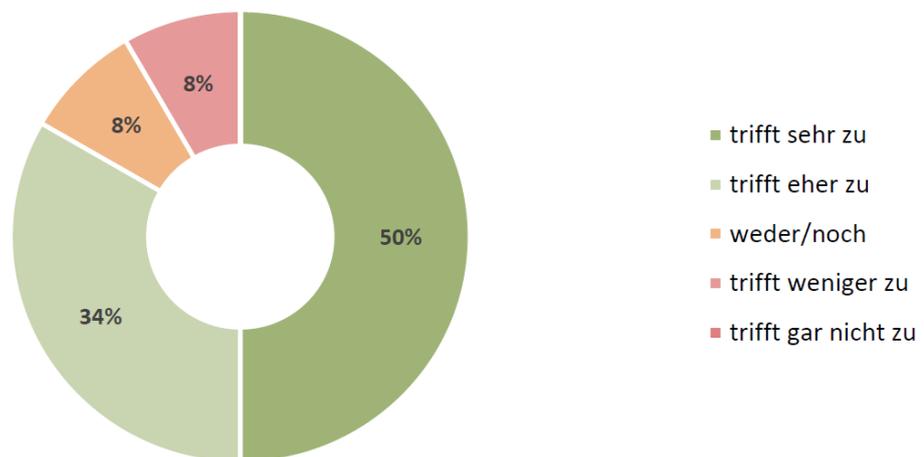
Die Befragten empfinden vor allem das Energiekonzept und die Erzeugung erneuerbarer Energien als innovativ, auch architektonische Details sowie die Nachbarschaft wurden in diesem Zusammenhang genannt. Der Großteil der Befragten findet es wichtig, mit ihren Nachbar:innen beim Energiesparen übereinzustimmen. Näherer Kontakt oder Freundschaft sowie kontaktfreudige, hilfsbereite, aktive und engagierte Personen sind den Befragten bezogen auf ihre Nachbar:innen wichtig.

Kaufgründe, Erwartungen und Bedürfnisse im Kontext energieflexibler Quartiere

Im Testgebiet in Schwoich in Tirol, dem sogenannten Sonnendorf, konnten Bewohner:innen kurz vor Einzug in ihre Wohneinheiten zu Erwartungen, Anforderungen und bisherige Erfahrungen im Kontext energieflexibler Gebäude befragt werden.

Wichtige Gründe für den Bezug eines energieflexiblen Gebäudes sind für die zukünftigen Bewohner:innen, die Höhe der Investitionskosten, niedrige Betriebskosten im Vergleich zu anderen Technologien mit gleichem Nutzen und dass mit dem Bezug ein Beitrag zum Klimaschutz und zur Bewahrung der Natur geleistet wird. Hinsichtlich Erwartungen geht niemand der befragten Personen davon aus, dass mit dem Bezug ein Komfortverlust oder eine Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten einhergehen. Lediglich die Hälfte der Bewohner:innen wollen mit dem Bezug ein Vorbild für ihre Kinder sein und nur drei von zwölf Personen ist die Reputation bzw. das Image des Sonnendorfes nach außen wichtig. Ein rein am Prestige der Immobilie orientierter Kauf kann somit ausgeschlossen werden.

Abbildung 4-17: Moralische Verpflichtung, umweltbewusst zu leben n=12 (Zechmeister, 2020)



Vergleicht man die Personen im Sonnendorf nur anhand der sozio-demographischen Angaben mit den Lebensstiltypen nach Bogner et al. (2012), ist zu erkennen, dass aufgrund der Anzahl an Personen mit akademischem Abschluss, der Tatsache der Lebensweise in einer Partnerschaft und der vollen Berufstätigkeit ein Naheverhältnis zur Gruppe der Etablierten herrscht. Obwohl sich die Personen im Sonnendorf für den Bezug eines energieflexiblen Gebäudes entschieden haben und sich selbst als umweltbewusst bezeichnen, kann rein aus sozio-demographischer Sicht weniger Nähe zu der Gruppe der Umweltbewussten gefunden werden als zur Gruppe der Etablierten.

Misstrauen oder Skepsis der zukünftigen Bewohner:innen gegenüber der Energieflexibilität in ihren zukünftigen Wohngebäuden kann nicht wahrgenommen werden. Keine einzige befragte Person gab an, mit dem Bezug eines energieflexiblen Gebäudes Komfortverluste zu erwarten. Ebenso besteht keine Sorge, dass die Kontrolle über die eigenen Nutzungsmöglichkeiten zu Gunsten einer Energieflexibilisierung aufgegeben werden müssen. Bei rund der Hälfte der Personen im Sonnendorf trifft es eher bzw. sehr zu, dass sie mit dem Bezug eines energieflexiblen Gebäudes ein Vorbild für ihre Kinder sein wollen. Nach weiteren Auswertungen stellte sich heraus, dass dies hauptsächlich auf Frauen zutrifft. Bei den Männern ist diese Ausprägtheit nicht zu erkennen. Alle Personen, die zuvor zur Miete gewohnt haben, sind ökologische Flächen, Grünraum bzw. Naturraum in unmittelbarer Nähe, wichtig bzw. sehr wichtig. Dies lässt darauf schließen, dass Personen, die zur Miete gewohnt haben, zuvor in Wohnungen mit erfahrungsgemäß weniger Grünflächenanteil wohnten. Daher sehnen sich offensichtlich Mietwohnungsbesitzer:innen eher nach Grünraum in unmittelbarer Nähe. Zusätzlich erwarten sich Personen, die zuvor zur Miete gewohnt haben, eher gesundheitliche und komfortbedingte Vorteile durch den Bezug eines energieflexiblen Gebäudes als Personen, die im Eigentum gewohnt haben. Dieses Ergebnis lässt wiederum auf Mietwohnungen schließen.

Thermische Messdaten und subjektive Wahrnehmungen – experimentelle Setups in der ACR Prüfbox und im realen Wohnumfeld

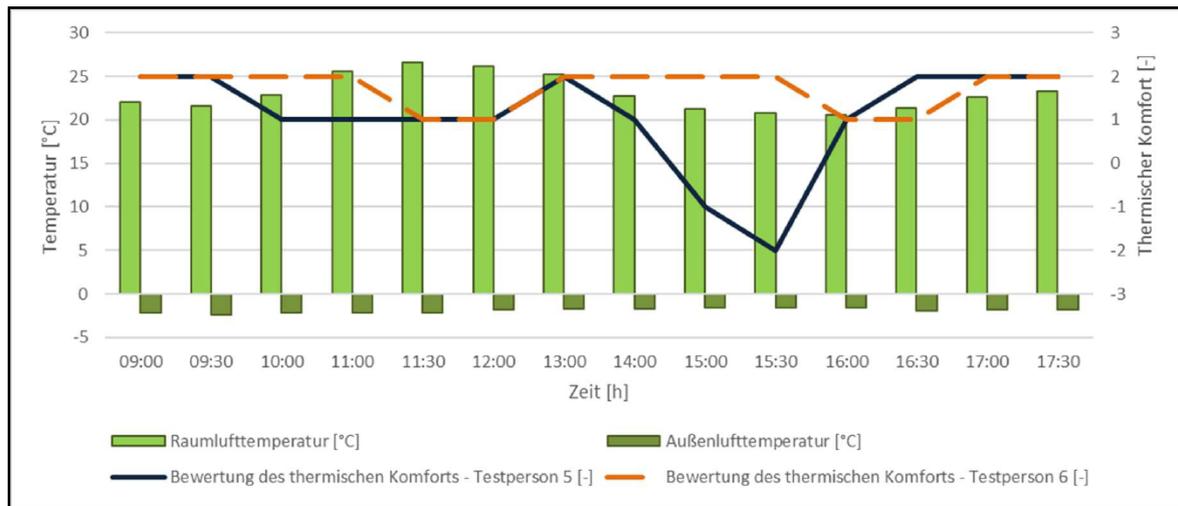
Basierend auf den Vorerhebungen im Rahmen der qualitativen und quantitativen Befragungen in Einfamilienhäusern wurden die Befragungstools für die begleitenden Erhebungen im Rahmen der Prüfboxexperimente und Testsettings unter Realbedingungen im MGG22 methodisch angepasst und modifiziert.

Im Rahmen der Prüfbox Experimente konnten 21 Testpersonen, jeweils drei Tage (ohne Übernachtung), befragt werden. Das Testsetting entsprach dabei leichten Bürotätigkeiten, wobei immer zwei Testpersonen gleichzeitig in der Prüfbox anwesend waren. Die Fragebögen wurden stündlich von den Teilnehmer:innen befüllt, wodurch ein umfangreicher Datensatz in Kombination mit den physikalischen und Raumparameterdaten erstellt werden konnte.

Ziel der Befragungen war es, zu testen welche der objektiv messbaren einen signifikanten Effekt auf die subjektive Bewertung des thermischen Komforts aufweisen, um so eine Abschätzung der Vorhersagefähigkeit der einzelnen Raumluftparameter ableiten zu können.

Zusätzlich zu den potentiellen Einflüssen der Raumluftparameter wurden Effekte sozio-demografischer Faktoren auf die subjektiven Votings des thermischen Komforts getestet. Im Vergleich von Testpersonen, die zur selben Zeit an den Experimenten teilnahmen zeigte sich, dass die weiblichen Teilnehmer:innen mit negativeren Votings im Vergleich zu den männlichen Testpersonen bei Temperaturabsenkungen reagieren.

Abbildung 4-18: Thermischer Komfort im Zeitverlauf unter Berücksichtigung von Innen- und Außentemperatur (Winter, 2022)



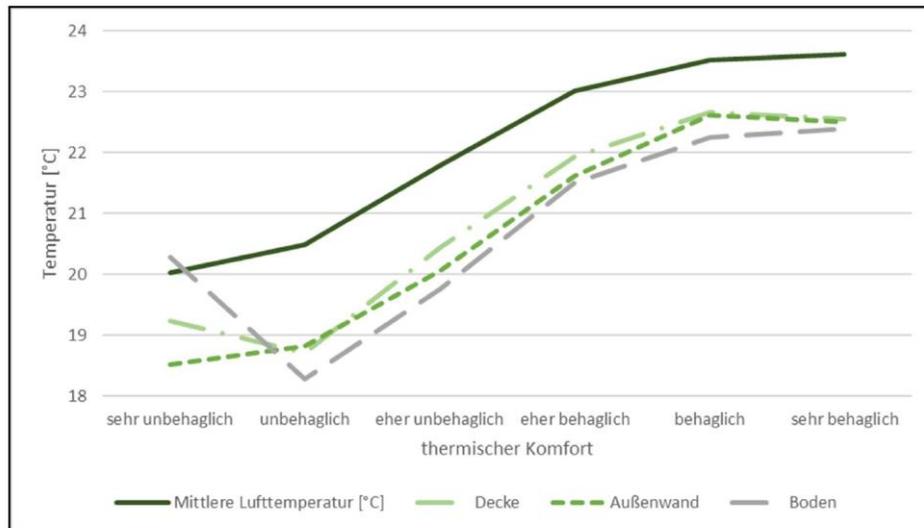
Unter den gleichen Raumkomfortparametern besteht damit unter den weiblichen Teilnehmer:innen in allen Vergleichen in denen eine entsprechende Konstellation an Teilnehmer:innen verfügbar war, zu einer schlechteren Bewertung des thermischen Komforts in dem Zeitraum, in dem die Temperatur abgesenkt wurde.

Insgesamt zeigte sich bei allen Veränderungen des Abgabesystems (Wand-, Decken- und Fußbodenheizung, bzw. -kühlung) und der entsprechenden Anpassungen der Temperaturen, dass ein Großteil der Teilnehmer:innen zu allen Zeitpunkten hohe Akzeptanz hinsichtlich des thermischen Komforts aufwies. Lediglich am Nachmittag stieg der Anteil der eher unzufriedenen an, wobei der Anteil der Teilnehmer:innen für welche der thermische Komfort nicht akzeptabel war zu keinem Zeitpunkt der Erhebungen über 10 % lag.

Betrachtet man die subjektiven Bewertungen von thermischem Komfort, Akzeptanz, Präferenz und thermischem Wohlbefinden in Hinblick auf die Oberflächentemperaturen so zeigt sich, dass sich alle positiven Votings der vier Komfortdimensionen in einem Temperaturbereich zwischen 22°C und 23°C bewegen. Die positiven Votings sind dabei bei den Bodentemperaturen bei niedrigeren Temperaturen nahe 22°C und bei Außenwand und Decke bei ca. 22,5°C erreicht.

Betrachtet man die mittleren Oberflächentemperaturen sowie die mittlere Raumlufttemperatur im Vergleich zur thermischen Behaglichkeit zeigt sich, dass sich bei allen Oberflächen im Temperaturbereich zwischen 18°C und 20°C die Votings zwischen sehr und eher unbehaglich bewegen. Bei Oberflächentemperaturen ab 22°C befinden sich die mittleren Votings hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit im positiven Bereich. Im Bereich einer mittleren Raumlufttemperatur von 23°C sind die mittleren Votings der thermischen Behaglichkeit ebenfalls positiv.

Abbildung 4-19: Thermische Behaglichkeit in Verbindung mit Temperaturen an Decke, Außenwand und Boden (Winter, 2022)

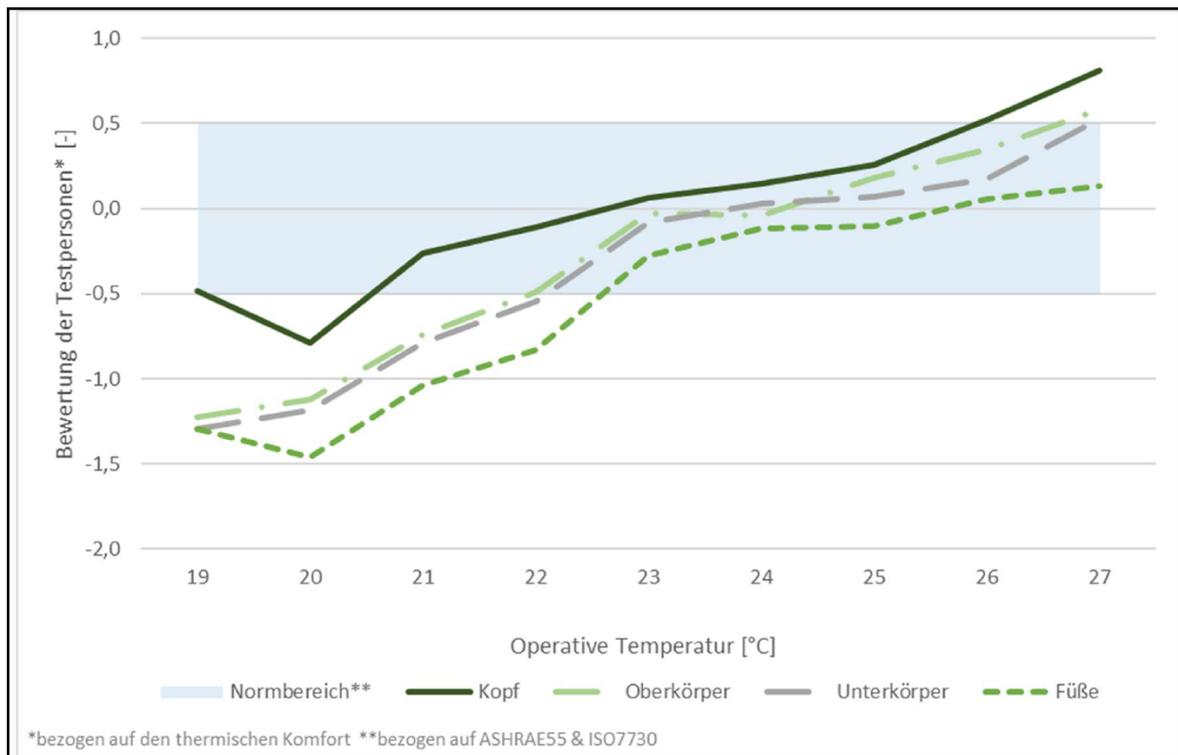


Die Bewertungen des thermischen Empfindens der Testteilnehmer:innen zeigen an, welche Temperaturbereiche als zu kühl, welche neutral und welche als warm eingeschätzt werden. In diesem Vergleich zeigt sich ein Trend, der sowohl für die mittlere Raumlufttemperatur als auch für die unterschiedlichen Oberflächentemperaturen gilt: im Temperaturbereich zwischen 18°C bis 20°C werden die Oberflächen als kühl eingeschätzt, im Bereich ab 20 bis 23 als neutral und darüber als warm. Die mittleren Raumlufttemperaturen liegen dabei im Vergleich um ca. 1°C darüber mit neutralen Votings im Bereich zwischen 23°C und 24°C. Diese Ergebnisse zeigen sich auch bei Berücksichtigung der Akzeptanz des thermischen Komforts: Oberflächentemperaturen unter 21°C führen zu einem Rückgang der Akzeptanz, wobei dies bei Raumlufttemperaturen unter 22°C bereits der Fall ist.

Werden neben den Oberflächen- und Raumlufttemperaturen auch die Außentemperaturen berücksichtigt zeigt sich, dass auch bei steigenden Außentemperaturen Oberflächen- und Raumlufttemperaturen den entscheidenden Einfluss auf die Bewertung der thermischen Komfortparameter aufweisen.

Berücksichtigt man die unterschiedlichen Körperregionen, Kopf, Oberkörper, Unterkörper, Füße im Verhältnis zur Norm ASHRAE 55 sowie der Norm ISO 7730, ergibt sich, dass alle Empfindungen an den verschiedenen Körperregionen einen ähnlichen Verlauf aufweisen. Die Bewertung des thermischen Komforts am Kopf unterscheidet sich erwartungsgemäß von der subjektiven Bewertung an den Füßen. Zur Erreichung des thermischen Komforts innerhalb der betrachteten Normen am Kopf zeigt sich ein breiterer Temperaturbereich als bei den anderen Körperteilen, womit der Toleranzbereich in dieser Körperregion größer ist. Generell stimmt der thermische Komfort annähernd mit den als „neutral“ bewerteten Temperaturbereichen von etwa 20°C bis 22°C überein, wobei die operative Temperatur für die Bewertung des thermischen Komforts statistisch signifikant ist.

Abbildung 4-20: Bewertung des thermischen Komforts in unterschiedlichen Körperregionen im Vergleich zur Raumtemperatur. Normbereich entspricht Klasse B, bzw. II (Winter, 2022)



Die Auswertungen hinsichtlich des Clothing-Faktors der Testteilnehmer:innen zeigen, dass sie ihre Bekleidung an die Raumparameter anpassen, dies zeigt sich am sinkenden Clothing-Faktor mit steigenden Temperaturen. In Hinblick auf das Aktivitätsniveau der Teilnehmer:innen zeigen sich erhöhte Aktivitäten in den Temperaturbereichen zwischen 20°C und 23,5°C, dem Bereich des thermischen Wohlbefindens.

Zusammenfassend zeigten die Erhebungen im Rahmen der Prüfboxexperimente, dass ein Großteil der berücksichtigten Faktoren zuverlässige Prädiktoren für thermischen Komfort und die gezeigten Subdimensionen darstellen. Einige Erkenntnisse aus Vorgängerstudien konnten auch im Rahmen der Erhebungen in Flucco+ bestätigt werden. So weisen Körperregionen mit Nähe zu abstrahlenden Oberflächen ausgeprägtere Bewertungen des thermischen Empfindens und der thermischen Präferenz auf als andere Körperregionen. Generell wird die Temperatur in allen Körperregionen häufiger neutral präferiert, als sie neutral empfunden wird, was weitere Erhebungen zur Ergänzung der bestehenden Datensätze zur Analyse der verwendeten Komfortmodelle nahelegt.

Aufbauend auf den experimentellen Test im Rahmen der Prüfboxexperimente wurde in einem „realen“ Test-Setting in einer Wohneinheit im Wohnquartier MGG22, 1222 Wien, ein vergleichbarer Erhebungsprozess in einem Zeitraum von zwei Monaten mit 25 Teilnehmer:innen umgesetzt. Zentrale Frage im Rahmen der abschließenden Erhebungen war dabei die potenzielle Korrelation gemäß ISO 7730 vorausgesagten Parametern PMV (met und hr) und PPD mit dem erhobenen thermischen Empfinden und der thermischen Präferenz im Wohnkontext bei frei gewählter Bekleidung und selbst bestimmten Aktivitätsbedingungen. Darüber hinaus sollte die Beziehung zwischen der in ÖNORM EN 16798-1 vorausgesagten und für den Bereich unter 10°C gleitender Mittelwert der Außentemperatur und im Rahmen dieser Studie ergänzten Klimakategorien mit dem erhobenen thermischen Empfinden

und der thermischen Präferenz im Wohnkontext bei frei gewählter Bekleidung und selbst bestimmten Aktivitätsbedingungen getestet werden.

Die Ergebnisse im Bürokontext der Testsituationen zeigen hinsichtlich des thermischen Empfindens bzw. der thermischen Präferenz, dass vor allem an den unteren Körperregionen, den Teilnehmer:innen eher kühl war, während dies bei Oberkörper und Kopf nicht der Fall war. Generell sind die durchschnittlichen Votings der 25 Testpersonen in Hinblick auf thermische Behaglichkeit und thermischem Komfort neutral bzw. behaglich. Die Zufriedenheit mit den übrigen Komfortparametern der Luftqualität und Luftfeuchte war überwiegend hoch über alle Messparameter hinweg.

Varianzen im Bereich der subjektiven Votings bei variierenden operativen Temperaturen zeigt sich vor allem zwischen den Körperregionen - mit Körperregionen mit Nähe zu abstrahlenden Oberflächen weisen ausgeprägtere Bewertungen des thermischen Empfindens und der thermischen Präferenz auf als andere Körperregionen. Dabei wird die Temperatur in allen Körperregionen häufiger neutral präferiert, als sie neutral empfunden wird. Dabei zeigt sich auch eine Diskrepanz dahingehend, dass trotz Votings für zu kühl bzw. zu warm keine Präferenzen bzw. Änderungsbedürfnisse hinsichtlich des thermischen Zustandes angegeben wurden. Dementsprechend kann angenommen werden, dass die genannten Temperaturgrenzen Spielräume offen lassen innerhalb der die thermische Präferenz neutral bleibt, obwohl das thermische Empfinden nicht (mehr) neutral ist.

Ähnlich wie bereits in den Prüfbox-Experimente variieren die Proband:innen ihr Bekleidung entsprechend der Raumtemperatur und nehmen entsprechende Kleidungsanpassungen bei Temperaturänderung vor. In Hinblick auf die sozio-demografischen Faktoren zeigte sich im Rahmen der Tests im MGG22, dass die älteren Teilnehmer:innen das thermische Empfinden als höher einschätzen als dies bei den jüngeren Teilnehmer:innen der Fall ist. Auch in Hinblick auf die Körpergröße zeigte sich, dass größere Menschen die Temperatur am Kopf als höher einschätzen als Kleinere – die Nähe zu den Oberflächen ist hier der entscheidende Faktor.

Ableitung von Motivations- und Incentive-Strategien zur Flexibilitätssteigerung

Auf Grundlage der Erhebungen unter Neumieter:innen im Quartier in der Mühlgrundgasse und Expert:innensicht zeigte sich deutlich, dass Informieren von Beteiligten der Bewohner:innen und damit partizipative Strategien zentrale Erfolgsfaktoren darstellen. Im Kern steht die Ermöglichung der Informationsbeschaffung, durch Messung, Wartung und Monitoring der technischen Komponenten, sowie Strukturen zur Informationserhaltung durch funktionierende Schnittstellen zwischen Planung und Ausführung und das frühzeitige Einbeziehen, Informieren und Berücksichtigen von Bedürfnissen von Bewohner:innen durch Diskussionsgruppen und Workshops im Fokus der Gespräche mit den Expert:innen, die im Rahmen laufender Projekte bereits positive Erfahrungen durch diese Methoden sammeln konnten.

Da eine generelle Bereitschaft auf Seiten der befragten Bewohner:innen dazu besteht ihr Energieverhalten auf Grund von Energieeinsparungspotentialen, der assoziierten Nachhaltigkeit und Kosteneinsparungen zu ändern und gleichzeitig hoher Informationsbedarf bezüglich möglicher Strategien zur Verhaltensanpassung bestehen müssen sinnvolle Motivationsstrategien zur Flexibilitätssteigerung entsprechend auf Information setzen.

Zusätzlich unterstreichen die Ergebnisse der Erhebungen bereits bekannte Einflüsse von Bezugspersonen und Personen aus dem Wohnumfeld auf das individuelle Umweltverhalten - das

Verhalten von Nachbar:innen in Bezug auf das Energiesparen wird als wichtig wahrgenommen und als Referenz für das eigene Verhalten herangezogen. Da in den von Expert:innen erwähnten Diskussionsgruppen und Workshops Kontaktpunkte mit Nachbar:innen entstehen und Informationen bezüglich Energiesparen geteilt und offen diskutiert werden können, kann in diesem Rahmen auch Zustimmung zu potentiell den individuellen Komfort beeinflussende Maßnahmen geschaffen werden. Zusätzlich können im Rahmen derartiger Veranstaltungen, in denen die Funktionsweise des Gebäudes und nachhaltige Verhaltensweisen vermittelt werden, auch mögliche Role Models in der Bewohner:innenschaft geschaffen und kommuniziert werden.

Aus den weiteren Rückmeldungen lassen sich strukturiert nach den Teilnehmer:innen der Erhebungen politisch-rechtliche, Maßnahmen auf Seiten der Bauträger und Anforderungen von Bewohner:innenseite ableiten.

Tabelle 4-3: Regulatorische Maßnahmen

Themenfeld	Regulatorische Maßnahme
Fördermaßnahmen	Als primäre Motivation für Flexibilisierungsmaßnahmen gelten ökonomische Gründe. Ebenso würden Neumieter:Innen ihr Energieverhalten aus ökonomischen Gründen ändern. Fördermaßnahmen könnten demnach Wirkung zeigen.
Informieren	Nutzer:innen, Bewohner:innen, Gemeindebewohner:innen und Einwohner:innen umliegender Ortschaften können über energieflexible Gebäude informiert werden, um einen breiten Bekanntheits- und Informationsgrad zu erreichen. Bewohner:innen sollten vor allem früh in den Planungsprozess eingebunden werden.
Grünflächen	Wohnbauvorhaben sollten nur mit ausreichend Grünflächen in unmittelbarer Nähe genehmigt werden, da sich Grünflächen beziehungsweise die Wohnumgebung auf den Komfort auswirken.

Tabelle 4-4: Maßnahmen für Bauträger bzw. Vertrieb

Themenfeld	Maßnahmen für Bauträger bzw. Vertrieb
Werbung	Via Social Media, Flugblätter und Internet, dadurch könnte ein breiter Bekanntheits- und Informationsgrad von energieflexiblen Gebäuden erreicht werden. Dabei sollte unter anderem der Fokus auf besser verdienenden hoch gebildeten Jungfamilien liegen.
Technische Ausstattung	Operative Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit/Luftzug, Luftqualität, Blackoutfestigkeit, Sommertauglichkeit, gebäudeinterne Infrastruktur und individuelle Raumtemperatureinstellungsmöglichkeit wirken sich auf den Komfort aus und werden von der technischen Ausstattung beeinflusst. Demnach ist es von Vorteil eine gute technische Ausstattung (Wohnraumlüftung, Photovoltaik elektrische Jalousien etc.) zu implementieren. Um eine dauerhafte Funktion der technischen Ausstattung sicherzustellen, muss die Möglichkeit zur Messung, Wartung und Monitoring bestehen. Dies soll zudem ermöglichen Bewohner:innen energieflexibler Gebäude früh mit der technischen Ausstattung vertraut zu machen.
Beitrag zum Klimaschutz hervorheben	Da Neumieter:innen ihr Energieverhalten wegen Energieeinsparung und Nachhaltigkeit ändern würden, sollten geringe Schadstoffbelastungen hervorgehoben werden und Berechnungen nach realistischen Werten erfolgen.
Naturraum, Grünflächen	Ausreichend Zugang zu Naturraum und Grünflächen sollte zur Verfügung stehen, um die Zufriedenheit von Bewohner:innen zu gewährleisten. Dadurch kann ebenfalls das Bedürfnis nach Sonnenlicht beziehungsweise Zugang zu Tageslicht erfüllt werden.

Betriebskosten	Da hauptsächlich ökonomische Reize als Gründe für Flexibilisierungsmaßnahmen erkannt werden und Neumieter:innen ihr Energieverhalten auf Grund von Kosteneinsparung ändern würden, sollten niedrige Betriebskosten hervorgehoben werden.
Energieverbrauch	<p>Aus Bewohner:innensicht sollte ein breiter Bekanntheits- und Informationsgrad gegeben sein. Ebenso besteht aus Neumieter:innensicht der Wunsch nach mehr Informationen bezüglich energiesparendem Verhalten. Unter anderem würden Neumieter:innen ihr Energieverhalten auf Grund von Energieeinsparung ändern. Aus diesen Gründen sollten Energieverbrauch und Energieeinsparung sichtbar gemacht werden, um Bewohner:innen langfristig zu motivieren.</p> <p>Da Neumieter:innen das Verhalten von Nachbarn in Bezug auf das Energiesparen wichtig ist und aus Gründen des Sichtbarmachens, sollten alle Bewohner:innen früh mit der Technik vertraut gemacht werden und ebenfalls eine Ansprechperson auch nach der Fertigung von energieflexiblen Gebäuden bereitgestellt werden.</p>

Tabelle 4-5: Anforderungen und Einflussfaktoren auf Seite der Konsument:innen

Themenfeld	Konsument:innen – Anforderungen und Einflussfaktoren
Technikaffinität	Technikaffinität muss nicht vorhanden sein, um ein energieflexibles Gebäude zu beziehen.
Kontrollverlust und Komforteinbußen	<p>Zukünftige Bewohner:innen erwarten keinen Komforteinbußen und keinen Kontrollverlust über die eigenen Nutzungsmöglichkeiten durch den Bezug eines energieflexiblen Gebäudes. Deshalb sollten frühzeitig die Bedürfnisse aller Beteiligten erfasst und berücksichtigt werden. Dies könnte unter anderem durch Workshops mit Beteiligten umgesetzt werden. Bei diesen Workshops wäre es von Vorteil, wenn eine Ansprechperson für Beteiligte zur Verfügung stände, die eine Schnittstelle zwischen Planung und Erstellung verkörpert und Bewohner:innen auch nach Fertigung des Gebäudes für Fragen zur Verfügung steht.</p> <p>Einstellungen, die von Neumieter:innen und Bewohner:innen erfasst werden, stellen zum einen eine Unzufriedenheit mit der Trägheit der Betonkernaktivierung, sowie eine positive Einstellung bzgl. Fremdsteuerung von Lüftung und Sonnenschutz und eine negative Einstellung bzgl. Fremdsteuerung von Raumwärme, Geschirrspüler und Waschmaschine dar. In Workshops und Diskussionsgruppen könnten persönliche Einstellungen thematisiert und Fachliche gestützte Informationen durch die Ansprechperson gewährleistet werden.</p>
Komfort	<p>Komfortparameter:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Raumlufttemperatur (PE, PW, MFH, EFH) • Oberflächentemperatur (PE, PW, MFH, EFH) • Operative Temperatur (PE, PW, MFH, EFH) • Herzratenvariabilität (PE) • Herzfrequenz (PW) • Temperaturgrenzen (PE) • Geschlecht (PE) • Außentemperatur (PW) • Bekleidung (PE & PW) • BMI (PE & PW) • Luftfeuchtigkeit (PW, MFH, EFH) • Luftgeschwindigkeit/Luftzug/keine Zuglufterscheinungen (PW, MFH, EFH, EX) • Luftqualität (PW, MFH, EFH) • Sonnenlicht/Zugang zu Tageslicht (EFH, EX) • Raumhöhe (EFH) • Kubatur des Wohnraumes (EX) • Geruch (EFH)

- Nachbarschaft & Infrastruktur (EFH)
- Wohnumgebung (EX)
- Einrichtung und Platz am wichtigsten (Wien und Niederösterreich) (EFH)
- Sauberkeit/Ordnung (EFH & MFH)
- Freiflächen (Wien) (EFH & MFH)
- Kein Lärm/Lärmemissionen (EFH & MFH)
- Ernährung (EFH)
- Möglichkeit zur Flexibilisierung (Individuelle Raumtemperatureinstellung) (EX)
- Sommertauglichkeit (EX)
- Blackout Festigkeit (EX)
- Berechnung nach realistischen Werten (EX)
- Einsatz von Flächenheizungen (EX)
- Geringe Schadstoffbelastung (CO₂) (EX)
- Erhebungstag (PE)
- Freiheitsgefühl (EFH)
- Körperliche Betätigung (EFH)
- Gesundheitlicher Zustand (EFH)
- Psychische Tagesverfassung (EFH)
- Hungergefühl (EFH)
- Ernährung (EFH)
- BMI (EFH)

4.3.2 Behaglichkeitsuntersuchungen

Das Ziel der dynamischen Behaglichkeitsuntersuchungen war die Überprüfung der Standardmodelle aus EN 16798-1 hinsichtlich der darin angegebenen Behaglichkeitsgrenzen in einem dynamischen Raumklimakontext. Außerdem wurde das neue Behaglichkeitsmodell von Schweiker auf dessen praktische Anwendbarkeit und dessen Prognoseleistung untersucht. Dieses Modell bietet den Vorteil, dass es auf alle Gebäude und Haustechniksysteme anwendbar ist und die wissenschaftlich kaum begründbare Unterscheidung der Anwendung des adaptiven und des Wärmebilanzansatzes in EN 16798-1 auflöst.

Dynamische Energieflüsse produzieren dynamische Raumklimasituationen. Um zu erheben, welche Komfortgrenzen von den Nutzer:innen akzeptiert werden bzw. wie die Grenzen gesetzt werden müssen, sodass ohne relevanten Behaglichkeitsverlust ein netzdienliches Verhalten der Räume und Gebäude ermöglicht wird, wurden drei Versuchsreihen konzipiert:

- Versuchsreihe ACR **Prüfbox** mit dynamischen Temperaturprofilen in einer büroähnlichen Situation. In der Prüfbox stand dafür eine umfangreiche Messausrüstung zur Verfügung (Abbildung 4-7). Die physiologischen Messdaten (Herzraten und Herzratenvariabilität) konnten von allen 21 Versuchspersonen mittels EKGs mit Klebeelektroden fast lückenlos ermittelt werden. In dieser Versuchsreihe wurde die Anwendbarkeit der Behaglichkeitsmodelle auf eine dynamische Innenraumsituation untersucht und die Grenzen für die Behaglichkeit ermittelt, welche für netzdienliche Räume/Gebäude in der Praxis anwendbar wären. Außerdem erfolgte eine Überprüfung der Prognoseleistung der Behaglichkeitsmodelle.
- Die Versuchsreihe **Wohnumfeld** wurde in einer typischen Feldversuchssituation abgewickelt. Als Messausrüstung stand das Gerät umidus mit einer Reihe von Funksensoren zur Verfügung

(Abbildung 4-10). Die physiologischen Messdaten wurden anhand von Brustgurten ermittelt, jedoch wurden aufgrund öfters nicht korrekt platzierter Brustgurte deutlich öfters Aufzeichnungslücken produziert. Auch die Länge der Fragebögen wurden deutlich reduziert. Die Temperaturprofile in den Wohnungen bzw. Wohnhäusern waren deutlich flacher und ergaben sich aus der typischen Heiz- bzw. Kühlsituation in den Gebäuden. Es wurden hier keine „künstlichen“ Temperaturprofile erzeugt.

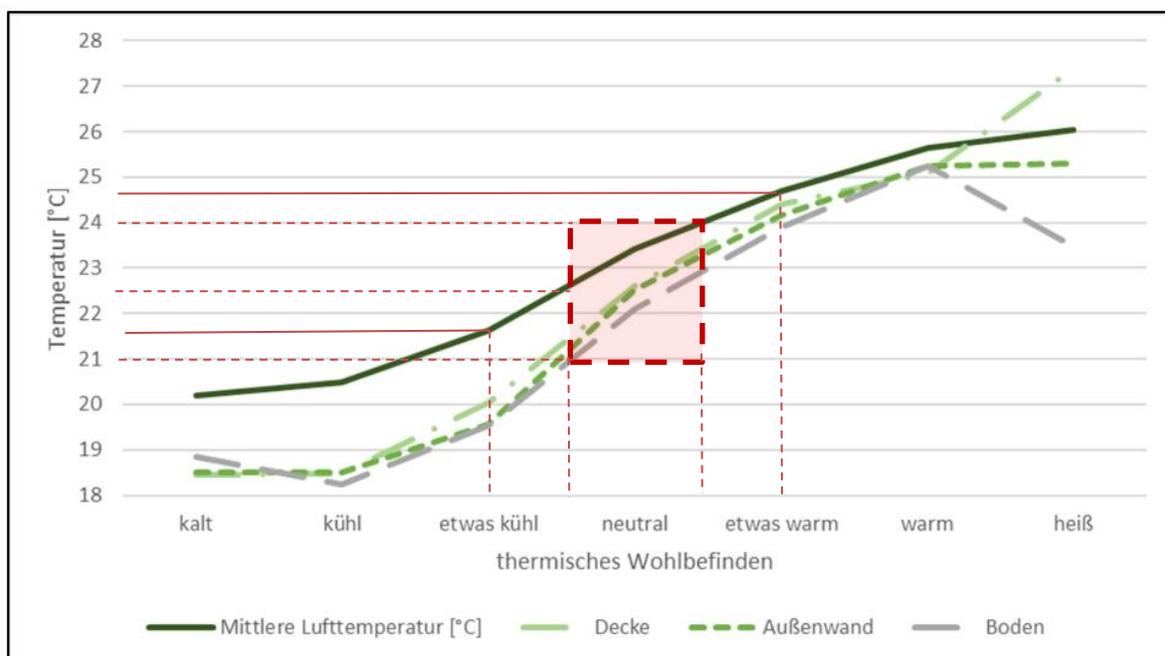
- Die Versuchsreihe **Homeoffice** wurde in einer mittels Bauteilaktivierung konditionierten Wohnung in der Mühlgrundgasse, die für die Zeit der Untersuchung zur Verfügung stand, durchgeführt. Als Messausrüstung stand ebenso wie im Wohnumfeld das Gerät umidus mit einer Reihe von Funksensoren und ein erweitertes Behaglichkeits-Mess-Set zur Verfügung. Die physiologischen Messdaten wurden, wie in der Prüfbox anhand von EKGs mit Klebeelektroden ermittelt. Die Fragebögenlänge wurden reduziert, die Temperaturprofile in der Wohnung waren deutlich flacher, wie sie von der Haustechnik erzeugt wurden.

4.3.2.1 Ergebnisse Prüfbox

In Abbildung 4-18 ist die unterschiedliche Bewertung des thermischen Komforts zweier Testpersonen über den Tagesverlauf in der Prüfbox bei gleicher operativer Temperatur dargestellt. Speziell der Nachmittag mit seiner Abkühlungsphase führt zu einer deutlich unterschiedlichen Bewertung. Die Anpassung der Bekleidung ist hier nicht dargestellt, welche von Testperson 5 nach 15:30 Uhr durchgeführt wurde.

Abbildung 4-21 zeigt die Klasse II des Behaglichkeitsbereiches ($-0,5 < PMV < +0,5$, roter Bereich).

Abbildung 4-21: Vergleich der mittleren Oberflächen- und Lufttemperaturen mit dem thermischen Empfinden (Fanger) (Winter, 2022)



Berechnet man die statistischen Korrelationskoeffizienten (Pearson) zwischen den Votings der Versuchspersonen zum thermischen Empfinden und den berechneten bzw. gemessenen Variablen, so ergibt sich die folgende Liste an signifikanten bzw. hochsignifikanten Korrelationen:

Tabelle 4-6: Korrelationen zwischen thermischem Empfinden und Körperzuordnungen

Thermisches Empfinden - Körperzuordnung		Pearson-Korrelation
Testtag	Pearson-Korrelation	,073*
	N	862
Gender2	Pearson-Korrelation	-,075*
	N	862
Größe	Pearson-Korrelation	-,533*
	N	17
Gewicht	Pearson-Korrelation	,169**
	N	249
ThPräferenz	Pearson-Korrelation	-,872**
	N	852
ThBehaglichkeit	Pearson-Korrelation	,510**
	N	851
ThAkzeptanz	Pearson-Korrelation	-,467**
	N	858
Kopf	Pearson-Korrelation	,701**
	N	860
Oberkörper	Pearson-Korrelation	,786**
	N	862
Unterkörper	Pearson-Korrelation	,747**
	N	860
Füße	Pearson-Korrelation	,634**
	N	857
clo	Pearson-Korrelation	-,293**
	N	800

Die Pearson-Korrelationen wurden aus über 800 Werten ermittelt. Es zeigen sich hohe Korrelationen zwischen den Körperregionen (Kopf, Ober-, Unterkörper, Füße) und dem gesamtheitlichen thermischen Empfinden. Der Testtag hat einen signifikanten, aber sehr geringen Effekt, ebenso das Geschlecht. Deutlich höher ist der Zusammenhang mit der Körpergröße und dem Gewicht, welches wiederum auch den Geschlechtereffekt erklären kann. Auch die Bekleidung (clo) hat einen signifikanten und mittleren negativen Effekt, d.h. je höher die Clothing-Faktoren, desto negativer war das thermische Empfinden.

Die folgende Tabelle zeigt die Korrelationen zwischen dem thermischen Empfinden und der Herzratenvariabilität.

Tabelle 4-7: Korrelationen zwischen thermischem Empfinden und Herzratenvariabilität

Thermisches Empfinden - Herzratenvariabilität		Pearson-Korrelation
PNS	Pearson-Korrelation	-0,061*
	N	800
NNxx	Pearson-Korrelation	-,080*
	N	800
LF_HF_AR	Pearson-Korrelation	,070*
	N	800
SD1/SD2	Pearson-Korrelation	,119**
	N	800
Lmax	Pearson-Korrelation	,093**
	N	796
DET	Pearson-Korrelation	,086*
	N	796

Die Pearson-Korrelationen in Tabelle 4-7 zeigen kleine signifikante Korrelationen für die linearen Herzratenvariabilitätsmaße (Sammito et al., 2014; Tarvainen et al., 2021). Die Parameter PNS (Parasympathetic nervous system activity compared to normal resting values), NNxx (Number of successive RR interval pairs that differ more than xx ms (default value: xx=50)) und LF_HF_AR (Ratio between LF and HF band powers) sind signifikant und haben nur einen sehr geringen Effekt. Die beiden nichtlinearen Herzfrequenzvariabilitätsmaße SD1/SD2 (Ratio between SD2 and SD1, SD1: In a Poincaré plot, the standard deviation perpendicular to the line-of-identity, SD2: In a Poincaré plot, the standard deviation along the line-of-identity) und Lmax (In a Poincaré plot Maximum line length) sind hochsignifikant, wobei SD1/SD2 den deutlich höheren, aber immer noch kleinen Effekt zeigt.

Es wurden verschiedene Behaglichkeitsmodelle auf ihre Prognosegenauigkeit getestet. Grundsätzlich sollte das Fanger-Modell (ÖNORM EN ISO 7730) verwendet werden und dieses durch eine dynamische Bestimmung der Bekleidung und der metabolischen Rate über die Herzfrequenz in seiner Prognosegenauigkeit verbessert werden. Zusätzlich wurde das kombinierte Behaglichkeitsmodell von Schweiker (Schweiker, 2022) - eine Kombination aus dem adaptiven Ansatz und dem Wärmebilanzmodell der ÖNORM EN ISO 7730 - in die Testung aufgenommen, da es die „künstliche“ Unterscheidung der Behaglichkeitsmodelle in adaptiv für natürlich gekühlte Gebäude und das Fanger-Modell für klimatisierte Gebäude auflöst. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aus den ACR Prüfbox -Experimenten zusammengefasst:

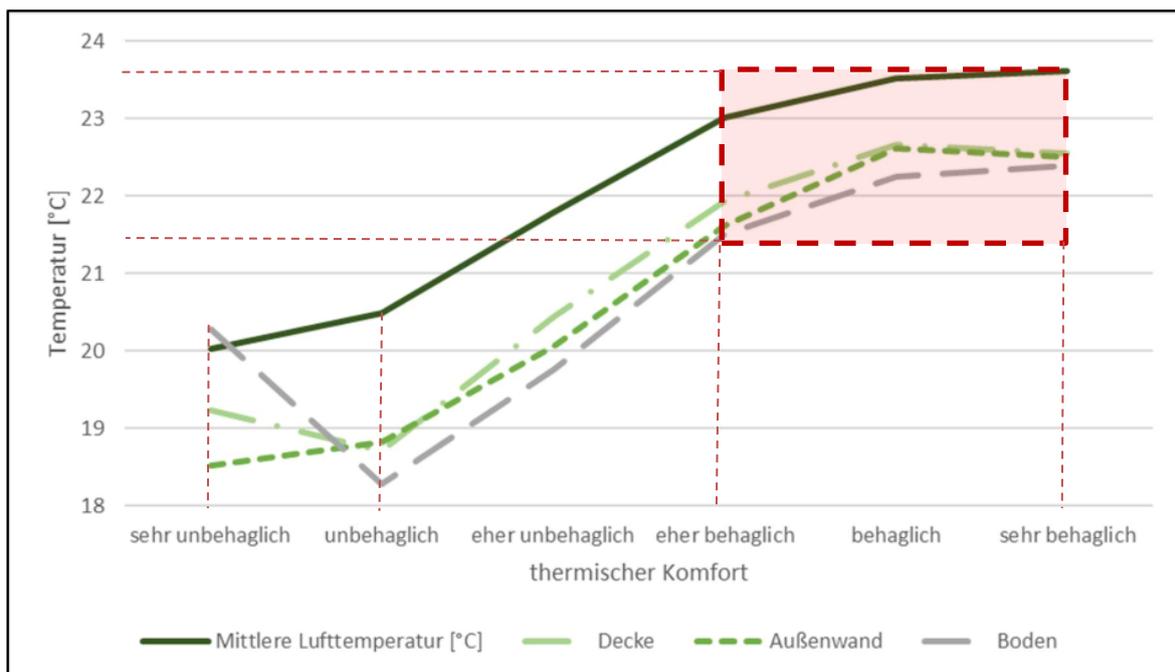
Tabelle 4-8: Test der Prognosegenauigkeit der verschiedenen Behaglichkeitsmodelle: PMVFangerCalcMet1.2 (ÖNORM EN ISO 7730), pmv-hr (mit dynamischer Bestimmung der metabolischen Rate aus der Herzfrequenz) und das kombinierte Behaglichkeitsmodell von Schweiker ATHB_{PMV}

Thermisches Empfinden - Komfortmodelle		Pearson-Korrelation
pmv_hr	Pearson-Korrelation	,457**
	N	800
PMVFangerCalcMet1.2	Pearson-Korrelation	,483**
	N	800
ATHB _{PMV} _Schweikers	Pearson-Korrelation	,666**
	N	800
Raumluftqualität	Pearson-Korrelation	,420**
	N	857

Die Pearson-Korrelationen zeigen die Überlegenheit des ATHB_{PMV}-Modells von Schweiker bei der Vorhersage der PMV aus den Prüfboxexperimenten. Hingegen hat die dynamische Anpassung der metabolischen Rate mit Hilfe der Herzfrequenz (pmv_hr) keine Verbesserung bzw. sogar eine kleine Verschlechterung gebracht. Dies kann jedoch auch auf das einfache Modell zur Schätzung der metabolischen Rate aus der Herzfrequenz zurückzuführen sein.

Abbildung 4-22 zeigt die Bewertungen der Behaglichkeit und der zugehörigen Temperaturen. Decken-, Fußboden- oder Wandtemperaturen unter 20°C werden als eher unbehaglich empfunden, wenn die Lufttemperatur unter 21,5°C liegt. Der behagliche Bereich beginnt ab 21,5°C für die Umschließungsflächen und 23°C für die Lufttemperatur und setzt sich in den sehr behaglichen Bereich mit 22,5°C für die Umschließungsflächen und 23,5°C für die Lufttemperatur fort.

Abbildung 4-22: Vergleich der mittleren Oberflächen- und Lufttemperaturen mit dem thermischen Komfort (Winter, 2022)



Berechnet man die statistischen Korrelationskoeffizienten (Pearson) zwischen den Votings der Versuchspersonen zu thermischer Behaglichkeit und den berechneten bzw. gemessenen Variablen, so ergibt sich die folgende Liste an signifikanten bzw. hochsignifikanten Korrelationen:

Tabelle 4-9: Korrelationen zwischen thermischer Behaglichkeit und unterschiedlichen Indikatoren

Thermische Behaglichkeit - Körperzuordnung		Pearson-Korrelation
Testtag	Pearson-Korrelation	,106**
	N	851
Waermequelle	Pearson-Korrelation	,103**
	N	851
Gender2	Pearson-Korrelation	,147**
	N	851
Gewicht	Pearson-Korrelation	,402**
	N	239
ThEmpfinden	Pearson-Korrelation	,510**
	N	851
ThPräferenz	Pearson-Korrelation	-,544**
	N	841
ThAkzeptanz	Pearson-Korrelation	-,712**
	N	847
Kopf	Pearson-Korrelation	,324**
	N	850
Oberkörper	Pearson-Korrelation	,463**
	N	851
Unterkörper	Pearson-Korrelation	,481**
	N	850
Füße	Pearson-Korrelation	,506**
	N	847
clo	Pearson-Korrelation	-,226**
	N	790

Die Pearson-Korrelationen wurden aus über 800 Werten ermittelt. Der Testtag hat einen hochsignifikanten Einfluss, jedoch mit geringer Effektstärke, ebenso die Wärmequelle und das Geschlecht. Deutlich höher ist die Effektstärke des Gewichtes, welches wiederum den Geschlechtereffekt erklären kann. Die Behaglichkeits-Votings haben eine hohe Korrelation mit dem thermischen Empfinden und der thermischen Präferenz. Interessant ist die sehr hohe negative Korrelation mit der thermischen Akzeptanz. Im Gegensatz zum thermischen Empfinden ist die Korrelation zwischen der thermischen Behaglichkeit generell und der thermischen Behaglichkeit bei den Füßen am höchsten. Auch die Bekleidung (clo) hat einen hochsignifikanten kleinen bis mittleren negativen Effekt, d.h. je höher die Clothing-Faktoren, desto niedriger war die thermische Behaglichkeit.

Tabelle 4-10: Korrelationen zwischen thermischer Behaglichkeit und Herzratenvariabilität

Thermische Behaglichkeit - Herzratenvariabilität		Pearson-Korrelation
LF_HF_Welch	Pearson-Korrelation	,143**
	N	790
LF_HF_AR	Pearson-Korrelation	,154**
	N	790
SD1/SD2	Pearson-Korrelation	,198**
	N	790
Lmax	Pearson-Korrelation	,151**
	N	786
DET	Pearson-Korrelation	,202**
	N	786

Die Pearson-Korrelationen in der Tabelle zeigen kleine hochsignifikante Korrelationen für die linearen Herzratenvariabilitätsmaße (Sammito et al., 2014; Tarvainen et al., 2021) LF_HF_Welch bzw. LF_HF_AR (Ratio between LF and HF band powers). Deutlich höhere Effektstärke haben die beiden nichtlinearen Herzfrequenzvariabilitätsmaße SD1/SD2 (Ratio between SD2 and SD1, SD1: In a Poincaré plot, the standard deviation perpendicular to the line-of-identity, SD2: In a Poincaré plot, the standard deviation along the line-of-identity). DET (Determinism) und Lmax (In a Poincaré plot Maximum line length) sind hochsignifikant, wobei DET einen höheren Effekt als SD1/SD2 zeigt.

Die verschiedenen Behaglichkeitsmodelle wurden auf ihre Korrelation mit den Behaglichkeitsvotings getestet. Das kombinierte Behaglichkeitsmodell von Schweiker (Schweiker, 2022) erzielt die höchste Korrelation mit einer mittleren bis starken Effektstärke. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aus den Prüfbox-Experimenten zusammengefasst:

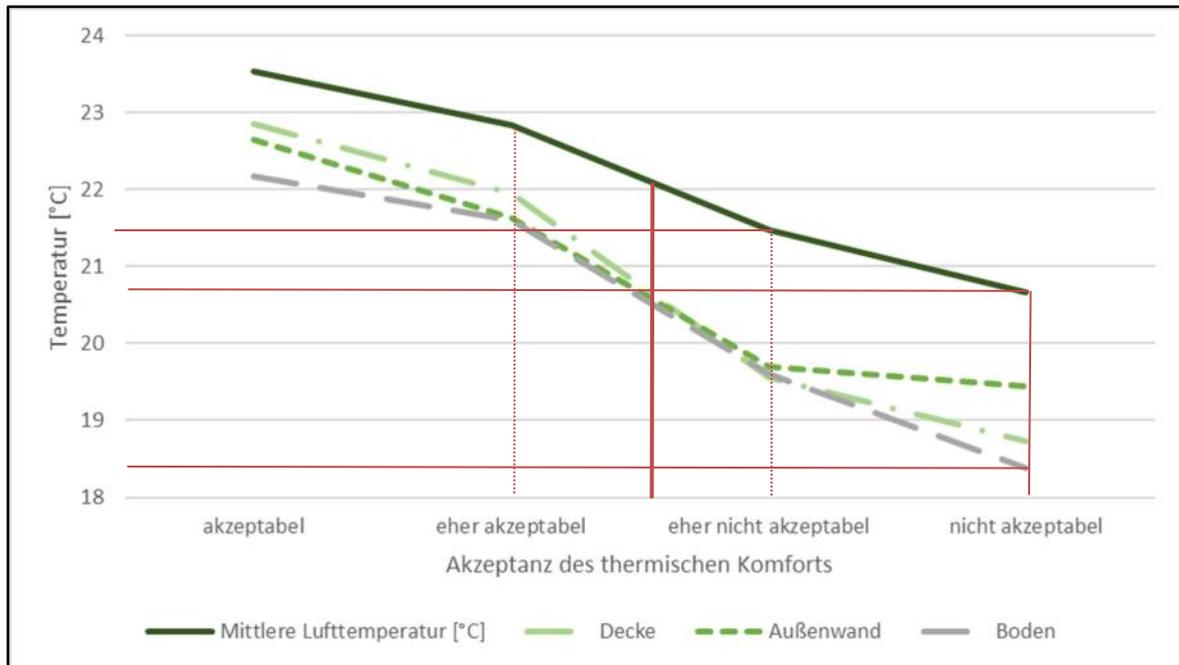
Tabelle 4-11: Korrelationen der verschiedenen Behaglichkeitsmodelle: PMVFangerCalcMet1.2 (ÖNORM EN ISO 7730), pmv-hr (mit dynamischer Bestimmung der metabolischen Rate aus der Herzfrequenz) und das kombinierte Behaglichkeitsmodell von Schweiker ATHB_{PMV}

Thermische Behaglichkeit - Behaglichkeitsmodelle		Pearson-Korrelation
PMVFangercalc1.2met	Pearson-Korrelation	,227**
	N	790
pmvhr	Pearson-Korrelation	,307**
	N	790
ATHBPMV_Schweikers	Pearson-Korrelation	,425**
	N	790

Im Gegensatz zu den Ergebnissen beim thermischen Empfinden hat die dynamische Anpassung der metabolischen Rate mit Hilfe der Herzfrequenz (pmvhr) eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Standardmodell gebracht. Die Effektstärke des Standardmodells ist sogar nur etwas höher als die reine Korrelation aus der Herzratenvariabilität mit dem DET-Parameter.

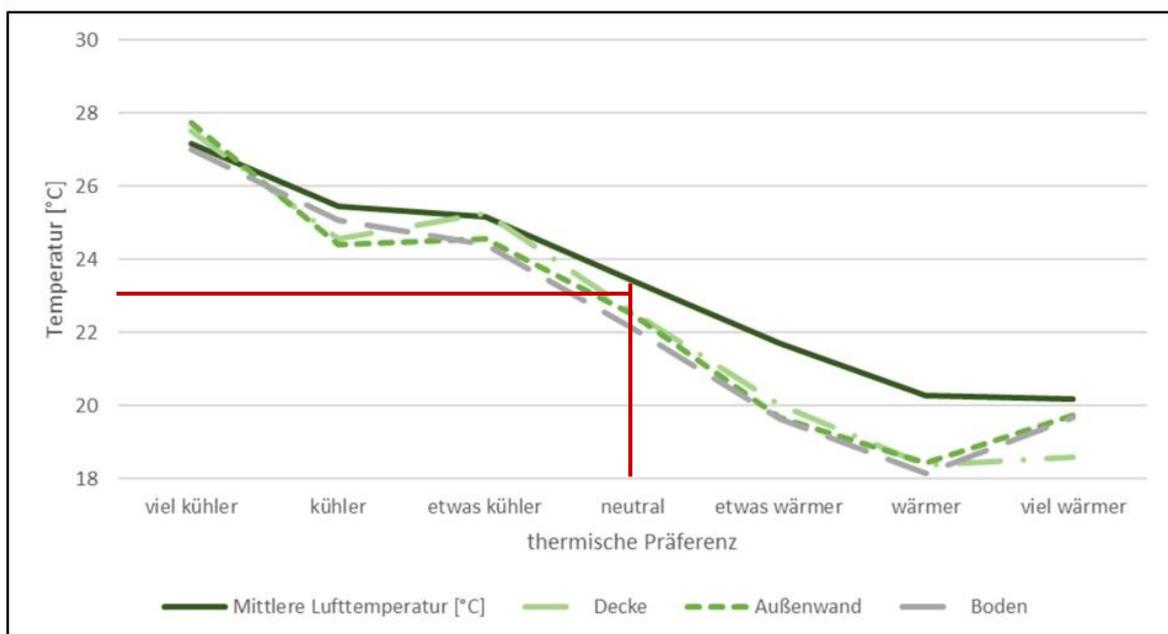
Als dritter wichtiger Parameter für die Untersuchungen diene die thermische Akzeptanz. Mit diesem Parameter soll die höchstmögliche Temperaturspreizung ermittelt werden. In Abbildung 4-23 sind die entsprechenden Kennzahlen dargestellt.

Abbildung 4-23: Vergleich der mittleren Oberflächen- und Lufttemperaturen mit der thermischen Akzeptanz im Bereich „Wintertemperaturen“ (Winter, 2022)



In Abbildung 4-24 sind die thermischen Präferenzen dargestellt.

Abbildung 4-24: Vergleich der mittleren Oberflächen- und Lufttemperaturen mit der thermischen Präferenz (Winter, 2022)



In Abbildung 4-25 ist der Zusammenhang zwischen Raumlufttemperaturen, realen Clothing-Faktoren und thermischem Empfinden abgebildet. Es sind hohe lineare Korrelationen erkennbar. Die kleinen „Knicke“ an den Enden sind auf die geringe Fallzahl in diesen Bereichen zurückzuführen.

Abbildung 4-25: Vergleich der gemessenen Raumlufttemperatur mit dem thermischen Empfinden (Variable: thermisches Wohlbefinden bzw. Empfinden in den Datensätzen) und den realen Clothing-Faktoren (Winter, 2022)

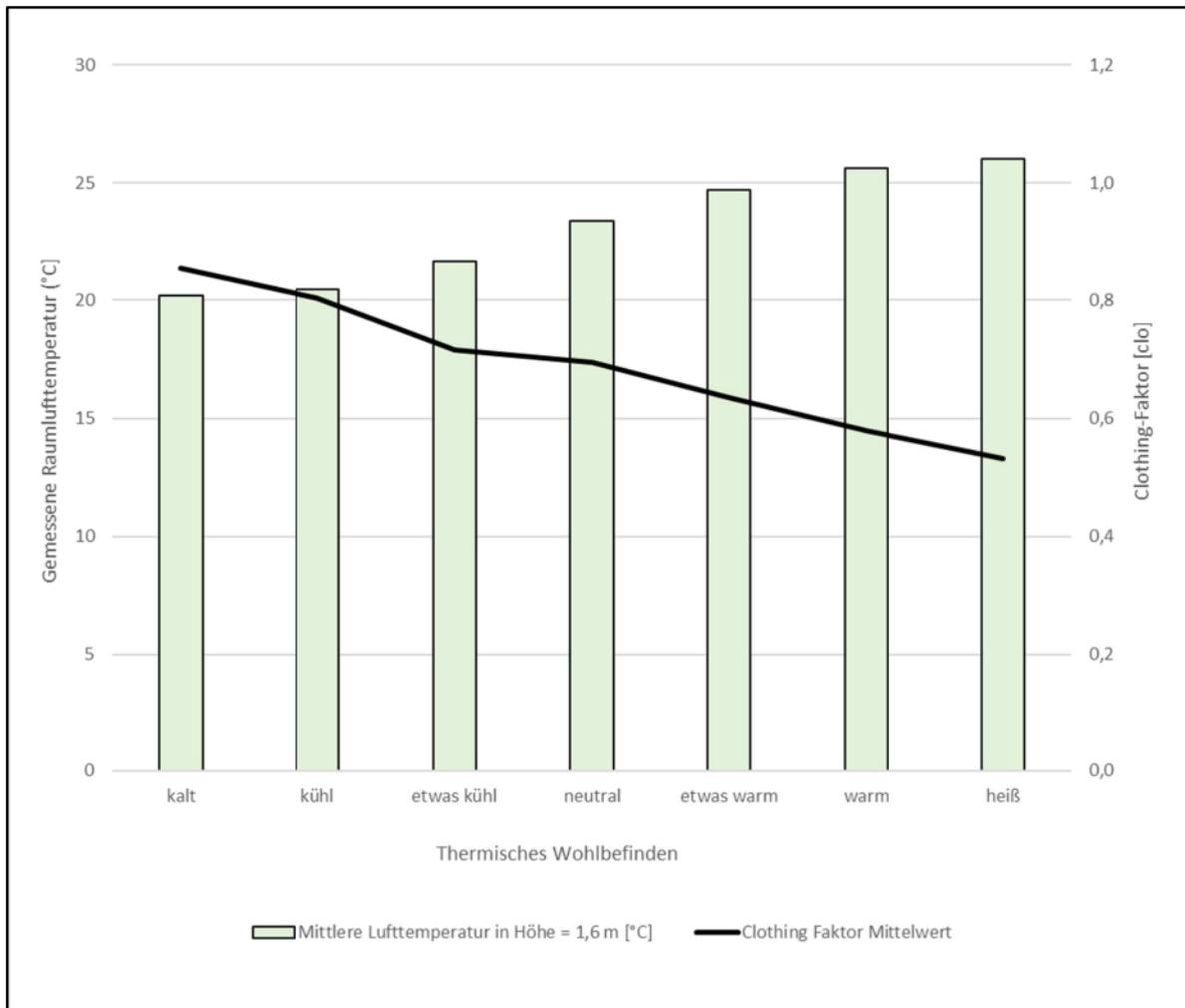


Tabelle 4-12: Clothing-Faktoren und thermisches Wohlbefinden bzw. Empfinden (Fanger)

Clothing-Faktor * Th _{Wohlbefinden}			
Th _{Wohlbefinden}	Mittelwert	N	Std.-Abweichung
kalt	0,8538	32	0,30842
kühl	0,8033	89	0,19591
etwas kühl	0,7153	198	0,19210
neutral	0,6944	310	0,19089
etwas warm	0,6345	122	0,17664
warm	0,5784	45	0,18289
heiß	0,5325	4	0,07588
Insgesamt	0,7016	800	0,20378

Abbildung 4-26 zeigt den ermittelten Zusammenhang zwischen der Raumlufttemperatur, der dynamisch bestimmten metabolischen Rate aus den EKG-Messungen und dem thermischen Wohlbefinden bzw. Empfinden. An den Enden des Bewertungsspektrums ergeben sich aufgrund der geringen Fallzahlen - speziell bei warm, heiß und kalt - keine klar erkennbaren Zusammenhänge. In

diesen Bereichen müssten noch ergänzende Experimente durchgeführt werden. Diese Bereiche lagen jedoch nicht im Zentrum der Behaglichkeitsexperimente.

Abbildung 4-26: Vergleich der gemessenen Raumlufttemperatur mit dem thermischen Empfinden (Wohlbefinden) in Abhängigkeit von der metabolischen Rate (Winter, 2022)

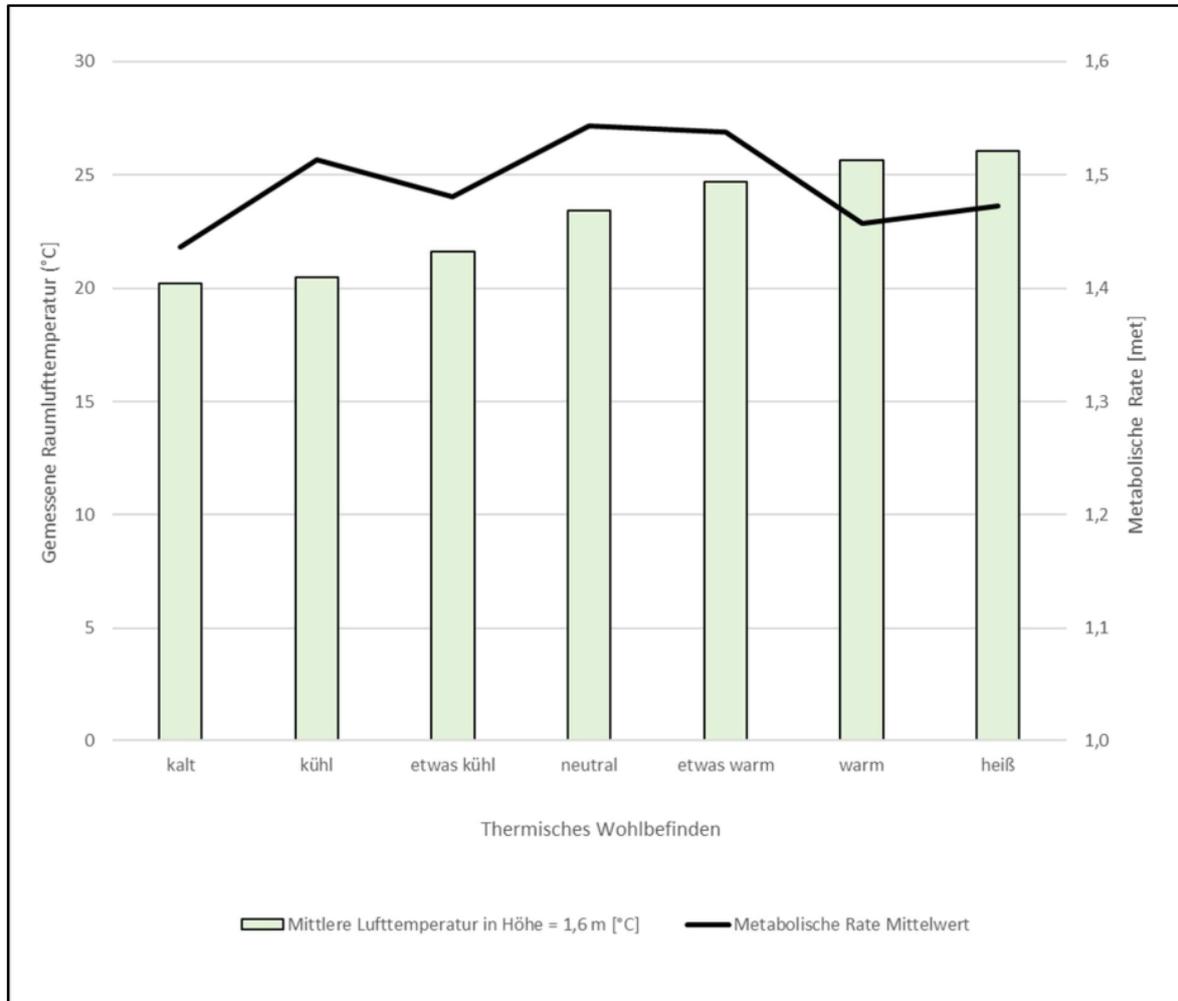
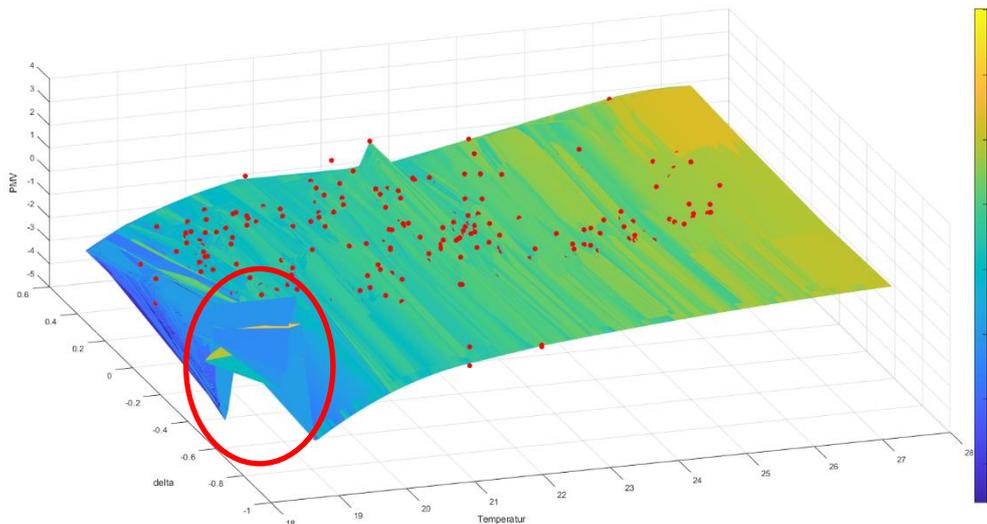


Tabelle 4-13: Metabolische Rate (über die Herzrate berechnet) und thermisches Empfinden (Fanger)

Metabolische Rate * Th _{Wohlbefinden}			
Th _{Wohlbefinden}	Mittelwert	N	Std.-Abweichung
kalt	1,44	32	0,2706
kühl	1,51	89	0,2837
etwas kühl	1,48	198	0,2438
neutral	1,54	310	0,2983
etwas warm	1,54	122	0,3049
warm	1,46	45	0,3082
heiß	1,47	4	0,2267
Insgesamt	1,51	800	0,2853

4.3.2.2 „Kurzzeitgedächtnis“ des Temperaturempfinden

Abbildung 4.27: Temperaturempfinden in Abhängigkeit von der Temperatur und der Temperaturdifferenz zum Zeitpunkt der Bewertung davor.



Die gefittete Fläche dient nur dem Zweck um die Zusammenhänge leichter erkennen zu können und wurde mit dem Nearest-Neighbour_Fit von Matlab mit 751 Punkten (Bewertungen) durchgeführt. Der rote Kreis markiert eine Region wo es sehr wenig Bewertungen gab und daher schwankt die Fit-Fläche sehr stark. Klammert man diese Region aus der Betrachtung so sieht man bei den tiefen Temperaturen unter 20 °C eine „Buckel“ um die Temperaturdifferenz 0 °C bei den Bewertungen, positive Temperaturdifferenzen für zu einem schellen Anstieg der Bewertungen und negative Temperaturdifferenzen zu einem schnellen Abfall der Bewertungen (strichlierte rote Linie in der folgenden Abbildung). Aus der obigen Abbildung ist zu erkennen, dass der „Buckel der Temperaturdifferenzen“ bei ca. 21°C sich stark abflacht und danach verschwindet bzw. sich ab 24 °C umkehrt (Abbildung 4.29, Blick von unten).

Abbildung 4.28: PMV über den Temperaturdifferenzen

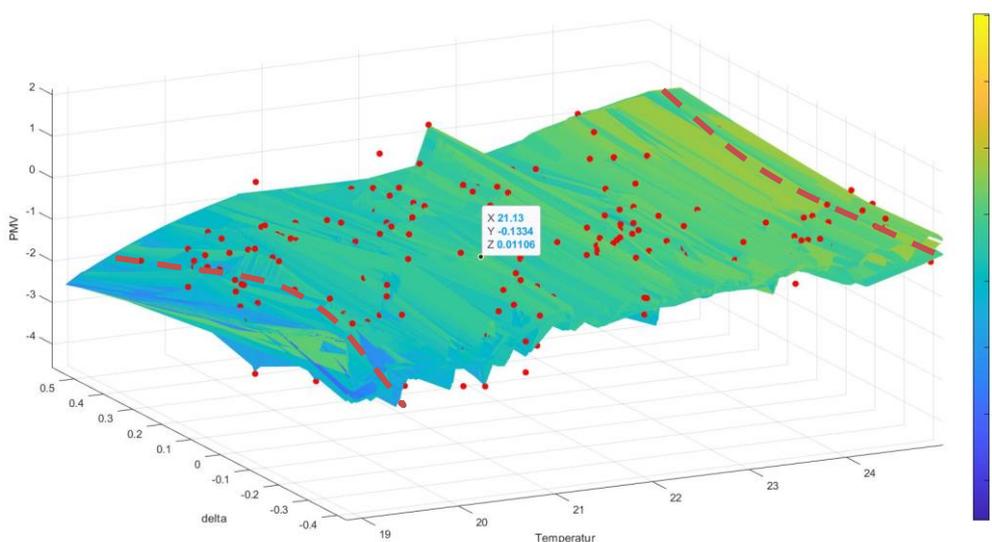


Abbildung 4.29: Blick von unten. Links ist der „Buckel zu erkennen und rechts die umgekehrte Krümmung

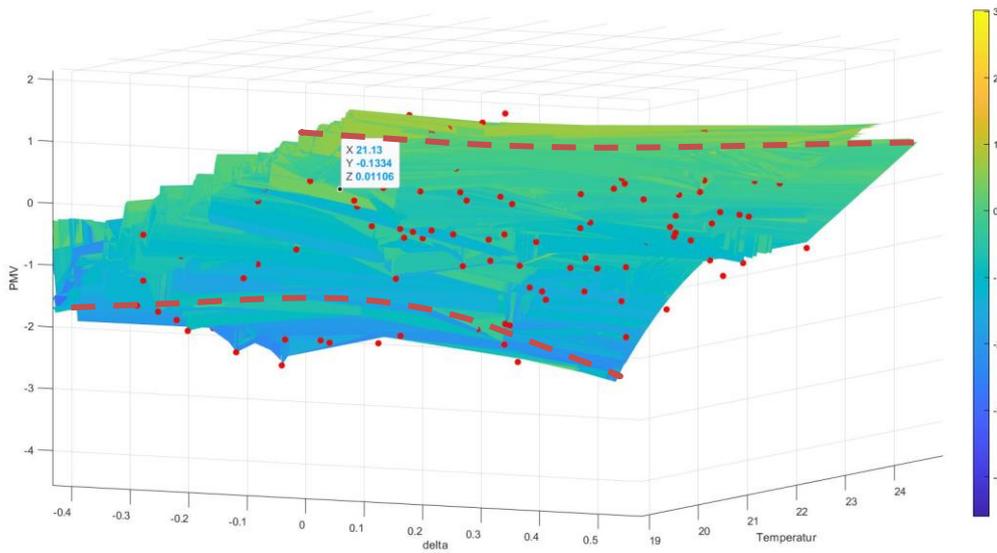
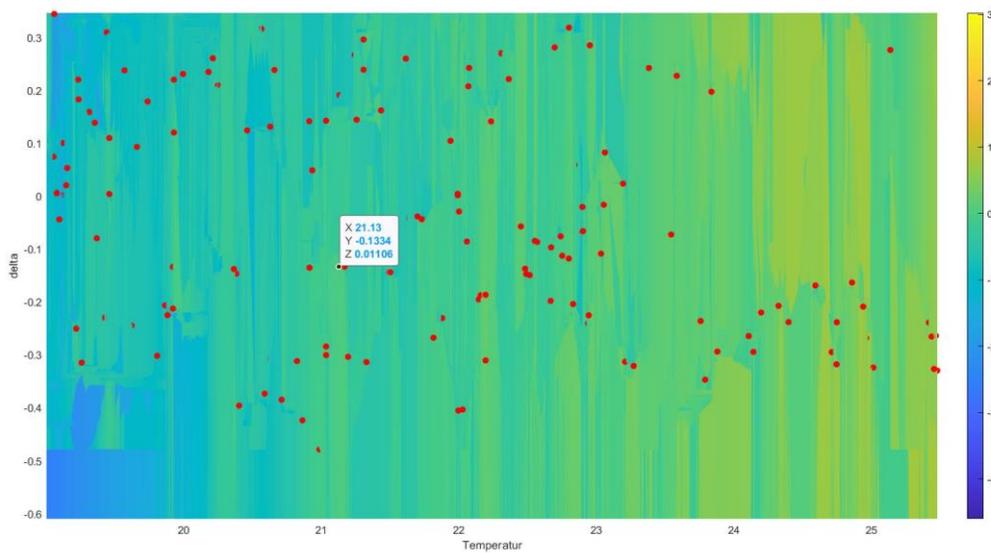


Abbildung 4.30: Die Temperaturbewertungen werden für höhere Temperaturen unabhängig von der Temperaturdifferenz (Farbverlauf wird gleichmäßiger über die Temperaturdifferenzen)



4.3.2.3 Ergebnisse Wohnumfeld

Stellvertretend für die durchgeführten elf Untersuchungen in den Einfamilienhäusern werden die Datensätze aus folgenden vier Objekten beschrieben und kommentiert:

Tabelle 4-14: Vier der untersuchten Wohngebäude inkl. Zeitraum der Untersuchungen und Standort

				
Lage	NÖ	NÖ	Wien	Wien
Messzeitraum	28.4.21-30.9.21	4.5.21 – 21.10.23	4.5.21 – 31.3.22	4.5.21-29.10.21
Objektbezeichnung	IBO_033	IBO_037	IBO_039	IBO_040

Objekt IBO_033

Die Daten wurden 28.4.2021 bis 30.9.2021 aufgezeichnet und stellen somit die Übergangszeit und den Sommer dar. Die folgenden Abbildungen zeigen den Temperaturverlauf im Wohnzimmer und die Außentemperatur sowie die Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 über diesen Zeitraum. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Temperaturen der Kategorie 1 nie überschritten werden – selbst bei sehr hohen Außentemperaturen nicht.

Abbildung 4-31: Temperaturverlauf im Wohnzimmer (rot) von Ende April 2021 bis Ende September 2021 und der Außentemperatur. Das Gebäude funktioniert im Sommer und in der Übergangszeit sehr gut.

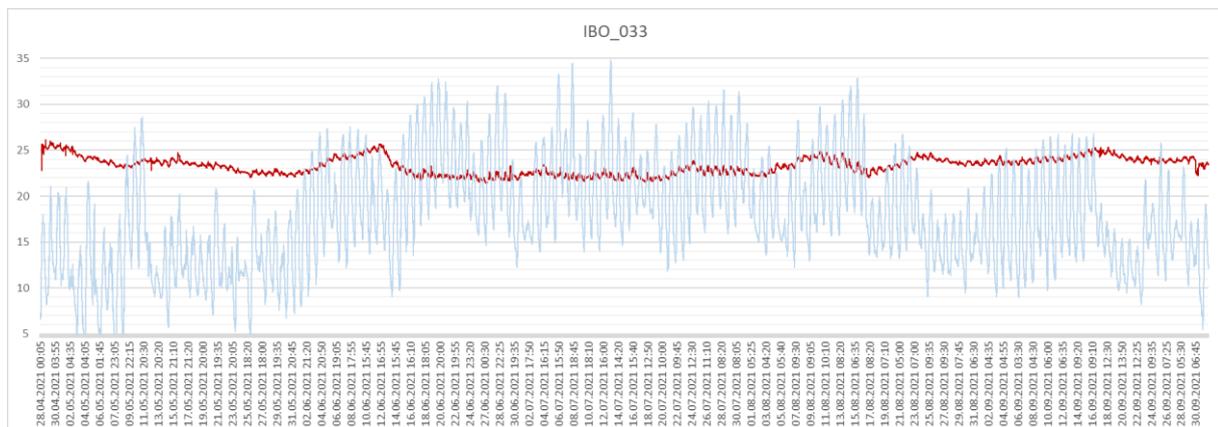
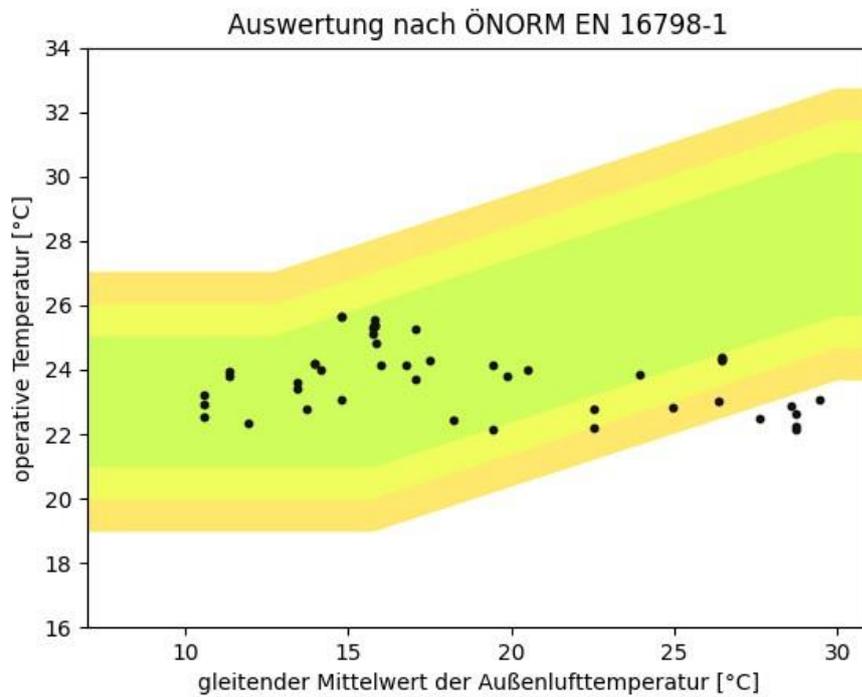


Abbildung 4-32: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. Es wurden nur Messzeitpunkte abgebildet, an welchen auch eine persönliche Bewertung durchgeführt wurde. Die Werte außerhalb von Kategorie 2 sind auf niedrige Temperaturen bei sehr hohen Außentemperaturen zurückzuführen.



Objekt IBO_037

Für dieses Gebäude stehen Messwerte über einen Zeitraum von rund 2,5 Jahren zur Verfügung (Mai 21 bis Okt. 23). Die Temperaturverläufe deuten auf ein gut funktionierendes Gebäude zu allen Jahreszeiten hin.

Abbildung 4-33: Temperaturverlauf im Wohnzimmer (rot) von Mai 2021 bis Ende Oktober 2023 und der Außentemperatur. Das Gebäude funktioniert im Sommer und in der Übergangszeit sehr gut.

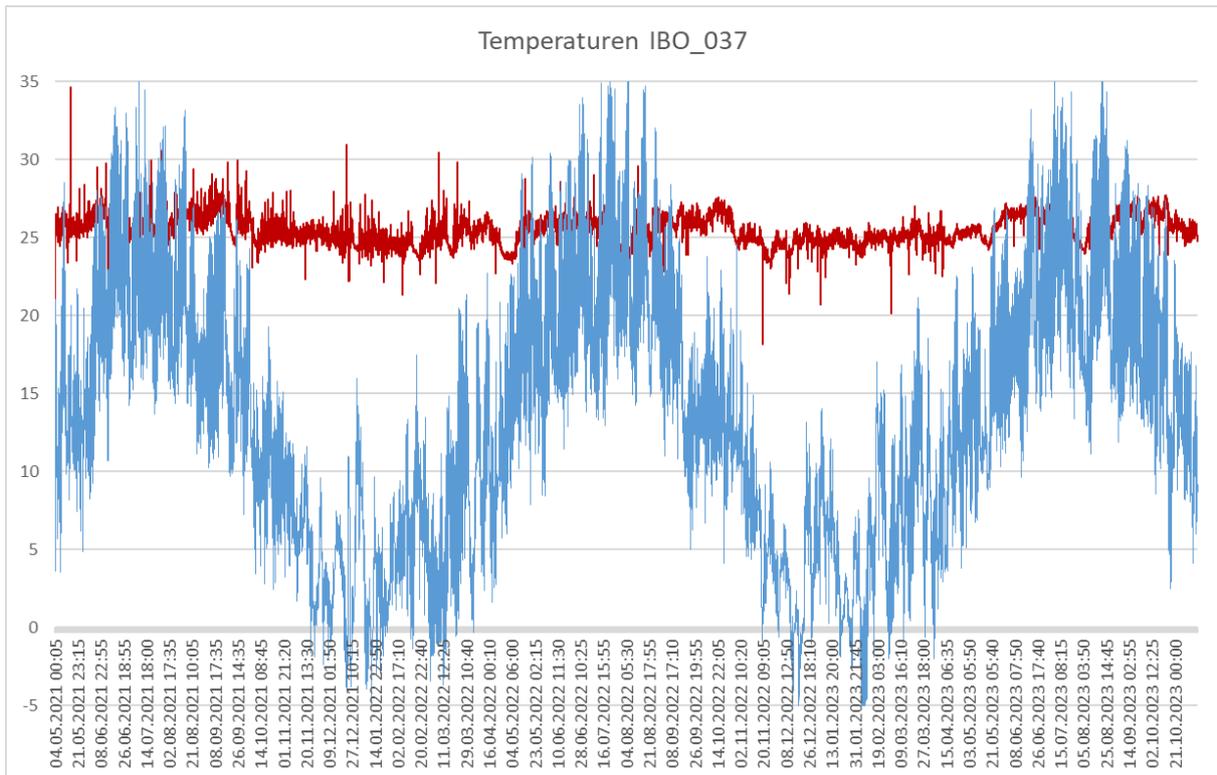
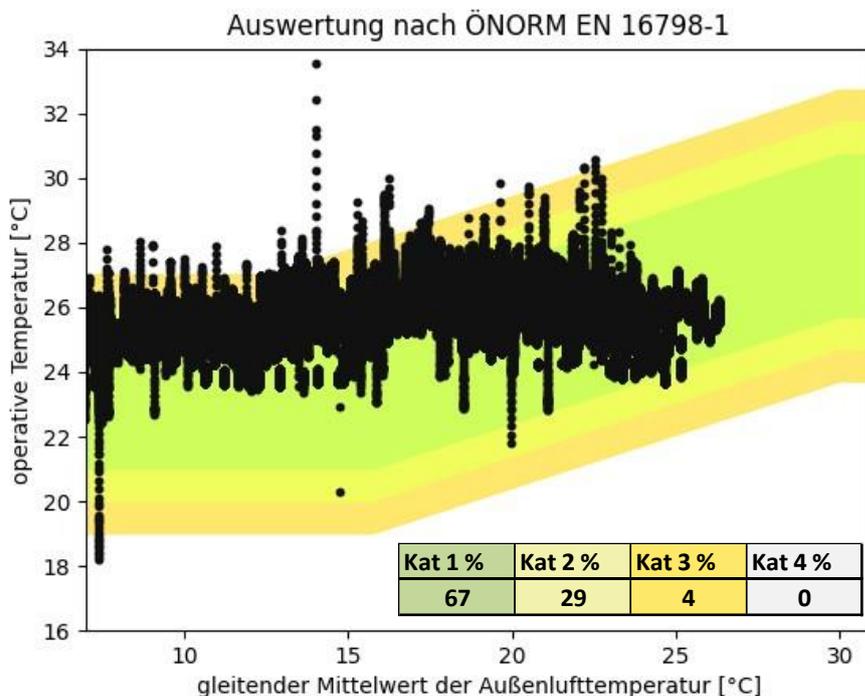


Abbildung 4-34: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. 4 % der Werte liegen außerhalb der Kategorie 2, was auf zu hohe Temperaturen im Winter zurückzuführen ist. Dies liegt daran, dass die Temperaturen generell bei ca. 25°C im Mittel das ganze Jahr hindurch liegen.



Objekt IBO_039

Von Gebäude IBO_039 konnten Daten über einen Zeitraum von zwei Monaten erhoben werden. Der Temperaturverlauf deutet auf ein gut funktionierendes Gebäude im Sommer hin. 1 % der gemessenen Temperaturwerte liegen außerhalb der Kategorien 1 und 2.

Abbildung 4-35: Temperaturverlauf im Wohnzimmer (rot) von Ende April 2021 bis Ende September 2021 und der Außentemperatur. Das Gebäude funktioniert im Sommer und in der Übergangszeit sehr gut.

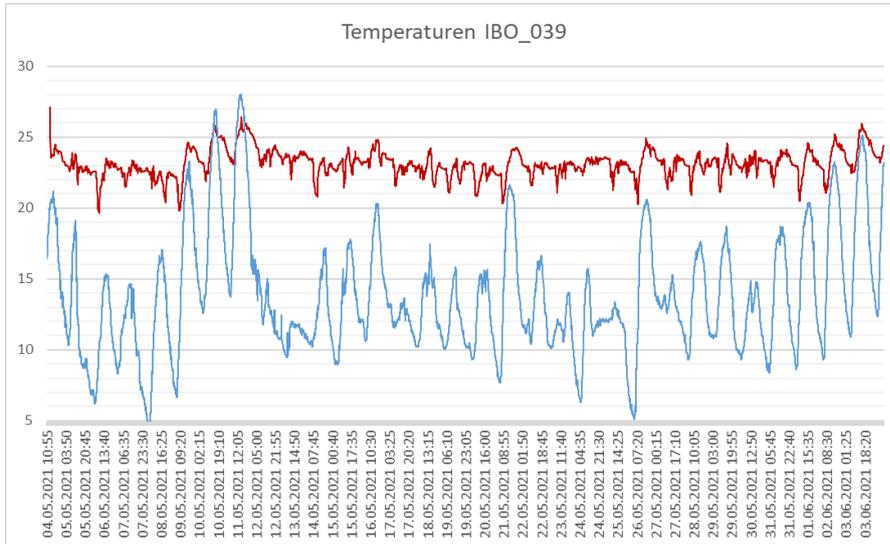
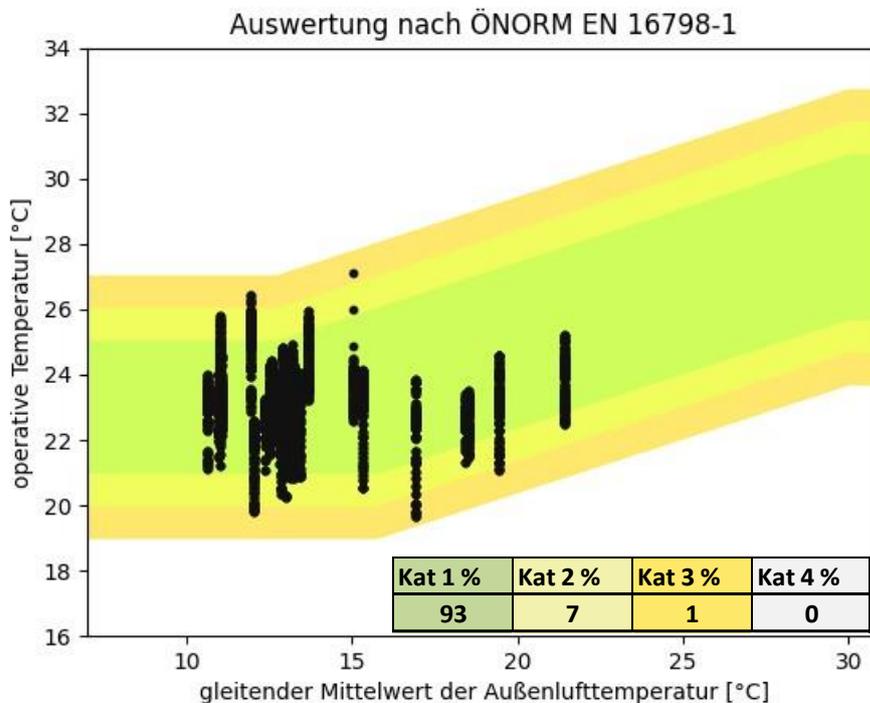


Abbildung 4-36: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. 1 % der Werte liegen außerhalb der Kategorie 2



Objekt IBO_040

Von diesem Objekt liegen Daten über einen Zeitraum von rund fünf Monaten vor (Mai bis Oktober 21). Die Temperaturen liegen im Übergangszeitraum im Mittel bei ca. 25°C und steigen im Sommer im Mittel auf 26°C, wie aus der Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 erkennbar ist. Mit einem Anteil von

5 % der Werte außerhalb der Kategorien 1 und 2 funktioniert auch dieses Gebäude sehr gut, zumal diese überwiegend im Bereich der niedrigen Außentemperatur liegen, wo die Temperaturgrenzen nach oben überschritten werden.

Abbildung 4-37: Temperaturverlauf im Wohnzimmer (rot) von Mitte Mai 2021 bis Ende Oktober 2021 und der Außentemperatur. Das Gebäude funktioniert im Sommer und in der Übergangszeit sehr gut.

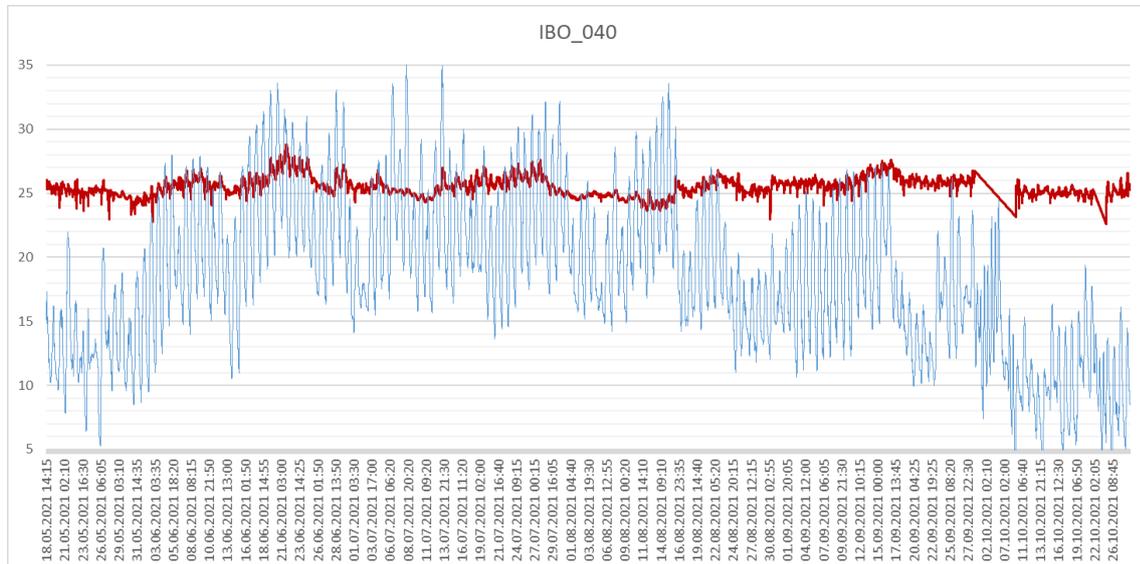
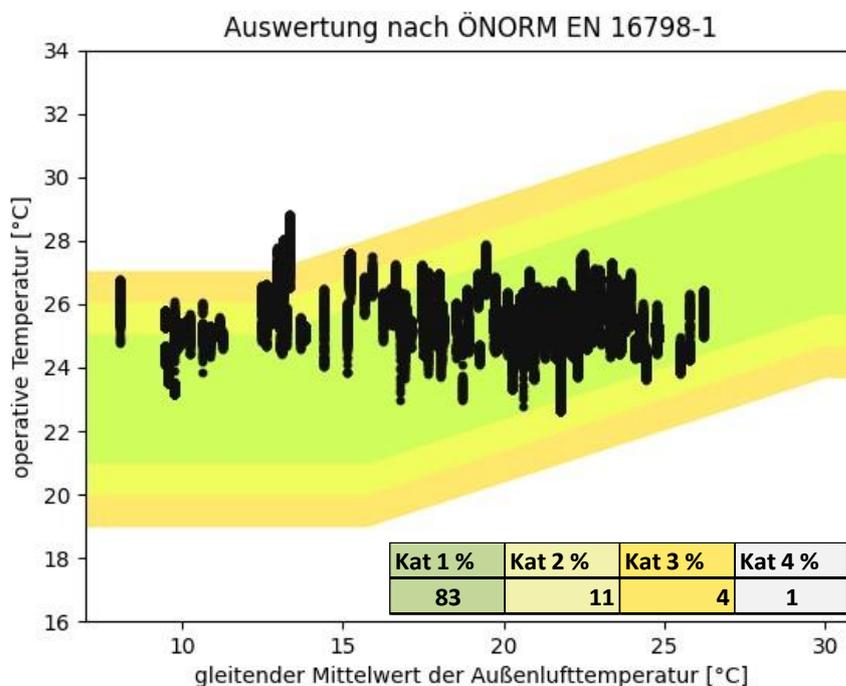


Abbildung 4-38: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. 5 % der Werte liegen außerhalb von Kategorie 2

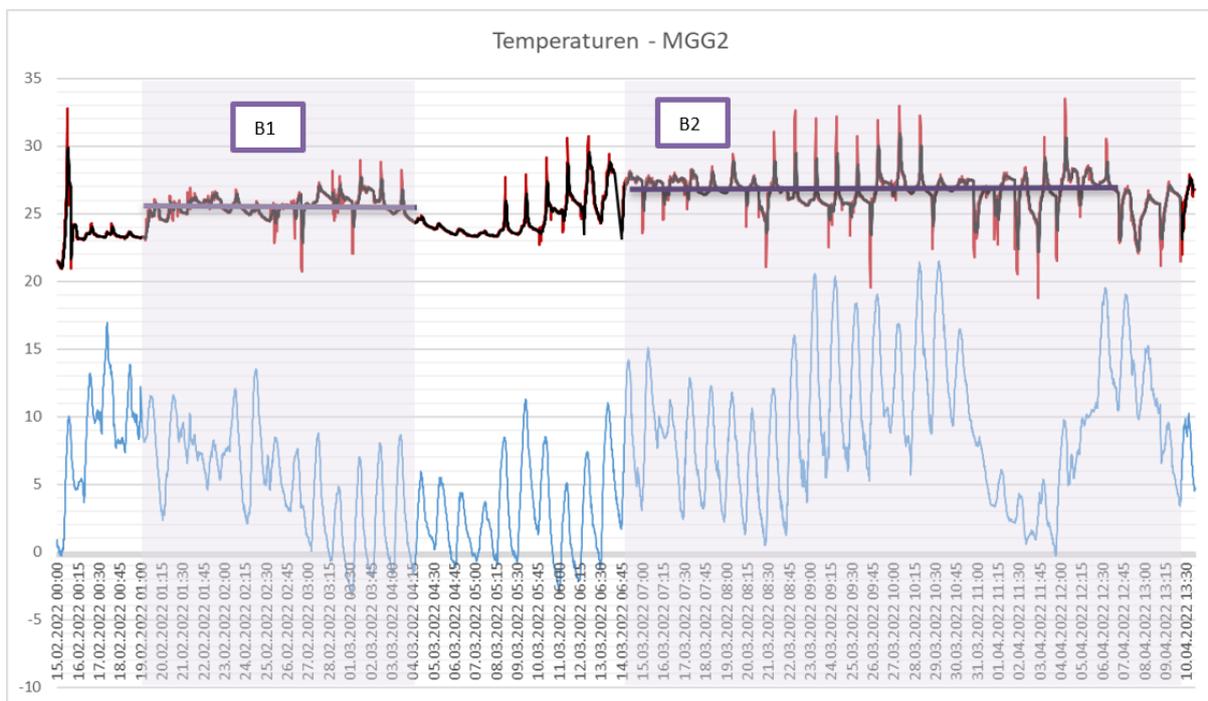


4.3.2.4 Ergebnisse Homeoffice (MGG22)

Die Untersuchungen zu Homeoffice im MGG22 wurden ähnlich wie in der Prüfbox, allerdings in realem Wohnumfeld, durchgeführt. Es konnte ein Setting, das weitestgehend dem eines Homeoffice entsprach, eingerichtet werden. Dafür wurde vom Verband der österreichischen Zementindustrie

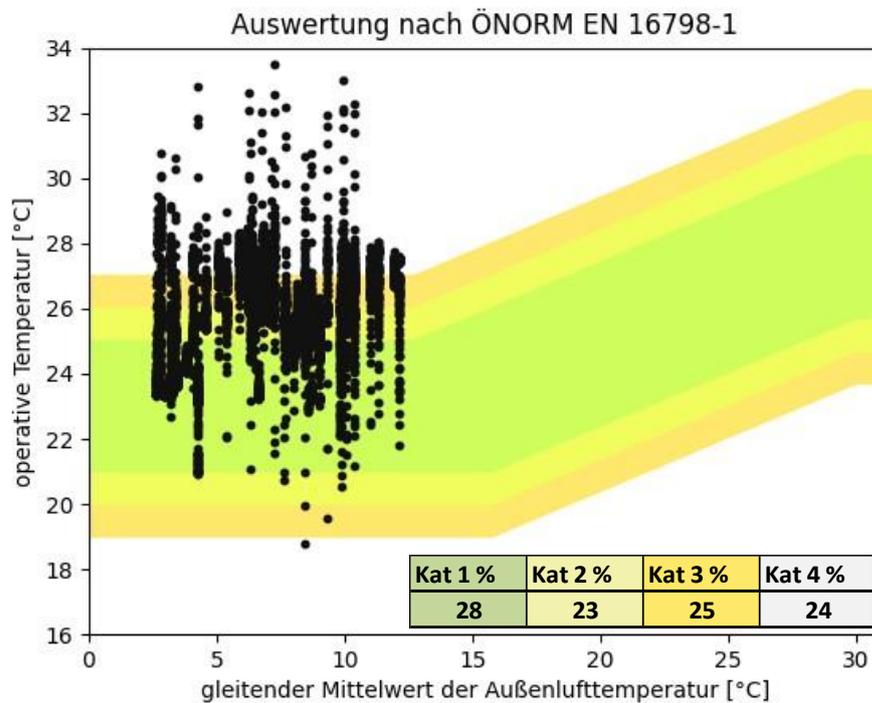
(VÖZ) eine Wohnung in der Mühlgrundgasse 22 – das erste Projekt mit Betonkernaktivierung im geförderten Wohnbau – zur Verfügung gestellt. Die Steuerungsmöglichkeiten waren jedoch durch die Leistungsmöglichkeiten der umgesetzten Regelung begrenzt und so ergaben sich maximale Temperaturänderungen deutlich unter dem Prüfbox-Niveau. Es konnte mit Unterstützung von DI Sebastian Spaun (VÖZ) allerdings erreicht werden, ein etwas breiteres Temperaturband für die Experimente zu ermöglichen. Es ergaben sich vor allem im Zeitraum Februar 2022 bis April 2022 zu warme Temperaturen, wie in der folgenden Abbildung zu erkennen ist. Mit der experimentellen Aufheizung wurde am 18.2.2022 begonnen. Das bauteilaktivierte System mit entsprechend guter thermischer Gebäudehülle kühlte aber „zu langsam aus“ und es stellten sich Temperaturen am Schreibtisch von im Mittel ca. 26°C ein (B1), diese stiegen ab Mitte März bei den höheren Außentemperaturen sogar auf 27°C (B2).

Abbildung 4-39: Temperaturverläufe am Schreibtisch in der Versuchs-Wohnung während der „Aufheiz- und Abkühllexperimente“ und der Außentemperatur im Zeitraum Februar bis April 2022.



Dieses Bild zeigt auch die Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 in der folgenden Abbildung.

Abbildung 4-40: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. Die einzelnen sehr hohen Temperaturen sind auf die direkte solare Einstrahlung auf den Schreibtisch zurückzuführen



Die folgenden Abbildungen zeigen die Daten für den Sommer (Ende Juni bis Mitte September). Es erfolgte hier – anders als während der Prüfbox-Untersuchungen – keine extreme Abkühlung, dass System lief, im „Normalzustand“. Aus der folgenden Abbildung der Temperaturen ist klar erkennbar, dass das System sehr gut funktioniert. Die Innentemperaturen liegen Anfang Juli bei ca. 25°C bis 26°C. Bei einer Hitzewelle ab 17.7.2022 mit sehr hohen Außentemperaturen kühlt das System die Innentemperaturen auf 23°C-24°C ab. Auch im August liefert das System eine sehr gute Leistung. Im September fallen die Außentemperaturen, das System beendet die aktive Kühlung der Betondecke und es stellen sich wieder Innentemperaturen im Bereich von 25°C-26°C ein.

Abbildung 4-41: Temperaturverläufe am Arbeitsplatz (Sitzplatz der Proband:innen im Zeitraum der Untersuchungen) in der Versuchs-Wohnung im Sommer 2022 und der Außentemperatur. Die gut funktionierende Bauteilkühlung ist u.a. in der Hitzeperiode im Juli deutlich zu erkennen

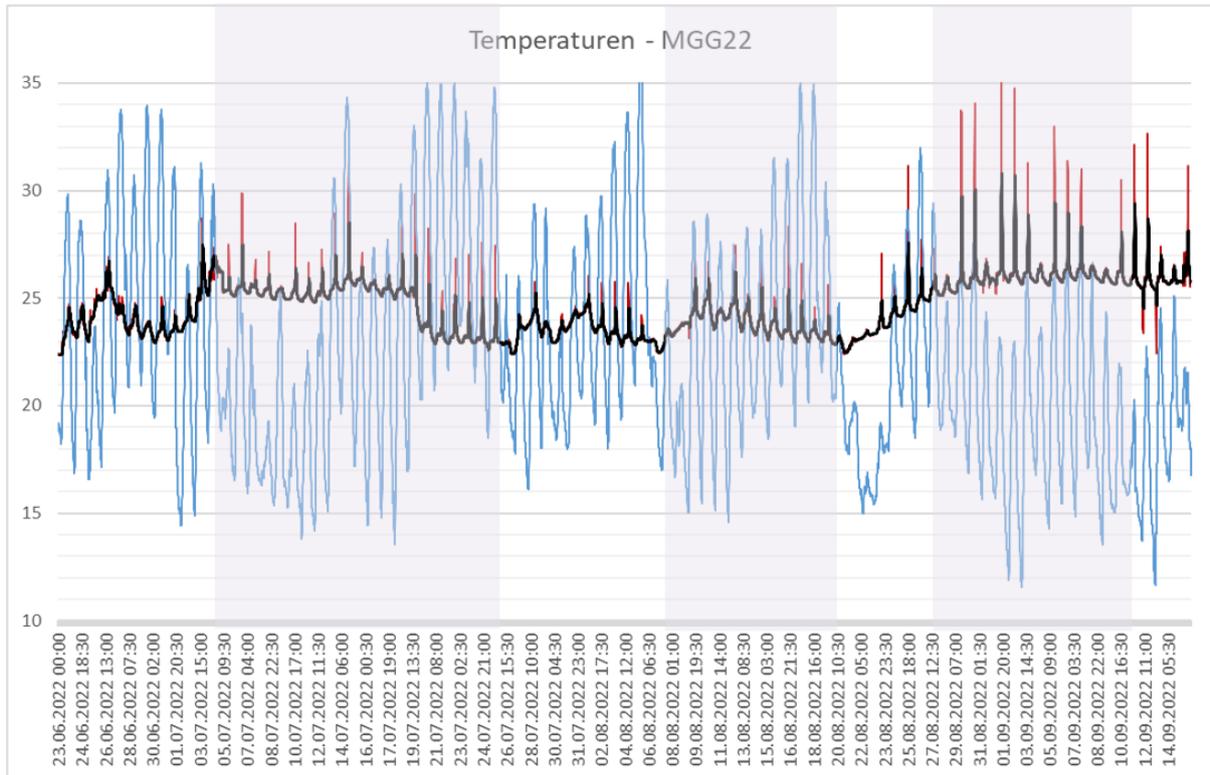
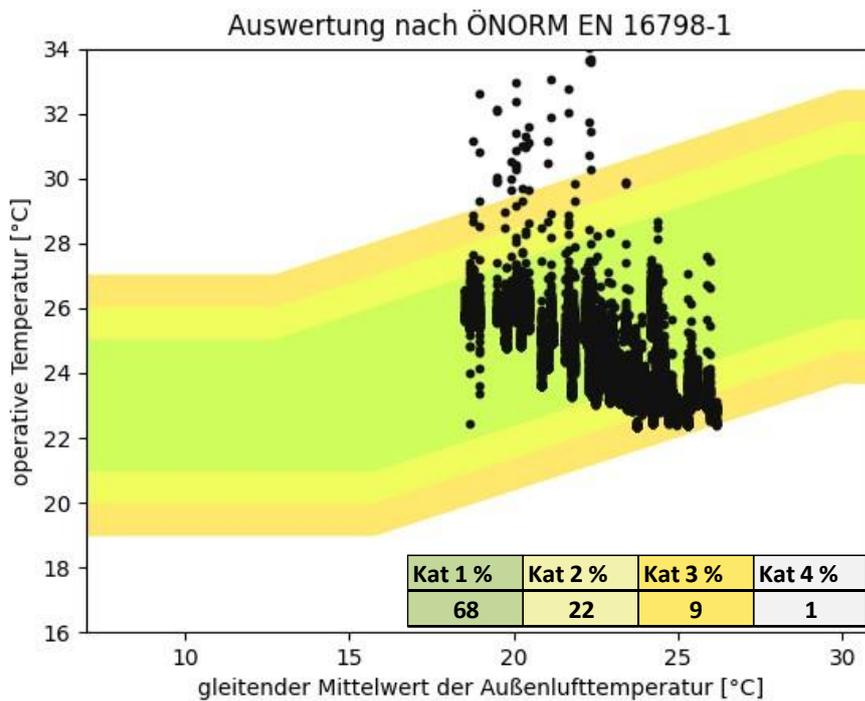
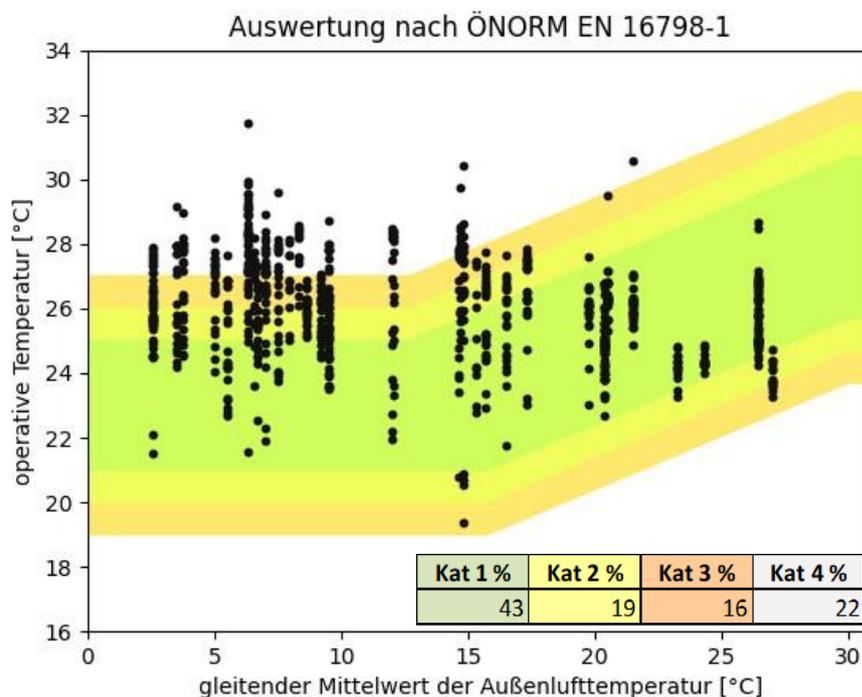


Abbildung 4-42: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. Die einzelnen sehr hohen Temperaturen sind auf die direkte solare Einstrahlung auf den Schreibtisch zurückzuführen. Durch Reduktion der Kühlung könnte die Kategorienstatistik noch verbessert werden



Die folgende Abbildung zeigt die Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik nur zu den Bewertungszeitpunkten - also zu jenen Zeitpunkten, als sich Personen in der Wohnung aufgehalten haben - über den gesamten Versuchszeitraum 2022. Die hohen Temperaturen bei gleitenden Außenmittelwerttemperaturen unter 10°C sind auf das Versuchsdesign zurückzuführen. Der Sommerfall mit gleitenden Außenmittelwerttemperaturen von über 15°C zeigt, dass das Haustechniksystem im Kühlfall sehr gut funktioniert und teilweise sogar etwas zu stark bei hohen Außentemperaturen kühlt.

Abbildung 4-43: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. Es sind nur jene Messpunkte abgebildet, bei welchen Personen anwesend waren, und eine Bewertung des Innenraumklimas stattfand



Die folgenden Tabellen zeigen die deskriptive Statistik und Prognosegenauigkeit der verschiedenen thermischen Behaglichkeitsmodelle der Untersuchungen in der Versuchs-Wohnung der MGG22.

Die Versuche im Winterfall bestätigen die Ergebnisse aus den Prüfboxversuchen, wonach das adaptive thermische Wärmebilanzmodell $ATBH_{PMV}$ von Schweiker die höchste Korrelation und Prognosegenauigkeit für die experimentell abgegeben PMV-Votings hat.

Tabelle 4-15: Deskriptive Statistik Winter MGG22 für die beiden EN 7730 – Modelle PMV_{box_calc} (PMV berechnet aus den direkten Eingabedaten der Versuchspersonen in das umidus-Messgerät) und PMV_{box_met} (gleich wie PMV_{box_calc} , allerdings mit $met = 1,2$) sowie dem $ATHB_{PMV}$ -Modell von Schweiker

Deskriptive Statistiken			
WINTER	Mittelwert	Std.-Abweichung	N
$PMV_{SmartBox_Voting}$	0,37	0,82	550
PMV_{box_calc}	0,28	0,74	550
PMV_{box_met}	0,17	0,76	525
$ATHB_{PMV}$	0,53	0,24	550

Wie folgende Tabelle zeigt, konnte die hohe Signifikanz der nichtlinearen Herzratenvariabilitätsparameter SD1/SD2 mit diesen Versuchen bestätigt werden.

Tabelle 4-16: Korrelation und Signifikanz im Winterfall in der Versuchs-Wohnung der MGG22 für die beiden EN 7730 – Modelle PMV_box_calc (PMV berechnet aus den direkten Eingabedaten der Versuchspersonen in das umidus-Messgerät) und PMV_box_met (gleich wie PMV_box_calc, allerdings mit met = 1,2) sowie dem ATHBPMV-Modell von Schweiker und physiologischen Herzratenparametern

Korrelationen							
	PMV_box_calc	PMV_box_met	ATHB _{PMV}	mean_RR	mean_HR	max_HR	SD1/SD2
Pearson-Korrelation	,379**	,385**	,405**	-,170**	,142**	,135**	,118**
N	550	525	550	548	548	548	548

Für den Sommerfall stehen keine Prüfboxexperimente für einen Vergleich zur Verfügung. Die Voting-Anzahl in der Versuchs-Wohnung der MGG22 ist deutlich geringer (n = 225). In diesem Fall erweist sich das PMV-Modell mit der standardisierten metabolischen Rate von 1,2 met als jenes mit der höchsten Prognosegenauigkeit. Der Korrelationskoeffizient halbiert sich aber im Vergleich zum Winterfall. Hier besteht also noch deutlicher Verbesserungsbedarf bei den Modellen. Für das adaptive thermische Wärmebilanzmodell ATBH_{PMV} von Schweiker gibt es bereits eine erweiterte Variante, welche neben der Nutzung (Wohnen, Büro usw.) auch den Gebäudetyp und die Haustechnik differenziert betrachtet. Dieses deutlich erweiterte ATBH_{XPMV} wurde hier jedoch nicht untersucht, da die Fallzahl für eine genaue Analyse zu gering ist.

Tabelle 4-17: Deskriptive Statistik Sommer MGG22 für die beiden EN 7730 – Modelle PMV_box_calc (PMV berechnet aus den direkten Eingabedaten der Versuchspersonen in das umidus-Messgerät) und PMV_box_met (gleich wie PMV_box_calc, allerdings mit met = 1,2) und dem ATHBPMV-Modell von Schweiker

Deskriptive Statistiken			
Sommer	Mittelwert	Std.-Abweichung	N
PMV_box	-0,03	0,57	225
PMV_box_calc	0,15	0,66	225
PMV_box_met	0,08	0,60	225
ATHB _{PMV}	0,17	0,24	225

Interessant ist, dass sich die maximale Herzrate max_HR und die nichtlinearen Herzratenvariabilitätsparameter wie die Shanon-Entropie ShanEn und die mittlere Linienlänge im Recurrence Plot L_{mean} als hochsignifikant und mit einem höheren Korrelationskoeffizienten herausgestellt haben. Im Sommerfall könnte sich ein direkter Zugang über physiologische Parameter als erfolgreich erweisen, welcher in zukünftigen Versuchen nachzuweisen wäre.

Tabelle 4-18: Korrelation und Signifikanz im Sommerfall in der Versuchs-Wohnung der MGG22 für die beiden EN 7730 – Modelle PMV_box_calc (PMV berechnet aus den direkten Eingabedaten der Versuchspersonen in das umidus-Messgerät) und PMV_box_met (gleich wie PMV_box_calc, allerdings mit met = 1,2) und dem ATHBPMV-Modell von Schweiker und physiologischen Herzratenparametern.

Korrelationen							
SOMMER	PMV_box_calc	PMV_box_hr	PMV_box_met	ATBH _{PMV}	max_HR	Lmean	ShanEn
Pearson-Korrelation	,155*	,164*	,189**	,139*	,219**	,214**	,210**
N	225	224	225	225	224	224	224

4.3.2.5 Diskussion

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Behaglichkeitsuntersuchungen lieferten aufgrund der unterschiedlichen Settings (ACR Prüfbox, Versuchswohnung – homeoffice, reales Wohnumfeld) und der großen gewonnenen Datenmenge wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Aussagekraft und Anwendbarkeit bestehender Behaglichkeitsmodelle. In den Prüfbox-Untersuchungen konnten die Grenzparameter des dynamischen Komfortmodells durch Simulation von Extremsituationen ausgelotet werden. Durch größere Toleranzbereiche des thermisch erlaubten Komfortbereiches lassen sich die Ziele des stündlich CO₂-neutralen Gebäudes deutlich leichter und damit kosteneffizienter erreichen. Auch die Erhebungen im Feld (EFH) unter realen Wohnbedingungen konnten wichtige Rückschlüsse auf die Akzeptanz von breiteren dynamischen Komfortgrenzen liefern. Durch Zusammenführung der physiologischen Daten (HRV-Daten), der Raumklimawerte sowie der Angaben der Proband:innen zur Temperaturempfindungen, thermischen Behaglichkeit, thermischen Akzeptanz, Raumluftqualität usw. konnten aufgrund des relativ großen Datensatz umfangreiche Ergebnisse generiert werden.

Es zeigte sich, dass dynamische Behaglichkeitsmodelle nicht nur die Prognosegenauigkeit der derzeit verwendeten Standardmodelle in der Praxis verbessern, sondern darüber hinaus die Möglichkeit bieten, die fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen besser in die Gebäudesteuerungen zu integrieren. Die Grenzen der stationären Behaglichkeitsmodelle sind zu eng gesetzt und ermöglichen daher bei gleichen Behaglichkeits-Votings geringere Flexibilität in der Nutzung. Bei sehr niedrigen Temperaturen unter 20 °C spielen die Temperaturänderungen eine Rolle, bei steigenden Temperaturdifferenzen werden schneller neutrale Bewertungen erzielt. Fallende Temperaturdifferenzen werden schnell als zu kalte Temperaturempfindungen erlebt. Bei hohen Temperaturen ab ca. 25 °C spielen die Temperaturdifferenzen keine Rolle mehr, es wird als etwas warm bzw. warm empfunden.

5 Flexibilitätssignale

Die hier vorgestellte Methodik und erzielten Ergebnisse sind unter folgendem Github Repository veröffentlicht: <https://github.com/simonschaluppe/fLUCCOplus/>

5.1 Methoden und Inhalt

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Erstellung von externen Signalen für den flexiblen Betrieb von thermischer Speichermasse im Quartier, die das zukünftige 100 % erneuerbare Energiesystems Österreich abbilden sollen. Die Signale sollten dabei folgende Eigenschaften aufweisen bzw. Anforderungen erfüllen:

- Kriterium 1: Mindestens **stündliche Auflösung**
- Kriterium 2: Basierend auf einem Zukunftsszenario, das **100 % erneuerbar** ist.
- Kriterium 3: **Diskrete** Signalwerte (0 -1, flexibel oder nicht flexibel)
- Kriterium 4: **Nutzbarkeit als Regelsignal** für den Quartiersbetrieb, insbesondere die Nutzerflexible Beheizung/Kühlung der Bauteilaktivierung
- Kriterium 5: **Live-Verfügbarkeit** des Signals

Die ersten drei Kriterien sind a priori erfüllt bzw. nicht erfüllt, je nachdem wie das Signal zustande kommt. Eine Aussage über das wichtige Kriterium 4 der Nutzbarkeit ist allerdings erst nach Anwendung auf Beispielquartiere bewertbar. Die Erarbeitung der Signale erfolgte daher in zwei Schritten: Erstens der Signal-Erstellung, und zweitens der Signal-Bewertung und Nutzung. Letztendlich wurden im Projektverlauf folgende Signale erzeugt und untersucht:

1. Proxy Signale: Windkraft-„Cut-Off“ Signale: Sind vorhanden, wenn die aktuelle Windkraft-Erzeugung zu einer Stunde einen Schwellenwert (Cut-Off) relativ zur installierten Leistung erreicht.
 - a. Für die gesamte österreichische Windkraft
 - b. Für einzelne Anlagen
2. Residuallast-Signale: ist vorhanden, wenn die erneuerbare Residuallast in einer Stunde negativ wird. Diese wurden erstellt durch
 - a. lineare Skalierung,
 - b. Skalierung und Transformation gemäß makroskopischer Trends
 - c. Modellierung des österreichischen Energiesystems mittels Python Library pyPSA.
3. Signale aus Windkraft-Prognosefehlern
4. Marktsignale

Im Zuge der Bearbeitung ergaben sich auch eine Reihe an Problemen bzw. Herausforderungen, die wie folgt charakterisiert und zusammengefasst werden können:

Lack of data: Szenarien zukünftiger Energieversorgung Österreichs lassen sich in folgende Kategorien einteilen:

1. Jahressummen (UBA, etc): charakterisieren die insgesamten, jährlichen Energieflüsse innerhalb Österreichs bzw. inkl. Import und Export. Das zeitliche Auftreten, insbesondere

volatiler Energieerzeuger, wie Wind und PV, lassen sich damit nur mit Einschränkungen modellieren: eine lineare Skalierung ist in den meisten Fällen unzureichend

2. Stündliche Zeitreihen einzelner Systemaspekte (Heizung)
3. Stündliche Zeitreihen von Szenarien mit abweichenden System-Parametern (wesentliche Anteile fossiler Erzeugung und Import), ausschließliche Süd-Ausrichtung bei PV-Anlagen, etc.

Zeitliche Auflösung unzureichend: Zeitreihen von Energieflüssen, -erzeugungen und -verbräuchen liegen in hinreichender Auflösung nur stündlich vor. Nur in Ausnahmefällen gibt es für einzelne Bereiche Zeitreihen mit höherer Auflösung (z.B. viertelstündlich), die nicht zur Extrapolation auf das zukünftige Stromsystem herangezogen werden können.

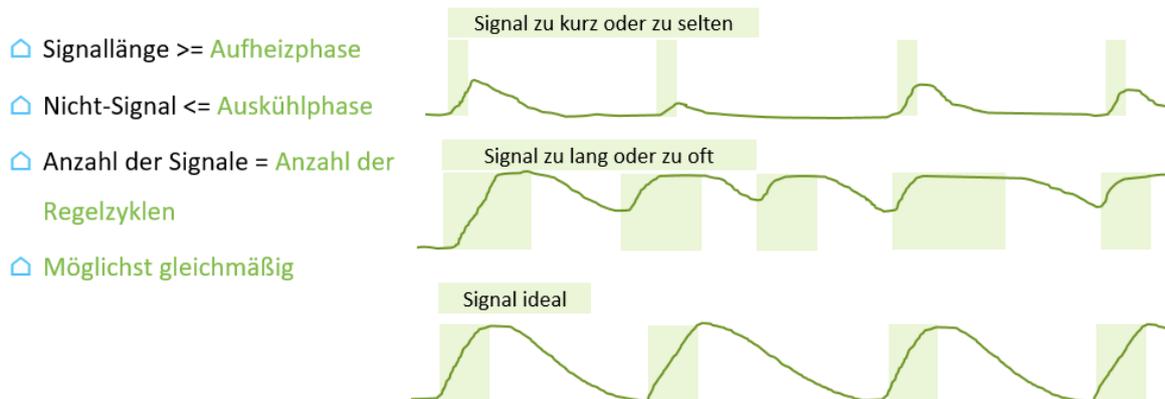
Eine weitere Herausforderung bei der Nutzung externer Daten und der Modellierung der Flexibilitätssignale war die fehlende Kompatibilität hinsichtlich der verwendeten Begriffe, Bezeichnungen und Systemgrenzen der Daten, die oft nicht ausreichend dokumentiert sind.

5.1.1 Bewertung der Signal-Nutzbarkeit

Ziel des flexiblen Quartiersbetriebs ist die bestmögliche Aufnahme von durch erneuerbare Überproduktion erzeugten Netzspitzen, also ein einseitiges Demand Side Management eines erhöhten Energiebedarfs zu Zeiten eines netzseitigen Überangebots. Die Lastvermeidung in Zeiten positiver Residuallast wird hingegen nicht betrachtet, weil die Nutzer:innenakzeptanz deutlich unwahrscheinlicher ist. Die thermische Bauteilaktivierung wird in dieser Betrachtung als Speicher gesehen, der **aktiv** von einer Mindestsolltemperatur auf eine Maximaltemperatur geladen werden kann (ΔK , auch als Temperaturspreizung, Temperatur- oder Flexibilitätsband bezeichnet), die Entladung, also die Rückkehr zur minimalen Solltemperatur hingegen rein **passiv** durch Auskühlen im Heizfall und Aufheizen im Kühlfall geschieht. NB: Auch eine beidseitige Nutzung unter und nicht nur über die Solltemperatur hinaus ändert nichts daran, dass nur eine der beiden, nämlich die Beladung aktiv gesteuert werden kann, während die Entladung passiv geschieht. Daraus ergeben sich einige Besonderheiten für den flexiblen Quartiersbetrieb, die in Betracht gezogen werden müssen, um diese Form des Speichers bestmöglich zu nutzen. Im Folgenden soll am Beispiel des Heizfalls der Zusammenhang zwischen Signal und Speicher und der beteiligten charakteristischen Parameter beschrieben werden. Dasselbe gilt in umgekehrter Temperaturrichtung auch für den Kühlfall:

Abbildung 5-1: Schematische Darstellung passender Signale

Das "richtige Signal" für das Quartier



Bei vorliegendem Signal wird durch Verwendung (ggf. zusätzlicher) Heizleistung die Temperatur erhöht, bis die Maximaltemperatur erreicht wird, oder das Ende des Signalzeitraums erreicht ist. Wie in obiger Grafik dargestellt, lassen sich dabei drei Grenzfälle unterscheiden, die auch abwechselnd auftreten können:

1. Die maximale Speicherfähigkeit des Systems kommt zustande, wenn die Signallänge mit der Länge des aktiven Aufheizvorgangs zusammenfallen, und die Länge der Nicht-Signale mit dem passiven Auskühlvorgang
2. Treten Signale relativ zu Speichermasse und Außentemperatur kürzer und/oder seltener auf, kann das vorhandene Speicherpotential nur teilweise genutzt werden
3. Treten Signale zu lange oder zu oft auf, kann der Speicher nicht entladen werden und die Verluste durch höhere Temperaturen nehmen überhand

Um die Auswirkungen von Flexibilitätssignalen auf den Quartiersbetrieb zu verstehen, ist es daher notwendig, Sie anhand der Frequenz und Länge ihres Auftretens zu charakterisieren und mit den charakteristischen Aufheiz- und Abkühlperioden von Quartieren zu vergleichen. Um den Beitrag der Netzdienlichkeit des signalgesteuerten Quartiersbetriebs quantitativ zu erfassen, wurden folgende KPIs herangezogen:

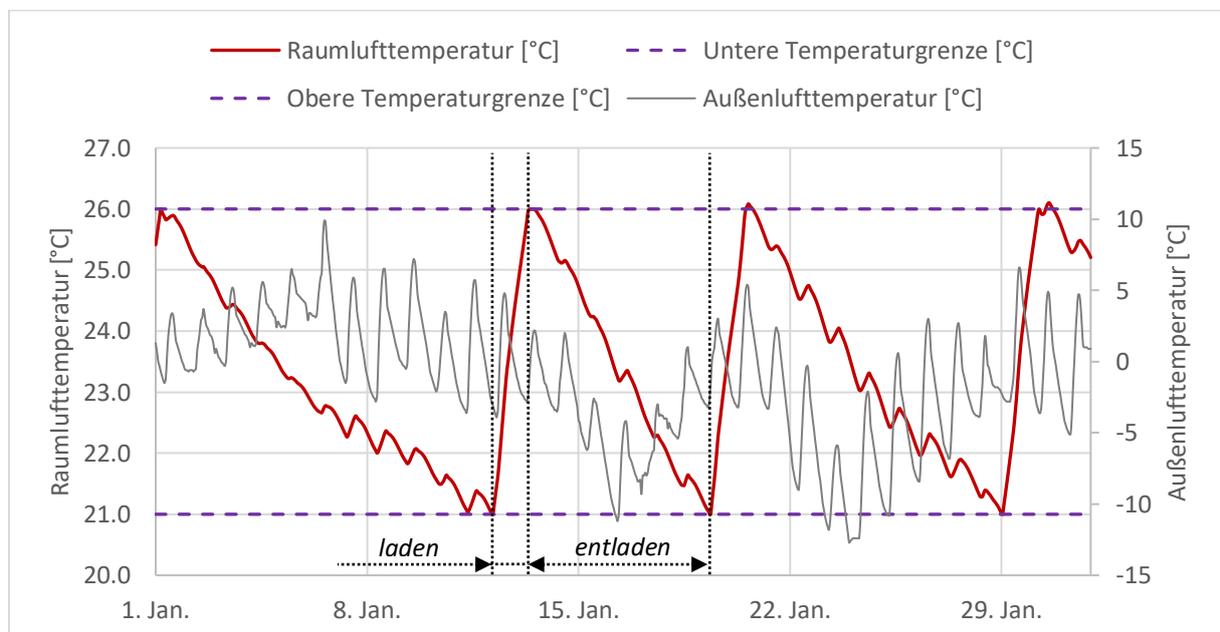
Tabelle 5-1: Bewertungs-Indikatoren der Netzdienlichkeits-Signale

Indikator	
Stunden mit aktivem Signal („Freigabe“)	<ul style="list-style-type: none"> • Im Jahresverlauf • Im Sommerhalbjahr • Im Winterhalbjahr
Stunden ohne aktives Signal	<ul style="list-style-type: none"> • Im Jahresverlauf • Im Sommerhalbjahr • Im Winterhalbjahr
Durchschnittliche Signallänge	<ul style="list-style-type: none"> • Im Jahresverlauf • Im Sommerhalbjahr • Im Winterhalbjahr
Durchschnittliche Länge zwischen Signalen	<ul style="list-style-type: none"> • Im Jahresverlauf • Im Sommerhalbjahr

- Im Winterhalbjahr

Bei der Signalerzeugung muss das Verhalten verschiedener Varianten, die sich aus der Qualität der Gebäudehülle und der effektiven Wärmespeicherkapazität - ohne Einfluss des Temperaturbandes - ergeben, insbesondere bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen (Außenlufttemperatur) berücksichtigt werden. Als geeignete Charakterisierung wird der Parameter definiert als das Verhältnis von Lade- und Entladestunden des Speichers (Gebäudemasse) sowohl für die Heiz- als auch für die Kühlperiode. Die Aufladung erfolgt aktiv durch den Betrieb der Wärmepumpe, während die Entladung passiv oder ohne aktives Zutun durch Kühlvorgänge im Winter oder Heizvorgänge im Sommer (Transmissionswärmeverluste, Lüftungswärmeverluste usw.) erfolgt. Für diese Charakterisierung wird das Gebäude in den verschiedenen Varianten einer Implementierung von idealen Lade- und Entladezyklen unterzogen. Darüber hinaus ist dieses Verhalten abhängig von der Außenlufttemperatur, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 5-2: „Ideales“ Laden und Entladen der Speichermasse innerhalb eines 5K Temperaturbandes im Heizfall (2018, Massivbauweise)



5.1.2 Windkraft „Proxy-Signale“

Windkraft „Proxy Signale“ approximieren den netzseitigen Flexibilitätsbedarf mit der unmittelbar verfügbaren Größe der aktuellen Windleistung. Es handelt sich um ein diskretes Signal (vorhanden/nicht vorhanden), und liegt dann vor, wenn die Eingangsgröße Windkraft einer Stunde über einem definierten Schwellenwert, dem sogenannten „Cut-off“ liegt:

$$S_i = \begin{cases} 1 & \text{wenn } \frac{P_i}{P_n} > c \\ 0 & \text{andernfalls} \end{cases} \quad (2)$$

mit S_i ... Signal in Stunde i

P_i ... Windleistung in Stunde i

P_n ... Installierte Leistung (Nennleistung)

c ... Schwellenwert, Cut-Off [0 – 100 %]

Der Vorteil dieser Signale besteht in ihrer unmittelbar stündlichen Verfügbarkeit, sowohl auf Basis von live-Daten als auch historischen Werten. Insbesondere die Nutzbarkeit von live-Daten eignet sich für diese Art der Netzdienstlichkeitsbetrachtung. Die relative Windleistung kann als erste Näherung der Netzdienstlichen Strombezugs verwendet werden.

5.1.3 Residuallastsignale

Die Vorgangsweise folgt dem hier dargestellten Schema und besteht im Wesentlichen aus vier Komponenten:

1. Zeitreihen historischer Lasten und Erzeugungen
2. Jahressummen der Energieflüsse des zukünftig prognostizierten Gesamtsystems
3. Art der Residuallast-Signalbildung
4. Transformationen, die die beiden ersten Teile zu einem nutzbaren Flexibilitätssignal kombinieren.

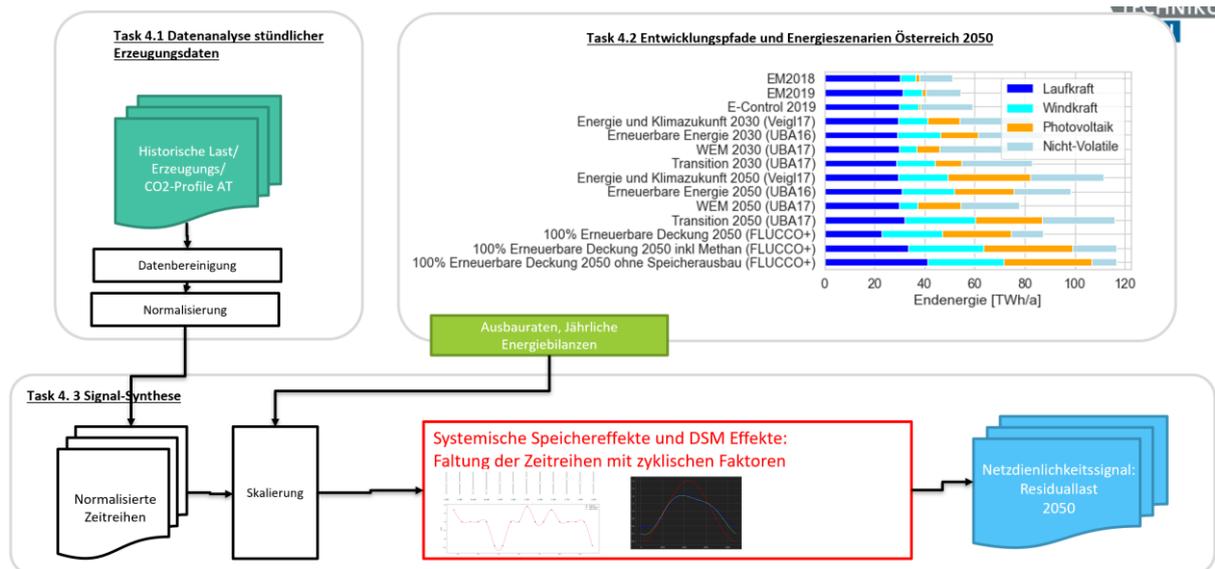
Die normalisierten Zeitreihen werden auf die Höhe der zukünftigen prognostizierten Bedarfe und Erzeugungen aus den jeweiligen Quellen skaliert. Die zeitliche Charakteristik der historischen Ausgangsdaten bleibt damit bestehen. Als erste Näherung können die skalierten Zeitreihen zur Signalbestimmung herangezogen werden, konkret die so entstehende Residuallast.

Diese Vorgangsweise hat aber offensichtliche Schwächen: Gleichzeitigkeitseffekt zusätzlicher PV- oder Wind-Anlagen lassen sich damit nicht abbilden. Die auftretenden Residuallastspitzen werden im Allgemeinen überschätzt, insbesondere bei Ausbauraten von 500 % und 2.000 % für Wind und PV respektive. Auch die Effekte stärkerer saisonaler Nutzung von Speichern und verschiebbarer Lasten wie E-cars lassen müssten zu zeitlichen Verschiebungen im Strombedarfsprofil führen.

In einem zweiten Schritt wurden daher sogenannte „Verschiebungsszenarien“ eingeführt, die bestimmte Zeitreihen einer Reihe von zyklischen Reskalierungen unterwerfen, die obige Effekte qualitativ beschreiben sollen. Bei einer zyklische Reskalierung wird eine Zeitreihe mit zyklisch variierenden Faktoren beliebiger Frequenz multipliziert. Damit lassen sich saisonale, wöchentliche und tägliche Effekte top-down approximieren. Beispiele möglicher Reskalierungen sind:

- Verstärkte Heimspeicher und Batterienutzung: Verschiebung des abendlichen Strombedarfs teilweise in den Mittag und Nachmittag
- Saisonale Speicher: Erhöhung des sommerlichen Strombedarfs und Reduktion des durchschnittlichen winterlichen Strombedarfs
- Vermehrte und flachere Ost-West Ausrichtung von PV-Modulen statt 30° Süd: Relative Erhöhung der Erträge in den Morgen- und Abendstunden, und relative Reduktion der Erträge in den Mittagsstunden

Abbildung 5-3: Methodisches Vorgehen



Allgemein werden diese Transformationen anhand folgender Parameter durchgeführt, indem die diskret gewählten Gewichte mittels einer Fouriertransformation in kontinuierliche Zeitreihen mit der als time frame angegebenen Frequenz überführt werden.

Diese Transformationen werden zu Verschiebeszenarien zusammengesetzt. Dabei wurden die folgenden Heuristiken angewendet: Die durchschnittlichen täglichen Lastkurven werden aufgrund der zunehmenden Speicherkapazität von Quellen wie Batterien, flexiblem bidirektionalem Laden von E-Autos, Sektorkopplung usw. abflachen. Die Kurve der durchschnittlichen nationalen täglichen PV-Produktion wird sich mit dem Aufkommen der heute typischerweise verwendeten schwach geneigten, ost-westlich ausgerichteten Anlagen verbreitern.

5.1.3.1 Szenarien-Überblick zukünftiger 100 % Erneuerbarer Energie

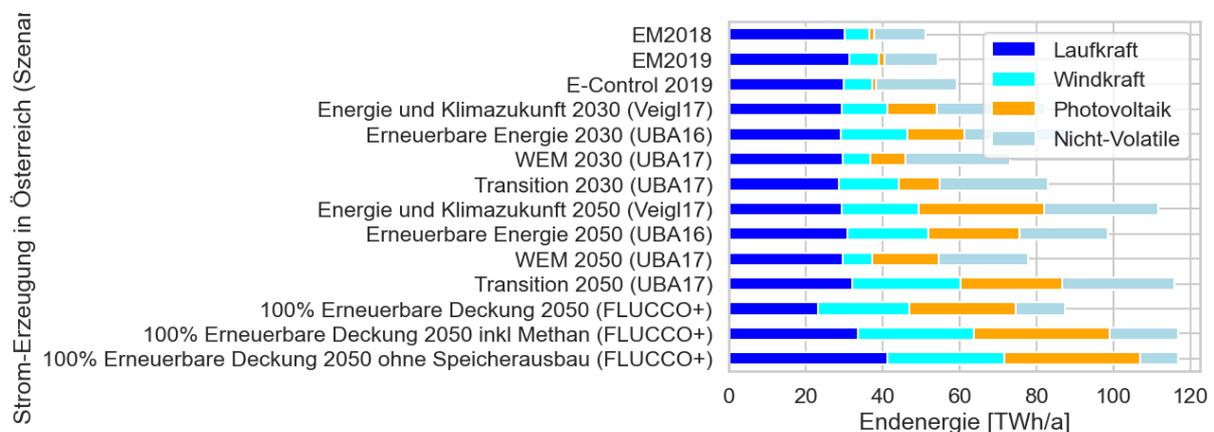
Für die Modellierung der Residuallastsignale wurden folgende Szenarien aufbereitet und für die Analyse nutzbar gemacht:

Tabelle 5-2: Szenarien

Kürzel	Name	Quelle
Veigl30	Energie und Klimazukunft 2030 (Veigl17)	(Veigl, 2017)
Veigl50	Energie und Klimazukunft 2050 (Veigl17)	(Veigl, 2017)
UBA30	Erneuerbare Energie 2030 (UBA16)	(UBA, 2016)
UBA50	Erneuerbare Energie 2050 (UBA16)	(UBA, 2016)
UBA30WEM	WEM 2030 (UBA17)	(UBA, 2017)
UBA50WEM	WEM 2050 (UBA17)	(UBA, 2017)
UBA30WAM	Transition 2030 (UBA17)	(UBA, 2017)
UBA50WAM	Transition 2050 (UBA17)	(UBA, 2017)

FLUCCO-Met	100 % Erneuerbare Deckung 2050 exkl. Strombedarf zur Methanisierung zur Gassubstitution	(Schneider et al., 2020)
FLUCCO+	100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl Methanisierung	(Schneider et al., 2020)
FLUCCO+EI	100 % Erneuerbare Deckung 2050 ohne elektrischen Speicherausbau inkl erhöhter Methanisierung und Wasserstoffproduktion	(Schneider et al., 2020)
EAG	Ausbauziele laut Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz	(Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz, 2021)
UBA23	Potentiale laut Umweltbundesamt 2023	(Schindler et al., 2023)

Abbildung 5-4: Stromerzeugung gemäß aufbereiteter Szenarien, jeweils aufgeteilt nach erneuerbaren Energieträgern



Folgende zwei Szenarien wurden später im Projektverlauf hinzugefügt. Die Zielgrößen der Skalierung erneuerbarer Energien wurden hier wie folgt angenommen:

Tabelle 5-3: Zielgrößen der Erneuerbaren Erzeugung

Szenario	Stromproduktion [TWh/a]		Stromverbrauch [TWh/a]
A. Ausbauziele der Österreichischen Bundesregierung (Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz, 2021)	Biomasse	3,84	78,5
	Windenergie	17,22	
	Photovoltaik	13,04	
	Wasserkraft	46,29	
B. Erweitert um Potentialstudie des Umweltbundesamtes (Schindler et al., 2023)	Biomasse	3,84	78,5
	Windenergie	21,1	
	Photovoltaik	13,2	
	Wasserkraft	49,06	

5.1.3.2 Zeitreihen: Electricity Maps

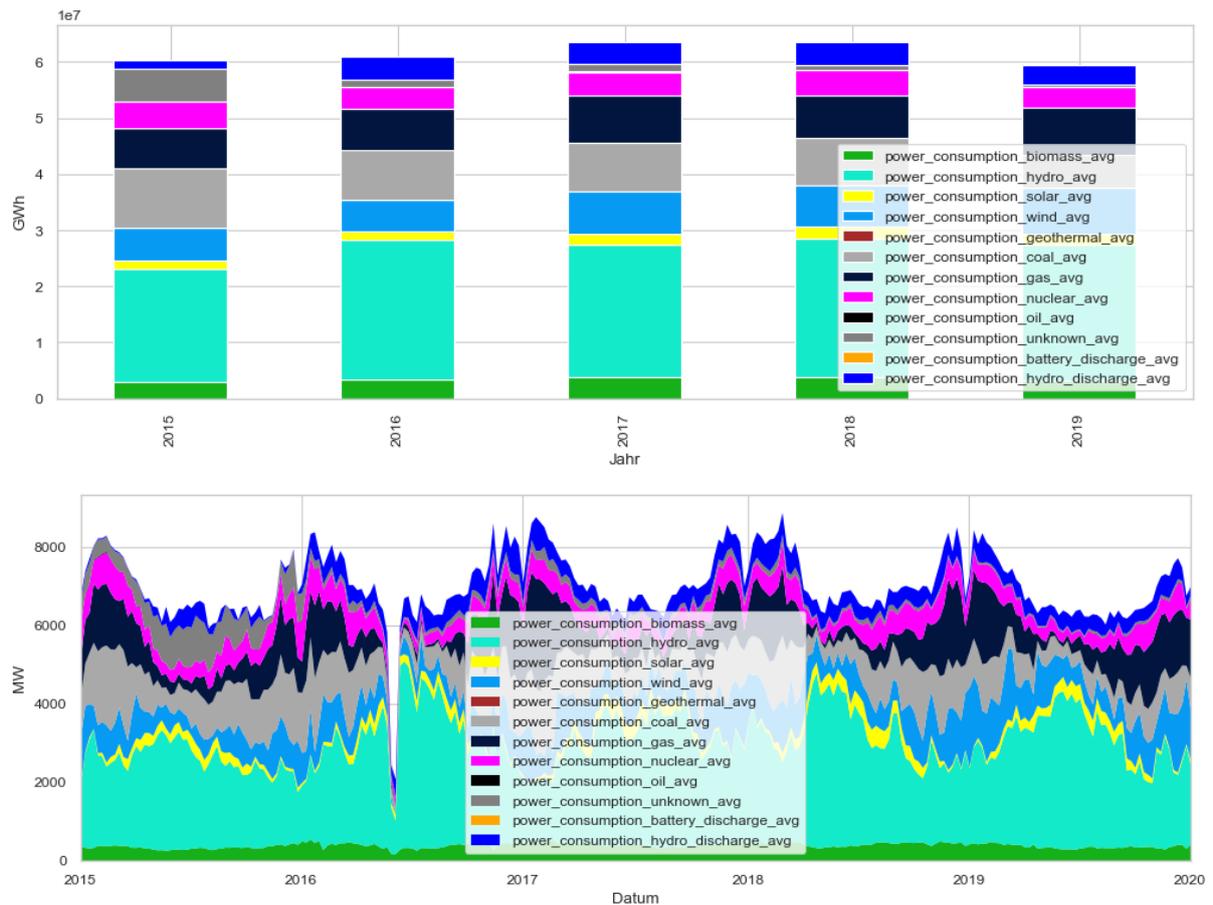
Ausgangspunkt der stündlichen Zeitreihen sind die Lastflüsse von Electricity Maps. Die im folgenden verwendeten Daten für Österreich (2015-2017, 2018-2019) stammen von <https://www.ElectricityMaps.org/map>. Basis für die dort verwendeten globalen mittleren CO₂-Intensitäten ist der IPCC Bericht aus dem Jahr 2014. Es stehen zwei Datensätze zur Verfügung, jeweils für die Jahre von 2015-2017, und die Jahre 2018-2019. Wie im Anhang dargestellt, sind jeweils andere Merkmale verfügbar, aus der folgende Schnittmenge berechnet wurde:

Tabelle 5-4: Verfügbare Ausgangsdaten historischer Stromerzeugung und -Verbräuche in Österreich

Zeitraum	Datenverfügbarkeit
2015 – 2022	'carbon_intensity_avg', 'power_consumption_battery_discharge_avg', 'power_consumption_biomass_avg', 'power_consumption_coal_avg', 'power_consumption_gas_avg', 'power_consumption_geothermal_avg', 'power_consumption_hydro_avg', 'power_consumption_hydro_discharge_avg', 'power_consumption_nuclear_avg', 'power_consumption_oil_avg', 'power_consumption_solar_avg', 'power_consumption_unknown_avg', 'power_consumption_wind_avg', 'total_consumption_avg', 'total_export_avg', 'total_import_avg',

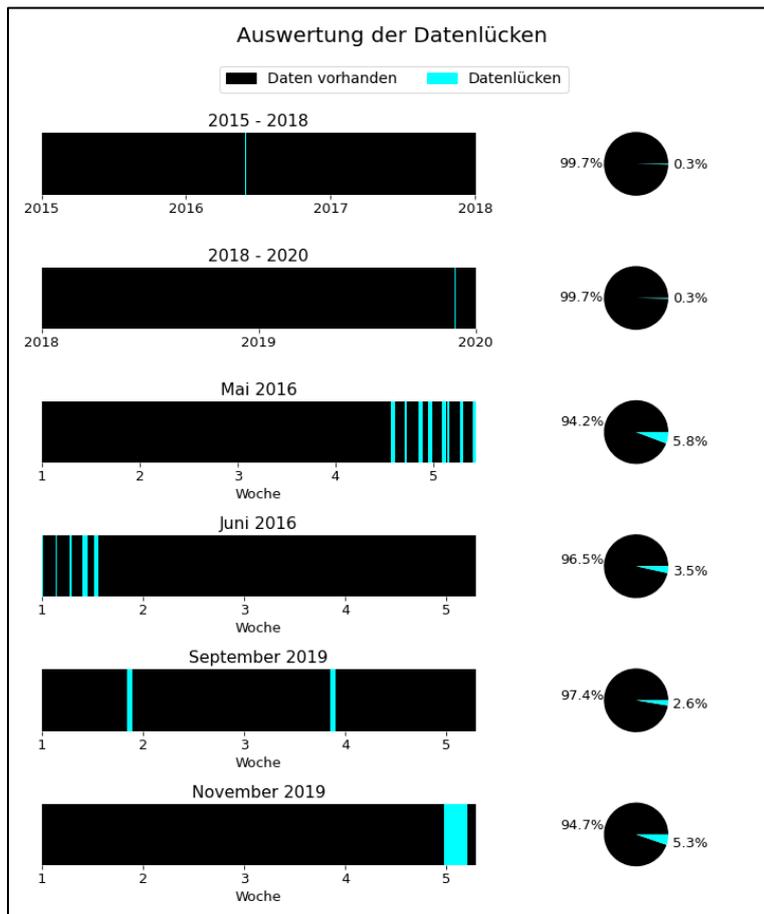
Im Folgenden sind Jahressummen und wöchentlich gemittelte Leistungen aller Energieträger der Zeitreihen dargestellt.

Abbildung 5-5: Aus Electricity Maps abgeleitete Zeitreihen für den österreichischen Stromverbrauch 2015-2019. Oben: Jahressumme, unten: Wochenmittel



Eine Analyse der Datensätze zeigt Datenlücken in vier von 64 Monaten auf. Zu diesen Zeitpunkten sind keine Datensätze vorhanden. Die größte Datenlücke mit 38 Stunden tritt im November 2019 auf. Die Lücken wurden mittels linearer Interpolation der Grenzwerte durchgeführt, mit entsprechenden Ungenauigkeiten. Um die Datenlücken zu vermeiden, wurde in den meisten Analysen im Folgenden auf den Datensatz aus dem Jahr 2018 zurückgegriffen, dessen Zeitreihen vollständig sind, und sowohl CO₂-Herkunft als auch Stromverbrauch und -Erzeugung je Energieträger beinhaltet.

Abbildung 5-6: Datenlücken in den historischen Electricity Maps Maps Zeitreihen (cyan)



5.1.3.2.1 Stündliche Primärenergie-Inhalte

Stündliche Primärenergieinhalte wurden mittels folgender Konversionsfaktoren aus (Stolz & Frischknecht, 2017) und der OIB-RL6 im Entwurf 2019 und 2023 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019) ermittelt und gemäß nachfolgender Tabelle mit den Energieträgern der Electricity Maps Daten multipliziert.

Abbildung 5-7: Primärenergiefaktoren auf Basis (Stolz & Frischknecht, 2017) und eigene Analyse

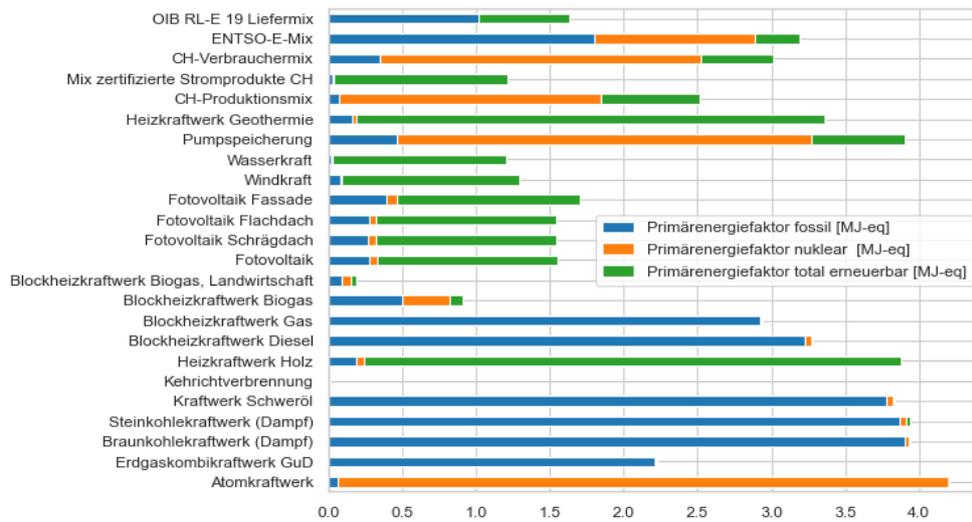


Tabelle 5-5: Energieträger und deren Konversionsfaktoren-Bezeichnungen

Electricity maps energy carrier	Verwendete Konversionsfaktoren
Biomass	Heizkraftwerk Holz
hydro	Wasserkraft
solar	Fotovoltaik
wind	Windkraft
geothermal	Heizkraftwerk Geothermie
coal	Braunkohlekraftwerk (Dampf)
gas	Erdgaskombikraftwerk GuD
nuclear	Atomkraftwerk
oil	Blockheizkraftwerk Diesel
unknown	ENTSO-E-Mix
battery_discharge	ENTSO-E-Mix
hydro_discharge	OIB RL-E 19 Liefermix

5.1.3.3 Erneuerbaren-Mismatch: Differenz aus erneuerbarer Erzeugung und Verbrauch

Zur Ermittlung des Regelsignals wurden folgende Bilanzgrenzen verwendet.

Tabelle 5-6: Art der Residuallast-Signalbildung. Was wird berücksichtigt?

Variable	Beschreibung	Berechnung
RES _{VOL}	Residuallast Volatile	Stromverbrauch – (Laufwasserkraft + Wind + Photovoltaik)
RES _{WIPV}	Residuallast Wind und PV	Stromverbrauch – (Laufwasserkraft + Photovoltaik)
RES _{ERN}	Residuallast Erneuerbare	Stromverbrauch – (Biomasse + Wasser + Wind + Photovoltaik)
RES _{ERN+Pump}	Residuallast Erneuerbare mit Pumpspeicher	(Stromverbrauch + Pumpspeicher Verbrauch) – (Biomasse + Laufwasserkraft + Wind + PV + Pumpspeicher Erzeugung)

5.1.3.4 Dynamische Zeitreihentransformation

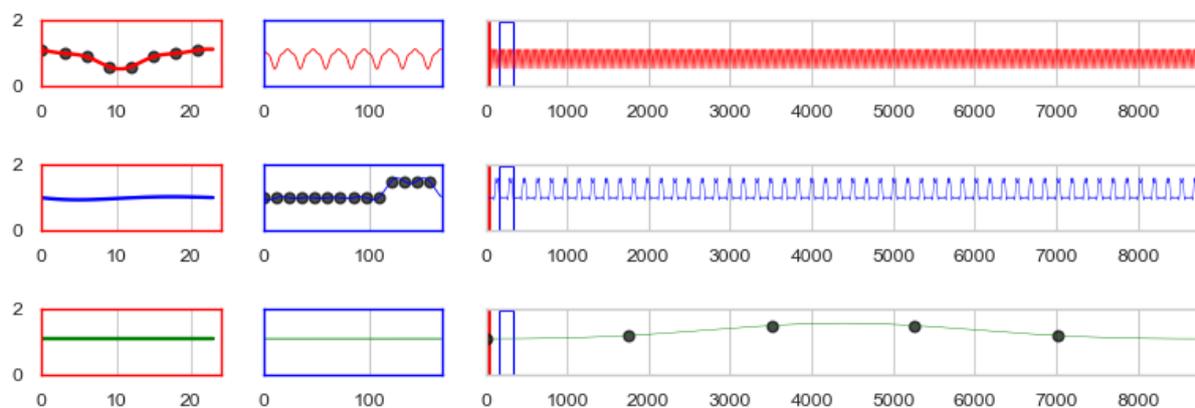
Zusätzlich zu einer rein linearen Skalierung der erwarteten Ausbauraten erneuerbarer Energien und des Stromverbrauchs können Zeitreihen in ihrem zeitlichen Verhalten transformiert werden, indem sie mit einer entsprechenden Transformations- bzw. Skalierungszeitreihe multipliziert wird. Die Definition dieser Transformierenden erfolgt anhand von zwei Parametern:

Tabelle 5-7: Parameter der dynamischen Zeitreihentransformation

Parameter	Beschreibung	Beispiel in Abbildung unten
timeframe	Periodizität der Transformation	24 168 8760
weights	Liste beliebiger Länge mit Höhe der gleichverteilten Stützstellen	[1.1, 1, 0.9, 0.6, 0.6, 0.9, 1, 1.1] [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1.5, 1.5, 1.5, 1.5] [1.1, 1.2, 1.5, 1.5, 1.2]

Die Stützstellen werden mittels Fouriertransformation auf den entsprechenden Zeitraum geglättet und zu einem Jahresprofil zusammengestellt, wie im Folgenden für die beispielhaften Stützstellen der Tabelle dargestellt. Hier ist zu sehen, wie eine täglich, wöchentlich und jährlich variable Transformation im jeweiligen Zeitraum verteilt ist (jeweils oben, mittig, unten und).

Abbildung 5-8: Beispielhafte Transformationen: Täglich (oben), Wöchentlich (Mitte), Jährlich (unten) in jeweils einer Tagesansicht (links), Wochenansicht (Mitte) und Jahresansicht (rechts)



Eine detailliertere Beschreibung der Methode findet sich im öffentlichen online-repository².

5.1.4 Windprognose-Fehler als Signal

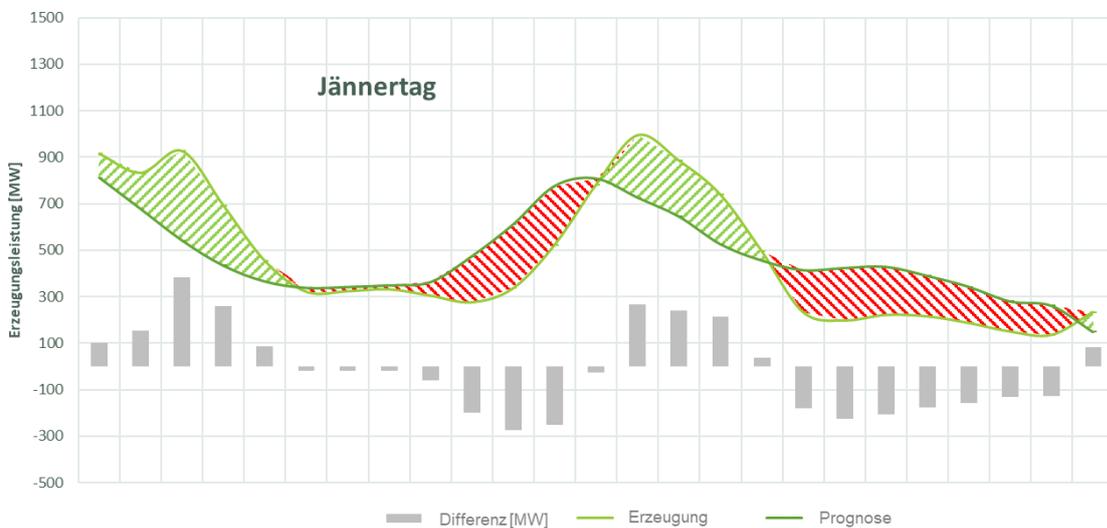
Der Handel an der Strombörse findet primär auf drei Arten statt: Auf dem Intraday-Markt, dem Day-Ahead-Markt und dem Terminmarkt. Auf dem Terminmarkt werden Lieferungen mit einer längeren Vorlaufzeit (mehrere Jahre) gehandelt. Hier zahlt der Käufer nur für die tatsächlich gelieferte Energiemenge, ohne zusätzliche Vergütung für die Kapazität des Kraftwerks, das die Energie erzeugt. Der Day-Ahead-Markt umfasst den Handel mit Stromlieferungen für den nächsten Tag. Die Geschäfte

²[https://github.com/simonschaluppe/FLUCCOplus/blob/main/notebooks/4.3.0 Transformation test.ipynb](https://github.com/simonschaluppe/FLUCCOplus/blob/main/notebooks/4.3.0%20Transformation%20test.ipynb)

müssen bis zum Mittag des Vortages abgeschlossen sein. Der Intraday-Markt bezeichnet den Handel mit Strommengen für den laufenden Tag in kleinen Zeitintervallen.

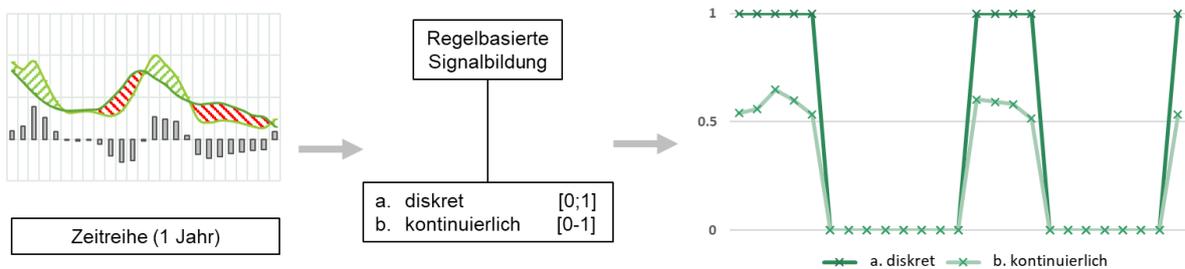
Ziel von Windparkbetreibern ist es, Prognosen möglichst genau zu treffen, um Ausgleichsenergiekosten zu vermeiden. Die Abweichung von Prognosen kann nicht an der Börse gehandelt werden. Eine positive Abweichung der Erzeugung gegenüber der letzten Prognose stellt einen Energieüberschuss und damit ein Lastverschiebungspotenzial dar. Abbildung 5-9 zeigt ein Beispiel für eine Woche im Jänner mit der prognostizierten Winderzeugung, der tatsächlichen Winderzeugung und der absoluten Prognoseabweichung. Die Intraday-Prognose und die tatsächliche Erzeugung durch Windkraft werden aufgezeichnet und sind über den nationalen Übertragungsnetzbetreiber (APG) offen zugänglich.

Abbildung 5-9: Intraday-Prognose, die tatsächliche Produktionsleistung durch Windkraft und die daraus resultierende Prognosedifferenz für einen exemplarische Jännertag. Viertelstündliche Werte aggregiert zu stündlichen Werten, Jahr 2018 (erstellt aus (Austrian Power Grid AG, 2023b), (Austrian Power Grid AG, 2023a))



Für den Entwurf von Freigabesignalen für das Demand-Side-Management werden zwei regelbasierte Funktionen verwendet. Folgende Abbildung zeigt einen Überblick über das Signaldesign auf einer Zeitskala von 24 Stunden.

Abbildung 5-10: schematische Darstellung der Herangehensweise zur Signalbildung aus Differenzen in Windprognosen



Die regelbasierte Signalbildung verläuft entweder diskret oder kontinuierlich:

a) Diskret (On-Off-Regelung)

$$\forall S_{(X)}: (X > 0) \rightarrow (S = 1) \quad (3)$$

b) Kontinuierlich (stetige Regelung)

$$S_{(X)} = \frac{X}{\max X} \quad (4)$$

Wie in obiger Abbildung zu sehen, sind beide Signalarten hinsichtlich Signalzeiträumen ident; im kontinuierlichen Fall stellt die Signalthöhe die Größe des Ausgangssignals, hier der negativen Prognosedifferenz, normalisiert, sprich auf einen Wertebereich von 0-1 skaliert, dar.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Historische Lastflüsse und Emissionsintensitäten

Ein Vergleich der Emissionsintensitäten zwischen der Electricity Maps Daten links und in rechts in Blau und der OIB RL-6 aus dem Jahr 2018 und dem Entwurf aus dem Jahr 2019 zeigen im Monats- und Jahresmittel gute Übereinstimmung. Trotzdem kommt es naturgemäß zu teils erheblichen Abweichungen zwischen stündlichen Tages- und Wochenmittelwerten und den aggregierten Monatswerten der OIB RL6 im Entwurf aus 2019, die auf der Aggregation der historischen ENTSO-E Daten aus den Jahren 2014 bis 2018 beruht, die noch das emissionsreichere Jahr 2014 miteinschließen.

Abbildung 5-11: Vergleich stündlicher Emissionsintensitäten der Stromversorgung laut Electricity Maps und monatlich gemittelter Werte der OIB RL6- im Entwurf 2019

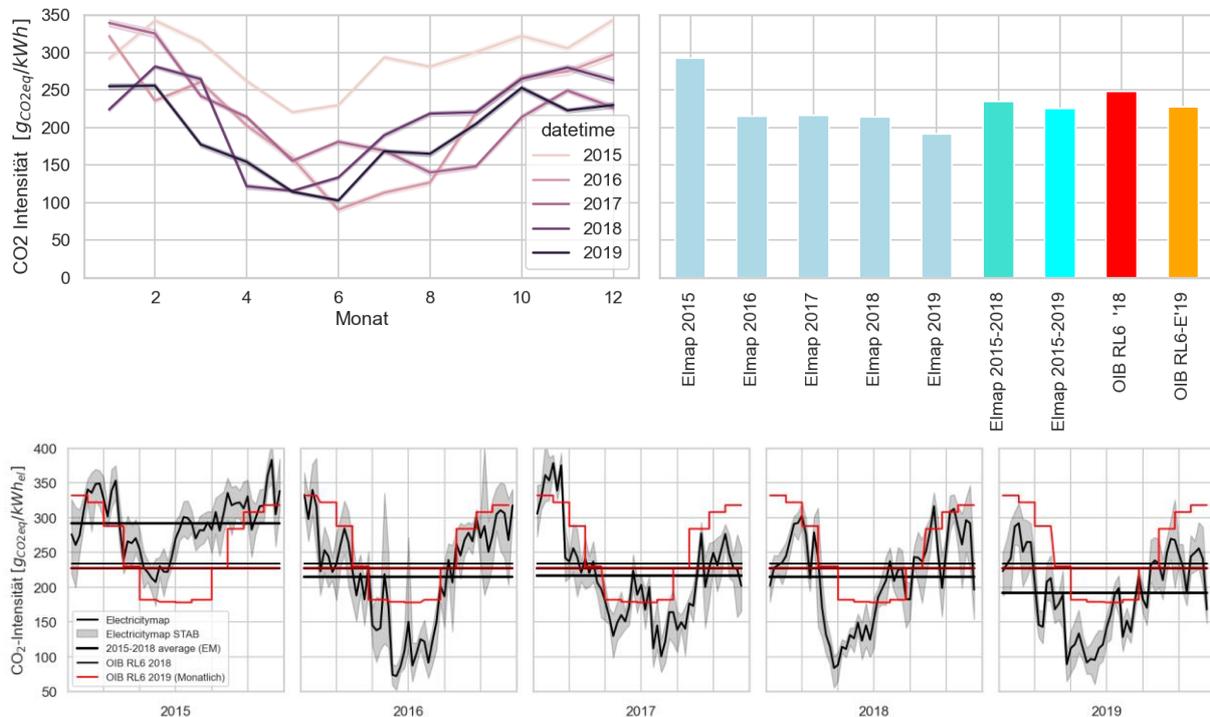
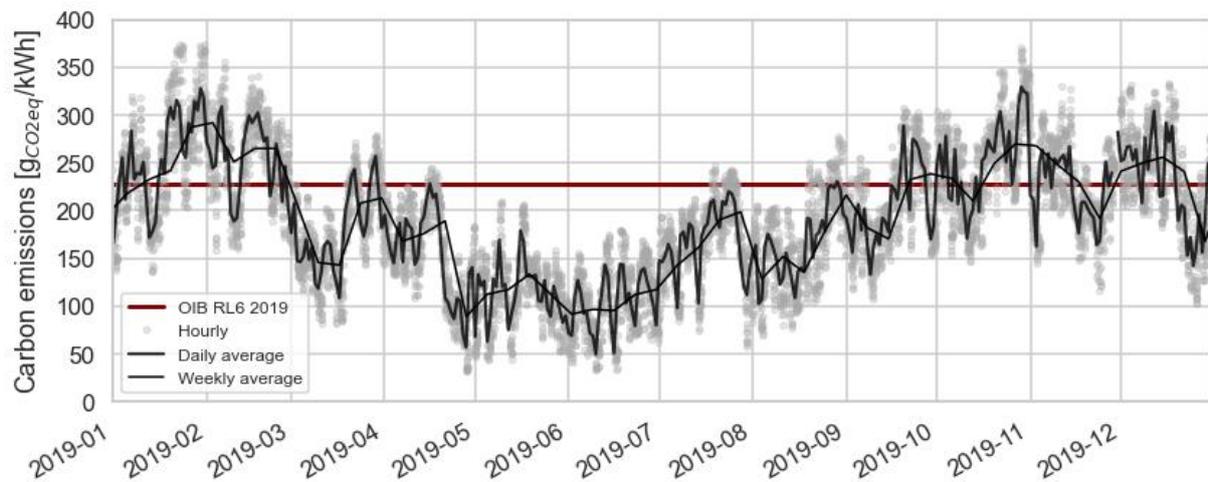
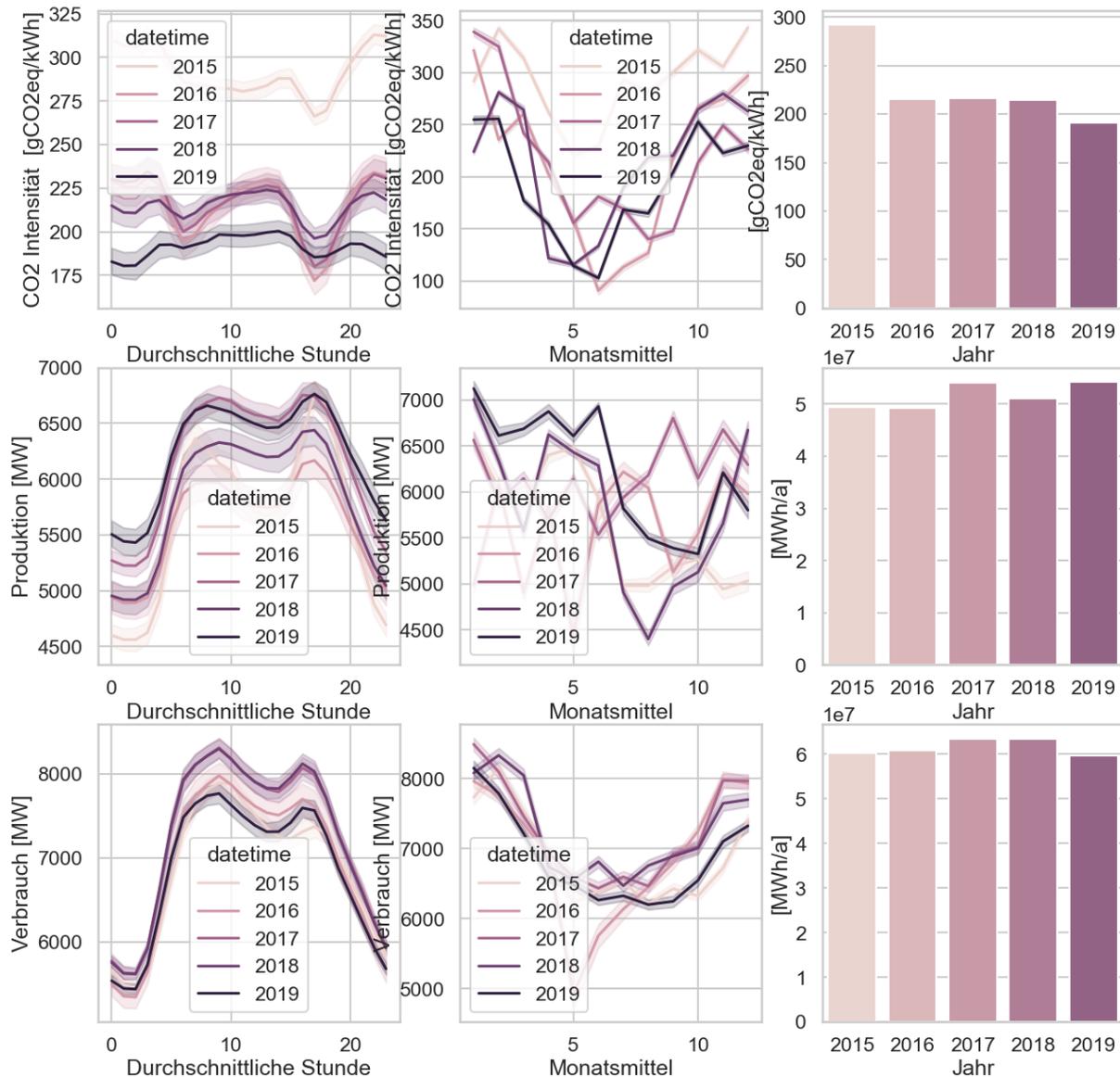


Abbildung 5-12: Stündliche Emissionsintensitäten (Electricity Maps), sowie Tages- und Wochenmittelwerte ggü. dem Jahresmittel der OIB RL-6 im Entwurf 2019



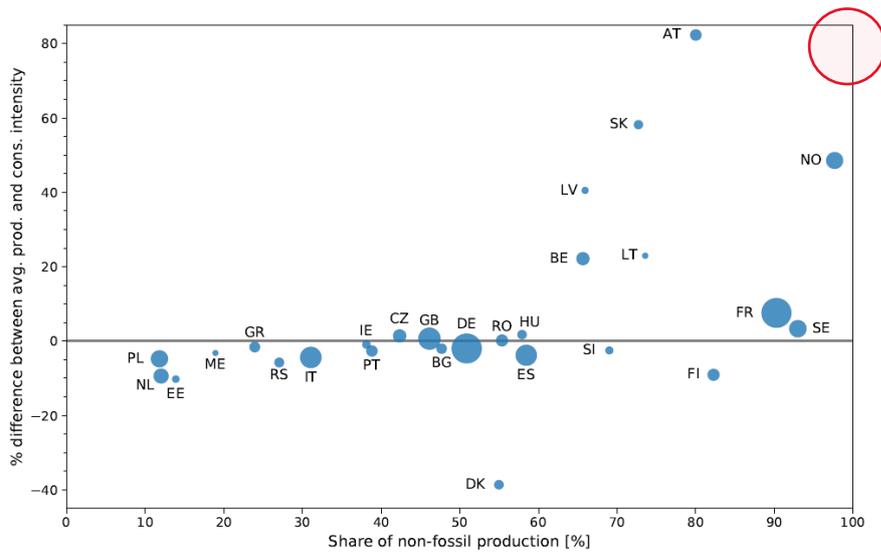
Eine genauere Betrachtung der stündlichen Emissionsintensitäten anhand des Beispieljahrs 2019 zeigt die hohe Schwankungsbreite der stündlichen Fluktuationen gegenüber einem jährlichen, aber auch einem wöchentlichen und sogar täglichen Mittelwert. Sie begründet die Notwendigkeit der Berücksichtigung stündlich aufgelöster Netzdienstleistungs- und Flexibilitätsmodelle für die Regelung von Quartiersenergiesystemen. In folgender Grafik ist die durchschnittliche Emissionsintensität, Produktion und Verbrauch von Elektrizität in Österreich 2015-2019 gemäß Electricity Maps Daten dargestellt. Die Emissionsintensität hat von 334 g/kWh im Jahr 2015 auf 182 g/kWh im Jahr 2019 abgenommen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen im gleichen Zeitraum Zuwächse verbuchen konnte, während der Stromverbrauch im Betrachtungszeitraum zuerst gestiegen, dann 2019 aber leicht unter dem Ausgangsniveau von 2015 zu liegen kam.

Abbildung 5-13: Durchschnittliche Emissionsintensität, Produktion und Verbrauch von Elektrizität in Österreich 2015-2019 gemäß Electricity Maps



Darüber hinaus weist Österreich als Netto-Strom-Importeur das europaweit höchste Ungleichgewicht zwischen produktions- und verbrauchsbasierter Emissionsintensität auf: Produziert wird zu 80 % erneuerbar, importiert vorwiegend fossil. Österreich ist damit im EU-Vergleich ein ziemlicher Sonderfall, wie in folgender Grafik auf Basis von (Tranberg et al., 2019) ersichtlich. Auch das ist ein Grund, um auf die von Electricity Maps, verwendete, detailliertere lastflussbasierte Methode zur Ermittlung der stündlichen Emissionsintensität abzustellen.

Abbildung 5-14: Verhältnis zwischen Produktions- und Verbrauchsintensität europäischer Länder im Kontext ihrer Erneuerbaren Erzeugung. Quelle: (Tranberg et al., 2019)



Die zeitliche Korrelation zwischen Emissionsintensität und Residuallast RES_{VOL} (Wind, PV, Laufwasserkraft) ist hoch, wie hier für das Jahr 2019 dargestellt, insbesondere in den Sommermonaten, wenn inländische Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen überwiegt. In den Wintermonaten wird die Korrelation schwächer, weil hier mehr Strom importiert wird, der mit höherer, aber stärker schwankender Emissionsintensität verbunden ist.

Abbildung 5-15: Zeitliche Korrelation zwischen Emissionsintensität (grau/schwarz) und Residuallast RES_{VOL} (Wind, PV, Laufwasserkraft)

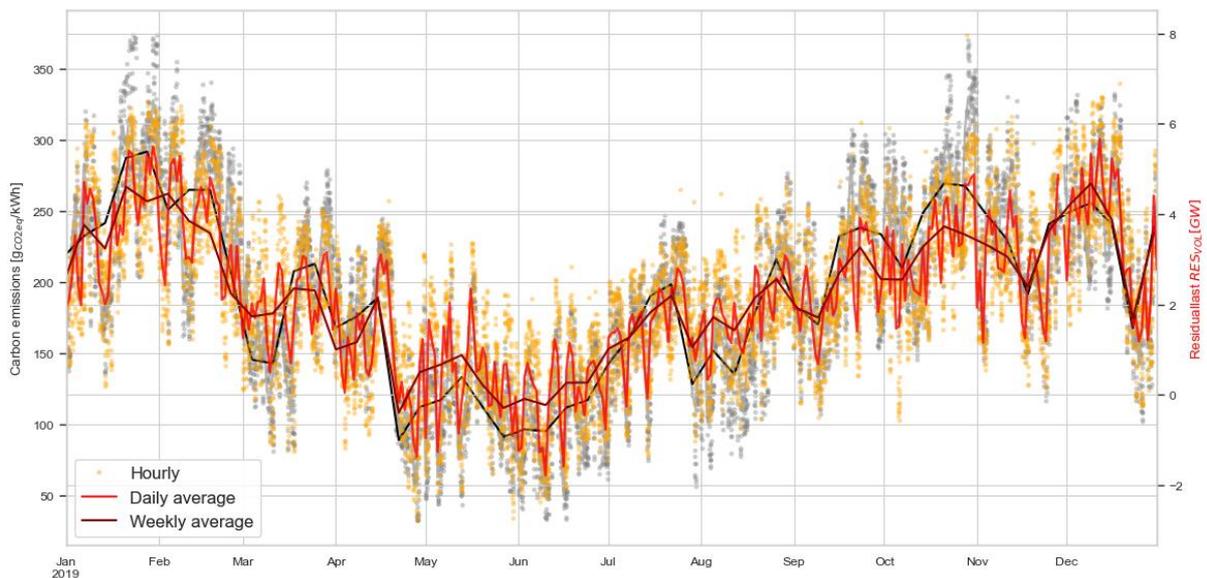
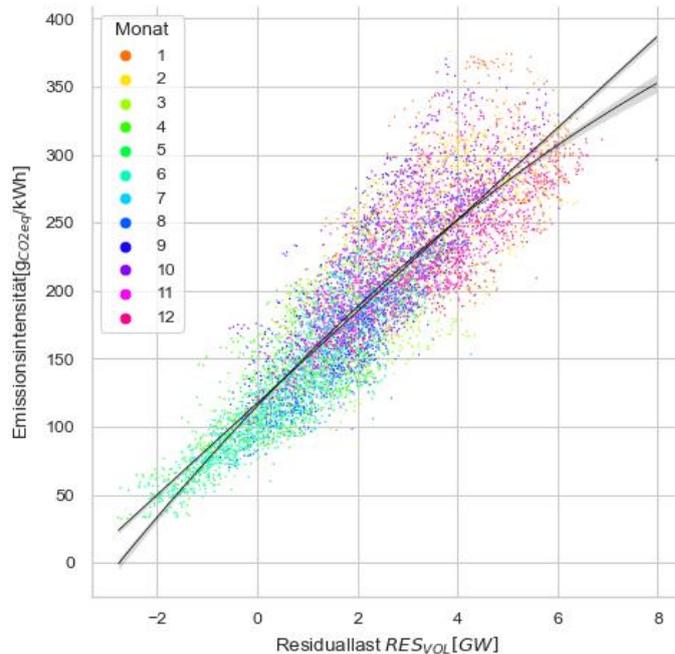


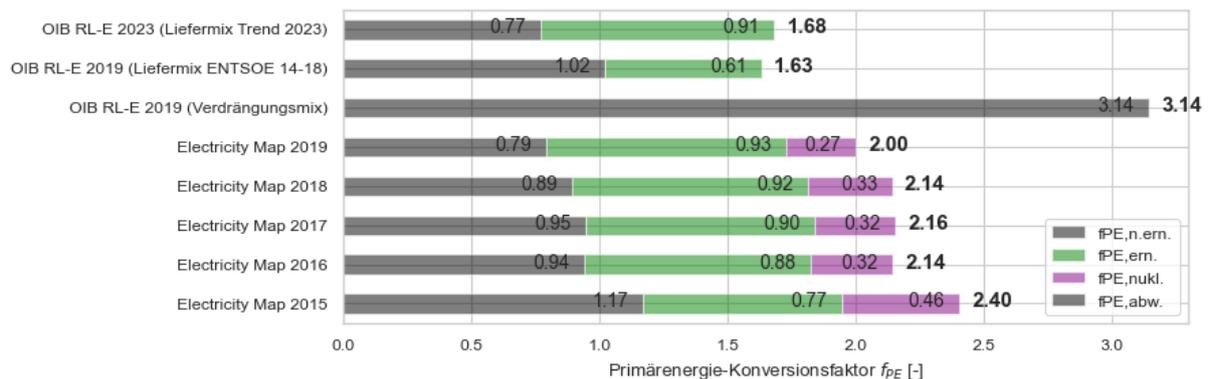
Abbildung 5-16: Korrelation zwischen THG-Emissionen und Residuallast RES_{VOL} (Wind, PV, Laufwasserkraft) mit linearem und quadratischem Fit



5.2.2 Primärenergie-Konversionsfaktoren stündlich

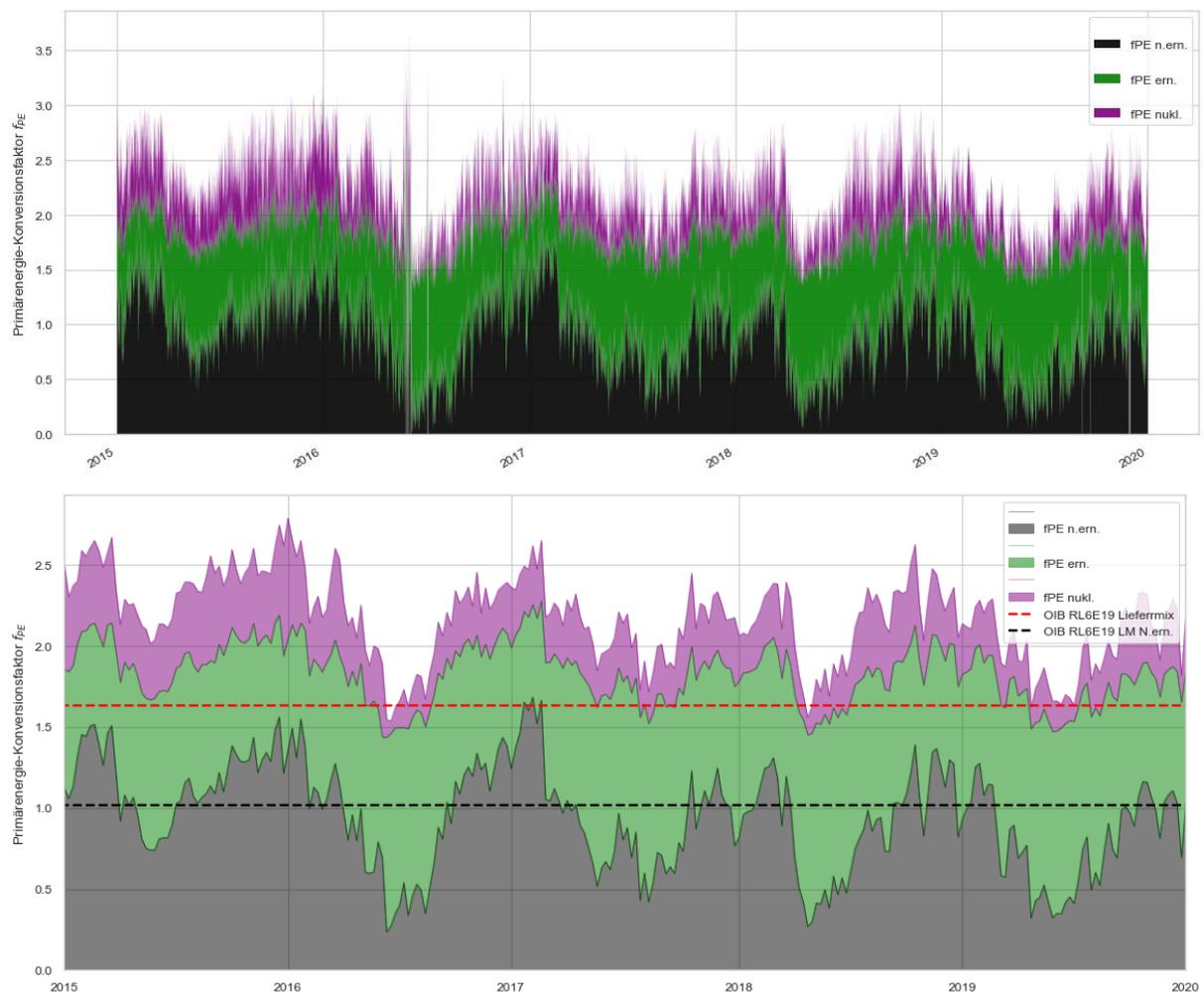
Der Vergleich stündlicher Primärenergiefaktoren auf Basis der Electricity Maps Daten, mit denen der OIB-RL6 2018 und im Entwurf 2019 weist, ebenso deutliche Unterschiede auf: Erstens unterscheidet letztere nur zwischen Erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteilen, während in Electricity Maps zusätzlich nukleare und nicht zuordenbare Anteile ausgewiesen werden. Letztere sind im Betrachtungszeitraum allerdings nicht vorhanden.

Abbildung 5-17: PE-Konversionsfaktoren Vergleich laut OIB RL6 (oben) und Electricity Maps Zeitreihen



Diese Unterschiede zeigen sich auch im Zeitverlauf: Im Wochenmittel weicht der PE-Konversionsfaktor um bis zu 100 % vom Jahresmittel ab, die stündlichen Werte weisen entsprechend noch höhere Abweichungen auf:

Abbildung 5-18: Stündliche (oben) und wöchentlich gemittelte (unten) Primärenergie-Konversionsfaktoren der historischen Electricity Maps Daten für Österreich



Unterschiede ergeben sich aus der unterschiedlichen Betrachtungsdauern, aber vor allem der Unterschiede in den Konversionsfaktoren und Zuordnungen zur OIB RL6.

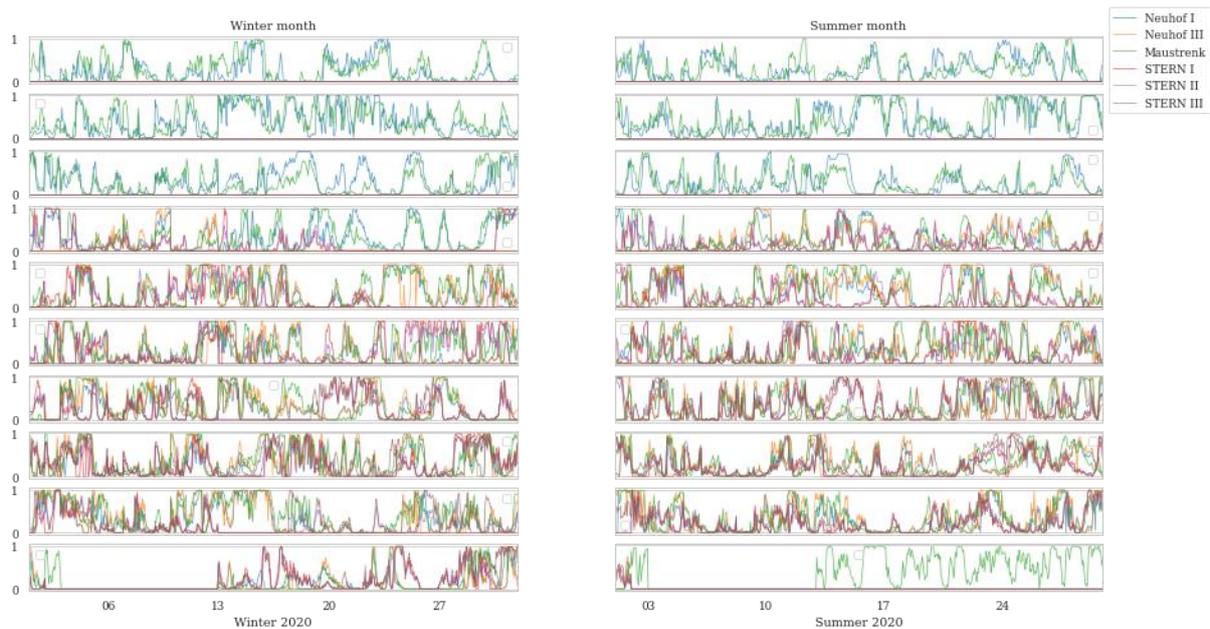
Aufgrund dieser Diskrepanzen in den verwendeten und resultierenden Primärenergie-Konversionsfaktoren wurden sie als Basis für Quartierssignale nicht weiterverfolgt und stattdessen andere Kennzahlen als Signalbasis für den Quartiersbetrieb herangezogen, die im Folgenden dargestellt sind.

5.2.3 Verfügbare Windkraft-Erzeugungprofile

Zur Untersuchung der bisher verwendeten Signale wurden auch folgende Windkraftanlagen einzeln betrachtet: Die Windparks Neuhof befinden sich bei Parndorf. Neuhof I ist 2003 in Betrieb gegangen, Neuhof I besteht aus 9 Stück V80 2 MW-Anlagen. Neuhof 2 ist 2005 in Betrieb gegangen, das sind 2x V90 2 MW-Anlagen. Neuhof III sind V112-Anlagen mit 3 MW. Maustrenk ist ein ziemlich freistehender Windpark im Weinviertel, bestehend aus 6x V90 2 MW. 2010 ist eine 7. Anlage dazugekommen.

Sternwind I II und III sind drei Ausbaustufen des Windparks Sternwald in Oberösterreich. Diese verhalten sich wesentlich anders als die Windparks in Ostösterreich.

Abbildung 5-19: Leistung der Windkraftanlagen 2020

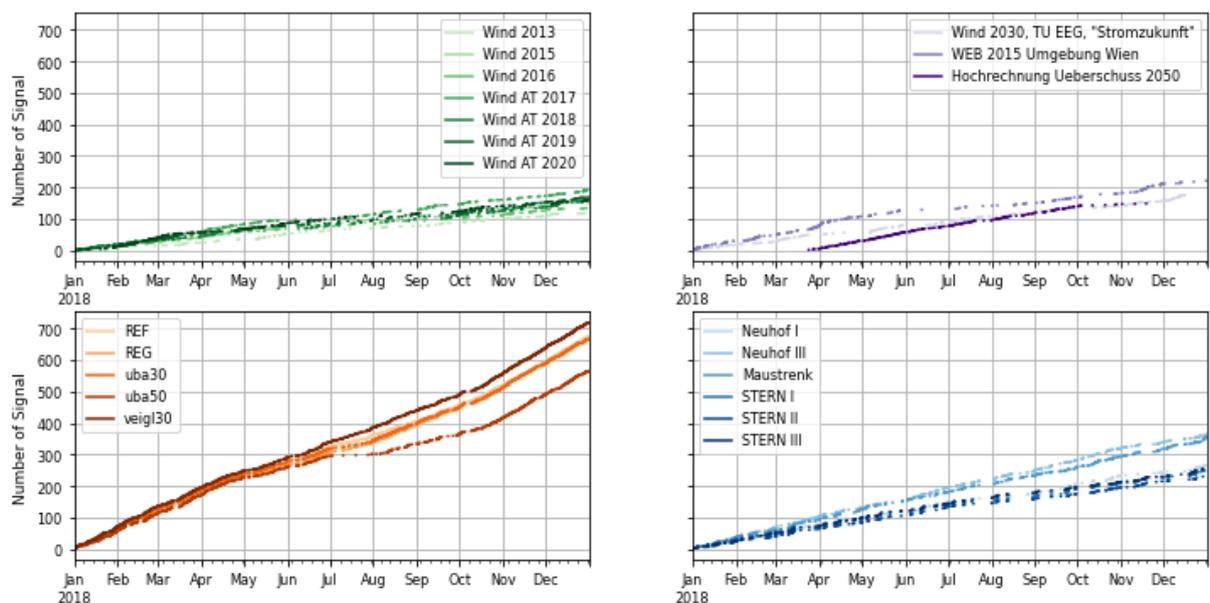


Die Untersuchung der Gleichzeitigkeiten wurde anhand joint recurrence Analyse durchgeführt und brachte keine nennenswerten Effekte, wie im Anhang zu sehen.

5.2.4 Proxy-Signale: Gesamtösterreichische (A) und standortspezifische (B) Windkraftleistung

Die folgenden Signale stellen „Proxy-Signale“ dar, deren Signal auf einer Näherung der tatsächlichen Zielgröße des Flexibilitätsbedarfs beruhen.

Abbildung 5-20: Kumulierte Anzahl an Signalen im Jahresverlauf für historische Windleistungen in Österreich (links oben), Referenzprofile aus der pyPSA Analyse (links unten), Windprognosen (rechts oben) und standortspezifische Windkraftleistungen (rechts unten)



In obiger Abbildung sind die Proxysignale im Jahresverlauf dargestellt, jeder Punkt stellt den Beginn eines neuen Freigabesignal-Abschnitts dar. Unten sind dieselben Signale als Carpet-Plots mit

Jahresverlauf auf der X-Achse und Tagesverlauf auf der Y-Achse, Zeiträume mit Freibasignal sind weiß dargestellt. Hierbei ist gut zu erkennen, dass Häufung, Länge und Muster der Freibasignal von der Art der Signalableitung abhängen. Die Proxy Signale der österreichischen Windkraft treten gehäuft im Winter und über längere Zeiträume auf. Eine lineare Hochrechnung der erneuerbaren Überschüsse 2050, die im folgenden Kapitel noch detailliert betrachtet werden, führt zu einer gänzlich anderen Situation:

Abbildung 5-21: Carpet-Plot der Freibaszeiträume von Proxy-Signalen aus historischen Windkraft-Schwellen

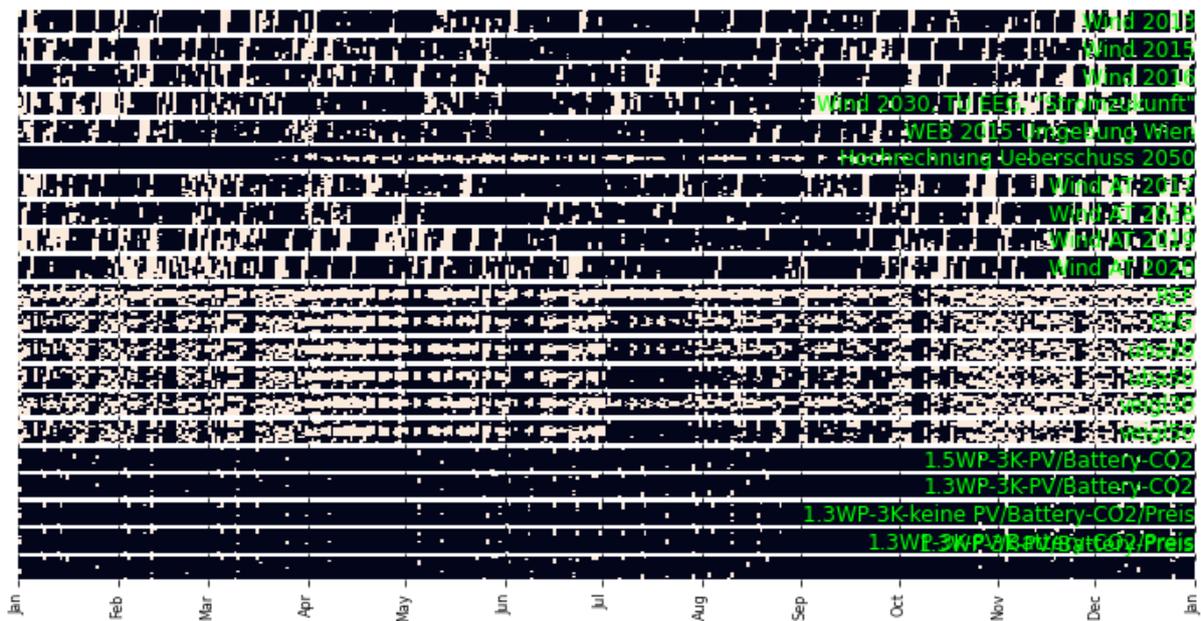
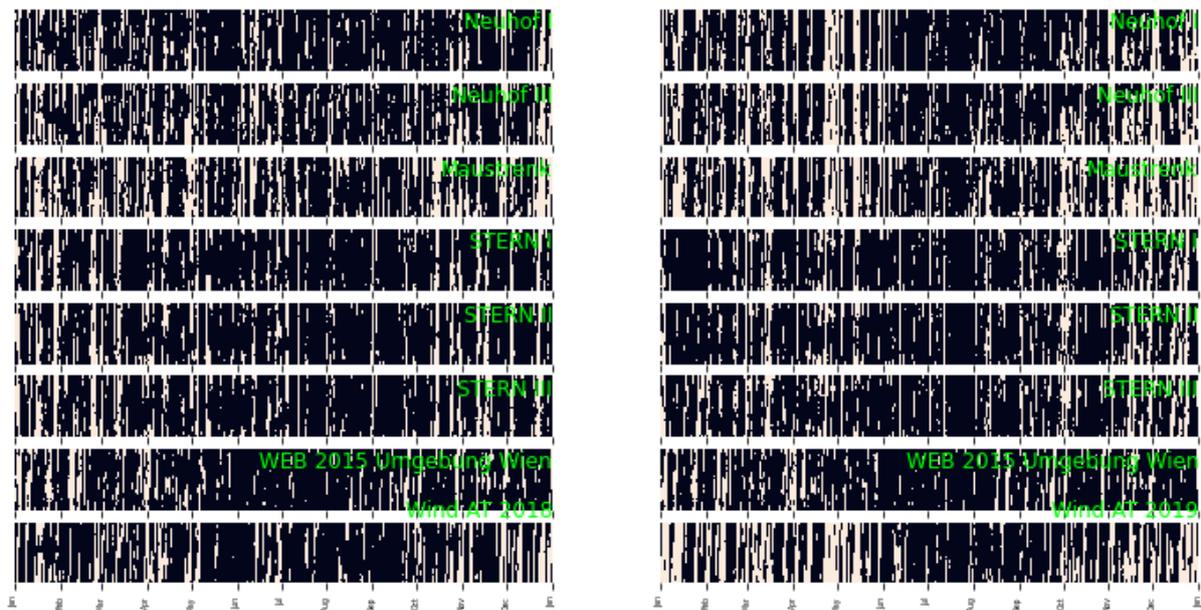


Abbildung 5-22: Carpet-Plot der Freibaszeiträume von Proxy-Signalen aus standortspezifischen Windkraft-Profilen im Vergleich 2018- und 2019

Heatmap Vergleich 2018-2019 (cut by 0.4)



Ein Vergleich der Freibaszeiträume zeigt mitunter ähnliche Muster und gewisse Gleichzeitigkeit. Diese besteht zwischen einzelnen Windparks unterschiedlichen Standorts und nationalen Summen

allerdings nur eine schwache direkte zeitliche Korrelation. Im Allgemeinen ist zu beobachten, dass standortspezifische Proxy-Signale etwas seltener und vor allem kürzer auftreten als aggregierte Windsignale. Proxy-Signale einzelner Windparks haben kürzere Freigabezeiträume von 4-6h und auch kürzere Abkühlzeiten dazwischen, die für gut gedämmte, schwere Quartiere nur eine Speicherung von 24h ermöglichen, sprich nur ein Temperaturband von ein bis max. 2K benötigen. Höhere Temperaturspreizungen führen dann nur noch zu einer höheren mittleren Speicher- und Raumtemperatur und einem höheren Energiebedarf. Vergleicht man die resultierenden Signale aus den Jahren 2014-2019 zeigt sich weder hinsichtlich Anzahl noch mittlerer Länge der Signale wesentliche Änderungen. Das legt nahe, dass die Auswahl eines bestimmten Ausgangsjahrs als Signalbasis für standortspezifische Proxysignale nicht ausschlaggebend ist.

In folgender Abbildung sind die Anteile der Signalzeiträume (links) sowie durchschnittliche Länge der Freigabesignale und deren Zwischenräumen (rechts) standortspezifischer Windkraftsignale dargestellt. Der Unterschied zwischen Sommer (oben) und Winter (unten) besteht vor allem in mehr Signalen im Winter, die durchschnittliche Länge bleibt dabei aber relativ konstant, stattdessen ist im Winter die Zeit zwischen Signalen deutlich kürzer, meist kürzer als ein Tag. Ein Vergleich mit den Carpet-Plots zeigt, dass es abseits dieser Mittelwerte allerdings eine große Anzahl deutlich längerer und kürzerer Zeiträume gibt.

Abbildung 5-23: Anteil der Signalzeiträume (links) sowie durchschnittliche Länge der Freigabesignale und deren Zwischenräumen (rechts) standortspezifischer Windkraftsignale im **Sommer**

April - Oktober (cut by 0.4)

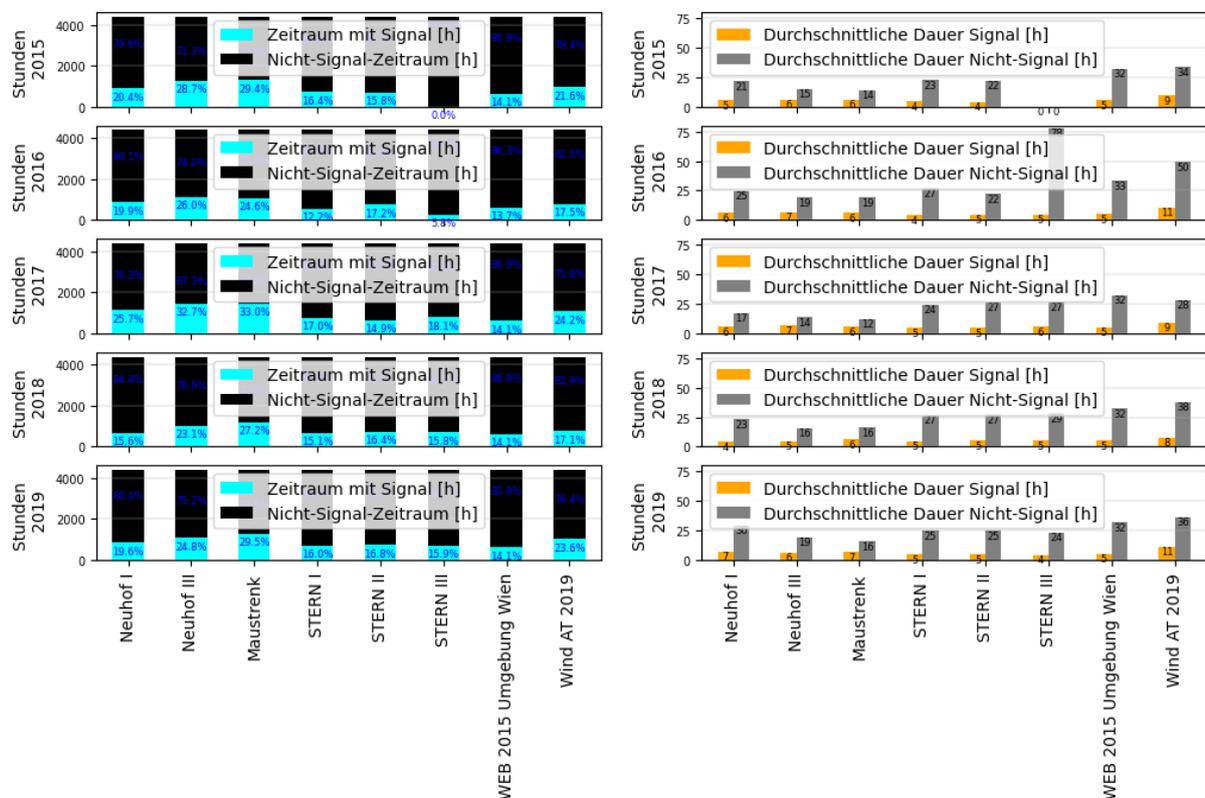
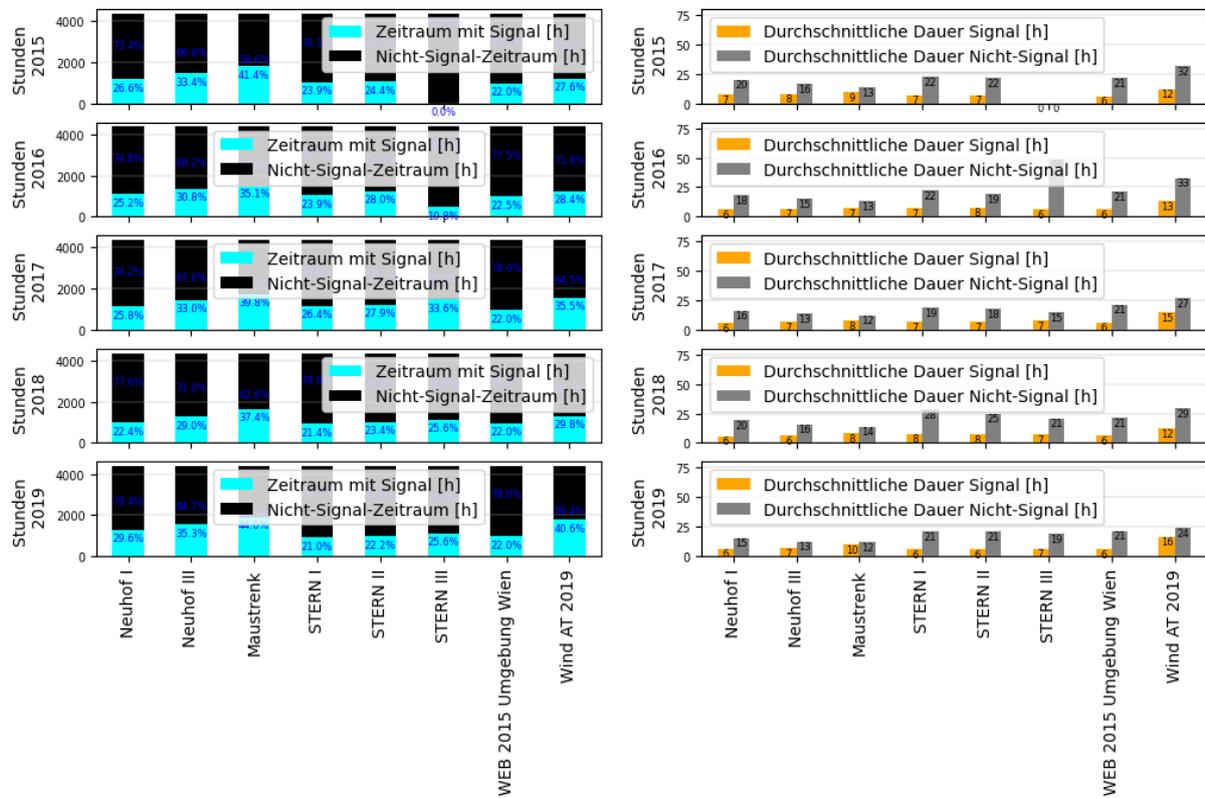


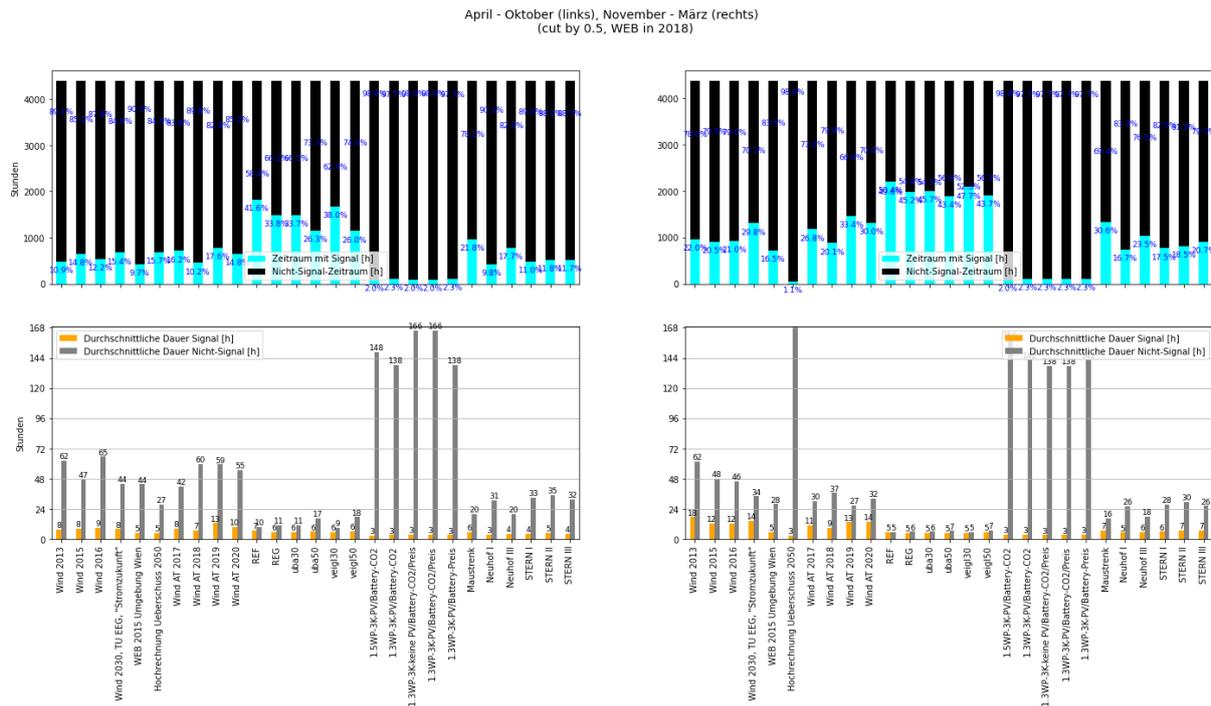
Abbildung 5-24: Anteil der Signalzeiträume (links) sowie durchschnittliche Länge der Freigabesignale und deren Zwischenräumen (rechts) standortspezifischer Windkraftsignale im Winter

November - März (cut by 0.4)



In folgender Darstellung ist der Anteil der Zeiträume mit Signal der durchschnittlichen Länge der Freigabesignale und deren Zwischenräumen unten gegenübergestellt, links für April-Oktober, und rechts für November – März. Hier sind die Unterschiede der verschiedenen Proxy-Signale, sowohl hinsichtlich Anzahl als auch Länge deutlich zu erkennen.

Abbildung 5-25: Anteil der Signalzeiträume (oben) sowie durchschnittliche Länge der Freigabesignale und deren Zwischenräumen



Betrachtet man die Anzahl und Länge der Signalzeiträume ergibt sich ein differenziertes Bild:

Proxy-Signale aus historischen Windprofile über einem Schwellenwert von 50 % der Nennleistung ergeben für die Sommermonate gute Signalcharakteristika für Quartiere mit hoher Speichermasse und thermischen Verlustwiderständen. In den Sommermonaten werden die Signale mit 12-14 h relativ lang für flexible Quartiersnutzung.

Ein Vorteil der Proxy-Signalbildung besteht darin, dass sie sehr einfach durchzuführen und auch hinsichtlich durchschnittlicher Signallänge gut kalibrierbar ist, indem ein passender Cut-off Schwellenwert verwendet wird.

Nachteilig bei dieser Vorgangsweise ist, dass es keine Möglichkeit gibt, diese Signale hinsichtlich ihrer zeitlichen Frequenz bzw. Häufung zu beeinflussen. Damit sind sie zwar für Quartiere zur Steuerung ggf. gut geeignet, sind aber nicht notwendigerweise repräsentativ für zugrundeliegende Flexibilitätsbedarfe.

5.2.5 Residuallastsignale

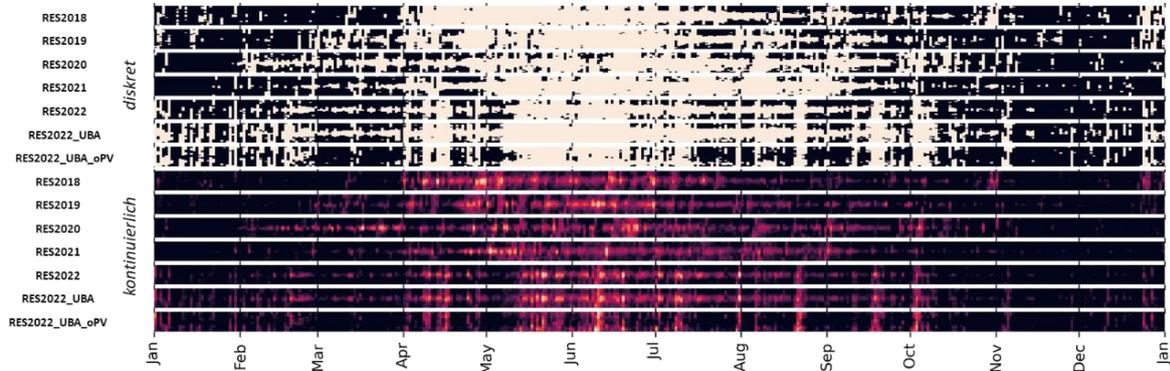
In einem ersten Schritt wurde die Residuallast durch lineare Skalierung der Energieflüsse auf die Jahressummen der Szenarien vorgenommen. Eine detaillierte Darstellung aller Residuallastzenarien ist im Anhang dargestellt.

5.2.5.1 Lineare Skalierung – Residuallast RES_{ERN}

Die Residuallastsignale RES_{ERN} aus skalierten Erzeugungs- und Verbrauchszeitreihen ergeben im Jahresverlauf betrachtet (unten) ein homogenes Bild. Sommermonate überwiegen, teilweise schon ab April überwiegen Freigabezeiträume. Die Mittagspeaks sind klar ersichtlich; im Vergleich der drei 2022-Signale ist auch die Rolle der Photovoltaik erkennbar: RES_{2022} enthält von Februar bis Oktober

beinahe eine konstante Überdeckung zu den Mittagsstunden. In RES2022_UBA werden diese Freigabezeiträume zu Mittag breiter und ohne PV (RES2022_UBA_oPV) sind keine Häufungen zu den Mittagsstunden zu sehen.

Abbildung 5-26: Carpet-Plot vereinfachter Residuallastsignale. Diskret und kontinuierlich



Für 2018 und 2019 sind die monatlichen Signal-zu-Nicht-Signal-Verhältnisse dargestellt. Ersichtlich ist erneut die starke saisonale Schwankung.

Abbildung 5-27: monatliche Verhältnisse Signal zu Nicht-Signalstunden und Überschussmengen

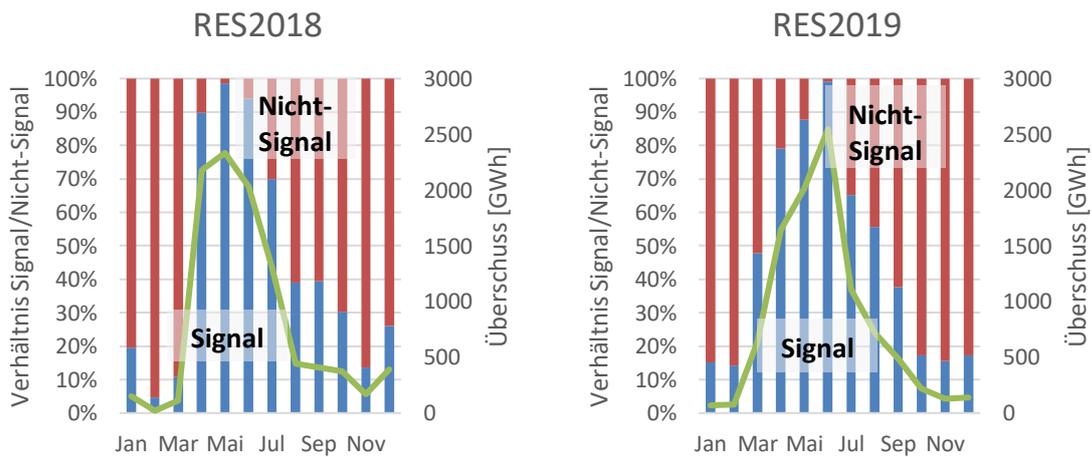
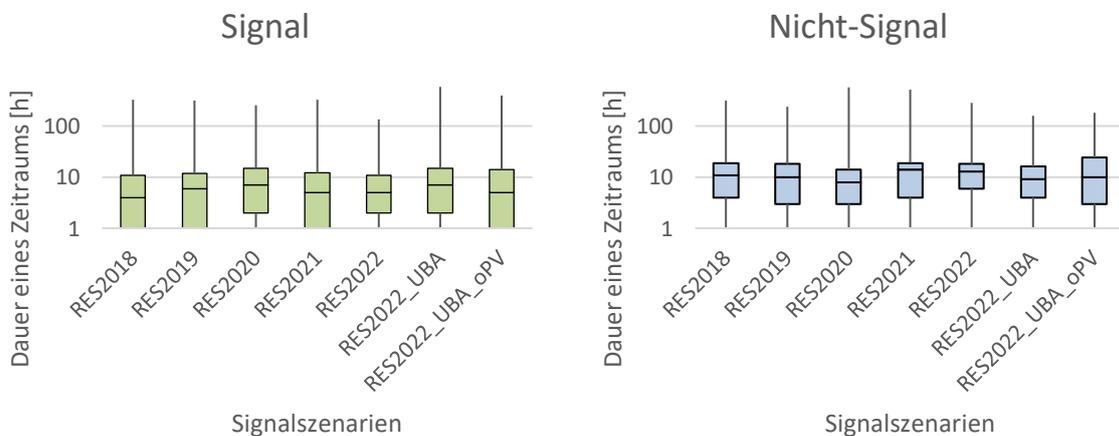


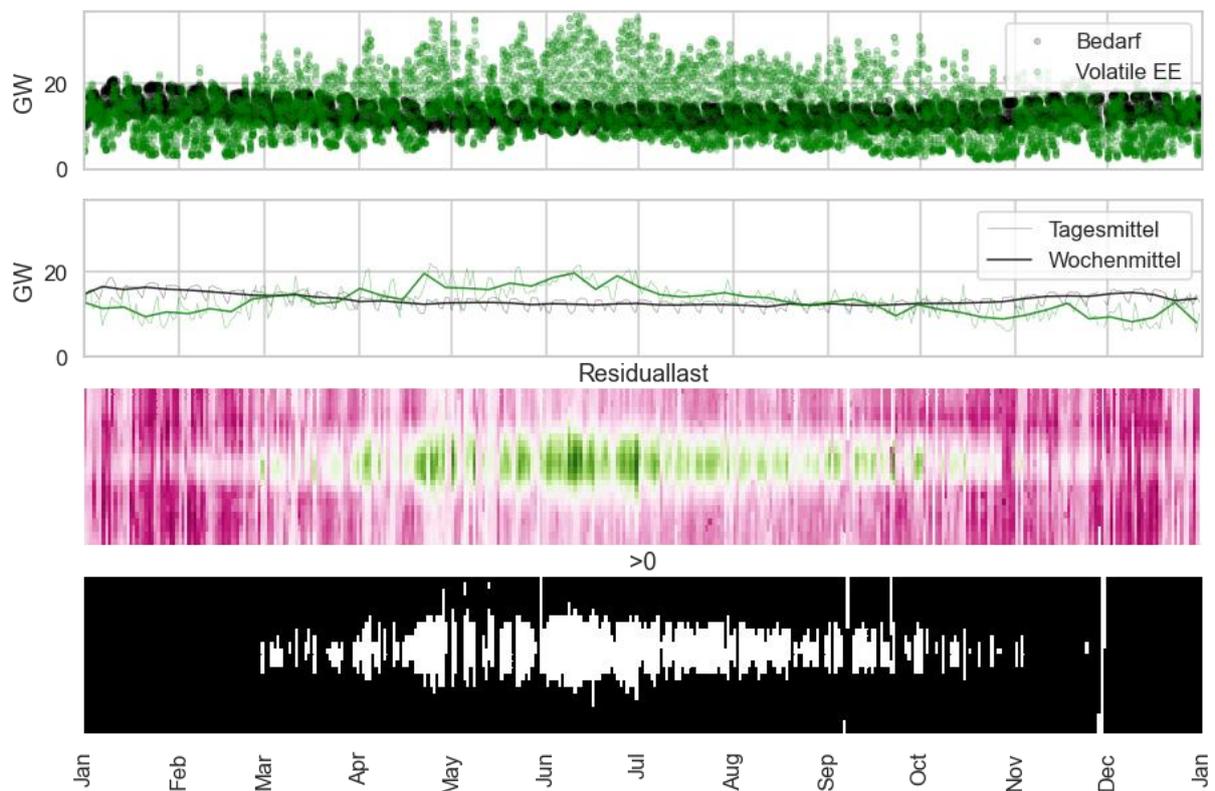
Abbildung 5-28: Box-Plot der Signal- und Nichtsignalzeiträume je Szenario (logarithmische Achsen)



5.2.5.2 Lineare Skalierung – Residuallast RES_{Vol}

Im Folgenden ist die Skalierung der historischen Daten aus 2019 auf das Jahresniveau des Flucco+ Szenarios „100 % Erneuerbare Deckung 2050 ohne Speicherausbau“ dargestellt. Die Darstellung zeigt zuerst den Vergleich zwischen Stromerzeugung aus volatilen erneuerbaren Quellen Wind, Wasserkraft und PV, sowie den Strombedarf jeweils stündlich und im Tages- und Monatsmittel. Darunter ist die resultierende Residuallast in GW und der Anteil positiver Werte als Carpet-Plot mit Tagen im Jahr auf der x-Achse und Tageszeiten auf der y-Achse dargestellt. Wie in fast allen Kombinationen aus Ausgangsjahren und Skalierungsszenarien zeigt sich ein leichter täglicher und stark saisonaler Trend, der aus dem starken, ungeglätteten Ausbau der Photovoltaik resultiert.

Abbildung 5-29: Beispielszenario auf Basis der Electricity Maps Maps Daten 2019



Die Unterschiede in der Ausgangsbasis sind in folgenden Darstellungen zu sehen. Die insgesamt Menge jedes Energieträgers ist nur vom Szenario abhängig und unabhängig von den jeweiligen Ausgangsjahren.

Das WEM 2030 Szenario weist nur einen leichten Ausbau der Windkraft und moderate Durchdringung mit PV auf. Es zeigt sich, dass die Charakteristik der Residuallast von einem saisonalen Trend geprägt ist, der aber schwächer im Vergleich zu den anderen Szenarien ausfällt. In diesem Jahr kommt es außerdem zu einem klar sichtbaren Signal in den Morgen- und Abendstunden. Im Vergleich der Jahre 2015 und 2018 und 2019 fällt auf, dass die Signalverteilung über die Jahre zunimmt, was darauf zurückgeführt werden kann, dass die größeren PV- und Windkapazitäten die Residuallastspitzen abflachen und über das Jahr besser verteilen. Dies ist sowohl an der zunehmenden Anzahl der Signale – von 189 im Jahr 2015 zu 301 und 267 im Jahr 2018, 2019 – als auch der abnehmenden Höhe der Residuallast insgesamt erkennbar.

Abbildung 5-30: Lineare Skalierung von Electricity Maps Maps 2015 auf Szenario „WEM 2030 (UBA2017)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge

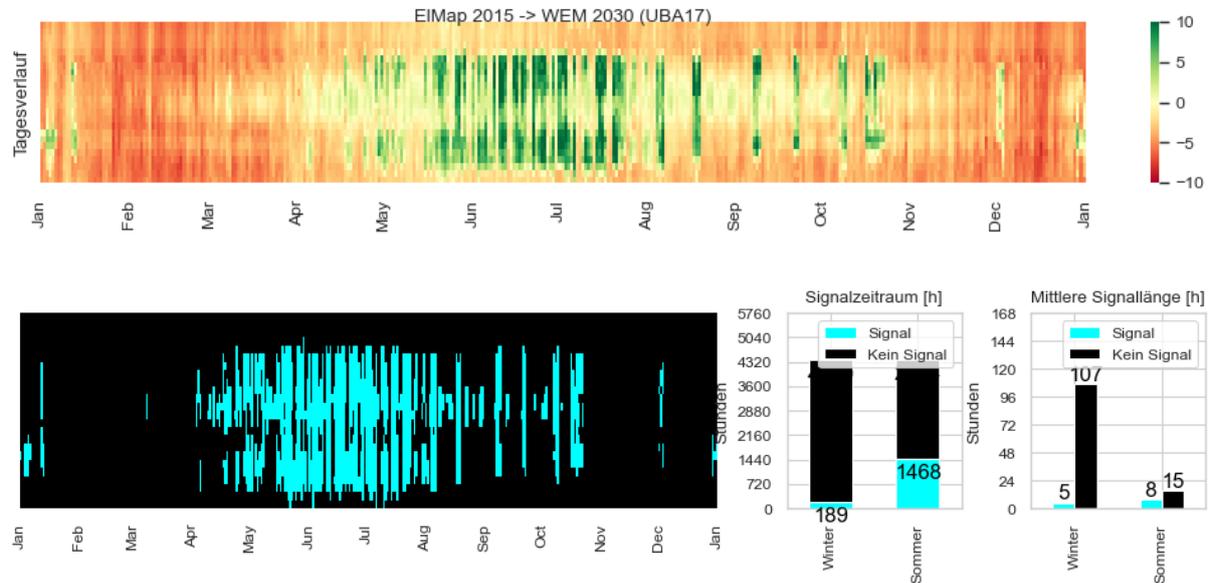


Abbildung 5-31: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2018 auf Szenario „WEM 2030 (UBA2017)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge

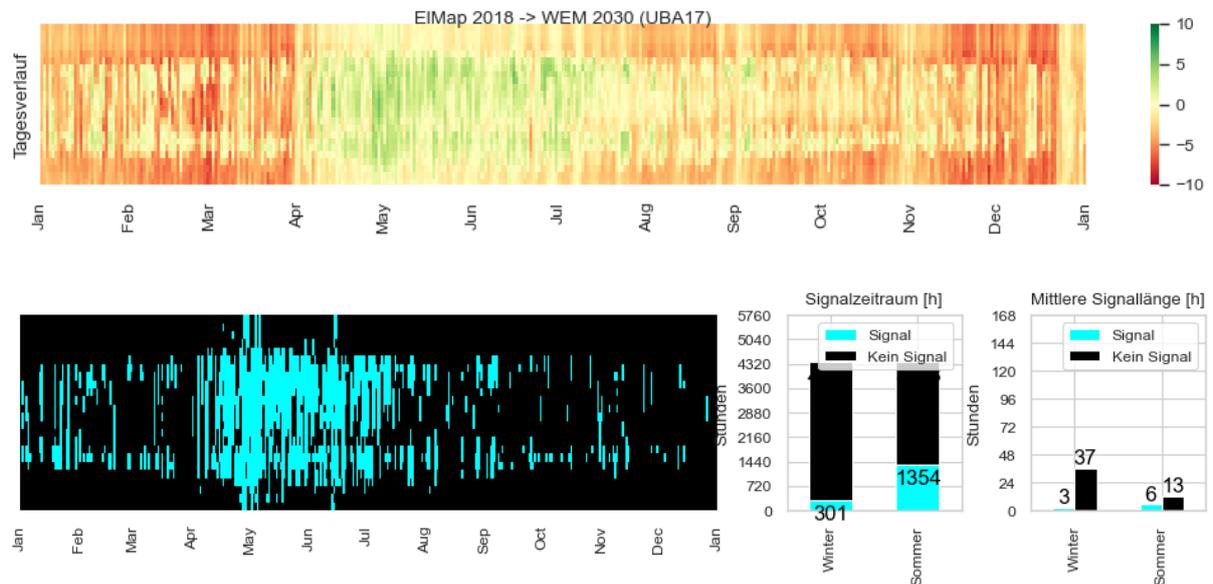
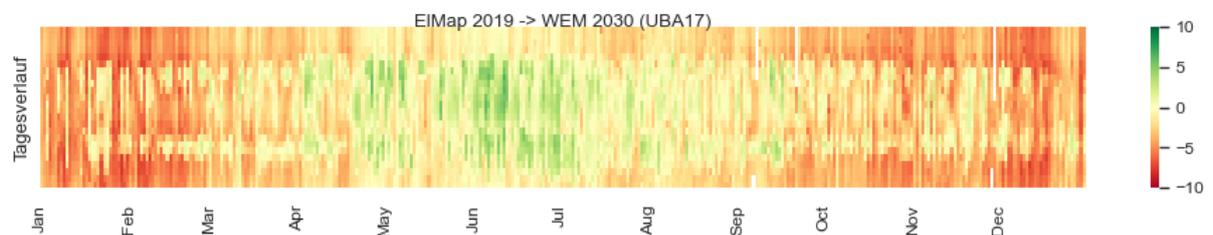
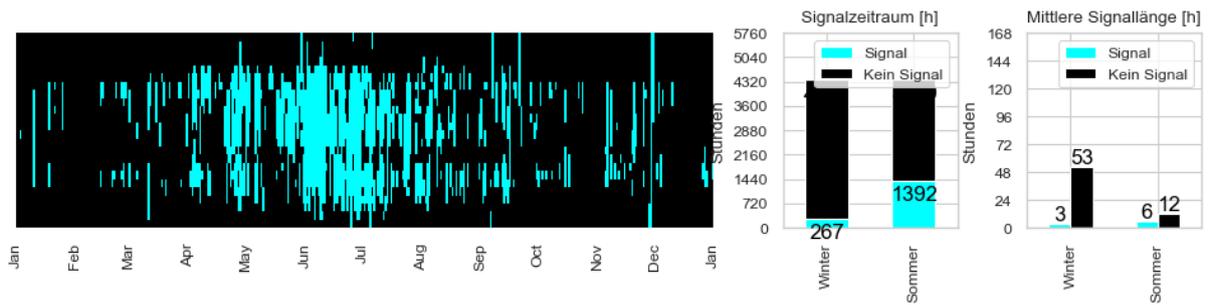


Abbildung 5-32: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2019 auf Szenario „WEM 2030 (UBA2017)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge





Im Unterschied zum Vorigen, stellt das unten dargestellte „100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (Flucco+)“ die höchsten Ausbauraten von Wind und PV dar, nämlich um einen Faktor Fünf bei Windkraft und Zwanzig für PV. Wie zu erkennen, kommt es dabei zu einer deutlich höheren positiven wie negativen Residuallast, die vom Tagesrhythmus der PV geprägt ist, die vor allem im Sommer dazu führt, dass die Hälfte der Zeit ein negatives Residuallastsignal vorliegen würde. Aber auch im Winter führt der stärkere Windausbau zu einer Zunahme an Signalzeiträumen. Die durchschnittliche Dauer der Signale fällt vor allem im Sommer mit den verfügbaren Sonnenstunden zusammen, die im Winter auch vereinzelt zu Signalen, wenn auch kürzeren führen.

Abbildung 5-33: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2015 auf Szenario „100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (FLUCCO+)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge

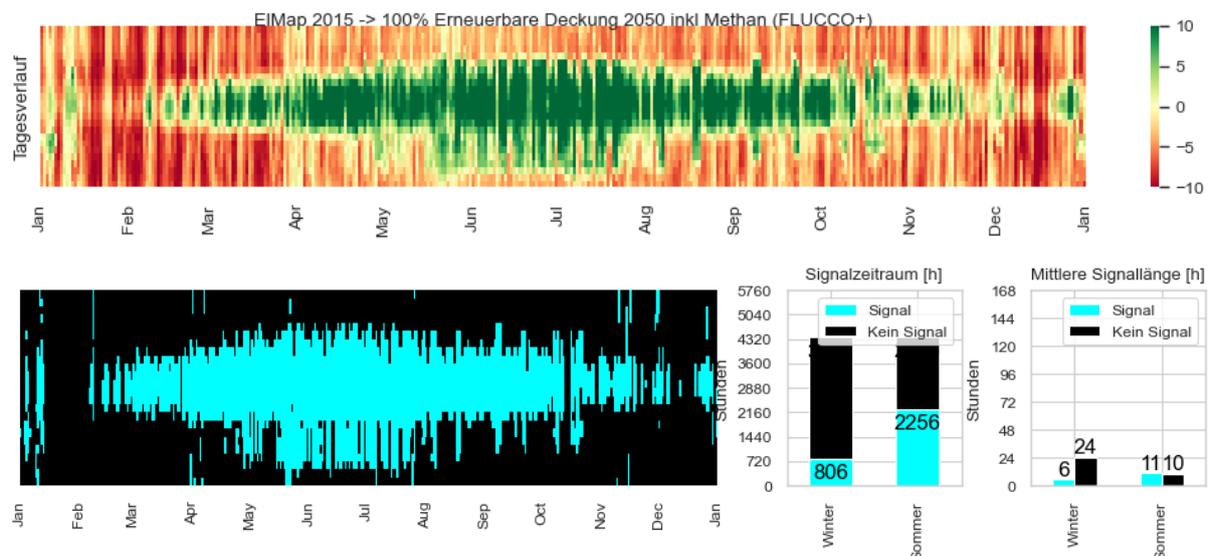


Abbildung 5-34: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2018 auf Szenario „100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (FLUCCO+)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge

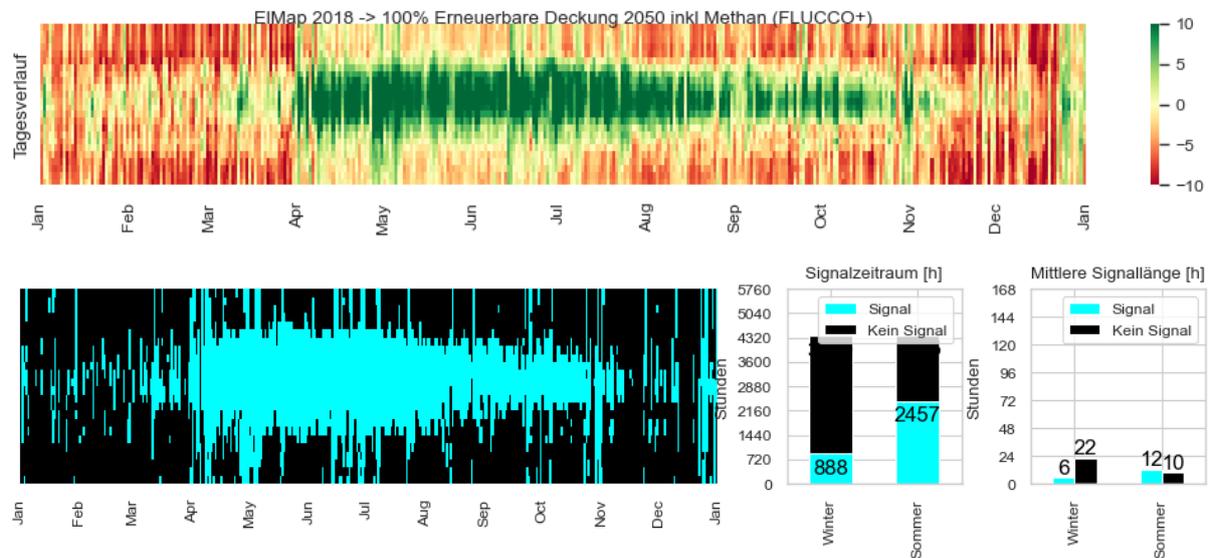
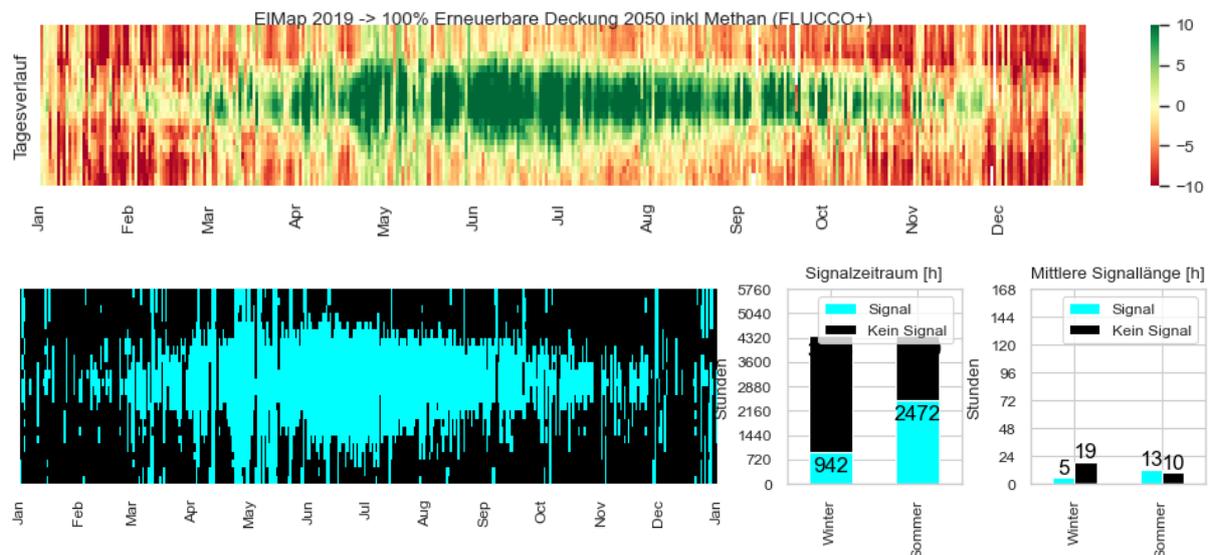


Abbildung 5-35: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2019 auf Szenario „100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (FLUCCO+)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge



5.2.5.3 Dynamische Skalierung – Residuallast RES_{VOL}

Für eine detailliertere Modellierung wurde eine Reihe von Szenarien mit folgenden Transformationen erstellt, um mögliche zukünftige Entwicklungen abzubilden.

Tabelle 5-8: Szenario Beschreibung

Szenario	Beschreibung
Szenario Jahressumme	'100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl Methan (Flucco+)'
Zeitreihenbasis	Electricity Maps 2019

Signal	RES _{VOL}
Transformationen	Beschreibung
tagesspeicher	<p>Hohe Durchdringung elektrischer Speicher und die Verwendung von DSM und flexiblen Lasten führen zu Lasterhöhung in den Mittagsstunden durch Speicherladung und relative Lastsenkung am Tagesende und in der Nacht.</p>
PV_ostwest	<p>Relative Verbreiterung des PV-Profiles in die Morgen- und Abendstunden aufgrund höherer Durchdringung mit Modulen mit Ost-West Ausrichtung niedrigerer Neigung. Dadurch relative Abflachung der Ertragsspitzen zu Mittag.</p>
saisonale_speicher3	<p>Saisonale Verschiebung der Last von Winter zu Sommermonaten (Methanisierung).</p>

Das linear skalierte Ausgangsszenario weist einen starken saisonalen Trend mit winterlicher Unterdeckung und sommerlichen PV-Spitzen auf.

Abbildung 5-36: Basisszenario mit linearer Skalierung der Zeitreihen aus 2019

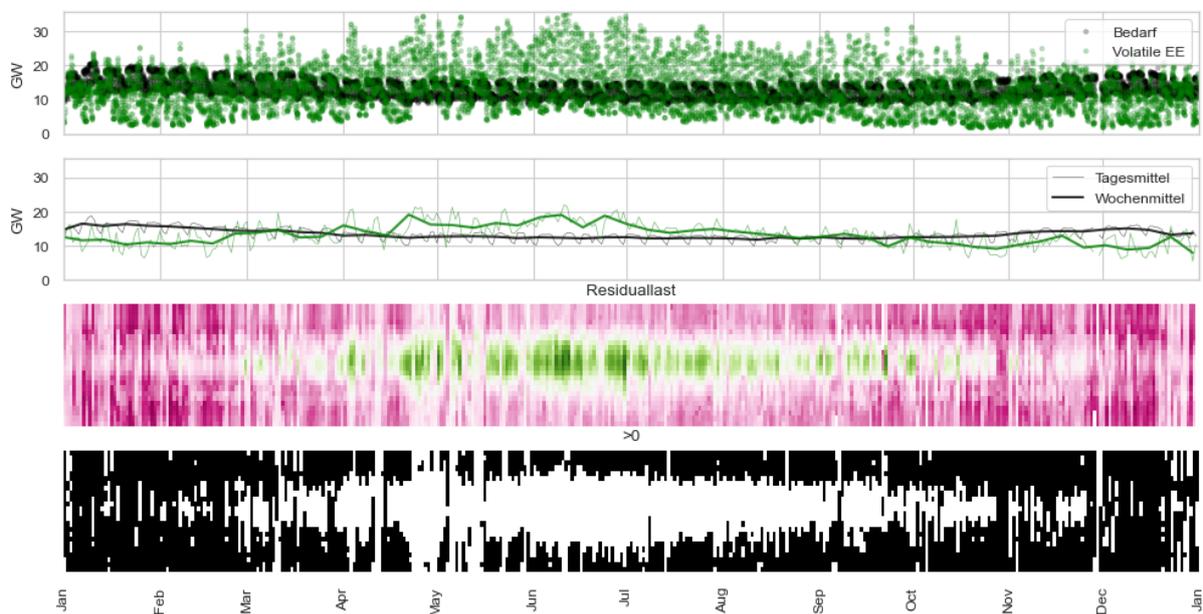
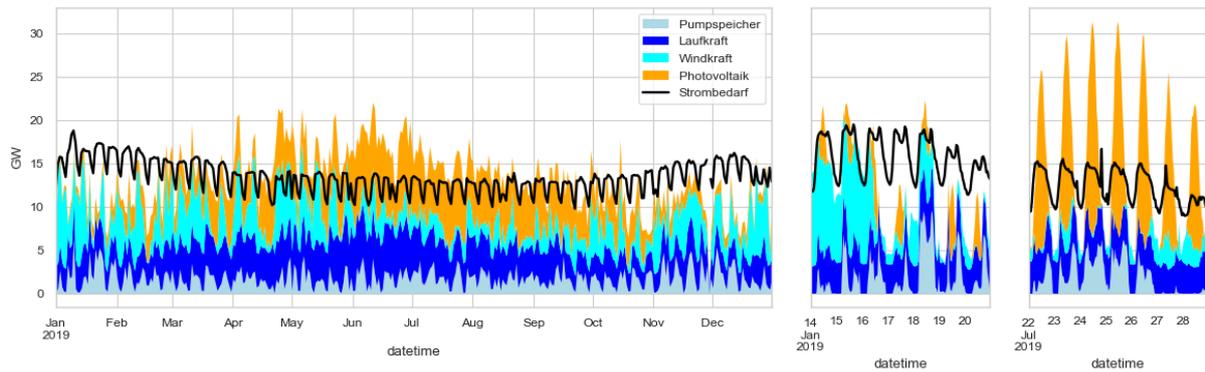
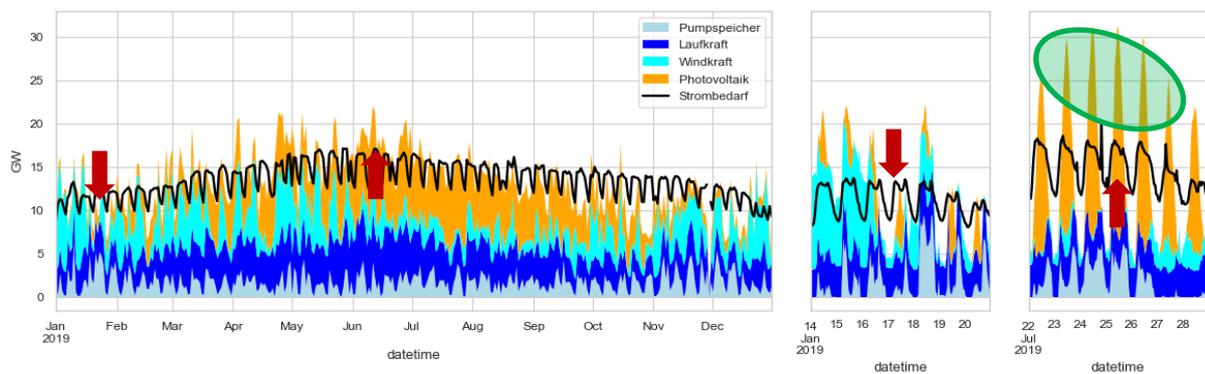


Abbildung 5-37: Stromverbrauch und Erzeugung im linearen Basisszenario



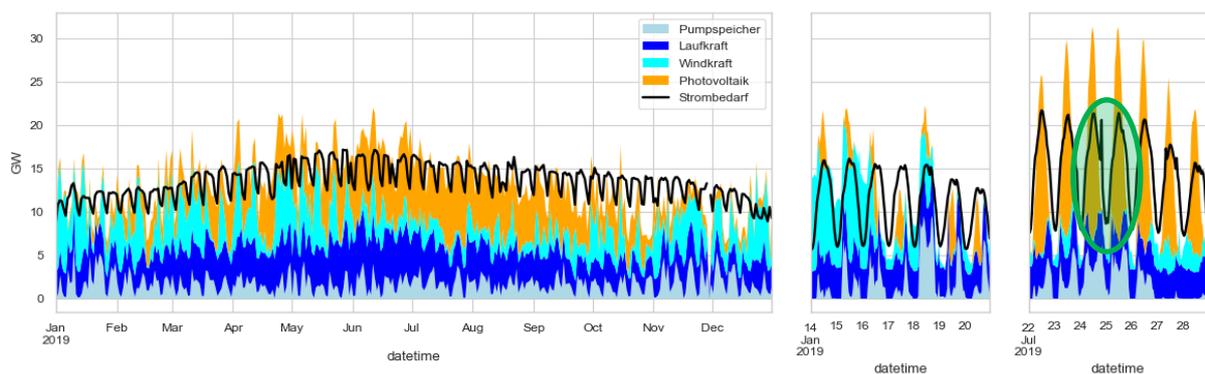
Die Anwendung der Transformation „Saisonaler Speicher“ führt zu einer deutlichen Verschiebung des Stromverbrauchs vom Winter in den Sommer bei gleichbleibender Jahressumme.

Abbildung 5-38: Transformation des Basisszenarios durch saisonale Umverteilung



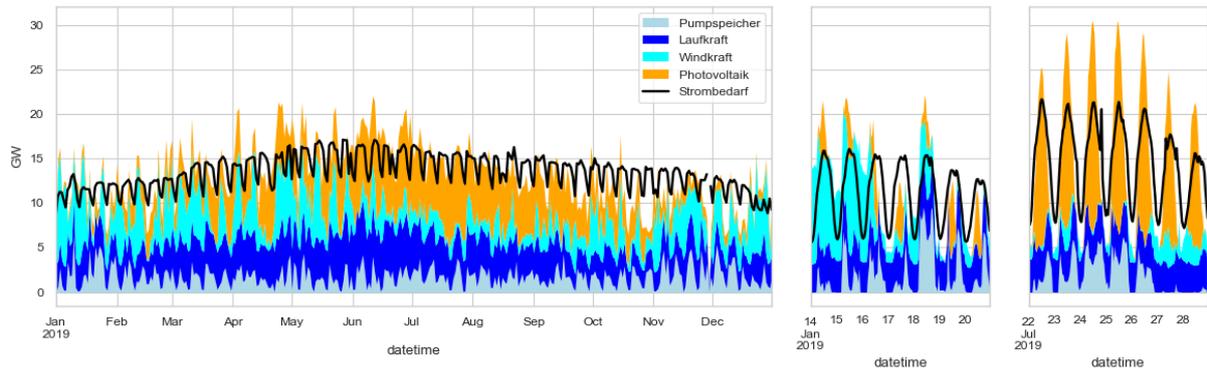
Nach der Anwendung der Tagesspeicher bessere Aufnahme der PV-Tagesspitzen:

Abbildung 5-39: Transformation des Basisszenarios durch saisonale Umverteilung und Anwendung von Tagesspeichern



Nach Anwendung der PV-Abflachung sind die PV-Spitzen nicht mehr so stark ausgeprägt und die Erträge in den Randzeiten etwas höher – in dieser Darstellung kaum sichtbar.

Abbildung 5-40: Transformation des Basisszenarios durch saisonale Umverteilung und Anwendung von Tagesspeichern und einer PV-Abflachung



Das resultierende Szenario nach diesen drei Transformationen ist folgendermaßen charakterisiert.

Abbildung 5-41: Resultierendes Szenario nach den obigen Transformationen, Szenario 100% Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (Flucco+)

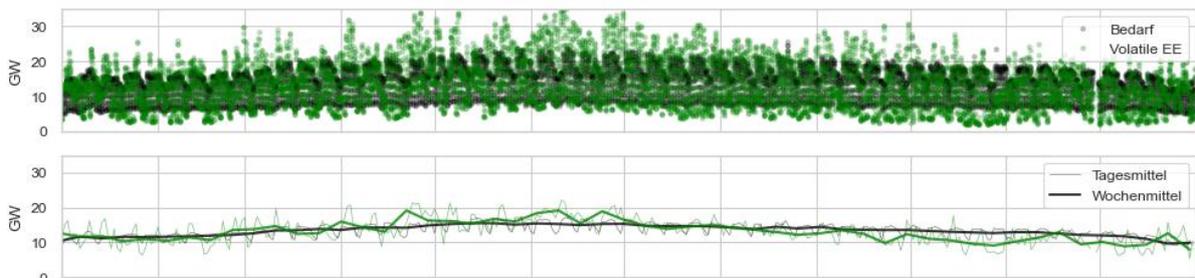


Abbildung 5-42: Residuallast RES_{VOL}

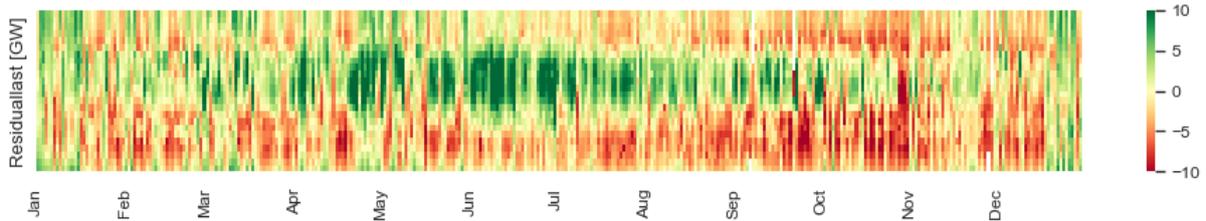
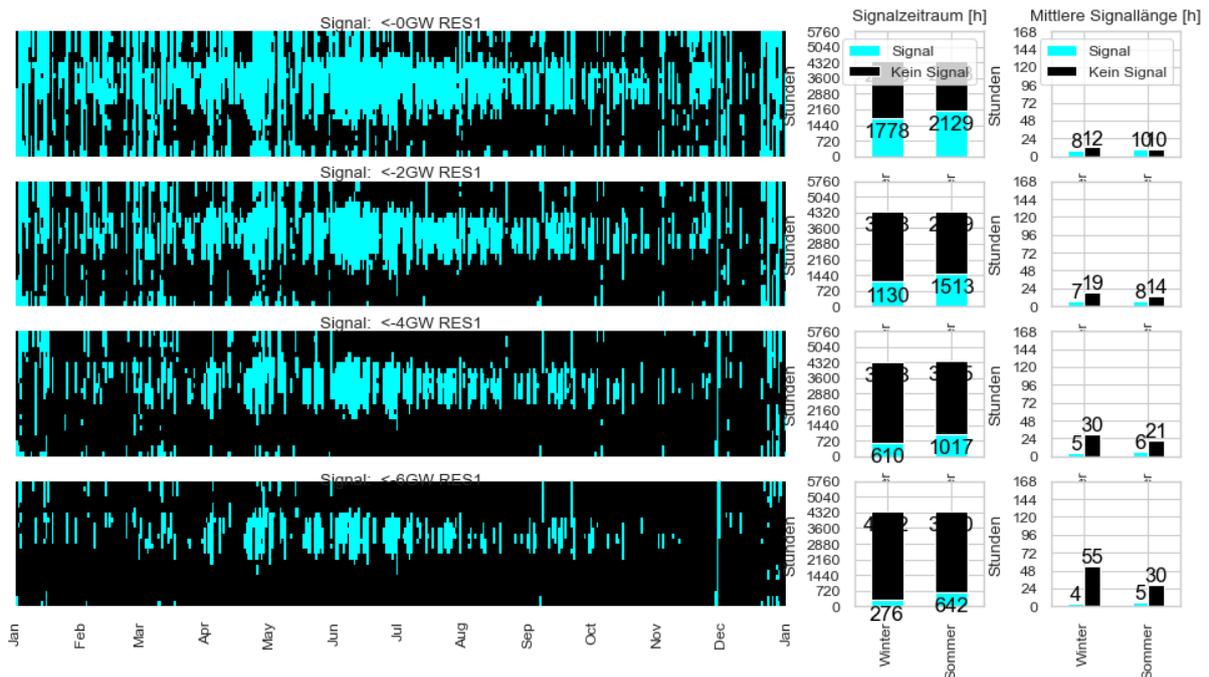


Abbildung 5-43: Diskretisierung des Residuallastsignals mit Schwellenwerten von 0 bis 6 GW



Die Diskretisierung des Residuallastsignals bei unterschiedlichen Schwellenwerten ermöglicht die Signalbildung in Abhängigkeit der Quartierscharakteristika hinsichtlich Aufheiz- und Abkühlzeiträumen, sprich der aktiven und passiven Speicher Be- und Entladezeiten. Das ist wichtig, weil damit unterschiedliche Quartiere auch zu unterschiedlichen Zeiten auf den Flexibilitätsbedarf des Netzes reagieren und Gleichzeitigkeiten geglättet werden können und die Wahrscheinlichkeit von Backfire-Situationen, in denen viele Verbraucher gleichzeitig Last abwerfen oder aufnehmen, weil sie dasselbe Signal verwenden, reduziert werden kann.

5.2.6 Windprognosedifferenz

Die Analyse der Windprognosedifferenz ergibt für die Jahre 2018 – 2021 folgendes Bild: Sie ist über das Jahr hindurch relativ gleichverteilt und kann damit sowohl für den Heiz- als auch Kühlfall herangezogen werden. Sie nimmt allerdings über die Jahre aufgrund verbesserter Prognosen zunehmend ab. Die Anzahl an Zeitpunkten mit positiver Prognosedifferenz, die als Signal interpretiert werden, kann durch die Verwendung eines höheren Schwellenwerts entsprechend auf die Regelzeiträume eines Quartiers eingestellt werden. Auf der anderen Seite sind die Zeiträume der Prognosedifferenzen mit ein bis drei Stunden als Median naturgemäß kurz und so nicht für alle Flexibilitätspotentiale optimal.

Abbildung 5-44: Carpet-Plot der Signalreihen „Windprognosedifferenz“. Diskret und kontinuierlich

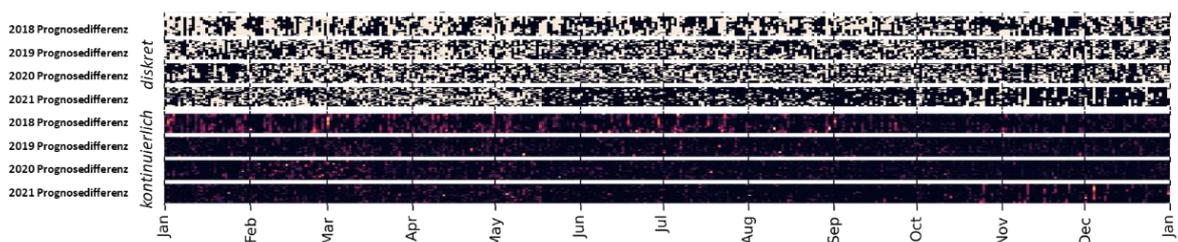


Abbildung 5-45: Das Verhältnis von Zeiträumen mit und ohne Signal in den Jahren 2018 – 2021, sowie der kumulierte Überschuss in diesen Zeiträumen nimmt ab

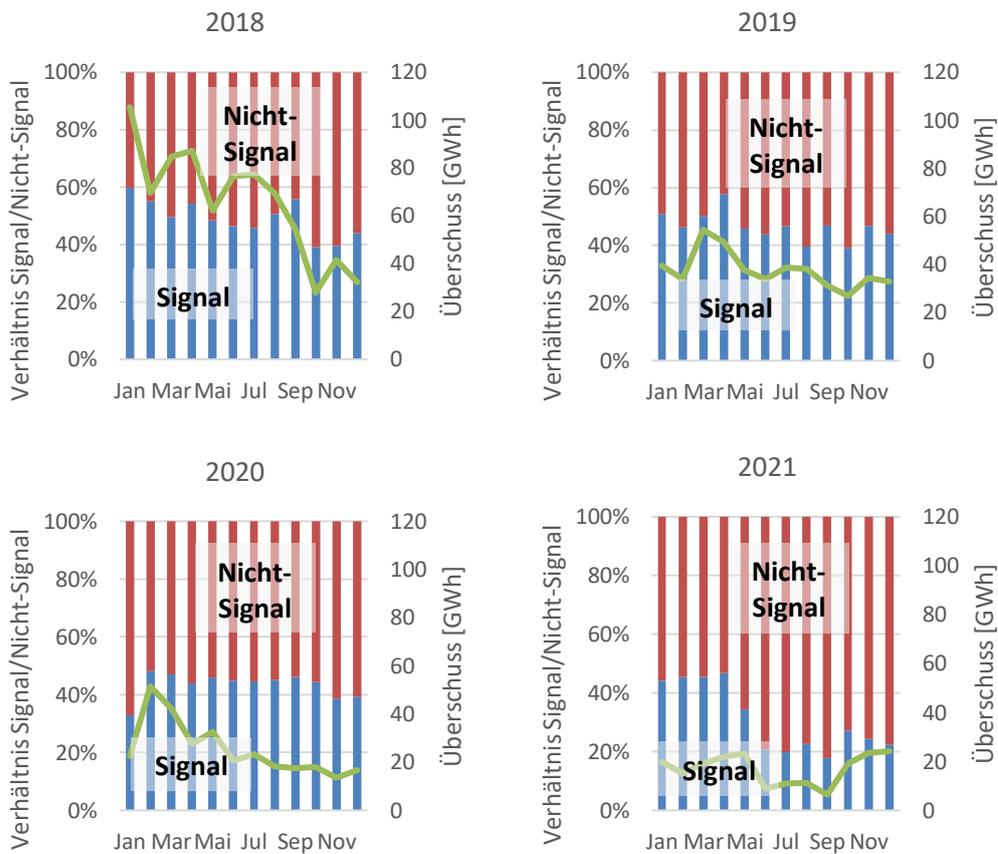
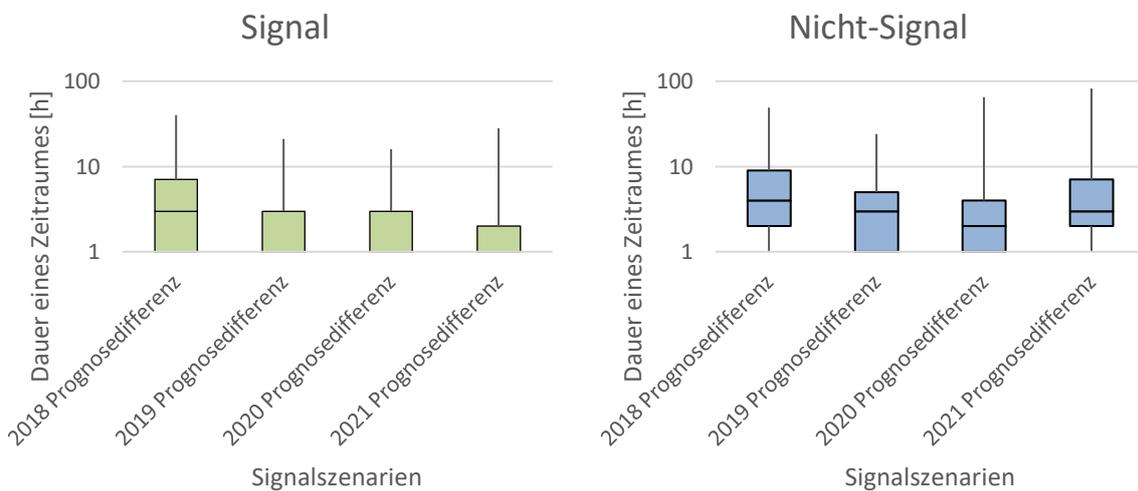


Abbildung 5-46: Box-Plot der Signal- und Nicht-Signalzeiträume je Szenario (logarithmische Achsen)



5.2.7 CO₂-Intensität der elektrischen Energieversorgung als Netzsignal

Die Korrelation zwischen der Residuallast und der CO₂-Intensität ist vorhanden, allerdings sind die Abweichungen gerade für höhere Residuallasten durchaus beachtlich (Abbildung 5-17).

Da die CO₂-Intensität stark saisonal schwankt und sich im Detail mehr aus energiewirtschaftlichen als aufgrund nachhaltiger Regelung ausprägt, ist eine Operationalisierung wie im Fall der Residuallast

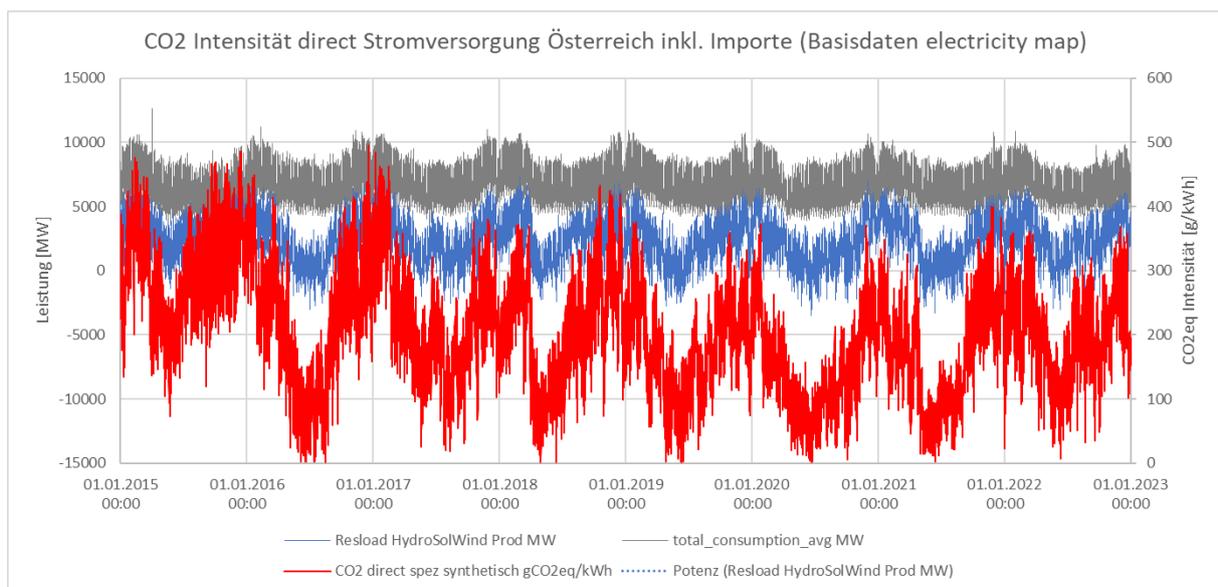
2040, die durch kurz- und mittelfristige Netzfrequenzen gekennzeichnet ist, nicht möglich. Es wird daher auf der Basis des allgemeinen Netzsignal-Modells von (Klein, 2016) für unterschiedliche Zeitintervalle die bestmögliche Allokation in Hinblick auf der Minimierung der CO₂ Emissionen vorgeschlagen.

Als CO₂-Signale sind historische, wie auch Szenarien in der Zukunft denkbar, wobei die Sinnhaftigkeit in einem dekarbonisierten Energiesystem 2050 endet. Solange die Stromerzeugung in Kohlekraftwerken, aber auch in kalorischen Kraftwerken mit Erdgas und Heizöl, bzw. Abfällen vor allem auch im Hochwinter in einer relevanten Größenordnung bleibt, macht die CO_{2,eq}-Intensität der elektrischen Stromversorgung als „Aufwandsfunktion“ Sinn und kann CO_{2,eq}-Emissionen reduzieren.

Für die Operationalisierung des Netzsignals werden die CO_{2,eq}-Kennwerte aus den Electricity Maps Daten verwendet. Allerdings werden mit den angegebenen Konversionsfaktoren, mit denen für die jeweiligen Energieträger die CO₂-Intensitäten berechnet werden, der Aufwand für die Herstellung der „Energieproduktionsanlagen“ herausgerechnet, d.h. es werden nur die direkten CO_{2,eq}-Emissionen herangezogen. Hintergrund ist der Fokus auf eine zeitliche Verschiebung über Stunden bis Wochen und keinesfalls die Bewertung, welcher Mix an Energieträgern in Zukunft installiert werden soll.

Es ergeben sich damit der in Abbildung 5-47 dargestellte Verlauf von 2015 bis 2022.

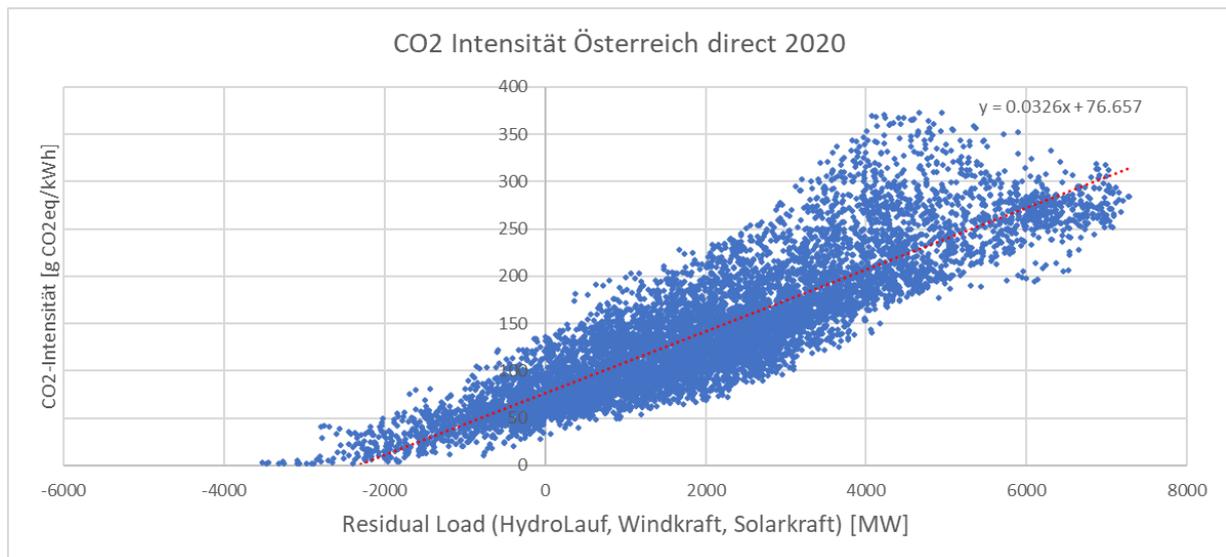
Abbildung 5-47: Darstellung CO₂-Intensität der in Österreich verbrauchten elektrischen Energie



Es ist eine klare Tendenz über die Jahre seit 2015 zu geringeren maximalen CO_{2,eq}-Intensitäten erkennbar. Deutlich wird, dass in allen Jahren im Sommer negative Residuallasten vorhanden sind, die CO₂-Intensität ist allerdings nur an wenigen Stunden des Sommers gleich Null.

Abbildung 5-48 zeigt für das Jahr 2020 den Zusammenhang zwischen CO₂-Intensität und Residuallast im Detail.

Abbildung 5-48: CO₂-Intensität für Österreich für das Jahr 2020, bezogen auf die verbrauchte elektrische Energie.



Gut ersichtlich ist, dass auch bei Residuallasten unter 0 MW die CO₂-Intensität bis zu 120 g/kWh erreichen kann. Dies liegt vermutlich daran, dass in den Electricity Maps Daten eine Bruttobilanzierung und keine Nettobilanzierung wie in OIB 2019 und 2023 erfolgt.

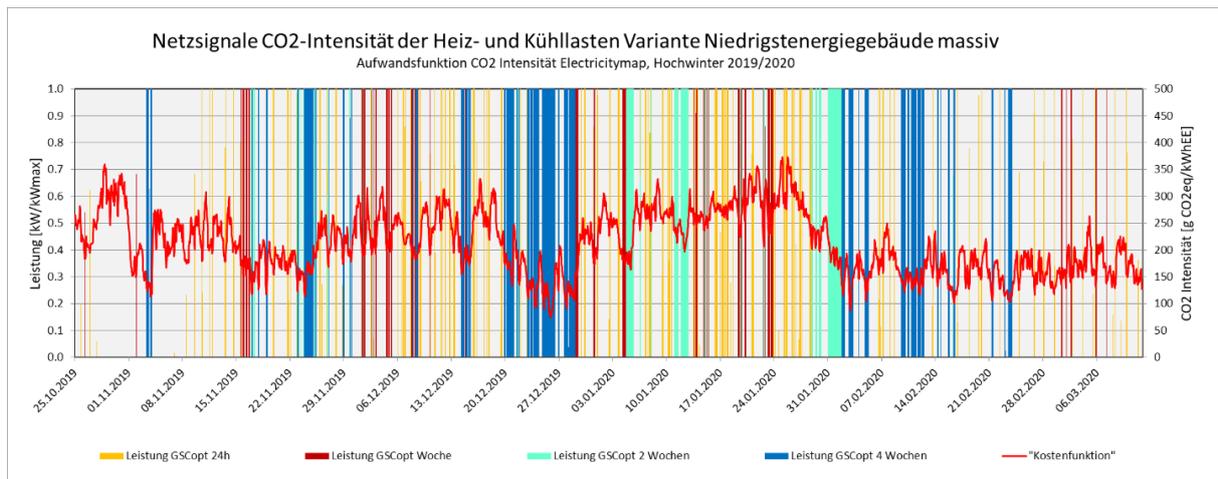
Anhand eines typischen Beispiels (Geometrie von Gebäude des Quartiers Werft Korneuburg) wird die Operationalisierung des CO₂-Netzsignal dargestellt. Zu den baulichen und gebäudetechnischen Rahmenbedingungen siehe das folgende Kapitel.

Ausgewählt wurden zwei Wärmeschutzstandards (Niedrigstenergiegebäude, typisches Bestandsgebäude). In einem ersten Schritt wurde der Nutzenergiebedarf mittels Simulation mit Standardbedingungen, bzw. Mindestsollwerten für alle Energiedienstleistungen berechnet. Diese Bedarfe wurden für vier Zeitintervalle

- 24 Stunden
- 1 Woche
- 2 Wochen
- 4 Wochen

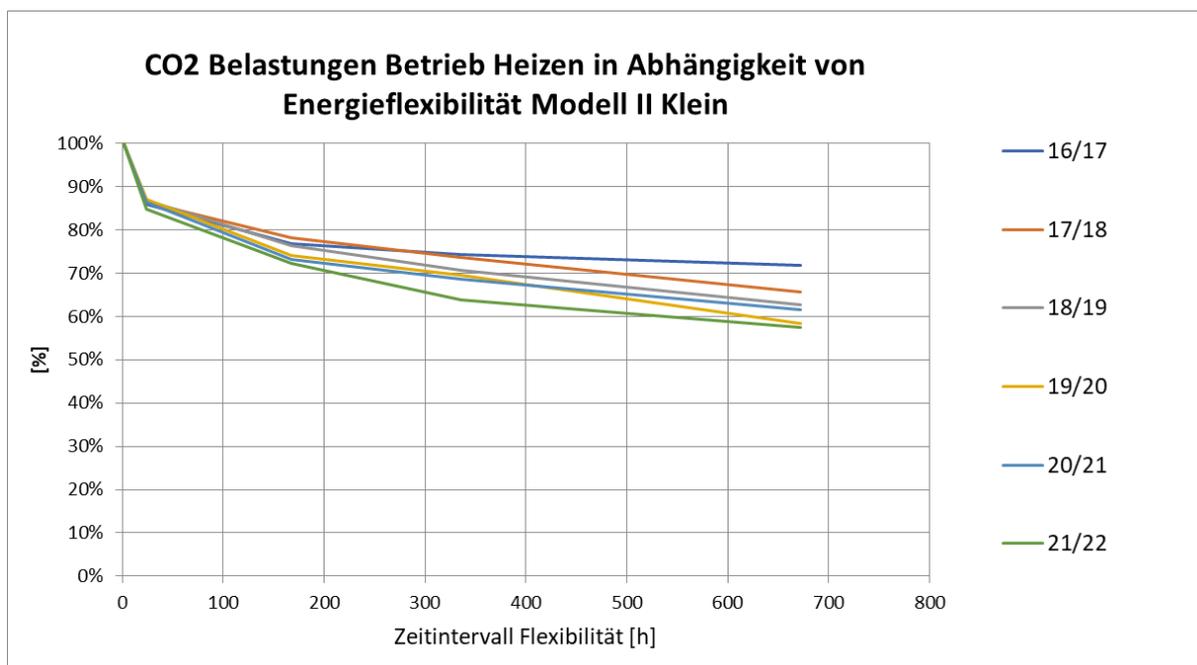
derart alloziert, dass die CO₂-Intensitäten in den jeweiligen Intervallen minimiert sind. Abbildung 5-49 zeigt die Auswertung für die Energiedienstleistung Heizen im Hochwinter.

Abbildung 5-49: Darstellung der Netzsignale für unterschiedliche Zeitintervalle für den Hochwinter 2019/2020. Hinweis: Die Signale höherer Intervalle überlappen teilweise diejenigen kürzerer Dauer



Für das Beispiel ergeben sich die Reduktionspotentiale wie in Abbildung 5-50 dargestellt.

Abbildung 5-50: Reduktion der CO₂-Emissionen durch energieflexiblen Betrieb der Heizung (Niedrigstenergiestandard).



Kommentar:

- Während die Netzdienlichkeit über 24 h kaum Unterschiede über die Jahre erkennen lassen, spaltet sich vor allem ab zwei Wochen Zeitintervall die Reduktionspotentiale auf bis zu 15 % auf.
- Insgesamt können im besten Fall 40 % der CO₂-Emissionen durch Energieflexibilität eingespart werden

Mit den Freigabesignalen kann das thermische Verhalten simuliert und der thermische Komfort bewertet werden.

5.2.8 Einfluss von Bauweise und thermisch aktiver Bauteilmasse auf die Verwertbarkeit von Netzdienstlichkeitssignalen

Ausgehend von einem Gebäude mit periodisch schwingender Innentemperatur kann die maximale Anzahl an Be- und Entladungen der thermisch aktiven Bauteilmasse ermittelt werden, die Aufschluss über das Verhältnis von gewünschtem Signal- zu Nichtsignal Zeiträumen gibt. Diese Verhältnisse weisen sowohl hinsichtlich der Qualität der thermischen Hülle, der Größe der thermisch aktiven Bauteilmasse (bzw. der Schwere der Konstruktion) als auch hinsichtlich der Betriebsmodi Heizen/Kühlen auch jahreszeitlich starke Unterschiede auf. Es ist daher sinnvoll, im Zuge der Signalsynthese entsprechende Mechanismen wie Cut-Offs je Heiz- und Kühlsaison durchzuführen, bzw. zusätzlich Unterschiede zwischen pauschaler Jahresregelung und saisonalen Regelungen zu betrachten: Signale werden dementsprechend angepasst bzw. beginnend bei den schlechtesten „stetigen“ Signalen wird gekürzt, bis das insgesamt gewünschte Verhältnis von Signal zu Nicht-Signal erreicht ist. Beispiel: Originalsignal 6.000/8.760 Stunden Signalzeitraum und Gebäude mit durchschnittlichem 1 zu 3 Verhältnis von Be- zu Entladezeiträumen. Das Signal wird um die 3.080 „geringsten“ Signale gekürzt, sodass ein jährliches Signal/Nichtsignal Verhältnis von 1/3 entsteht.

Tabelle 5-9: Cut-Off-Verhältnisse je Gebäudevariante

	Heiz- zu Nicht-Heiz-Stunden (Verhältnis)	Kühl- zu Nicht-Kühl-Stunden (Verhältnis)	Konditionierungs- zu Nicht-Konditionierungs-Stunden (Verhältnis)
OIB, leicht	0,53	0,30	0,49
OIB, mittel	0,44	0,21	0,38
OIB, schwer	0,47	0,26	0,43
PH, leicht	0,08	0,23	0,16
PH, mittel	0,07	0,21	0,14
PH, schwer	0,06	0,21	0,14

Abbildung 5-51: schematische Beschreibung der Cut-Off Methodik mit pauschalem (Jahres-)CutOff

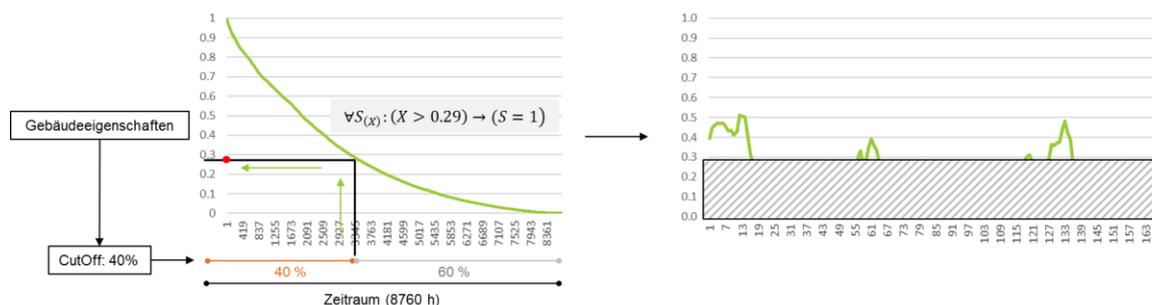
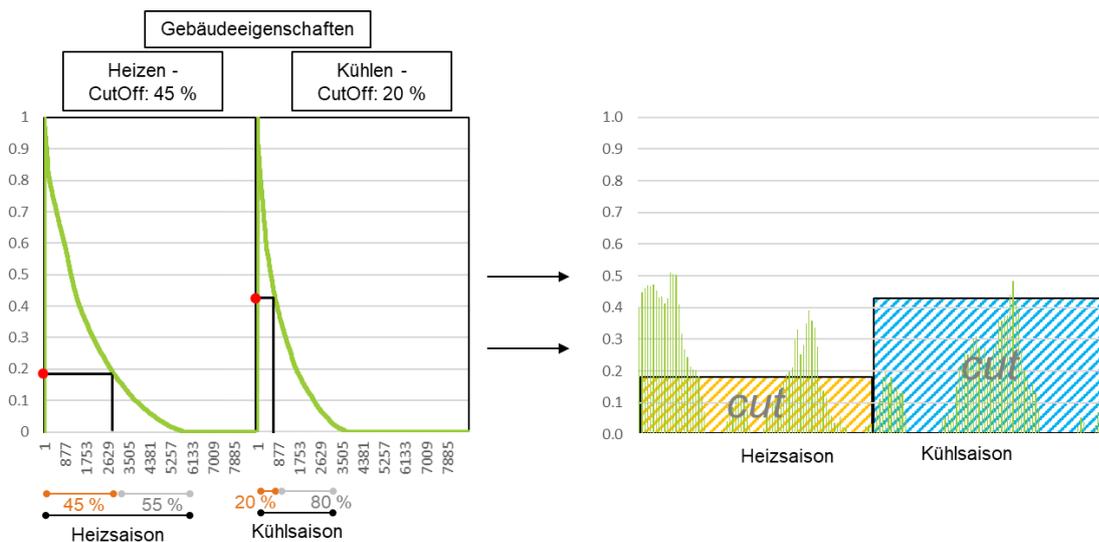


Abbildung 5-52: schematische Beschreibung der Signal-CutOffs in Abhängigkeit vom saisonalen Gebäudeverhalten



5.3 Diskussion

5.3.1 Mittlere Länge und Frequenz: Charakteristisch Signal-Eigenschaften

Es gibt nicht „das richtige Signal“, vielmehr sind Quartierspeicher und Signal in ihren Eigenschaften stark gekoppelt: Um ein Flexibilitätspotential bestmöglich auszunutzen, muss das Signal ähnliche Charakteristika aufweisen. Das heißt umgekehrt, dass in unterschiedlichen Quartieren die Verwendung unterschiedlicher Signale sinnvoll ist. Sowohl im Heiz- als auch im Kühlfall ist die Leistung und Dauer der maximalen Speicherbeladung durch die vorhandene aktive Heiz-/Kühlleistung bestimmt. Die Speicherentladung hingegen kann nur passiv durch Wärmeverluste erfolgen, die von der Qualität der thermischen Hülle und Speichermasse, und der Höhe der thermischen Verluste, abhängt. Das zeitliche Verhältnis zwischen aktivem Beladungs- und passivem Entladungsvorgang stellt die wesentlichste Eigenschaft eines thermischen Gebäudeenergiesystems bei der Nutzung externer Flexibilitätssignale dar.

5.3.2 Signalvergleich

Ein Vergleich der untersuchten Signale in folgender Tabelle zeigt, dass Proxy-Signale Windkraft zwar im Winter gute Eigenschaften aufweisen, aber im Sommer zu selten für einen energieflexiblen Betrieb auftreten. Geht man allerdings von einem Plusenergiequartier mit hoher lokaler PV-Leistung aus, so kann diese gegebenenfalls das verfügbare Flexibilitätspotential im Sommer ausschöpfen. Bei Linear skalierten Residuallastsignalen ist es umgekehrt: Sie bilden hauptsächlich die PV-Überproduktion ab und treten fast ausschließlich im Sommer und untertags auf.

Tabelle 5-10: Vergleich der untersuchten Signale

Signal	Signalanteil % (Signal:Nichtsignal Verhältnis)	Kalibrierbar mittels Schwellenwert?	Live- Verfügbarkeit
Proxy-Signal Windkraft AT Sommer	17-23 % (1:3-1:4) @ P>40 % 10-15 % (1:10 – 1:5) @ P>50 %	Ja	Ja

Proxy-Signal Windkraft AT Winter	27-40 % (1:1.5-1:3) @ P>40 % 20-30 % (1:2-1.4) @ P>50 %	Ja	Ja
Proxy-Signal Windkraft Einzelstandort	15-30 % (1:2-1:5) @ P>40 % 10-17 % (1:3.5-1:9) @ P>50 %	Ja	Ja
Proxy-Signal Windkraft Einzelstandort	25-40 % (1:1.5-1:3.5) @ P>40 % 17-30 % (1:2-3.5) @ P>50 %	Ja	Ja
RES _{ERN} linear Sommer	50-80 % (1:1 – 0.4:1)	Ja	Nein
RES _{ERN} linear Winter	5-8 % (1:10-1:20)	Ja	Nein
RES _{VOL} dynamisch Sommer	50 % (1:1) – 17 % (1:6)	Ja	Nein
RES _{VOL} dynamisch Winter	40 % (2:3) – 8 % (1:14)	Ja	Nein
Windprognosedifferenz	50 % (1:2 – 1:3)	Ja	Ja

Proxy-Signale aus historischen Windprofile über einem Schwellenwert von 50 % der Nennleistung ergeben für die Sommermonate gute Signalcharakteristika für Quartiere mit hoher Speichermasse und thermischen Verlustwiderständen. In den Sommermonaten werden die Signale mit 12-14 h relativ lang für flexible Quartiersnutzung. Ein Vorteil der Proxy-Signalbildung besteht darin, dass sie sehr einfach durchzuführen und auch hinsichtlich durchschnittlicher Signallänge gut kalibrierbar ist, indem ein passender Cut-off Schwellenwert verwendet wird.

Windprognosedifferenz-Signale sind über das Jahr hindurch relativ gleichverteilt und können damit sowohl für den Heiz- als auch Kühlfall herangezogen werden. Sie nehmen allerdings über die Jahre aufgrund verbesserter Prognosen zunehmend ab. Die Anzahl an Zeitpunkten mit positiver Prognosedifferenz, die als Signal interpretiert werden, kann durch die Verwendung eines höheren Schwellenwerts entsprechend auf die Regelzeiträume eines Quartiers eingestellt werden. Auf der anderen Seite sind die Zeiträume der Prognosedifferenzen mit ein bis drei Stunden als Median naturgemäß kurz und so nicht für alle Flexibilitätspotentiale optimal.

5.3.3 Zeitliche Auflösung

Aufgrund der schwierigen Datenlage und den begrenzten Methoden zur Modellierung zukünftiger Szenarien in zeitlicher Auflösung von zumindest 1-Stunden Intervallen wurde im von einer noch höheren Auflösung von Viertelstunden und darunter abgesehen. Dies auch vor dem Hintergrund, dass die Betriebsführung und vor allem die Modellierung von Plusenergiequartierssystemen im Allgemeinen höchstens stündlich erfolgt und eine höhere Signalauflösung, selbst wenn genauer, schwer nutzbar wäre.

5.3.4 Netzdienlichkeitssignale in der Zertifizierung von Plusenergiequartieren

Für die Verwendung netzdienlicher Quartiersregler und die Bewertung der dadurch verwendeten Energie ist ausschlaggebend, wie die so flexibel eingesetzte Energie bewertet wird. Da die Signalzeiträume von 5 % bis über 60 % aller Zeiten zwischen Signalen variieren, muss die Bewertung dies berücksichtigen. Wenn die in Signalzeiträumen bezogene Energie bewertungstechnisch einfach gratis ist, heißt das, dass die Länge der Signalzeiträume einen erheblichen Einfluss darauf haben, welche Quartiere davon profitieren können: Quartiere, die mehr Energie benötigen profitieren automatisch mehr von einer großen Anzahl an Signalen, während Quartiere mit viel Speichermasse

und hoher Flexibilität mit kürzeren und selteneren Signalen besser umgehen können, während Sie bei längeren und häufigen Signalen schnell keinen Regelgewinn mehr erzielen können.

Das heißt, wenn für alle Quartiere dasselbe diskrete Signal verwendet wird, spiegelt die Bewertung wider, wie gut die Speicher in diesen Zeitfenstern bewirtschaftet werden können, zufällig oder nicht. Gleichzeitig lässt sich daraus im Allgemeinen nicht schließen, wie flexibel das Quartier gehandelt hat, also wie viel seines Flexibilitätspotentials tatsächlich realisiert werden konnte.

Es handelt sich um zwei verbundene, aber doch unterschiedliche Optimierungsziele. Um sie zu verbinden, könnte für die Zertifizierung ein universelles, kontinuierliches Regelsignal zur Verfügung stehen, das je nach Quartierspotential so diskretisiert wird, dass ein für das Quartier angemessener Signalanteil resultiert. Gleichzeitig kann der Konversionsfaktor ebenso, aber umgekehrt proportional von der Diskretisierung abhängen: Bei einem diskreten Signalzeitraum von 40 % des Betrachtungszeitraums gibt es einen Diskont von 60 % des Konversionsfaktors, während bei kürzeren Signalen von 10 % zu diesen Zeiten ein Diskont von 90 % gewährt werden kann.

5.3.5 Korrelation der Windkraft-Proxy-Signale zur Emissionsintensität

In folgender Abbildung ist die Korrelation zwischen Emissionsintensität des Netzstroms (nur für Betrieb, ohne Emissionen für Errichtung und Erstellung der Anlagen) und der gesamtösterreichischen Windkraft-Leistung als „Proxy-Signale“, die derzeit für die Flexibilitätsbewertung von PEQs herangezogen werden, dargestellt. Die Abbildung zeigt Daten von 2018 oben, 2019, und 2020 in der untersten Reihe und ist von links nach rechts in Heizperiode, Übergangszeit, und Kühlperiode aufgeteilt. Die Boxplot Verteilung ganz links stellt dieselben Zeiträume aggregiert dar. Die Emissionsintensität ist ohne Errichtung der Anlagen, also nur für den Betrieb auf der X-Achse dargestellt, die Windkraftleistung in Österreich zu diesem Zeitpunkt auf der Y-Achse. Die Zusammenhänge lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

- Prinzipiell besteht eine negative Korrelation zwischen Windkraftleistung und Emissionsintensität des Netzstroms, dh. je höher die Windkraftleistung, desto niedriger die CO₂-Intensität des Netzstroms. Die Stärke des Zusammenhangs ist dabei allerdings stark vom betrachteten Kalenderjahr (Wetter) und der Jahreszeit abhängig. Insbesondere in der Übergangszeit schwächt sich die Korrelation ab.
- Die Emissionsintensität nimmt mit den Jahren ab, wobei auch die Korrelation mit der Windkraftleistung abnimmt. Ebenso nimmt die Streuung der Emissionsintensitäten über die Jahre ab.
- Die Korrelation ist höher bei niedrigeren Schwellenwerten von 40-50%, während bei einem Schwellenwert von 60% die Korrelation abnimmt, und sich im Kühl-Fall 2018 sogar umkehrt.

In Hinblick auf die Verwendung von Windkraft-Schwellenwerten aus dem Jahr 2020 als „Proxy-Signal“ für die flexible Regelung ergibt dies ein differenziertes Bild:

- Von einer uneingeschränkten Nutzung dieser Signale zu allen Jahreszeiten, also auch in der Übergangszeit und im Sommer ist aufgrund der wetterbedingten Streuung abzusehen
- Die Korrelation für den Heizfall ist über alle betrachteten Jahre bei einem Cut-Off von 50% am geringsten und kann dafür auch als „Proxy-Signal“ genutzt werden.

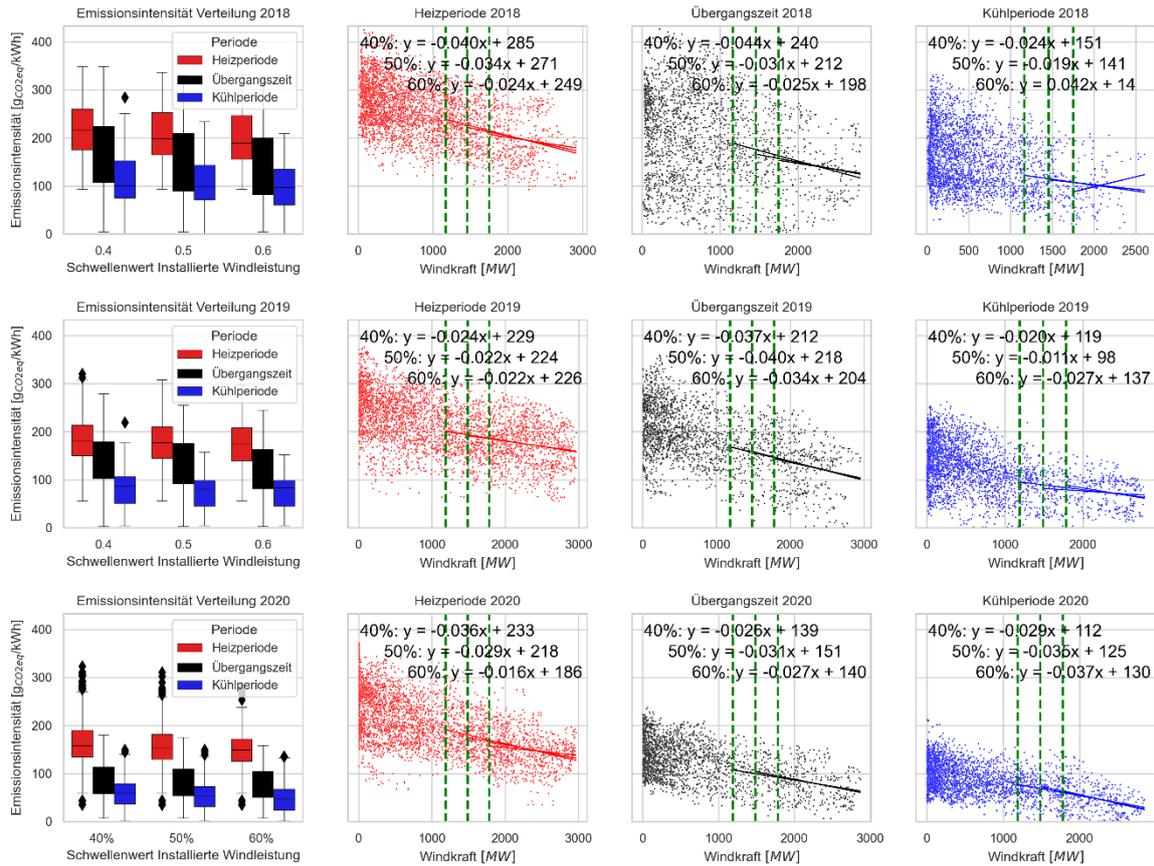


Abbildung 5-53 Korrelation zwischen Netzstrom Emissionsintensität (y) und gesamtösterreichischer Windkraft als „Proxy-Signal“ (x) aufgeteilt nach Heiz-, Kühlperiode und Übergangszeit, sowie die Jahre 2018, 2019 und 2020

6 Integration und Bewertung im Quartier

Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich mit der Integration von den im vorangegangenen Kapitel erarbeiteten betrachteten bzw. bewerteten Signalen und den Komfortmodellen in die Quartiersmodelle

Das vorliegende Kapitel fungiert als zentraler Ankerpunkt für die detaillierte Untersuchung im Bereich der energetischen Quartierssimulation. Im Fokus dieser Analyse steht die unmittelbare und dynamische Kopplung mit netzdienlichen Signalen und detaillierten Komfortmodellen, insbesondere im Kontext von CO₂-Reduktion und Lastverschiebung.

Ein strategischer Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt in seinem Beitrag zur strategischen Umsetzung von energieflexibleren Plusenergiequartieren. Dies geschieht insbesondere durch die Anwendung und Weiterentwicklung der in den vorangegangenen Abschnitten entwickelten Modelle.

Des Weiteren umfasst dieses Kapitel die praxisorientierte Anwendung der entwickelten Modelle zur Optimierung möglicher Energiekonzepte in den drei exemplarischen Quartieren. Der Fokus liegt dabei auf der Erreichung des Standards Plusenergiequartier und der CO₂-Neutralität. Eine umfassende Bewertung erfolgt nicht nur in Bezug auf energetische Aspekte, sondern auch im Hinblick auf den Komfort, die Integration von Systemsignalen und die Gestaltung der Gebäude und Gebäudetechnik. Diese ganzheitliche Bewertung bildet die Grundlage für eine fundierte Diskussion über die Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Umsetzung nachhaltiger Energielösungen in urbanen Kontexten.

6.1 Methoden und Inhalt

6.1.1 Parametrisierung

Zusätzlich zu den drei Beispielquartieren dienen zwei Referenzobjekte der anfänglichen Parametrisierung von optimierten Energiekonzepten. Diese Parameter unterteilen sich in technische, wirtschaftliche und nutzer:innenrelevante Parameter und werden qualitativ hinsichtlich des Vorhandenseins bewertet. Primär handelt es sich dabei folgende Parameter

- **Steuerbarkeit der Wärme- und Kältebereitstellungsanlagen**
bezeichnet die Anpassung der Haustechnikanlage an ein gewünschtes Steuersignal. Im vorliegenden Fall richtet sich die Relevanz besonders auf externe Steuersignale. Die Fähigkeit zur aktiven Steuerung einer Anlage ist die Grundvoraussetzung für einen flexiblen Betrieb.
- **Art des Wärmeabgabesystems**
In Blick auf den Komfort, aber auch die effektive Speicherkapazität der Gebäudemasse, hat das Wärmeabgabesystem (Heizkörper, Bauteilaktivierung, usw.) einen relevanten Einfluss. Die Eigenschaften der verschiedenen Wärmeabgabesysteme werden dokumentiert und entsprechend gewichtet.
- **Bauweise**
Mit der Bauweise soll auf die resultierende Wärmespeicherkapazität geschlossen werden. Unter anderem ist die effektive Wärmespeicherkapazität auch von der Art des Wärmeabgabesystems abhängig und besonders für die thermische Flexibilität relevant.

- **Komfort**

Auf Basis der beiden Parameter zuvor (Bauweise und Wärmeabgabesystem) wird eine qualitative Aussage über den Komfort getroffen. Hinsichtlich der Vergleichbarkeit werden die beiden Komfortparameter der Strahlungstemperatur bzw. der Strahlungsasymmetrie und der Luftgeschwindigkeit herangezogen, wobei Parameter wie der Grad der Aktivität oder Bekleidung als gleich angenommen.

6.1.2 Implementierung und Modellierung

Da diese Parameter Inhalt von optimierten Energiekonzepten sind, werden diese auf die Modellierbarkeit bzw. die Umsetzung dieser im dynamischen Simulationsmodell überprüft.

Die dynamische Simulation wird in der Gebäudenergiesimulations-Applikation TRNSYS einerseits und im entwickelten PEQ-Bewertungs- und Operationalisierungstool (folgend PEQ-Tool genannt; eine detailliertere Beschreibung der Methode findet sich im öffentlichen online-repository³) aufgebaut. Ersteres ist notwendig, um detaillierte Komfortbewertungen, zweiteres, um eine Vielzahl an Parametervariationen vorzunehmen.

Für die Modellierung der Simulation wird die Plus-Energie-Quartier Operationalisierung⁴ herangezogen, welche eine stündliche Auflösung aller beteiligten Energieflüsse bietet. Dabei wird ein thermisches Ein-Zonen-Modell abgebildet, welche folgende Systembestandteile in den definierten Systemgrenzen PEQ-Alpha und PEQ-Beta beinhaltet:

³https://github.com/simonschaluppe/FLUCCOplus/blob/main/notebooks/4.3.0_Transformation_test.ipynb
https://github.com/simonschaluppe/FLUCCOplus/blob/main/notebooks/4.3.0_Transformation.ipynb

⁴https://github.com/simonschaluppe/FLUCCOplus/blob/main/notebooks/4.3.0_Transformation_test.ipynb
https://github.com/simonschaluppe/FLUCCOplus/blob/main/notebooks/4.3.0_Transformation.ipynb

Abbildung 6-1: PEQ-Alpha Simulationsmodell des Operationalisierungstools

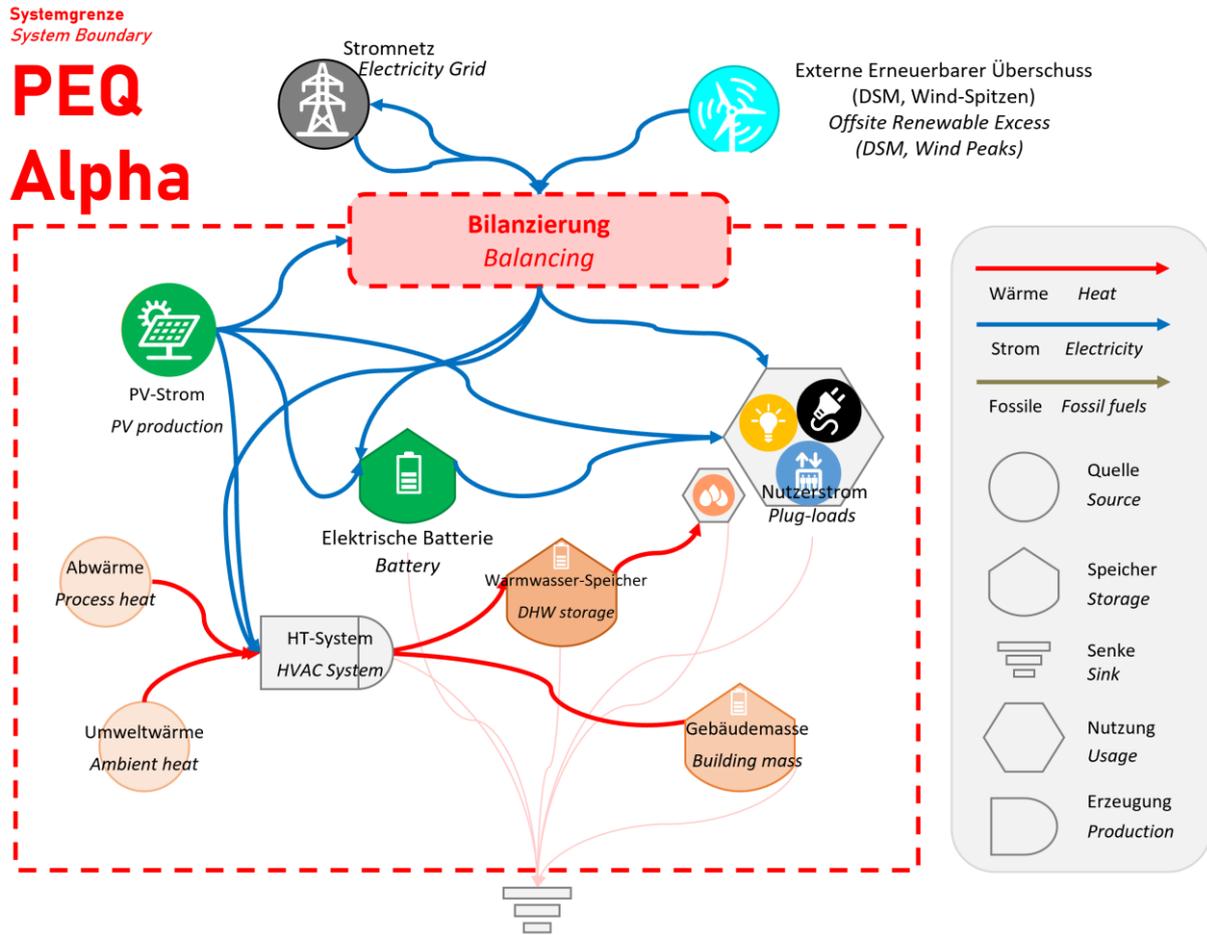
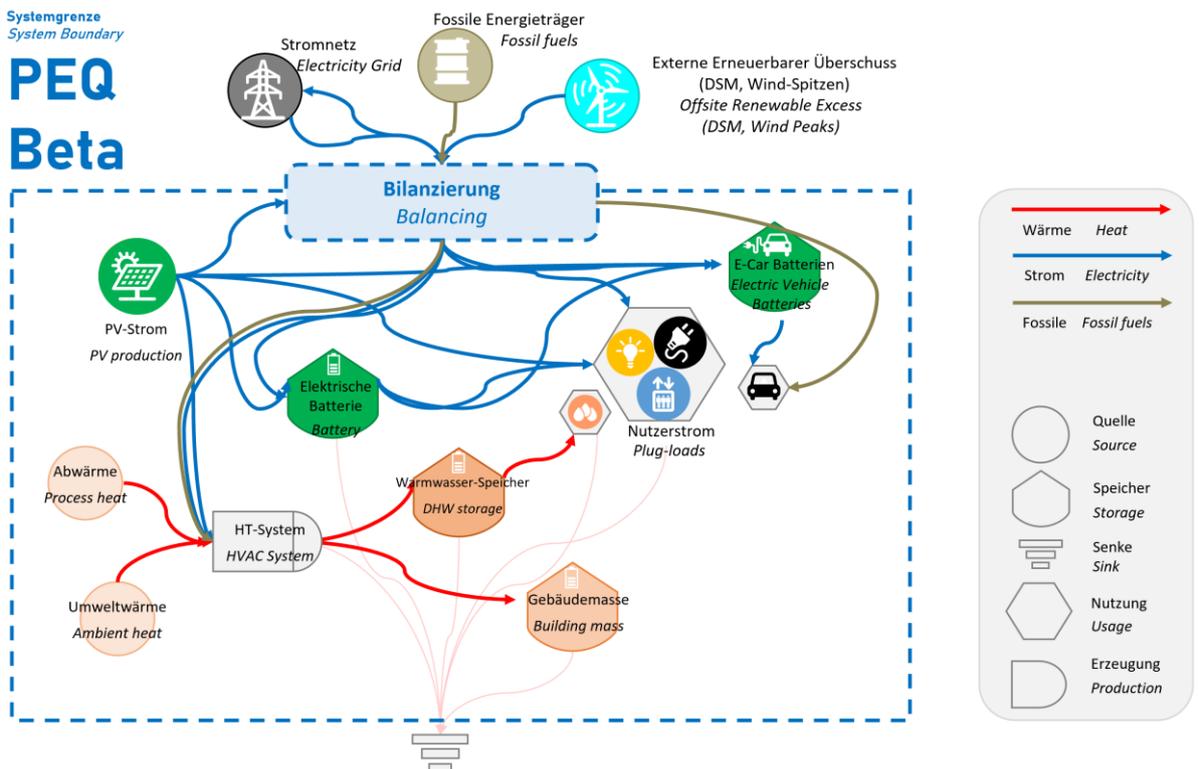


Abbildung 6-2: PEQ-Beta Simulationsmodell des Operationalisierungstools



Folgend werden die für die vorliegende Modellierung notwendige bzw. wesentliche Inhalte daraus hervorgehoben.

6.1.2.1 Notwendige Quartiersinformationen

Für den Nachweis sind im Wesentlichen sämtliche Daten erforderlich, die zur umfassenden Darstellung des Quartiers im PEQ-Operationalisierungstool notwendig sind. Hierbei handelt es sich insbesondere um folgende projektspezifische Informationen:

- Bruttogrundflächen pro Nutzungstyp (Wohnen, Büro, Kindergarten, Schule, Handel Food, Handel Non-Food)
- Grundstücksgröße
- Verhältnis Nettogrundfläche zu Bruttogrundfläche (NGF/BGF)
- Bauteilflächen der thermischen Hülle, unterteilt nach Dachflächen, Fassadenflächen, transluzenten Bauteilen (Fenster) sowie Kellerwänden bzw. Bodenplatte

Darüber hinaus existieren weitere allgemeine und quartierspezifische Input-Parameter, welche dem Anhang (Tabelle 10-5) zu entnehmen sind.

Für die Modellierung der einzelnen Gebäude bzw. Quartiere liegen Planunterlagen, Energieausweise und teilweise technische Beschreibungen vor.

Ein weiterer wesentlicher Inputparameter ist die spezifisch wirksame Wärmespeicherkapazität, welche für die anzustellenden Betrachtungen von Bedeutung sind.

Tabelle 6-1: Spezifisch wirksame Wärmespeicherkapazität

	Wh/m ² K	Anmerkung
Leichtbauweise	60	laut PHPP
Mischbauweise	135	
Massivbauweise	204	

6.1.2.2 Wetter

Die angewandten meteorologischen Datensätze enthalten einerseits die Außentemperatur am jeweiligen Standort und andererseits fünf Parameter zur Solarstrahlung.

Tabelle 6-2: Wetterdaten-Parameter

Wetterdaten	Parameter	Einheit	Beschreibung
Außentemperatur	Ta	°C	Lufttemperatur
Horizontalstrahlung	Gh	W/m ²	Mittlere Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung horizontal
Globalstrahlung Ost	GvE	W/m ²	Mittlere Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung vertikal Ost
Globalstrahlung Süd	GvS	W/m ²	Mittlere Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung vertikal Ost

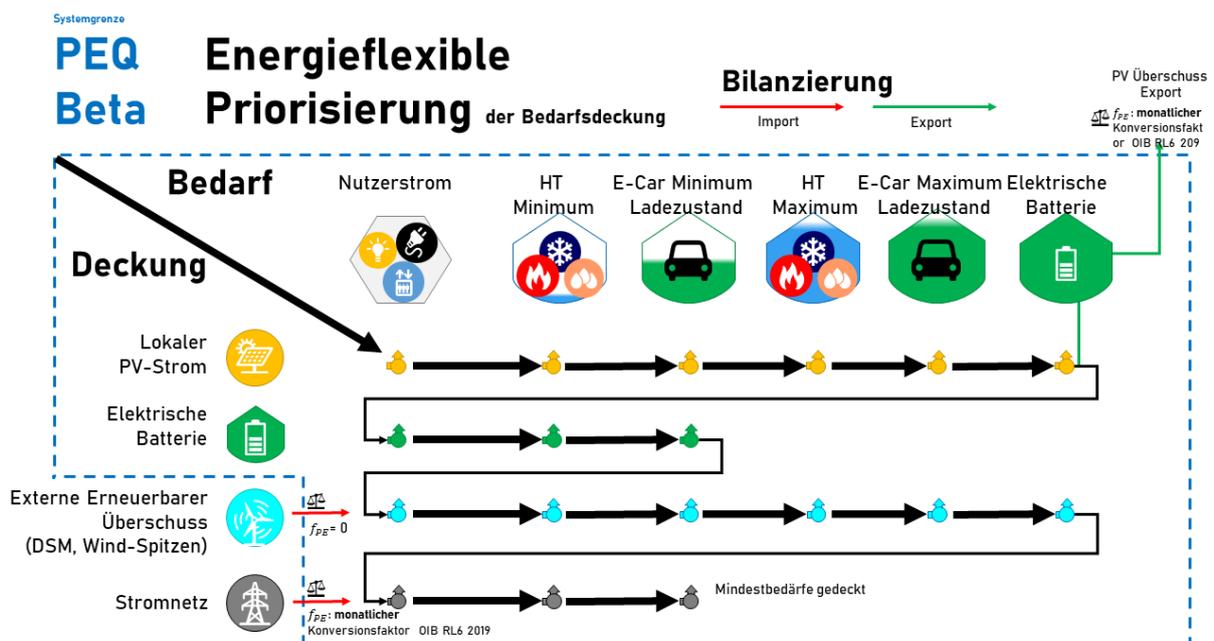
Globalstrahlung West	GvW	W/m ²	Mittlere Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung vertikal Ost
Globalstrahlung Nord	GvN	W/m ²	Mittlere Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung vertikal Ost

6.1.2.3 Bedarfsdeckung

Die Bedarfsdeckung innerhalb der Simulation läuft bei allen Quartieren nach derselben Methode ab, wobei prioritär aus erneuerbaren Quellen gedeckt wird und danach die netzdienliche Speicherung lokaler erneuerbarer Energien und volatiler Wind-Erzeugungsspitzen in den thermischen und elektrischen Quartiersspeichern umgesetzt wird.

Die integrierte Operationalisierung verwendet eine festgelegte Reihenfolge zur Deckung der Energiebedarfe durch die verfügbaren Quellen. In jedem Zeitschritt erfolgt zunächst die Aufteilung des verfügbaren PV-Stroms, in der Reihenfolge Nutzerstrom, Energiebedarf der Haustechnik zur Deckung der Mindestsollwerte für Heizen, Kühlen und Warmwasser. Falls zu diesem Zeitpunkt noch überschüssiger PV-Strom vorhanden ist, werden die Solltemperaturen auf den maximal zulässigen Wert erhöht und die verbleibende Leistung der Wärmepumpen im Quartier genutzt. Anschließend erfolgt die Aufladung eventuell vorhandener elektrischer Batterien sowie E-Autos. Nur der verbleibende Überschuss wird ins Stromnetz eingespeist. Falls zu diesem Zeitpunkt noch nicht alle Mindestbedarfe gedeckt sind, erfolgt als nächster Schritt die Entladung der elektrischen Batterien, jedoch ausschließlich zur Deckung der Mindestbedarfe. Danach wird externer Überschussstrom mit der im Quartier eingestellten maximalen Ladeleistung aufgenommen, sofern er zu dieser Stunde verfügbar ist (vgl. Kapitel 3.13). Jeglicher verbleibende Rest an Mindestbedarfen wird über das Netz bezogen.

Abbildung 6-3: Priorisierung und Zuordnung der verfügbaren Energiequellen zu den Quartiersenergiebedarfen in Systemgrenze PEQ-Beta



PV-Profil

Ein essenzieller Bestandteil ist die stündliche Verteilung der lokal erzeugten erneuerbaren Energie, sowohl aus Photovoltaik als auch Solarthermie. Dies bedeutet, dass auch die PV-Produktionsdaten in stündlichen Zeitreihen vorhanden sein müssen. Diese separaten dynamischen Simulationen der jeweiligen PV-Anlagen erfolgt mithilfe der Software BIMSolar⁵.

Wind-Peak-Shaving (WPS)

Methodisch wird die Netzdienlichkeit durch Integration regionaler volatiler erneuerbarer Erzeugungsspitzen realisiert. Als Windprofil wird in den Standardvarianten die gesamtösterreichische Windproduktion aus dem Jahr 2020 verwendet, was ein windarmes Jahr und somit ein Worst-Case-Szenario darstellt. Es wird ein aktueller Erzeugungs-Schwellenwert von >50 % der installierten Windkraftanlagenleistung als Freigabe verwendet.

6.1.3 Klimaneutralität

Für die Bewertung der „Klimaneutralität“ wird auf Konzepte abgestellt, die den Bereich Gebäude um den Quartiersaspekt erweitern und bezüglich Systemgrenze die folgenden Energiedienstleistungen umfassen (siehe auch Schöfmann, 2022):

- alle Energiedienstleistungen Gebäude (außer Produktionsprozesse) wie heizen, kühlen, be- und entfeuchten, Warmwasser, Lüften, Haushaltsstrom, Arbeitshilfen
- Private Alltagsmobilität
- Aufwand Herstellung und Instandsetzung/Wartung und Entsorgung Gebäude und Mobilitätsgeräte

Es wurden zwei unterschiedliche Methoden auf ihre Eignung hin untersucht:

- Die im Rahmen von **asperm klimafit** entwickelte Methodik zu Klimaneutralität, die auf personenbezogenen CO_{2,eq} Fußabdruck 2023 und 2040 beruhen, d.h. mit jahresspezifischen Grenz- und Kennwerten (Zelger, 2020).
- Der Standard **Plusenergiequartier (PEQ) Omega**, das im Rahmen der Projekte Plusenergiequartier gemäß Methodik Zukunftsquartier entwickelt wurde und aktuell im Rahmen des Sondierungsprojekt LehB:Klimafit! auch auf den Bestand erweitert. Dieser Ansatz beruht auf dem CO_{2,eq} Budget, das bis 2050 noch verbleibt, wenn das 1,5°C laut COP 21 erreicht wird.

Eine Aktualisierung und kritische Betrachtung der beiden Methoden werden im Rahmen der gebotenen Kürze nachfolgend dargestellt.

6.1.3.1 Klimaneutralität laut asperm klimafit

Ganz bewusst wird in Quartiersstandard der Begriff „klimafit“ verwendet, da aktuelle Maßnahmen meist nicht CO_{2,eq}-Emissionen vermeiden kann. In einem zu großen Teilen noch fossil getriebenen Energiesystem sind in Industrie, Mobilität, Landwirtschaft und Gebäude Produkte und Dienstleistungen meist nicht mit 0 kg CO_{2,eq}-Emissionen erhältlich. „Klimafit“ meint, dass aktuell Gebäude/Quartiere derart errichtet, bzw. saniert und nachverdichtet werden, dass sie 2040 durch die

⁵ <https://www.bim-solar.com/en/bimsolar-features/>

nationalstaatliche Dekarbonisierung (bzw. europaweit 2050) klimaneutral sind durch die Transformation von Industrie, Mobilität in ein klimaneutrales Gesamtsystem.

Wesentlich ist, dass auf den CO_{2,eq}-Fußabdruck aller Bewohner:innen abgestellt wird, d.h. es handelt sich um einen konsumbasierten und nicht auf einen produktionsbasierten Ansatz, in den die CO_{2,eq}-Bilanz von Import und Export miteinfließt (Steinger 2020).

Abbildung 6-4 stellt den durchschnittlichen CO_{2,eq}-Fußabdruck den Fußabdrücken in aspern klimafit Quartieren gegenüber.

Abbildung 6-4: CO_{2,eq}-Fußabdrücke für den Standard aspern klimafit in der Seestadt (Zelger, 2020)



Abbildung 6-5: Zielwert CO_{2,eq}-Fußabdruck für Einhaltung 1,5 °C Ziel (Zelger, 2020)

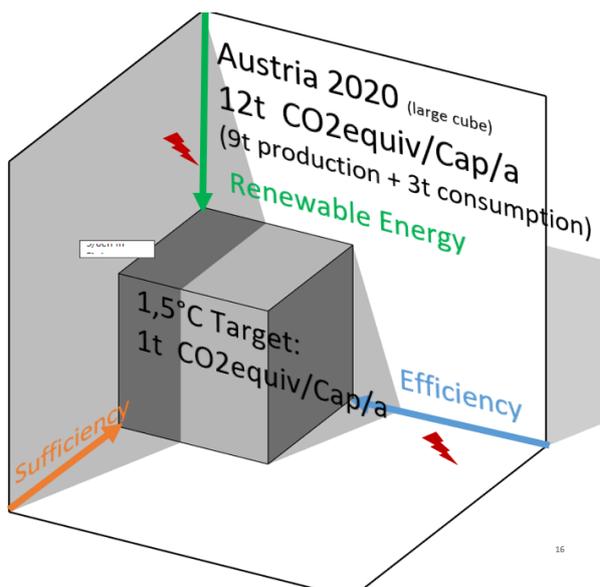


Abbildung 6-6: Beeinflussbarer Bereich des CO_{2,eq}-Fußabdruck im Bereich Gebäude/Quartiere (Zelger, 2020)

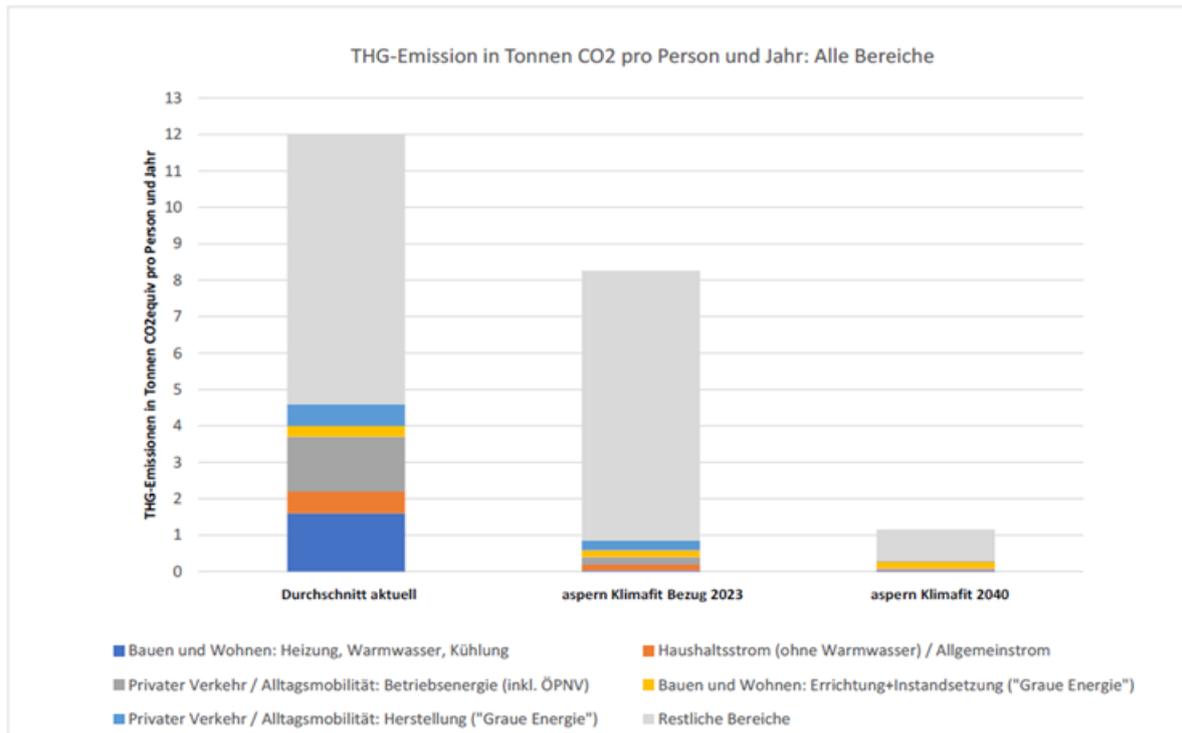


Abbildung 6-7: Detaildarstellung beeinflussbare Bereiche durch Bauträger/Planer:innen in asperm klimafit (Zelger, 2020)

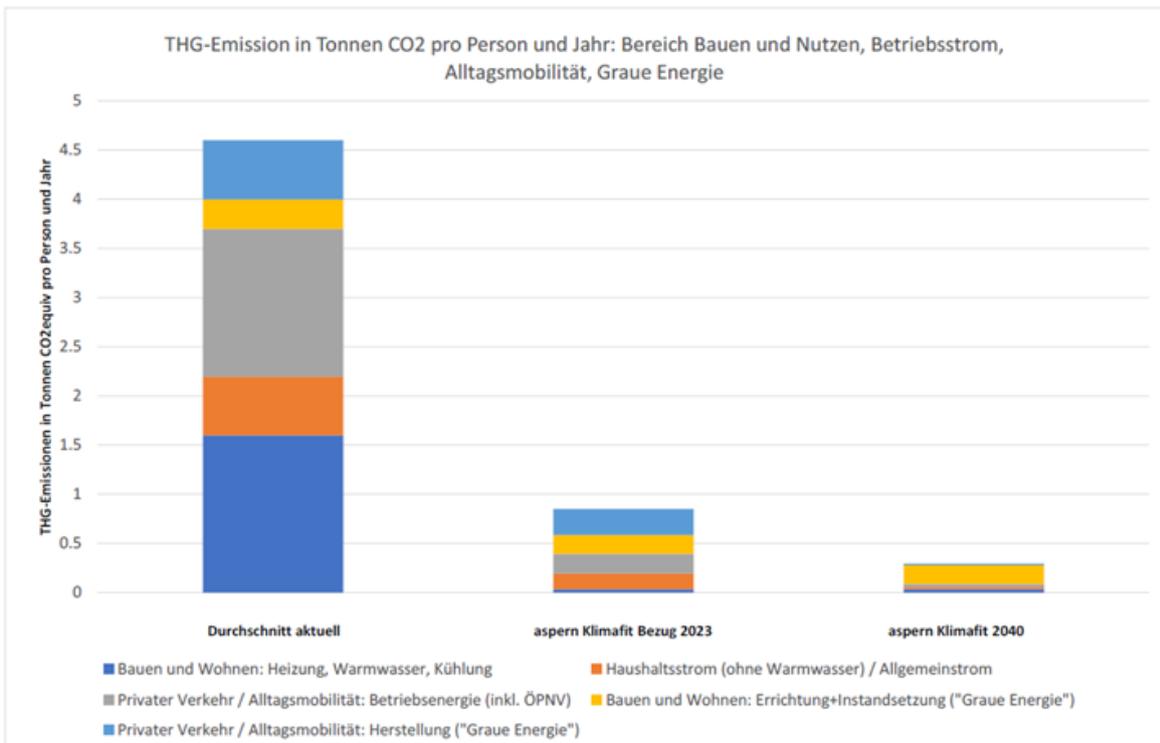
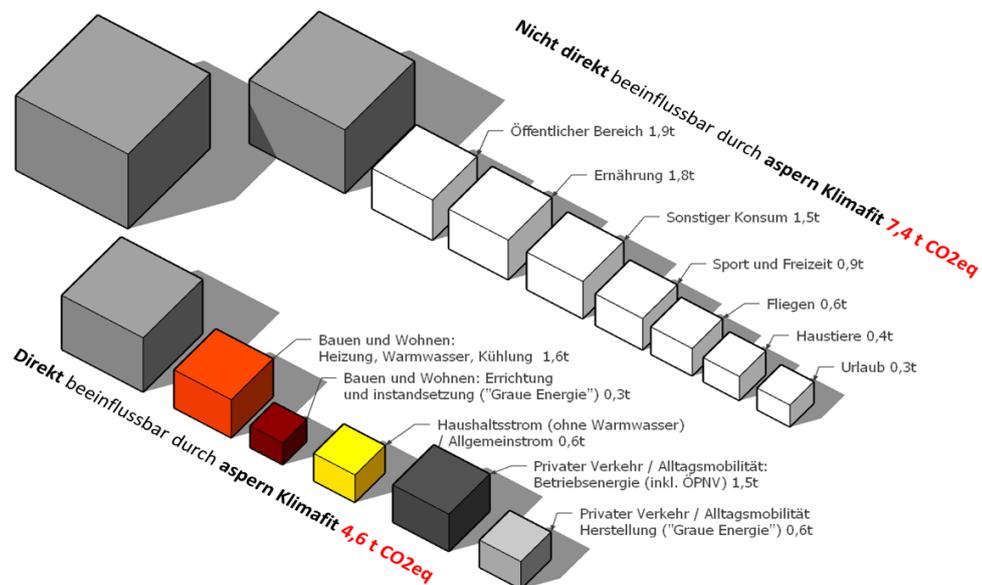


Abbildung 6-8: Veranschaulichung der direkt beeinflussbaren Bereiche des CO_{2,eq}-Fußabdruck (Zelger, 2020)



Zielwert:

- Gesamt 1 t CO_{2,eq}/Person*a im Jahr 2050. Diese können durch CO_{2,eq}-Senken realistisch absorbiert werden
- 0,4 t CO_{2,eq}/Person*a für Gebäudedienstleistung, Alltagsmobilität und graue Energie dieser Dienstleistungen im Jahr 2040
- 2023 dürfen 0,8 t CO_{2,eq}/Person*a emittiert werden (Bereich Wohnen)

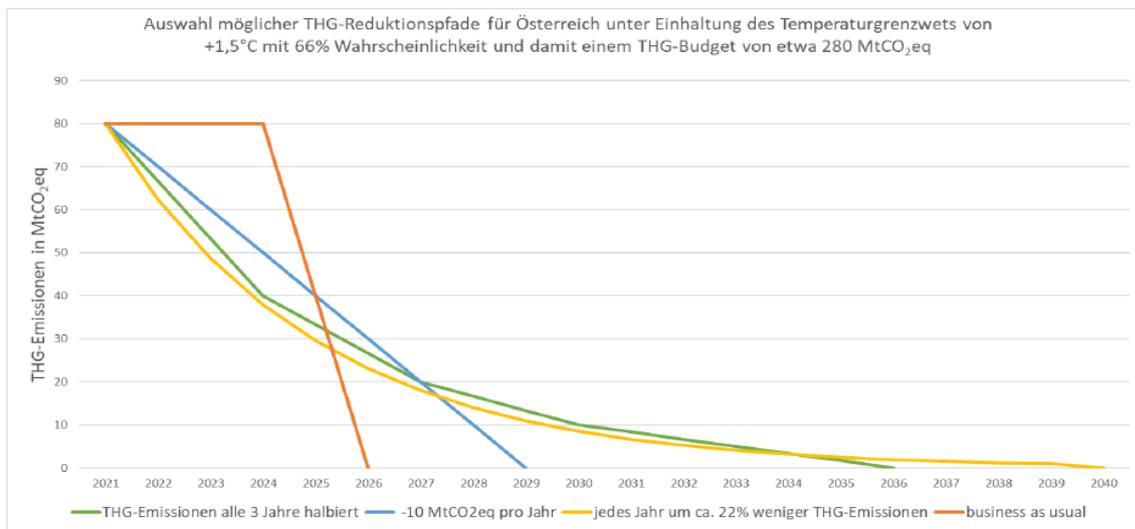
Mit der Adaption auf 2024, einer personenspezifischen Wohnnutzfläche von 46,5 m²_{NF}/Einwohner:in im Hauptwohnsitz (Statistik Austria 2023), bzw. inkl. Nebenwohnsitze von 58,6 m²_{NF}/ Einwohner:in ergibt sich ein **Grenzwert von 12,8 kg CO_{2,eq}/m²_{NF}*a für alle Wohnnutzflächen.**

6.1.3.2 PEQ Omega: Ansatz CO_{2,eq}-Budget

Der PEQ Omega Ansatz leitet einen Grenzwert für die CO_{2,eq} - Emissionen aus den global noch zur Verfügung stehenden CO₂ Budget pro Person ab. In (Steinger, 2022) werden aktuelle Zahlen für Österreich für unterschiedliche Szenarien abgeleitet.

Diese werden auf 2024 angepasst und auf den Bereich Gebäude bezogen.

Abbildung 6-9: Darstellung unterschiedlicher THG Reduktionspfade bei einem definierten Gesamt Budget für THG (Steinger, 2022)



Die CO_{2,eq} Emissionen in Österreich konnten 2022 um 6,4% und 2023 um 7% reduziert werden, d.h. Startpunkt für 2024 sind ca. 70 Mt CO_{2,eq} / Jahr, damit kann die Steigung der roten Linie in der obigen Abbildung leicht vermindert werden.

Die CO_{2,eq} Budgets für Österreich in unterschiedlichen Szenarien ist in Tabelle 6-3 dargestellt.

Tabelle 6-3: Abbildung THG Budgets für Österreich 2022 aus (Steinger, 2022)

Tabelle 2 Treibhausgas- und CO₂-Budgets für Österreich ab 2022

Für Österreich aus globalen THG-Budgets (siehe Tabelle 1) THG- und CO₂-Budgets ab 2022 auf Basis global gleicher pro-Kopf Zurechnung ab 2016 für unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten (50% und 66%) für die Einhaltung des +1,5°-Zieles. Alle Werte sind gerundet.

Temperaturgrenzwert	Wahrscheinlichkeit der Einhaltung der Temperaturgrenzwerte	
	50%	66%
THG-Budget (alle Treibhausgase)		
+1,5 °C (OHNE zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur)	510 MtCO _{2,eq}	280 MtCO _{2,eq}
+1,5 °C (MIT zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur von bis zu ~1,65°C)	610 MtCO _{2,eq}	340 MtCO _{2,eq}

Eine Aktualisierung wurde für das Startdatum 1.1.2024 abgeleitet. Die Umrechnung auf m² Bezugsfläche erfolgt mit Berücksichtigung der Nebenwohnsitze. D.h. dass Personen mit Nebenwohnsitzen auch ihre Nebenwohnsitze betreiben, sanieren, errichten müssen gemäß den resultierenden CO_{2,eq}- Grenzwerten.

Es ergeben sich mit durchschnittlichen spezifischen Wohnnutzflächen die in Tabelle 6-4 dargestellten Kennwerte.

Tabelle 6-4: Ableitung von Grenzwerten für den CO_{2,eq} Ausstoß pro m² Wohnnutzfläche

CO2 Budget für Wohnen angewendet		Wahrscheinlichkeit der Einhaltung der Grenzwerte			
			50%	66%	
+1,5 K (Ohne zwischenzeitlich geringfügig höhere Temperatur)	2022 t CO2eq/Person	58.6	32.2		Steinger 2022
+1,5 K (Mit zwischenzeitlich geringfügig höhere Temperatur)	2022 t CO2eq/Person	70.1	39.1		Steinger 2022
	01.01.2024 t CO2eq/Person	41.4	15.0		Steinger 2022 adaptiert 1.1.2024
	01.01.2024 t CO2eq/Person	52.9	21.9		Steinger 2022 adaptiert 1.1.2024
Einwohner Studie Steinger	2022 Personen Österreich	8'700'000	8'700'000		Steinger 2022
Budget Gesamt	+ 1,5 K ohne t CO2 eq Österreich	360'240'000	130'240'000		
	+ 1,5 K mit t CO2 eq Österreich	460'240'000	190'240'000		
Anteil Wohnen + Alltagsmobi. inkl. Graue Energie	%	40.0%	40.0%		laut aspern klimafit 2020, bzw. Drexel (konsumbasier
Wohnnutzflächen 2021	m²NF	510'000'000			Amann 2023
Wohnnutzflächen 2040	m²NF	530'000'000			
Budget Wohnen inkl. Alltagsmobilität+graue Ener + 1,5 K ohne	kg CO2eq/m²NF	272	98		
Budget Wohnen inkl. Alltagsmobilität+graue Ener + 1,5 K mit	kg CO2eq/m²NF	347	144		

6.1.3.3 Fazit Grenzwerte Klimaneutralität

Damit kann ein Pfad zu 100% Netto CO_{2,eq} Null mit Einhaltung des persönlichen CO_{2,eq} Budgets formuliert werden und auf Neubau und Sanierung verteilt werden. Ein Vergleich der beiden Ansätze ist in Tabelle 6-5 dargestellt. Die Grenzwerte werden auf m² NGF bezogen, da in diesem Projekt als Bezugsfläche gewählt (Die NGF wird mit pauschal für alle Nutzungen mit 80% der BGF angenommen, die Nutzfläche pauschal mit 75% der BGF).

Damit ergeben sich die in Tabelle 6-5 dargestellten Grenzwerte.

Tabelle 6-5: Grenzwerte der CO_{2,eq} Emissionen

Grenzwert aspern klimafit 2024			
Wohnen inkl. Alltagsmobilität+graue Energie, graue Energie 50 Jahre Abschreibung			
Grenzwert 2024	kg CO2eq/m²NGF*a	12.0	
Grenzwerte PEQ Omega (CO_{2,eq} Budget)			
Budget Wohnen inkl. Alltagsmobilität+graue Energie			
Wahrscheinlichkeit der Einhaltung der Grenzwerte		50%	66%
+1,5 K (Ohne zwischenzeitlich geringfügig höhere Temperatur)	kg CO2eq/m²NGF	255	92
+1,5 K (Mit zwischenzeitlich geringfügig höhere Temperatur)	kg CO2eq/m²NGF	325	135

Im Vergleich der beiden Ansätze resultiert mit Fortschreiten der Zeit eine deutliche Verschärfung des Ansatzes PEQ Omega, während der Ansatz aspern klimafit „nur“ den jährlich geänderten Konversionsfaktoren angepasst werden muss.

6.1.4 Erstellung von Energiekonzepten

In enger Abstimmung mit den internen Stakeholdern des Projekts erfolgt die Konzipierung von Gebäudeenergiekonzepten. Die ausgearbeiteten Konzeptionen werden dabei präzise an die spezifischen Rahmenbedingungen und Gegebenheiten der einzelnen Quartiere angepasst, wobei eine sorgfältige Koordination mit den verschiedenen Akteuren im Projekt erfolgt.

Die Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen der Quartiere unterstreicht die Anwendbarkeit und Relevanz der Konzepte im Kontext einer nachhaltigen Quartiersentwicklung.

6.1.5 Parametervariation und Variantendefinition

Durch die gezielte Variation der Parameter wird die Wirkung von unterschiedlichen Eingangsgrößen in Bezug auf den Standard Plusenergiequartier und von „Klimaneutralität“ gelegt. Diese Methodik erlaubt

eine detaillierte Analyse, um den Einfluss spezifischer Parameter oder ihrer Kombinationen auf das angestrebte Optimierungsziel zu quantifizieren.

Die Parametervariation dient als kritischer Ansatzpunkt, um die Sensitivität des Gesamtsystems gegenüber Veränderungen in den zugrunde liegenden Parametern zu verstehen. Hierbei werden nicht nur einzelne Parameter isoliert betrachtet, sondern auch die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Parametern berücksichtigt.

Folgende Tabellen zeigen die für die Quartiere allgemein definierten Varianten, welche sich in folgende Bereiche aufteilen, inkl. deren Kurzbezeichnung:

- Realausführung/-planung
- Wärmeschutz, Lüftung
- Bauweise
- Wärmeabgabe
- Energieversorgung thermisch
- PV
- Speicher
- Mobilität
- Netzdienlichkeit

Eine detaillierte Auflistung aller Parameter je Variante inkl. deren Werten ist dem Anhang zu entnehmen (Kapitel 10.3)

Die im Projekt betrachteten fünf Quartiere (zwei Referenzquartiere, drei Beispielquartiere) befinden sich in unterschiedlichen Stadien:

Tabelle 6-6: Status der Quartiere

EFH Aichinger (Referenz)	Neubau, ausgeführt
Mühlgrundgasse 1220, MGG22 (Referenz)	Neubau, ausgeführt
Geblergasse	Bestand, saniert
Sonnendorf Schwoich	Neubau, in Ausführung
Werft Korneuburg	Neubau, in Planung

Aufbauend auf diesen Stadien werden unterschiedliche Bestandsvarianten abgebildet:

Tabelle 6-7: Realprojekte

		EFH Aichinger	MGG22	Gebler- gasse	Sonnen- dorf Schwoich	Werft Korneu- burg
BestPreSan	Bestand vor Sanierung			x		
BestPostSan	Bestand nach Sanierung inkl. Nachverdichtung			x		
NBPost	Neubau ausgeführt	x	x		x	

Während es sich beim Einfamilienhaus (EFH) Aichinger, dem Wohnquartier MGG22 (Mühlgrundgasse 24/26 und Fahngasse 8 im 22. Wiener Gemeindebezirk) und beim Sonnendorf Schwoich um bereits ausgeführte Neubauobjekte handelt, ist das Wohnhaus in der Geblergasse 11 ein Altbau aus der Gründerzeit, welcher nachverdichtet und energetisch saniert wurde, und die Werft Korneuburg ein geplantes Bauvorhaben.

Die folgenden Tabellen und beinhalteten Varianten beschreiben alle systemischen Varianten der Quartiere, deren Auswertung in energetischer, ökologischer und ökonomischer Betrachtungsweise erfolgt. Ausgehend vom ausgeführten oder geplanten Bestand der Realprojekte werden je Kategorie (Wärmeschutz, Bauweise, Wärmeabgabe, ...) weitere systemische Varianten definiert, welche vom Bestand abweichen.

In der Variante Best sind alle Parameter anhand der geplanten oder ausgeführten Realprojekte berücksichtigt, diese dient immer als Referenz.

Wärmeschutz und Lüftung

Die Varianten des Wärmeschutzes und der Lüftung betreffen vor allem die energetische Auswertung sowie die ökologische und ökonomische Auswertung.

Tabelle 6-26 sind die verwendeten Qualitäten der Hauptbauteile zu entnehmen, welche den WDMin- und WDPH-Varianten zugewiesen sind.

Tabelle 6-8: Varianten – Wärmeschutz und Lüftung

Best	Geplante oder ausgeführte Bauteile der Gebäudehülle, sowie Gebäudetechnik, PV, usw.
WDMin	Mindestanforderungen an Einzelbauteile (keine Mindestanforderung nach HWB/KB) aus OIB-Richtlinie 6, „Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile beim Neubau (Gebäudekategorie 1 bis 12)“ (Tabelle 6-26)
WDPHKomf	Anforderungen an Einzelbauteile nach Passivhaus-Design (Tabelle 6-26) Wohnraumlüftung

Bauweise Neubau und Sanierung

Die Varianten BW (Tabelle 6-9) stehen für alle Neubauten, ob geplant oder ausgeführt, die Varianten San für Sanierungen von Bestandsgebäuden, detaillierte Aufbauten siehe Tabelle 6-26.

Tabelle 6-9: Varianten – Bauweise Neubau und Sanierung

BWreal	tatsächlich ausgeführt
BWBeton	Beton
BWZiegel	Ziegel
BWHolz	Holzmassiv
BWLeicht	Rahmenbauweise

BWHybrid	Hybridbauweise
BWBetoneco	Beton eco
BWZiegeleco	Ziegel eco
BWHolzeco	Holzmassiv eco
BWLeichteco	Rahmenbauweise eco
BWHybrideco	Hybridbauweise eco
SanEPS	EPS
SanSteinwolle	Steinwolle
SanGlaswolle	Glaswolle
SanPUR	PUR
SanVakuum	Vakuum
SanMineralschaum	Mineralschaum
SanHanf	Hanf
SanHolzfaser	Holzfaser
SanZellulose	Zellulose
SanStroh	Stroh

Wärmeabgabe

Es wird für alle Quartiere das Wärmeabgabesystem angewandt, welches umgesetzt wurde. Im Falle der Werft Korneuburg wurde eine Aktivierung der Decke angenommen. Wurde nur quartiersübergreifend angewendet.

Tabelle 6-10: Varianten – Wärmeabgabe

WARad	Radiatoren
WABTAdecke	Bauteilaktivierung Decke
WABTA_FB	Bauteilaktivierung Fußboden / Fußbodenheizung

Wärmeverteilung

Um die vorwiegend aus mehreren Bauteilen bestehenden Quartieren (abgesehen von Geblergasse und EFH Aichinger) hinsichtlich deren externer Wärmeverteilung bewerten zu können, werden für die betroffenen Quartiere einmal mit einer dezentralen Energieversorgung je Bauteil und einmal einer zentralen Energieversorgung bzw. viel mehr einer zentralen Energiequelle gerechnet.

Durch eine Zusammenführung der Lasten können Gleichzeitigkeiten genutzt und die Lasten geglättet werden.

Tabelle 6-11: Varianten – Wärmeverteilung

VertDez	dezentral pro Bauteil/Gebäude
VertAner	Anergienetz

Thermische Energieversorgung

Bei der thermischen Energieversorgung dienen Fernwärme (FW)-Varianten als Referenz und WP-Varianten mit Erdreichquelle als Standardvariante. Die FW-Varianten sind den lokalen Gegebenheiten angepasst: FW aus Biomasse-Heizwerken in Korneuburg und Schwoich, FW aus hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) für die Wiener Projekte.

Tabelle 6-12: Varianten – Thermische Energieversorgung

FW	Fernwärme KWK Wien – Konversionsfaktor (f_{PE}) 0,33 Fernwärme Biomasse-Heizwerk – Konversionsfaktor (f_{PE}) 1,60
WP-DSM	WP-Variante ohne DSM bei Heizen und Kühlen (konstante Raumlufttemperaturen). WP-Parameter für Erdwärme-Nutzung (Erdwärmesonden) Raumlufttemperatur-Winter (min/max): 21/21°C Raumlufttemperatur-Sommer (min/max): 25/25°C
WP+DSM	WP-Variante mit DSM bei Heizen und Kühlen (Speicherung in Gebäudemasse/Flexibilität). WP-Parameter für Erdwärme-Nutzung (Erdwärmesonden) Raumlufttemperatur-Winter (min/max): 21/25°C Raumlufttemperatur-Sommer (min/max): 25/23°C

Die detailliertere Methodik zu den DSM-Maßnahme ist dem Kapitel 6.1.2 zu entnehmen.

Photovoltaik (PV)

Alle Quartiere werden mit PV-Anlagen ausgestattet. Wesentlich ist vor allem der zeitliche Verlauf der Stromerzeugung aus den PV-Anlagen für DSM-Maßnahmen und Beladung der Speicher.

Tabelle 6-13: Varianten – PV

PVreal	Umgesetzte PV-Anlage
PV0	Referenzvariante ohne PV-Anlage
PVmax	Als Maximalbelegung werden zusätzlich zur (maximierten) Dachbelegung auch Fassadenflächen und Verschattungsmöglichkeiten genutzt.

Speicher

Neben dem thermischen Speichervermögen der Bauteile der Gebäude wird zusätzlich mit Varianten von Warmwasser(WW)-Speichern und Batteriespeichern weitere Flexibilität geschaffen. Die WW-Speicher unterscheiden sich dabei nicht durch ihre Größe bzw. deren Fassungsvermögen, sondern analog zur Raumlufttemperatur durch deren Minimal- und Maximaltemperatur.

Tabelle 6-14: Varianten – Speicher

PuffWWmin	WW-Speicher, min/max 60/70°C
PuffWWmit	WW-Speicher, min/max 60/80°C
PuffWWmax	WW-Speicher, min/max 60/90°C
Batt0	Keine Batterie
Batt25	Batterie 25 Wh/m ² _{NGF} , C-Rate C2
Batt50	Batterie 50 Wh/m ² _{NGF} , C-Rate C2
Batt100	Batterie 100 Wh/m ² _{NGF} , C-Rate C2

Mobilität

Im vorliegenden Simulationsmodell wird die Mobilität primärenergetisch berücksichtigt. Im Falle von Elektroautos betrifft die dem Quartier zuordenbare Mobilitätsregion auch den Strombedarf im Quartier. Dafür werden die „UrbanAreaParameters“ Gemeindetypen (erste Zahl – Regionstyp, zweite Zahl – ÖV-Qualitätstyp) (iSPACE, 2017) verwendet. Dazu gehören einerseits die anteiligen Zuordnungen auf die Nutzungen im Quartier und andererseits der Modal Split (Fahrrad, ÖV, zu Fuß, ...) mit den entsprechenden Verkehrsleistungen pro Person.

Tabelle 6-15: Varianten – Mobilität

Mob0	Ohne Mobilität (PEQ-Alpha), Mobilität wird nicht berücksichtigt
MobStand	Standard-Mobilitätsregion je Standort 0 % E-Autos
Moboptmodal	Optimierte Mobilitätsregion (Modal Split) je Standort 0 % E-Autos
MobStandecar50	Standard-Mobilitätsregion je Standort 50 % E-Autos (an der Verkehrsleistung PKW-Lenker:in)
MobStandecar70	Standard-Mobilitätsregion je Standort 70 % E-Autos (an der Verkehrsleistung PKW-Lenker:in)
MobStandecar100	Standard-Mobilitätsregion je Standort 100 % E-Autos (an der Verkehrsleistung PKW-Lenker:in)
Moboptecar50	Optimierte Mobilitätsregion (Modal Split) je Standort 50 % E-Autos (an der Verkehrsleistung PKW-Lenker:in)
Moboptecar70	Optimierte Mobilitätsregion (Modal Split) je Standort 70 % E-Autos (an der Verkehrsleistung PKW-Lenker:in)
Moboptecar100	Optimierte Mobilitätsregion (Modal Split) je Standort 100 % E-Autos (an der Verkehrsleistung PKW-Lenker:in)

6.1.6 Energetische Bewertung

Für die berechneten/simulierten Varianten erfolgt die energetische, ökologische und netzdienliche Bewertung unter Einsatz des entwickelten und validierten Simulationsmodells in Verbindung mit den entwickelten Energiekonzepten. Nutz- und Endenergiebedarf werden getrennt nach Energiedienstleistungen berechnet und primärenergetisch, bzw. bezüglich CO_{2,eq}-Emissionen bewertet.

Tabelle 6-16: Energetische Bewertung – Parameter Nutzenergiebedarfe

Nutzenergiebedarf [kWh_{NE}/m²_{NGFA}]
Heizwärmebedarf
Kühlbedarf
Warmwasserwärmebedarf

Tabelle 6-17: Energetische Bewertung – Parameter Endenergiebedarfe

Endenergiebedarf [kWh_{EE}/m²_{NGFA}]
Heizen mit Hilfsstrom
Kühlen mit Hilfsstrom
WW mit Hilfsstrom
Haushaltsstrom (inkl. Lüftung, Nutzerstrom, Allgemeinstrom)
E-Autos
Fossile-Autos
Gesamt-Endenergiebedarf

Tabelle 6-18: Energetische Bewertung – Parameter Endenergiedeckung und Überschüsse

Endenergiedeckung und Netzeinspeisung [kWh_{EE}/m²_{NGFA}]
Fernwärme
PV
E-Batterie
Netzdienlichkeit
Netzstrom
PV-Produktion
PV-Überschüsse
Eigenverbrauchsanteil [%]

Tabelle 6-19: Energetische Bewertung – Parameter Primärenergiebilanz

Primärenergiebilanz [$\text{kWh}_{\text{PE}}/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$]
Primärenergiebedarf
Primärenergieexport
PE-Saldo Projektwert
PE-Saldo PEQ-Alpha
PE-Saldo PEQ-Beta

6.1.7 Ökologische Bewertung

Die Quartiere Werft Korneuburg und Sonnendorf Schwoich sowie das Referenzobjekt Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse wurden einer umfassenden ökonomischen und ökologischen Lebenszyklusanalyse unterzogen. Dazu wurden die energetischen Varianten in fünf verschiedenen Bauweisen (Massivbau/Beton, Massivbau/Ziegel, Holzmassivbau, Leichtbau und Hybridbau), jeweils in einer konventionellen und einer ökologisch optimierten Variante, modelliert.

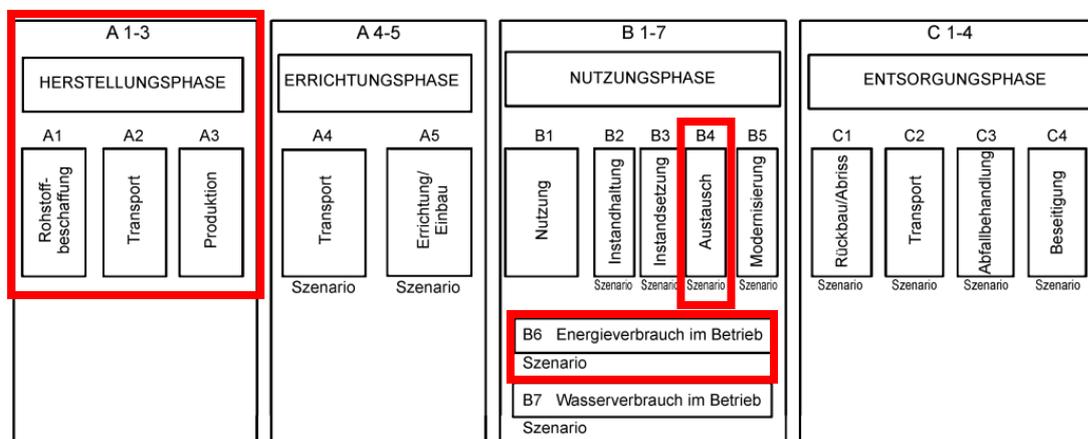
Als Datenbasis für die ökologische Bewertung dient die IBO-Richtwertetabelle, die unter www.baubook.info zur Verfügung gestellt wird (Version 2020). Diese Ökobilanzdaten wurden gemäß den geltenden Normen erstellt:

- ÖNORM EN ISO 14040 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
- ÖNORM EN ISO 14044 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen
- ÖNORM EN 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte

Die detaillierten spezifischen Rahmenbedingungen und methodischen Vorgaben sind unter <http://www.ibo.at/de/oekokennzahlen.htm> abrufbar (IBO, 2019).

In der Berechnung berücksichtigt wurden die folgenden Module gemäß EN 15804:

Abbildung 6-10: Lebenswegmodule gemäß EN 15804, Quelle: EN 15804



Herstellungsphase (A1- A3)

Die Baumaterialien werden stufenkumuliert über alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum Ende der Produktionsphase bilanziert (Cradle to Gate, Module A1 bis A3 gemäß EN 15804).

Materialbezogene Nutzungsphase (B1 - B5)

Von den materialbezogenen Nutzungsphasen B1-B5 wird nur der Material- bzw. Bauteiltausch berücksichtigt (B4), alle anderen Phasen werden vernachlässigt. B4 umfasst die neuerliche Herstellung der ausgetauschten Materialien „von der Wiege bis zum Werkstor“ (Cradle to Gate). Die Transporte der Austauschmaterialien zur Baustelle werden nicht berücksichtigt. Die Umweltwirkungen aus der Entsorgung der ausgetauschten Materialien beim Austausch werden nicht berücksichtigt.

Energieverbrauch im Betrieb (B6)

Für den Energieverbrauch im Betrieb wurden die in Österreich gebräuchlichen OIB-Konversionsfaktoren hinterlegt [OIB-Richtlinie 2019]. Eigenverbrauchsanteile von im Quartier generierter erneuerbarer Energie verringern die ökologischen Aufwände für die Betriebsenergie. Überschüsse ans Netz wurden als Gutschrift für die Substitution von bezogenem Strom (Strom-Liefermix/Konversionsfaktoren OIB 2019) berücksichtigt. Diese wurden bilanziell über das ganze Jahr gutgeschrieben, während sie in den Detailsimulationen monatlich verrechnet werden.

Der Betrachtungszeitraum wurde in Übereinstimmung mit dem OI3-Berechnungsleitfaden 5.0 (IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, 2019) auf 50 Jahre festgelegt. Ebenso wurden die Nutzungsdauern der Bauteile und Haustechnikkomponenten entsprechend dem Nutzungsdauerkatalog im OI3-Leitfaden angenommen.

Es werden die folgenden Umweltkategorien aus Ökobilanzen berücksichtigt:

- Beitrag zur Globalen Erwärmung (Indikator: GWP-total)
- Versauerung von Boden und Wasser (Indikator: AP)
- Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie, total (Indikator: PENRT)

Die Auswahl dieser Umweltkategorien basiert auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aus der Lebenszyklusanalyse. Während die Beurteilung des GWP derzeit unbestritten im Vordergrund steht, können mit dem PENRT die Ressourceneffizienz und mit dem AP die lokalen Auswirkungen auf Luftqualität, Böden und Gewässer abgebildet werden. (ebd.)

Im Projekt wurde zusätzlich der Aufwand an erneuerbarer Primärenergie (als Energieträger) betrachtet, der im Summenparameter „Bedarf an Primärenergie gesamt, Energieträger“(PEE) enthalten ist.

Tabelle 6-20: Gewählte Umweltparameter für die ökologische Bewertung

Umweltparameter	Beschreibung
PEE	Bedarf an nicht erneuerbarer und erneuerbarer Primärenergie, als Energieträger (Summe aus PENRE und PERE)
PENRT	Summe des Bedarfs an nicht erneuerbarer Primärenergie, als Energieträger (PENRE) und des Bedarfs nicht erneuerbarer Primärenergie als Rohstoff (PENRM)

GWP total	Summe des in Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs (GWP-biogen) und der in Prozessen emittierten Treibhausgasemissionen (GWP-fossil). Das Globale Erwärmungspotenzial wird für einen Zeithorizont von 100 Jahren (GWP100) und in kg-CO ₂ -Äquivalenten (kg CO ₂ -Äq.) angegeben.
AP	Beitrag zur Versauerung von Boden und Wasser, gemessen in kg-SO ₂ -Äquivalenten

Alle Prozesse – auch wenn sie in der Zukunft liegen, wie zum Beispiel Materialersatz – wurden mit jetzigen Technologien (Energieversorgung, Transporte etc.) bewertet. Primärenergie-Indikatoren wurden unabhängig vom Zeitpunkt des Energieeinsatzes auf Basis des aktuell in der Hintergrunddatenbank ecoinvent hinterlegten Energiemix und aktueller Konversionsfaktoren berechnet. Sämtliche Ergebnisse wurden zur besseren Vergleichbarkeit auf die konditionierte Netto-Grundfläche (gemäß ÖNORM B 1800 und ÖNORM B 8110-6) bezogen.

Als räumliche Bilanzgrenze wurde die Bilanzgrenze 5 des OI3-Leitfadens gewählt, mit der die Gebäude vollständig erfasst werden. Insbesondere werden ab Bilanzgrenze 5 die Haustechniksysteme berücksichtigt. Die Aufwände für die Herstellung und Erneuerung der Haustechniksysteme liegen tendenziell deutlich unter den Aufwänden für die Gebäudeerrichtung und die Betriebsenergie. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Forschungsprojekts HEROES wurden folgende Haustechniksysteme/-komponenten mit besonders relevanten Aufwänden gesondert modelliert:

- Erdwärmesonden
- Photovoltaikanlagen
- thermische Solaranlagen
- thermische Speicher
- elektrische Speicher

Die weiteren Haustechniksysteme wurden in einem Pauschalwert zusammengefasst, der aus den Ergebnissen des Forschungsprojekts „Urban Area Parameter“ (Gebäudetyp Wohnhausanlage, Variante mit den geringsten Aufwendungen) abgeleitet wurde. Die entsprechenden Ökobilanzwerte sind in Tabelle 6-21 angegeben.

Tabelle 6-21: Pauschalwerte Umweltindikatoren für Haustechnik

Parameter	Wert Errichtung	Wert über 50 Jahre	Einheit
GWP total	11,815	14,266	kgCO ₂ e/m ² _{BGFbeh}
PENRT	222,3	262,2	MJ/m ² _{BGFbeh}
PENRE	222,3	262,2	MJ/m ² _{BGFbeh}
PERE	16,8	18,7	MJ/m ² _{BGFbeh}
AP	0,13519	0,14565	kgSO ₂ e/m ² _{BGFbeh}

Für die Modellierung wurden Konstruktionen aus dem IBO-Passivhaus-Bauteilkatalog herangezogen und teilweise angepasst. Im Anhang sind die in der jeweiligen Bauweise verwendeten Aufbauten angegeben.

6.1.8 Ökonomische Bewertung

Die wirtschaftliche Bewertung von akzeptablen und technisch umsetzbaren Lösungen erfolgt unter Einbeziehung der Kostenmodelle der Stakeholder innerhalb und außerhalb des Projektkonsortiums. Bei der Berechnung der Lebenszykluskosten laut ÖNORM B 1801 sind relevant:

- ÖNORM B 1801-1 Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil 1: Objekterrichtung
- ÖNORM B 1801-2 Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil 2: Objekt-Folgekosten
- ÖNORM B 1801-4 Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten

Dargestellt wurden die Kosten für die Errichtung, Wartung, Instandsetzung, Betriebsenergie, Restwert und Abbruch.

Dargestellte Kosten:

Die untenstehende Abbildung gibt einen Überblick über die, im Projekt dargestellten Kosten:

- Bauwerkskosten nach ÖNORM B1801-1:
 - Bauwerk Rohbau BWR
 - Bauwerk Technik BWT
 - Bauwerk Ausbau BWA
- Kostenmindernde Positionen (Förderungen): zwecks Vergleichbarkeit wurden nur Bundesförderungen berücksichtigt:
 - ÖMAG-Fördersatz PV Kategorie D (100-1.000 kWp) von € 140,-/kWp
 - ÖMAG-Fördersatz Elektrischer Speicher (€ 200,-/kWh für max. 50 kWh)
 - Förderungen für Fernwärmeanschluss und Wärmepumpen (raus aus Gas) wurden nicht berücksichtigt, da die betrachteten Projekte allesamt Neubauprojekte darstellen.
- Lebenszykluskosten:
 - kapitalgebundene Kosten (bezogen auf Bauwerkskosten)
 - Anfangsinvestitionskosten
 - Wiederbeschaffungskosten (mit Gegenüberstellung der Restwerte)
 - Abbruch- und Entsorgungskosten
 - verbrauchsgebundene Kosten gemäß ÖNORM M 7140:
 - Energiekosten
 - Hilfsenergiekosten
 - Zusatzkosten für die Vorratshaltung von Brennstoffen fallen nicht an
 - betriebsgebundene Kosten
 - Instandhaltungskosten
 - Mieten sowie sonstige Betriebskosten und Aufwand für das Betriebspersonal wurden nicht berücksichtigt

Kosten, die in allen baulichen und energetischen Varianten gleich hoch anzusetzen wären bzw. vorrangig von lokalen Faktoren abhängig sind (Grundkosten, Aufschließung, Einrichtung, Außenanlagen, Honorare und Nebenkosten), wurden aus der Betrachtung ausgeklammert. Die Betrachtung der Ver- und Entsorgungskosten beschränkt sich auf die Kosten der Energieversorgung (Wärme, Kälte, Strom). Umsatzsteuer wurde nicht berücksichtigt.

Tabelle 6-22: Übersicht der in den wirtschaftlichen Betrachtungen berücksichtigten Kosten nach ÖNORM

Finanzierungskosten																			
Kostengruppierung gemäß ÖNORM B1801-1																			
Baugliederung																			
0 Grund GRD																			
1 Aufschließung AUF																			
2 Bauwerk-Rohbau BWR		Bauwerkskosten BWK	Baukosten BAK	Errichtungs-kosten ERK	Gesamt-kosten GEK	Anschaffungs-kosten													
Bauwerk-Technik BWT																			
Bauwerk-Ausbau BWA																			
Einrichtung EIR																			
Außenanlagen AAN																			
Planungsleistungen PLL																			
Nebenleistung NBL																			
Reserven RES																			
Kostengruppen gemäß ÖNORM B1801-2																			
1 Verwaltung																			
2 Technischer Gebäudebetrieb																			
3 Ver- und Entsorgung																			
3.1 Energie (Wärme, Kälte, Strom)																			
3.2 Wasser und Abwasser																			
3.3. Müllentsorgung																			
3.4. sonstige Medien																			
4 Reinigung und Pflege																			
5 Sicherheit																			
6 Gebäudedienste																			
7 Instandsetzung, Umbau																			
8 Sonstiges																			
9 Objektbeseitigung, Abbruch																			
												Gebäude-Basis-kosten GBK				Lebens-zyklus-kosten LKZ		kumulierte Gesamt-kosten	
												Kosten des Gebäude-betriebs KGB		Nutzungs-kosten ONK		Folgekosten OFK			

Kostenabschätzungen:

Die Abschätzung der Bauwerkskosten erfolgte auf Preisbasis 2023:

- Bauwerk Rohbau und Ausbau: auf Grundlage von Preisen der Bauteile (Internetrecherche) analog der in den ökologischen Betrachtungen angeführten Aufbauten (baubook). Die Variante „Beton“ wurde zusätzlich mit vorhandenen Preisen aus geplanten und umgesetzten Bauprojekten abgeglichen.
- Bauwerk Technik: auf Grundlage von Kennzahlen aus geplanten und umgesetzten Bauprojekten.

Die Abschätzung der Energiepreise erfolgte auf Preisbasis 2023:

- Strom: aufgrund aktueller Preise (*Tarifkalkulator - Tarifrechner*, o. J.). Zum Zeitpunkt der Recherche waren die günstigsten Stromanbieter Ökostromanbieter – gewählt wurde daher der Tarif der Ökostrom AG, die auch Angaben zu Einspeisetarifen für PV-Strom veröffentlicht hat.
- Fernwärme: aufgrund des von Fernwärme Wien veröffentlichten aktuellen gedeckelten Tarifs. Die Entwicklung der Kosten für Fernwärme wurde aufgrund der teilweisen Bindung an den Gaspreis mit einem höheren Index in den ersten 20 Jahren abgeschätzt (siehe Indizes).
- Diesel aufgrund aktueller Preise lt. ARBÖ-Spritpreisfinder (*Spritpreise Österreich – ARBÖ Website*, 2023)

Die derzeit nicht eingehobenen Abgaben (Ökostromabgabe, CO₂-Steuer) wurden aus der Betrachtung ausgeklammert.

Aufgrund der aktuell schwer absehbaren Entwicklung der Energiekosten wurden weitere Entwicklungsvarianten in Form von Sensitivitätsanalysen berechnet und dargestellt.

Betrachtungszeiträume:

Der Betrachtungszeitraum für die Lebenszykluskosten (Herstellung, Instandhaltung und Instandsetzung) wurde in zwei Varianten festgelegt:

- 50 Jahre (analog der ökologischen Bewertung) und
- 30 Jahre (zum Vergleich mit einer typischen „Bauträgerrechnung“)

Nutzungsdauern, Wartungskosten, Restwerte:

Den Berechnungen der Kosten für den Gebäudebetrieb und die Instandsetzung wurden Nutzungsdauern und Wartungskosten entsprechend der untenstehenden Tabelle zugrunde gelegt. Nutzungsdauern wurden den Bauteilen entsprechend der IBO Richtwerttabelle (www.baubook.info) zugeordnet (Bauteil, Dämmung, Innen/Außenschicht), wobei die maximalen Nutzungsdauern auf 50 Jahre reduziert wurden.

Um eine Verzerrung des Kostenvergleichs für Instandsetzungsmaßnahmen (Wiederbeschaffungskosten nach Ablauf der Nutzungsdauer) zu vermeiden, wurden die jeweiligen Restwerte zum Ende des Betrachtungszeitraums gegenübergestellt.

Tabelle 6-23: Übersicht der in Flucco+ angesetzten Nutzungsdauern, Wartungs- und Entsorgungskosten Roh- und Ausbau

Bauteil	Nutzungsdauer	Wartung	Abriss/Entsorgung
Rohbau			
Nutzungsdauer nach Baubook - angepasst max 50 Jahre			
** Abriss und Entsorgung			
Wände, Mauern, Dächer, Decken Beton	50 Jahre	0%	€ 190/m ²
Wände, Mauern, Dächer, Decken Ziegel	50 Jahre	0%	€ 165/m ²
Wände, Mauern, Dächer, Decken Holz	50 Jahre	0%	€ 101/m ²
Fenster Holz-Alu	40 Jahre	1%	€ 33/m ²
Fenster Holz	40 Jahre	1,5%	€ 33/m ²
Dämmung			
Nutzungsdauer nach Baubook, Entsorgung (kein Abriss)			
Wärmedämm-Verbundsystem	35 Jahre	0%	€ 3,05/m ²
Einblasdämmung, Sparrendämmung	50 Jahre	0%	€ 3,05/m ²
Innen/Außenschicht			
Nutzungsdauer nach Baubook, Entsorgung (kein Abriss)			
Holz	50 Jahre	1%	< € 0,1/m ²
Gipskartonplatte, Gipsfaserplatte	50 Jahre	0%	< € 0,1/m ²
Edelputz, Lehmputz	35 Jahre	0%	< € 0,1/m ²
Faserzementplatte	50 Jahre	0%	< € 0,1/m ²

Tabelle 6-24: Übersicht der in Flucco+ angesetzten Nutzungsdauern, Wartungs- und Entsorgungskosten Technik

Bauteil	Nutzungsdauer	Wartung	Abriss/Entsorgung
Haustechnik allgemein			
Nutzungsdauer nach Baubook angepasst, Entsorgung (in % der Anschaffungskosten)			
Rohre, Leitungen, Heizkörper	50 Jahre	0%	€ 5,-/m ² NGF
Sanitäre Einrichtungen	30 Jahre	0%	€ 5,-/m ² NGF
Pumpen, Ventile	15 Jahre	2%	€ 5,-/m ² NGF
Lüftung (ausg. Verrohrung)	20 Jahre	2%	€ 5,-/m ² NGF
Wallboxen	20 Jahre	0%	€ 50,-/Wallbox
E-Speicher	20 Jahre	1%	€ 50,-/kWh
WW-Speicher	30 (statt 20)Jahre	1,50%	€ 100/Stk
Aufzug	30 (statt 20)Jahre	2%	20%
MSR	15 (statt 20) Jahre	3%	0%
Wärmeerzeugung			
Nutzungsdauer nach Baubook, Entsorgung (in % der Anschaffungskosten)			
Solarpaneele Standard	30 (statt 20) Jahre		0%
Solarpaneele Vakuumkollektoren	20 Jahre		5%
Wärmepumpe	20 Jahre		5%
Sonden	50 Jahre		5%
Verrohrung	50 Jahre		0%
PV			
PV Paneele	30 (statt 20)Jahre		2%
PV Unterkonstruktionen	50 Jahre		5%
Wechselrichter	15 Jahre		2%

Indizes:

Für die Berechnung der Kosten für

- Beschaffung (Anschaffungskosten, Wiederbeschaffung)
- Instandhaltung/Wartung
- Abriss und Entsorgung
- die Restwerte

wurde in den Berechnungen eine Preissteigerung von 2 % jährlich (Index 1,02) berücksichtigt.

Für die Berechnung der Energiekosten wurde:

- für Netzstrom, Wind-Peak-Shaving und PV-Einspeisevergütung ausgehend von den aktuellen Kosten für Ökostrom ebenfalls der Index von 1,02
- für Fernwärme (Wien) ausgehend vom aktuell gedeckelten Wert ein Index von 1,04 bis zum 20. Jahr, danach ebenfalls der Index von 1,02

angewendet.

Finanzierungskosten (kumulierte Gesamtkosten):

Für Beschaffung (Anschaffungskosten und Wiederbeschaffung) wurden 2 Finanzierungsvarianten mit jeweils einem Zinssatz von 4 % p.a. berechnet und ergänzend dargestellt:

- Finanzierungszeitraum 25 Jahre
- Finanzierungszeitraum entsprechend der Nutzungsdauern, max. 40 Jahre (ergänzende Darstellung der Mehrkosten)

6.1.9 Quantifizierung von Flexibilitätsparametern und Netzdienstlichkeitsbewertung

Zusätzlich zu den gängigen obigen Energiekennzahlen werden in folgender Tabelle die Parameter zur Bewertung der Flexibilität angegeben.

Tabelle 6-25: Flexibilitätsparameter

Parameter	Einheit	Beschreibung
Eigenverbrauchsanteil PV	%	Der prozentuelle Anteil der gesamten PV-Produktion, der innerhalb der gesetzten Systemgrenze (Quartier, Einzelgebäude) direkt verbraucht wird
Deckung PV+Netzdienstlichkeit	%	Der prozentuelle Anteil des Gesamt-Endenergiebedarfes, der durch eigenen PV-Strom und bezogenen netzdienstlichen Strom gedeckt wird
Heiz-/Kühlenergiebedarf	kWh/m ² _{NGFA}	Durch die „Beladung“ des thermischen Speichers in Form des Gebäudespeichervermögens wird im Falle von vorliegenden Freigabesignalen die Mindest-Sollraumtemperatur überschritten und es kommt somit zu höheren Energiebedarfen für Heizen und Kühlen, welche mit den Bedarfen der Referenzvariante gegenübergestellt werden
Mittlere Raumtemperatur Heiz-/Kühlsaison	°C	Differenziert nach Heiz- und Kühlsaison, gibt die mittlere Raumlufttemperatur eine simple Zustandsgröße für den Speicher- bzw. Ladezustand des Quartiers ab.
ND+	h/a	Anzahl an Stunden, in welchen zu netzdienstlichen Zeiten (Freigabesignal liegt vor) Energie bezogen wird („Speicher“ wird beladen)
ND-	h/a	Anzahl an Stunden, in welchen zu netzdienstlichen Zeiten (Freigabesignal liegt vor) keine Energie bezogen wird („Speicher“ wird entladen)
NA+	h/a	Anzahl an Stunden, in welchen zu netzadversen Zeiten (kein Freigabesignal liegt vor) Energie bezogen wird („Speicher“ wird beladen)
NA-	h/a	Anzahl an Stunden, in welchen zu netzadversen Zeiten (kein Freigabesignal liegt vor) keine Energie bezogen wird („Speicher“ wird entladen)

Für die Analyse der Ergebnisse wird das Jahr während der Heiz- und Kühlzeiten in vier Quadranten unterteilt:

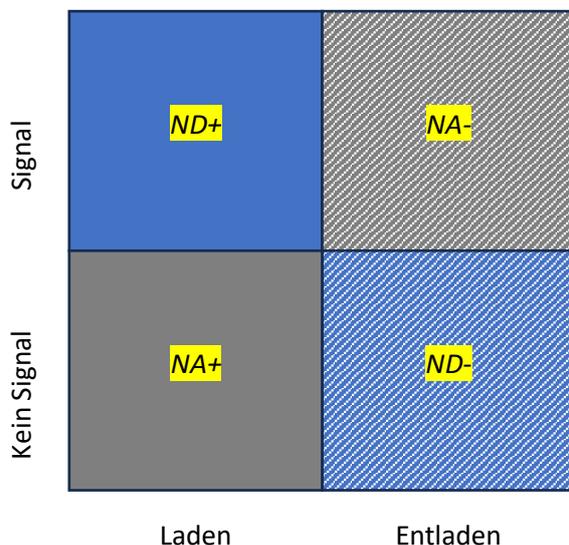
- Netzdienstliche Ladung (ND+) – Heizung/Kühlung (Laden) während Signal:

Dieser Quadrant umfasst Zeiträume, in denen der Heiz- oder Kühlbetrieb mit den externen Signalen für Energieflexibilität zusammenfällt, was es ermöglicht, die Gebäudemasse während dieser Perioden zu laden.

- Netzadverse Entladung (NA-) – Keine Heizung/Kühlung (Entladen) während Signal:
In diesem Quadranten gibt es Zeiträume, in denen das Gebäude keine Heizung oder Kühlung benötigt und zufälligerweise keine externen Signale für Energieflexibilität vorhanden sind. Während dieser Perioden bleibt die Gebäudemasse entladen.
- Netzadverse Ladung (NA+) – Heizung/Kühlung (Laden) ohne Signal:
Dieser Quadrant umfasst Perioden, in denen das Gebäude Heizung oder Kühlung benötigt, jedoch keine externen Signale für Energieflexibilität vorhanden sind. Die Gebäudemasse wird während dieser Perioden basierend auf den regulären Heiz- oder Kühlbedürfnissen aufgeladen.
- Netzdienliche Entladung (ND-) – Keine Heizung/Kühlung (Entladen) ohne Signal:
Dieser Quadrant umfasst Zeiträume, in denen das Gebäude keine Heizung oder Kühlung benötigt und keine externen Signale für Energieflexibilität vorhanden sind. Die Gebäudemasse bleibt während dieser Perioden entladen, da keine aktive Heizung oder Kühlung erforderlich ist.

Durch die Kategorisierung des Jahres in diese vier Quadranten wird es möglich, das Verhalten der Gebäudemasse auf externe Signale für Energieflexibilität sowie auf natürliche Heiz- und Kühlbedürfnisse während der Heiz- und Kühlzeiten zu bewerten und zu analysieren.

Abbildung 6-11: Trennung des Jahres für Zeiten mit/ohne Signal und mit/ohne aktuelle Heizung/Kühlung



Es ist erstrebenswert, die Anzahl der Stunden in ND+ und ND- zu erhöhen, während die Anzahl der Stunden in NA- und NA+ reduziert wird. In ND+ und ND-, wenn Signale vorliegen, kann das Gebäude innerhalb des Temperaturbands geheizt oder gekühlt werden, und wenn keine Signale vorhanden sind, ist keine Heizung oder Kühlung erforderlich. Diese perfekte Abstimmung von Signalen mit dem Verhalten des Quartiers optimiert die Energieflexibilität. Andererseits treten in NA- und NA+ Unstimmigkeiten zwischen Signalen und Heiz-/Kühlbedürfnissen auf. In NA- wird keine Heizung oder Kühlung benötigt, es liegen jedoch Signale vor, und in NA+ ist Heizung oder Kühlung erforderlich, während jedoch keine Signale anstehen.

Durch separate Berechnung des netzdienlichen und netzadversen Effekts werden die folgenden beiden Gleichungen definiert:

$$ND = ND_+ + ND_- [h] \quad (5)$$

$$NA = NA_+ + NA_- [h]$$

ND ... Netzdienlichkeit

NA ... Netzadversität

Um dieses Verhalten quantitativ zu bewerten, kann eine Gleichung daraus verwendet werden. Eine mögliche Gleichung könnte sein:

$$NB = ND - NA [h] \quad (6)$$

NB ... Netzbilanz

Ein höherer positiver Score deutet auf eine bessere Abstimmung von Signalen mit Heiz-/Kühlbedürfnissen hin, was eine effizientere Betriebsweise der Energieflexibilität darstellt. Umgekehrt deutet ein negativer Score auf Unstimmigkeiten zwischen Signalen und Heiz-/Kühlbedürfnissen hin, was Raum für Verbesserungen in der Nutzung der Energieflexibilität bedeutet.

Das ultimative Ziel besteht darin, einen positiven Score zu erreichen und die Stunden in NA- und NA+ zu minimieren oder idealerweise zu eliminieren, um die effiziente Nutzung der Energieflexibilität zu maximieren und den Energieverlust zu reduzieren. Dieser Scoring-Ansatz ermöglicht eine quantitative Bewertung der Leistung der Strategie für die Energieflexibilität des Quartiers und kann zur Optimierung des Betriebs der Gebäudemasse als Speichersystem verwendet werden.

Im Folgenden werden verschiedene Sensitivitäten basierend auf den Bewertungen für die Heiz- und Kühlfälle analysiert:

- Einfluss des Temperaturbands [0...5] K in 1 K-Schritten
- Einfluss der effektiven Wärmespeicherkapazität (pauschal leicht, mittel, schwer)
- Einfluss der Qualität der Gebäudehülle (OIB, PH)

6.1.10 Signalvariation

Unabhängig von den Quartiersbetrachtungen erfolgt zusätzlich eine Variation der Anwendung verschiedener in Kapitel 5 (Flexibilitätssignale) erarbeiteter Signale anhand eines Beispielquartiers. Dazu wird Sonnendorf Schwoich herangezogen. Um die isolierte Wirkung der Verwendung der externen Signale zu haben, wird ohne PV-Anlage simuliert. Dies liegt an der in Kapitel 6.1.2.3 beschriebenen Deckungsreihenfolge, wo Strom aus der PV-Anlage prioritär behandelt wird und somit die Wirkweise eines externen Signals beeinflussen würde.

Hier wird ebenso das PEQ-Tool verwendet und anschließend anhand der in Kapitel 5 beschriebenen Flexibilitäts- und Netzdienlichkeitsparameter bewertet. Dabei werden zwar alle Energiedienstleistungen innerhalb des Quartiers berücksichtigt, die aktive Steuerung anhand eines Signales erfolgt jedoch ausschließlich für Heizen und Kühlen. Somit finden in den Auswertungen auch ausschließlich Parameter aus Heiz- und Kühlbereich Platz.

Um die Varianten zu beschreiben, werden primär folgende drei Parameter variiert:

- Qualität der Gebäudehülle
- Effektive Wärmespeicherkapazität der Gebäudemasse
- Temperaturband für Heiz- und Kühlsaison

Für die Effizienz der Gebäudehülle werden zwei Qualitäten unterschieden, die die thermische Isolierung gemäß den österreichischen Mindestanforderungen für Neubauten und verbesserte thermische Isolierung repräsentieren:

- Mindest-U-Werte gemäß OIB-Richtlinie 6 (OIB-RL6, Energieeinsparung und Wärmeschutz)
- Passivhausdesign (PH)

Die folgende Tabelle zeigt die Werte für die beiden Bauteilqualitäten für die Basisbauteile Außenwände, Fenster, Dach und Boden. Die Mindestanforderungen an den U-Wert für Passivhäuser betragen 0,15 W/m²K für opake Bauteile (*Passivhaus Institut, 2023*) – für die U-Werte von Dach und Boden werden die Werte entsprechend basierend auf üblicher Gewichtung angepasst.

Tabelle 6-26: Qualitäten (U-Werte, g-Wert) der Gebäudehülle

	<i>U-Wert Außenwand</i>	<i>U- Wert Fenster</i>	<i>g- Wert Fenster</i>	<i>U- Wert Dach</i>	<i>U- Wert Fußboden</i>
	<i>W/m²K</i>	<i>W/m²K</i>	-	<i>W/m²K</i>	<i>W/m²K</i>
OIB-RL6	0,35	1,40	0,70	0,20	0,40
PH	0,15	0,80	0,50	0,12	0,10

Im angewandten Berechnungsmodell wird die effektive thermische Speicherkapazität der Gebäudemasse und der Gebäudeeinrichtung als idealer Speicher implementiert. Die effektive thermische Kapazität bezieht sich hauptsächlich auf die Speicherfähigkeit von innenliegenden Bauteilschichten, deren Oberflächen dem Raum zugewandt sind. Der Einfluss auf Temperaturänderungen dämpft den Effekt und beeinflusst somit auch Heiz-/Kühlprozesse und damit wiederum die Nutzung externer Signale aus erneuerbaren (fluktuierenden) Energiequellen.

Für die systemische Untersuchung werden drei typische Konstruktionstypen laut Passivhausplanung verwendet:

- Massivbauweise: 204 Wh/m²_{NGF}
- Mischbauweise: 135 Wh/m²_{NGF}
- Leichtbauweise: 60 Wh/m²_{NGF}

Um die Gebäudemasse als Speicher zu nutzen, werden Temperaturbänder ab der minimalen Solltemperatur definiert, die eine konventionelle Gebäudetemperaturregelung repräsentiert. Ein Temperaturband von 2 K mit einer minimalen Solltemperatur von 21°C als Raumlufttemperatur impliziert eine maximale Raumlufttemperatur von 23°C (21°C + 2 K). Das Temperaturband zwischen 21°C und 23°C kann als Flexibilität oder Speicherkapazität betrachtet werden. Die Temperaturbänder werden von 0 K (konventionell) in 1K-Schritten bis zu 5 K variiert.

Aufgrund unterschiedlicher Niveaus der Wärmedämmung führen die beiden Varianten der Gebäudehülle zu unterschiedlichen Perioden für die Heiz- und Kühlzeiten, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind:

Tabelle 6-27: Heiz- und Kühlsaison für OIB- und PH-Variante

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
OIB	h	h	h	h	c	c	c	c	c	h	h	h
PH	h	h	h	c	c	c	c	c	c	c	h	h

Als Signale aus Kapitel 5 werden folgende verwendet:

- Windproduktion Österreich
- Windkraft-Prognosefehler bzw. -abweichungen
- Residuallast 2030

Des Weiteren werden diese Profile für die Jahre 2018 – stellt vor allem ein windarmes Jahr dar – ,2019 und 2020 herangezogen. Anhand der in Kapitel 5.2.8 beschriebenen Vorgehensweise werden all diese Profile zu verwendbaren diskreten Signalen synthetisiert – einmal in annualer und einmal in saisonaler Betrachtungsweise.

6.2 Energiekonzepte der Beispielquartiere

In diesem Kapitel erfolgt eine grundlegende Betrachtung der Quartiere, welche hinsichtlich der weiteren Simulationen und Auswertungen wesentlich sind.

6.2.1 Referenzobjekt: EFH Aichinger als energieflexibles Einfamilienhaus (EFH)

Das vorliegende Referenzobjekt ist ein energieflexibles EFH in Göllersdorf. Auf der Grundlage dieses Pilotprojekts, das auch öffentlich gefördert wurde, sind bis dato ca. 15 weitere Gebäude mit dem „Energiespeicher Beton“ (Friembichler et al, 2016)(Friembichler et al., 2016) entstanden (15 EFH und ein MFH mit 155 Wohneinheiten – Kapitel 6.2.2). Projektpartner Bmstr. Aichinger war zentral am ersten Einfamilienhaus in Göllersdorf beteiligt, der Windkraftbetreiber WEB, der das „Windkraftüberschussmodell“ betreibt, war ebenfalls beteiligt. Die ersten beiden Einfamilienhäuser werden in einem eigenen Forschungsprojekt vermessen und ausgewertet .(Spaun et al., 2020).

Die W.E.B. hat erste energieflexible Gebäude und Energiedienstleistungen bereits erfolgreich auf den Markt gebracht und hat langjährige Erfahrung im Bereich Windkraft und Windkraftüberschussmodellen.

Abbildung 6-12: EFH Aichinger in Göllersdorf (Friembichler et al. 2016)

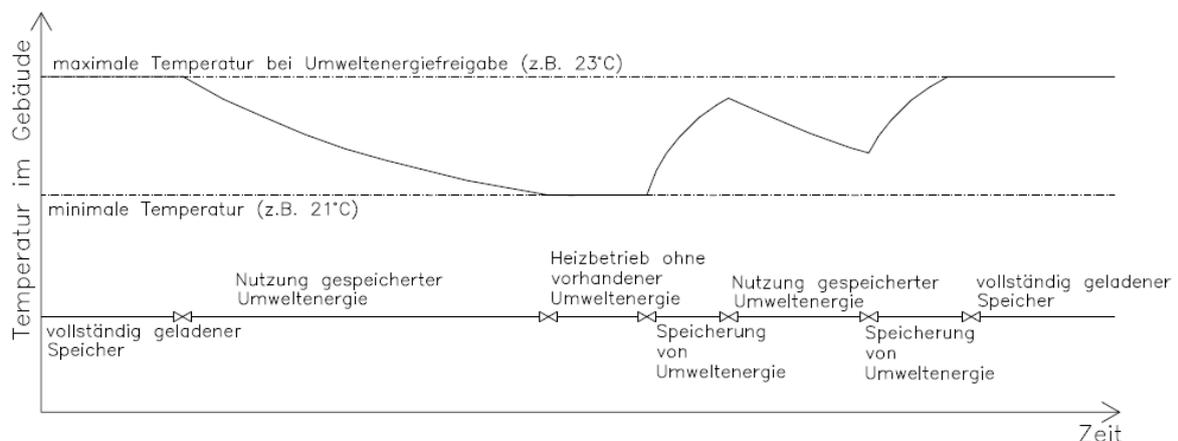


Energiekonzept

Die Speichermasse von Gebäuden kann dazu verwendet werden, Netzspitzen auszugleichen. In Zeiten von Netzspitzen wird der erzeugte Windstrom mithilfe einer Wärmepumpe in Wärme umgewandelt und in der Gebäudestruktur gespeichert oder zur Deckung von Wärmeverlusten genutzt. Das Gebäude fungiert somit als effizienter und kostengünstiger Energiespeicher für das öffentliche Stromnetz (Friembichler et al., 2016).

Die Funktionsweise für die Energieversorgung mittels Windenergie und Wärmepumpe lässt sich wie folgt beschreiben: Bei hohen Erzeugungsleistungen in Windparks gibt der Energieversorger ein Windfreigabesignal aus, das an die Gebäuderegulierung des Energieverbrauchers weitergeleitet wird. Während der Freigabezeiten wird bei Bedarf Wärme in die Betonkernaktivierung eingelagert, bis eine definierte maximale Raumtemperatur erreicht wird. Im Sommer ist es genau umgekehrt. Dabei ist das Ziel, die Untergrenze der Raumtemperatur in Phasen ohne Windfreigabe nicht zu unterschreiten. Sollte die Raumtemperatur dennoch in Einzelfällen unter den Grenzwert fallen, versorgt die Wärmepumpe das Gebäude mit Strom aus herkömmlichen Netzstrom und hält die gewünschte Mindest-Raumtemperatur. Es zeigte sich, dass Windenergie insbesondere während der Heizperiode vermehrt verfügbar ist und es daher für den umgesetzten Gebäudestandard selten notwendig ist, auf herkömmliche Produktion zurückzugreifen (Friembichler et al. 2016).

Abbildung 6-13: Grundprinzip des Steuerungsprinzips mit Temperaturhub der Raumlufttemperatur bei Umweltenergiefreigabe, zur Speicherung von thermischer Energie aus Umweltenergie innerhalb der Gebäudestruktur (Friembichler et al. 2016)

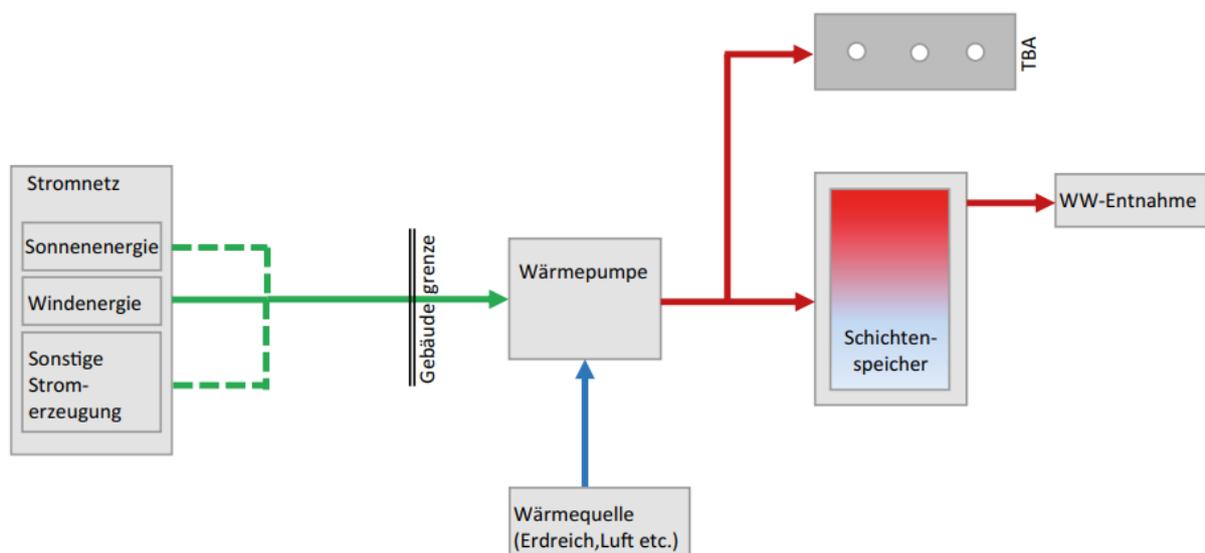


In dieser Systemvariante ist es entscheidend, eine höhere Leistung der Wärmepumpe vorzusehen, um während der Windfreigabe große Leistungen innerhalb kurzer Zeit in die Stahlbetondecke einzulagern.

Die verwendeten Systemkomponenten unterscheiden sich nicht von denen einer herkömmlichen Wärmepumpenanlage. Zur Ermöglichung der Kommunikation zwischen dem Energieversorger und der haustechnischen Anlage wird lediglich ein Freigabesignal benötigt, das von einem Regler verarbeitet wird (WP Smart Grid Ready).

Die in der Zwischenzeit errichteten 15 EFH mit energieflexiblen Maßnahmen sind durchwegs in Ziegelbauweise mit Stahlbetondecken in Passivhausbauweise errichtet. Die Decken und das Dach sind aktiviert, diese werden zur Beheizung und Temperierung im Sommer verwendet. Die Kopplung mit Windparks der WEB erfolgt im Viertelstundenintervall, d.h. immer dann, wenn der Windpark mehr als 40 % der Nennleistung liefert, wird ein Freigabesignal „Windkraftüberschussstrom“ an die Gebäudetechnik übermittelt. In diesem Fall wird versucht, verstärkt Energie über eine leicht überdimensionierte Wärmepumpe in die BTA und den Pufferspeicher zu laden, teilweise werden noch weitere Energiedienstleistungen damit gekoppelt (Geschirrspüler, Waschmaschine). Außerhalb der Freigabezeiten werden nur die Mindestsollwerte der Temperatur gehalten. Die meisten Wärmepumpen arbeiten mit dem Erdreich als Quelle, wenige mit Außenluft.

Abbildung 6-14: Prinzipskizze Energieversorgung der BTA mittels Windenergie und Wärmepumpe (Friembichler et al. 2016)



Dieses Gebäude ist mit keiner PV-Anlage ausgestattet und setzt primär auf die erneuerbare Versorgung aus „Windkraftüberschüssen“. Dennoch werden für die in den folgenden Kapiteln und darin enthaltenen Auswertungen PV-Anlagensysteme berücksichtigt. Die folgende Prinzipskizze beschreibt die angepasste Systematik mit einer PV-Anlage:

Abbildung 6-15: Prinzipskizze PV-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung (Friembichler et al. 2016)

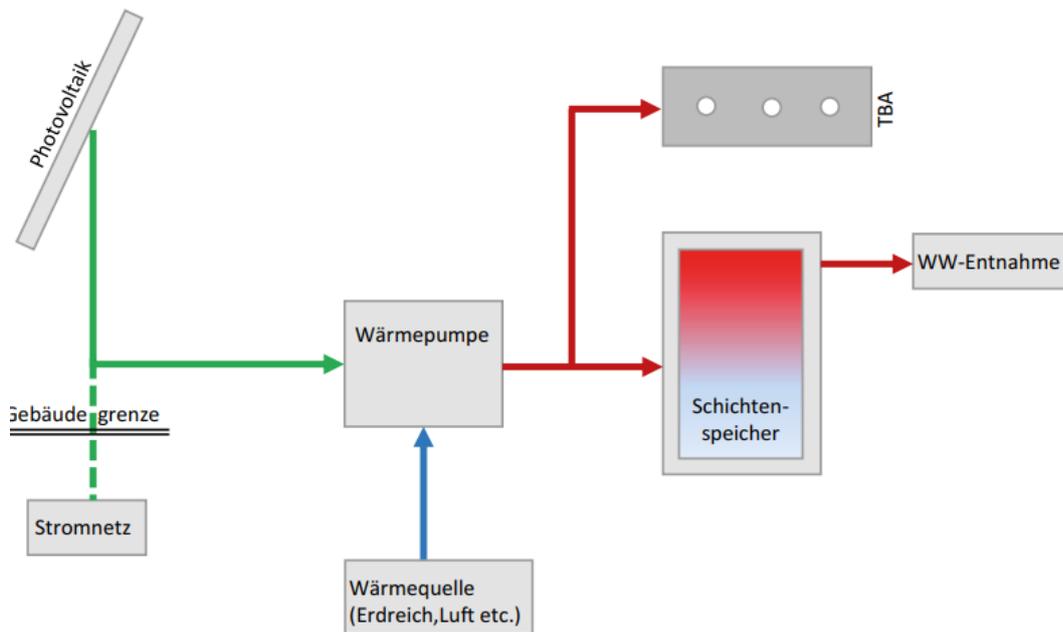


Tabelle 6-28: Kompaktdaten EFH Aichinger

Größe	Nutzung	Bauweise	Wärme/"Kälte"abgabe	Energieversorgung	Zielwerte	Zeithorizont
Ca 150m ² /EFH	Wohnen	Ziegel, Betondecken	Betonkernaktivierung	PV, WP Luft oder Erdwärme	Passivhäuser, kein Plusenergiestandard	Bezug seit 2016

PV-Anlage

Für das EFH Aichinger werden zwei Varianten in Form einer Mindest- und einer Maximalvariante erstellt und simuliert. Für beide Varianten werden 410 WP monokristalline Module mit einer Modulfläche von 1,95 m² („Standardmaß“) verwendet.

In der Minimalvariante werden die hinsichtlich der Ausrichtung günstigen Dachflächen – Südost und Südwest – belegt. Hier werden leistungsspezifische Ertragswerte um 1.000 kWh/kWp*a erreicht.

Abbildung 6-16: PV EFH Aichinger - Minimalvariante



Die Maximalvariante wird durch die restlichen Dachflächen (Nordost und Nordwest) analog ergänzt. Des Weiteren werden die Fassadenflächen des 1. Obergeschoßes in Südost- und Südwest-Ausrichtung zwischen den Fenstern mit weiteren Modulen aufgesetzt, sowie das Garagendach flach voll belegt. In diesem Ansatz wird die Nutzung verfügbarer Flächen vorrangig der geeigneten Ausrichtung gesehen

Abbildung 6-17: PV EFH Aichinger - Maximalvariante Draufsicht (links) und perspektivische Ansicht (rechts)



Tabelle 6-29: PV EFH Aichinger – Variantenzusammenfassung

	<i>Dach NO</i>	<i>Dach SO</i>	<i>Dach SW</i>	<i>Dach NW</i>	<i>Fassade SO+SW</i>	<i>Garagen- dach</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	
Anzahl Module	9	6	9	6	4	28	15	62	-
Spitzenleistung	3,7	2,5	3,7	2,5	1,6	11,5	6,2	25,4	kWp
Modulfläche	17,6	11,7	17,6	11,7	7,8	54,7	29,3	121,1	m ² _{PV}
Ertrag	3,0	2,5	3,6	1,9	1,2	8,4	6,1	20,6	MWh/a

Max. Leistung	2,9	2,4	3,4	1,8	1,1	8,8	5,7	19,3	kW
NGF-Flächenspez. Ertrag	21,5	17,7	25,5	13,6	8,5	60,2	43,2	147,0	kWh/m ² _{NGF}
Leistungsspez. Ertrag	815,1	1007,7	968,3	773,6	726,6	733,6	984,0	809,4	kWh/kWp
Flächenspez. Ertrag	171,1	211,6	203,3	162,4	152,6	154,0	206,6	170,0	kWh/m ² _{PV}
NGF-spez. Spitzenleistung	26,4	17,6	26,4	17,6	11,7	82,0	43,9	181,6	Wp/m ² _{NGF}

6.2.2 Referenzobjekt: MFH MGG22 als energieflexibles Mehrfamilienhaus (MFH)

Auf der Grundlage des Einfamilienhaus-Pilotprojekts in Göllersdorf ist nunmehr auch ein mehrgeschossiger Wohnbau in Wien (1220, Donaustadt, Mühlgrundgasse/Fahngasse) mit 155 Wohnungen auf drei Grundstücken entstanden (*Die Bauteilaktivierung als Baustein für die Stadt der Zukunft – BMK INFOTHEK*, o. J.) und seit Herbst 2019 in Betrieb. (*Die Bauteilaktivierung als Baustein für die Stadt der Zukunft – BMK INFOTHEK*, o. J.) Dabei handelt es sich sowohl um geförderte errichtete als auch freifinanzierte Wohnungen der gemeinnützigen Bau-, Wohn- und Siedlungsgenossenschaft „Neues Leben“ und der „M2plus Immobilien GmbH“ (BMNT, 2019).

Das Gebäude ist in Stahlbetonbauweise im Niedrigenergiestandard errichtet. Die Stahlbetondecken in den Zwischengeschoß-Decken und im Dach sind aktiviert, diese werden zur Beheizung im Winterhalbjahr und zur Temperierung im Sommer verwendet. Die Kopplung mit Windparks der WEB erfolgt im Viertelstundenintervall, d.h. immer dann, wenn der Windpark mehr als 40 % der Nennleistung fährt, wird ein Freigabesignal „Windkraftüberschussstrom“ an die Gebäudetechnik übermittelt. Die Wärmepumpen arbeiten mit Erdwärmesonden als Quelle (Stutzka, 2022).

Abbildung 6-18: MGG22 Visualisierung (© VDX.AT – Neues Leben)



Energiekonzept

Das Quartier besteht aus insgesamt acht Gebäuden und basiert auf dem gleichen Prinzip, wie das EFH Aichinger, ebenso ohne PV-Anlage (Abbildung 6-15) und mit Einbindung von Freigabesignalen aus „Windkraftüberschüssen“ zur Energiespeicherung in der Gebäudemasse. Bei diesem Mehrfamilienhaus ist zusätzlich zur Anwendung im EFH noch die Zentralität der Wärmebereitung, allerdings je Bauteil, zu erwähnen. Als Quelle der Wärmepumpen wurden Erdwärmesonden á 150 m Tiefe mit einer Gesamtlauflänge von 5.600 Laufmetern installiert (=Sole/Wasser-Wärmepumpen). Im Sommer wird die Energie der Erdwärmesonden direkt mittels „Free Cooling“ bzw. als Senke genutzt (BMNT, 2019).

Konträr zur leicht überdimensionierten Wärmepumpe (WP) des EFH Aichinger wurde in diesem Projekt durch exakt berechnete benötigte Heizleistungen mittels spezifischer Betrachtung der Speicherfähigkeit, usw. eine kleinere WP mit geringerer Leistung als in vergleichbaren Wohnbauprojekten installiert (BMNT, 2019).

Die Bereitung des Warmwassers erfolgt über je einen zentralen Speicher pro Gebäude, der über die Heiz-Wärmepumpe täglich zu einem fixen Zeitpunkt beladen wird. Als Back-up für die Warmwassererwärmung außerhalb der zugewiesenen Betriebszeiten der Wärmepumpe steht im Notfall ein elektrischer Heizstab zur Verfügung (BMNT, 2019).

Abbildung 6-19: Energieversorgungsschema MGG22 (Kommen um zu bleiben - Im Wohnquartier MGG22 auf Sommerfrische - VCÖ Vorbildhafte Mobilitätsprojekte, o. J.)

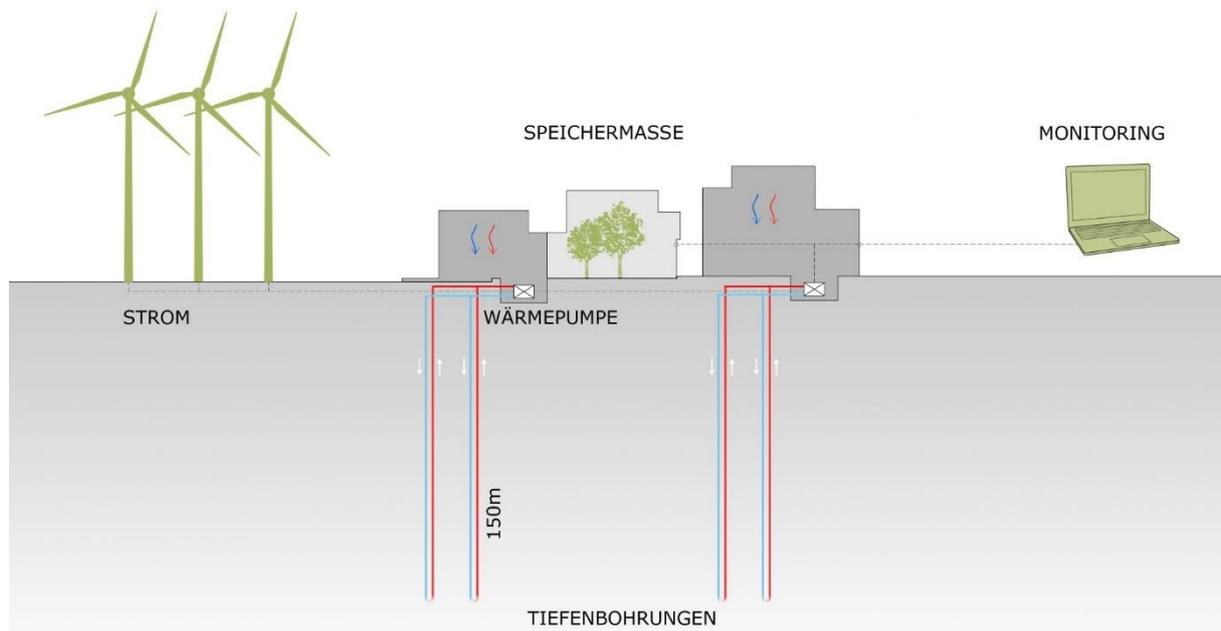


Tabelle 6-30: Kompaktdaten MFH MGG22

Größe	Nutzung	Bauweise	Wärme/"Kälte"abgabe	Energieversorgung	Zielwerte	Zeithorizont
155 Wohnungen	Wohnen	Stahlbetonbauweise	Betonkernaktivierung	WP Erdwärme	Niedrigenergiehaus	Bezug Juni 2019

PV-Anlage

Ebenso, wie beim EFH Aichinger, wird die PV-Anlage für die weiteren Variantenberechnung eigens modelliert und simuliert. Mit dem gleichen Ansatz werden hier in einer Minimal- bzw. Standardvariante die Dachflächen bestmöglich belegt. In einer Maximalvariante werden zusätzlich Fassadenflächen berücksichtigt, Terrassen mit PV-Modulen verschattet oder Balkongeländer und Absturzsicherungen belegt.

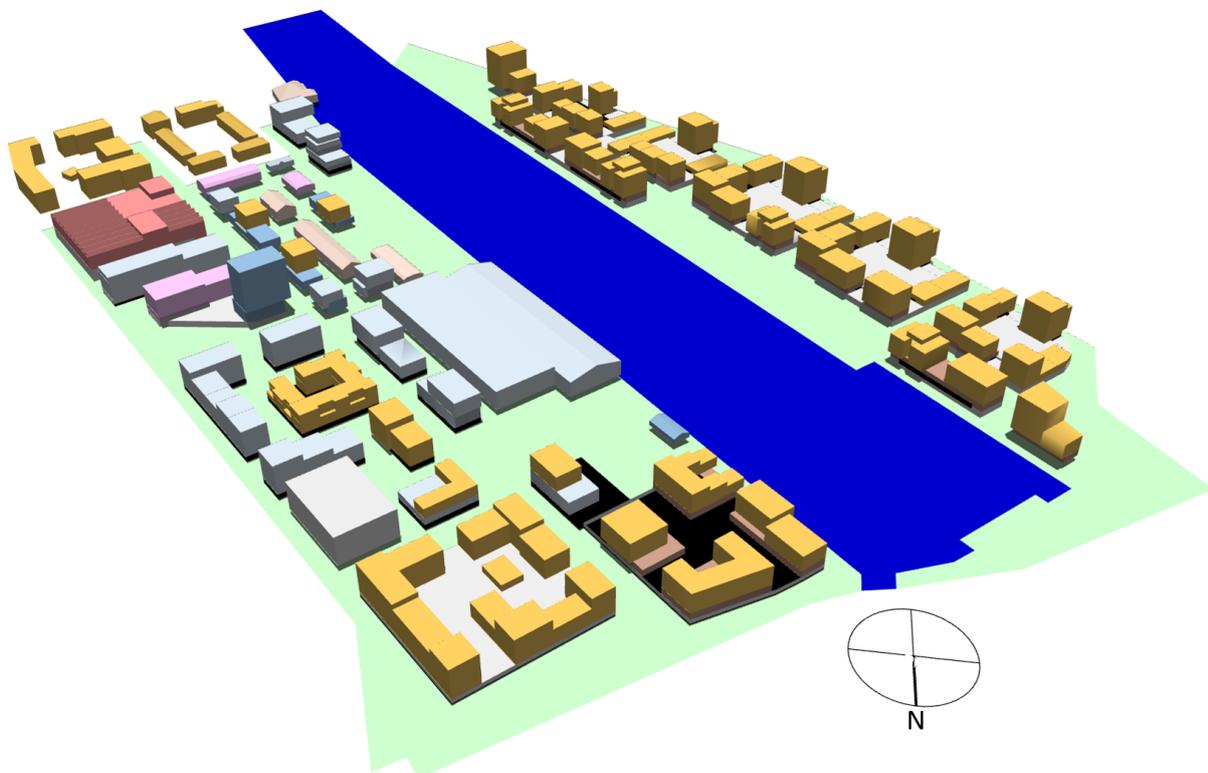
6.2.3 Plusenergiequartier Werft Korneuburg

Die alte Werft Korneuburg (ca. 18 ha, ca. 170.000 m² BGF) soll als neue Siedlungsfläche für ca. 1.500 Einwohner:innen in einem Quartier für Wirtschaft und Handel, Bildung und Kultur entwickelt werden (*Informationen - ALTE WERFT. NEUE IDEEN.*, o.J.). Auf der Grundlage des in einem breiten Öffentlichkeitsbeteiligungsprozess entwickelten "Masterplans Korneuburg 2036" hat der Gemeinderat die Eckpunkte für die Entwicklung der alten Werft festgelegt, zu denen auch das Ziel der Energieautonomie gehört.

Abbildung 6-20: Korneuburg mit Werftareal



Abbildung 6-21: Werft Korneuburg Gebäudekubaturen



Dieses potenzielle Plusenergiequartier international sichtbarer Größe, weist mit Mischung von Wohn- (43 %), Büro- und Gewerbe- (22 %), Bildungs- (9 %), Hotel- (7 %) und Veranstaltungsnutzung (5 %) ein hohes Umsetzungspotential für ein zukünftiges Plusenergiequartier auf. Die energetischen Ziele des Quartiers wurden in einem städtebaulichen Rahmenvertrag vereinbart

Motivation (Top-down):

- Global: Klimaneutralität 2050 laut COP21 Paris
- EU-Ziele: Klimaneutralität 2050
- Regierungsprogramm der Bundesregierung: Klimaneutralität 2040, bezüglich elektrischer Energie bis 2030
- Klima- und Energiefahrplan Land NÖ

- Masterplan Korneuburg: Energieautonomie der Stadtgemeinde bis 2036
- Gemeinderatsbeschluss zu Werft: Werftgelände energieautonom (lokale Deckung Gesamtenergiebedarf bilanziell über 1 Jahr)

Aus den übergeordneten und direkt definierten Zielen ergeben sich folgende Leitlinien:

1. **Lokal:** Das Werftareal Korneuburg wird so errichtet, dass es die laufenden Gebäude- und MIV-Dienstleistungen lokal decken kann (inkl. regionales Wind-Peak-Shaving, Operationalisierung nach Zukunftsquartiers-Ansatz)
 - a. Das Quartier Werft Korneuburg wird energieautonom betrieben. Energieautonomie des Werftareals entspricht dem Standard-Plusenergiequartier. Es wird mehr Primärenergie erzeugt als verbraucht, d.h. der Primärenergiesaldo ist ≥ 0
 - b. Das Quartier Werft Korneuburg kann inkl. individueller Alltagsmobilität klimaneutral betrieben werden (Operationalisierung Zukunftsquartiers-Ansatz)
 - c. Das Quartier Werft Korneuburg nutzt energieflexible Maßnahmen, um auf das klimaneutrale, hochvolatile Energiesystem 2040 gut vorbereitet zu sein.
2. **Ausblick global:** Das Werftareal Korneuburg wird derart errichtet, dass sie die Klimaverpflichtungen aller Bewohner:innen, Nutzer:innen, Industriebetriebe laut Völkerrechtsvertrag COP 21 Paris erfüllen kann

Folgende Tabelle zeigt die Grundinformationen der Werft Korneuburg hinsichtlich der Flächen und Stellplätze:

Tabelle 6-31: Quartierswerte Werft Korneuburg (Stand UVP-Antrag Werft Korneuburg, Oktober 2022)

Parameter	Wert	Einheit
Standort	Korneuburg (Wetterdaten gem. Wien Hohe Warte)	
Wohnbau NGF	94.543	m ² _{NGF}
Bürobau NGF	22.017	m ² _{NGF}
Schule NGF	4.137	m ² _{NGF}
Sport NGF	6.816	m ² _{NGF}
Handel NGF	9.944	m ² _{NGF}
Summe NGF	137.457	m ² _{NGF}
Grundstücksfläche	105.167	m ²
	inklusive Wege mit Bestandsgebäuden und Schwimmplätzen	
GFZ	1,6	-
Stellplätze	2.971	-

6.2.3.1 Energiekonzept

Die wesentlichsten Punkte für die Erstellung von Energiekonzepten für die Werft sind vor allem die Mobilisierung von Gebäudespeichermassen, Nutzung von Windkraft-Peak-Shaving und lokaler

erneuerbarer Energien, Sektorkopplung, Einbindung von Strombojen in der Donau und Integration des Mobilitätssektors.

Zur Festlegung der Energieversorgung und Anschlussleistung des Quartieres Werft-Korneuburg wurden sechs Konzepte entwickelt:

0. Var. **WW über FW**: Fernwärme für Warmwasserversorgung, Wohnen, Hotel etc., Rest dezentral pro Baufeld über Grundwasser: Variante mit geringer Fernwärmeleistung und hoher Volllaststunden
1. Var. **Referenz**: Fernwärme 100 % (FW-Referenz)
2. Var. **Hybridsystem**: Fernwärme Festland, Rest und Kühlung dezentral pro Baufeld über Grundwasser
3. Var. **Dezentral WP**: Lokale Versorgung Grundwasser/Donauwasser/Erdwärme 100 %, lokale Versorgung pro Baufeld (Wasser/Erdwärme dezentral/Baufeld)
4. Var. **Energiering + WP**: Lokale Versorgung Grundwasser/Donauwasser/Erdwärme 100 %, Energiering zum Ausgleich (Wasser/Erdwärme Energiering)
5. Var. **Energiering + FW**: Fernwärme Festland, Rest und Kühlung über Grundwasser (Hybrid, Festland FW Wärme, Rest Energiering Wasser/Erdwärme). Bindet die Fernwärme in den Energiering ein, damit geringere Trassenlänge Fernwärme erforderlich

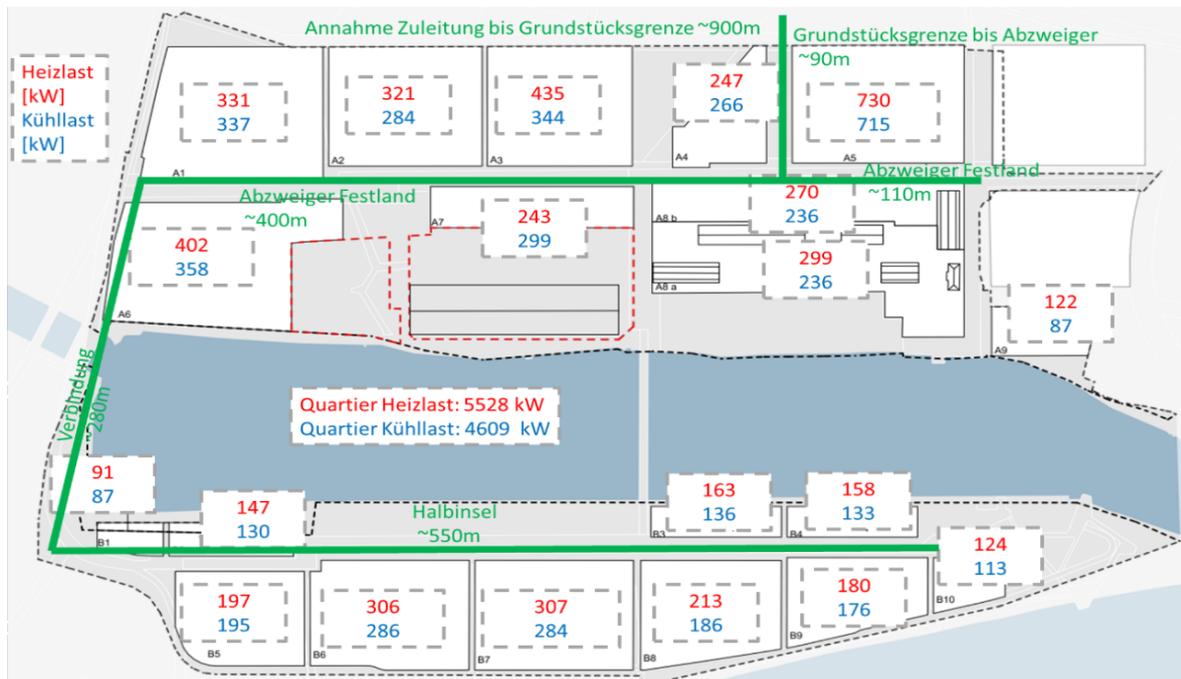
Aus einer vorliegenden Studie zur Grundwassernutzung (Büro Geoconsult ZT GmbH) ist ersichtlich, dass das Grundwasserpotenzial auf der Halbinsel eine höhere Dichte an Brunnensystemen ermöglicht als am Festland. Die Brunnensysteme sind in Abbildung 6-22 mit einer Förderleistung von je ca. 10 l/s eingetragen.

Aus dieser Studie geht hervor, dass am Festland etwa 70 l/s Förderleistung (1.000 kW) als Quellpotenzial zur Verfügung stehen. Auf der Halbinsel hingegen stehen knapp 90 l/s (1.300 kW) zur Verfügung. Durch die Heizlasten der Komplexe ergeben sich genau umgekehrt, auf dem Festland 3562 kW und auf der Halbinsel 2.056 kW. Somit würde eine Lastverschiebung durch den Energiering von der Halbinsel auf das Festland dem Quartier zugutekommen und damit die benötigte Leistung verringern.

Die Simulationen des Energiebedarfes wurden für jeden Komplex des Quartierareals durchgeführt und so zu einem Gesamtbedarf des Quartiers zusammengefasst, um auch Lastverschiebungspotentiale in Form von Leistungsgefällen innerhalb des Quartiers zu analysieren.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Heiz- und Kühllasten der einzelnen Gebäudekomplexe sowie die Trassenlänge einer möglichen Fernwärme- oder Energiering- Verteilung dargestellt, welche sich jeweils auf eine einzelne Leitung (Vor- oder Rücklauf) bezieht:

Abbildung 6-22: Heiz- und Kühllasten des Quartiers Werft Korneuburg



Auf dem Gelände befinden sich zusätzlich zu den Neubauten bereits Bestandsgebäude. Es besteht das Potential ebenso Gebäude in unmittelbarer Nachbarschaft, die aktuell mit Erdgas thermisch versorgt sind, mittelfristig in die klimaneutrale Energieversorgung mit einzubeziehen. Alle Bestandsgebäude im Quartier fließen in die Simulationen mit ein und werden als thermisch sanierbar angenommen und mit Photovoltaikanlagen ausgestattet (Halle 55 eingeschränkt sanierbar aus Denkmalschutzgründen).

Für die Berechnung wurden typische Bauteilaufbauten auf Grundlage der Erfüllung der 16er Linie der OIB-Richtlinie 6 (Kriterium HWB und f_{GEE} , konventionelle Qualität winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz) herangezogen. Für die thermisch optimierten Varianten gemäß 10er Linie der OIB-Richtlinie 6 wird ein entsprechend verstärkter Wärmeschutz angenommen.

Wärme-/Kälteverteilung: Es wird gemäß besten Erfahrungen geplant, Wärme und Kälte mit bauteilaktivierten Systemen abzugeben.

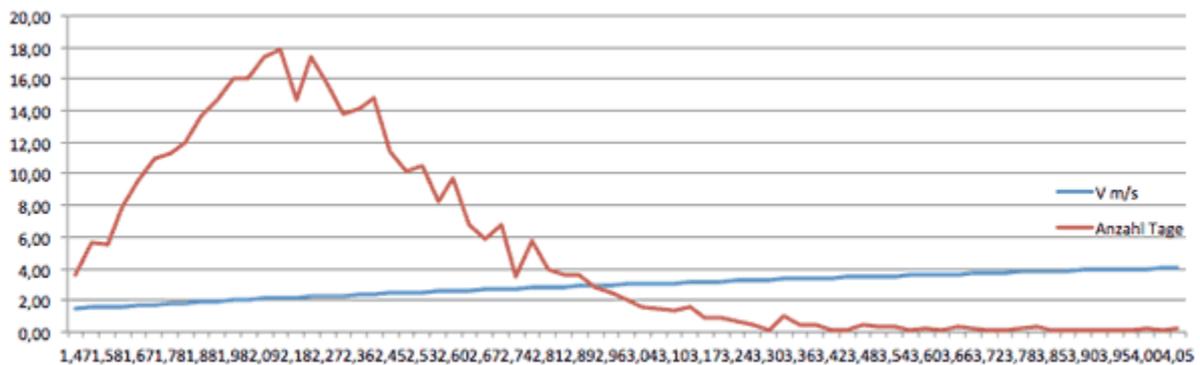
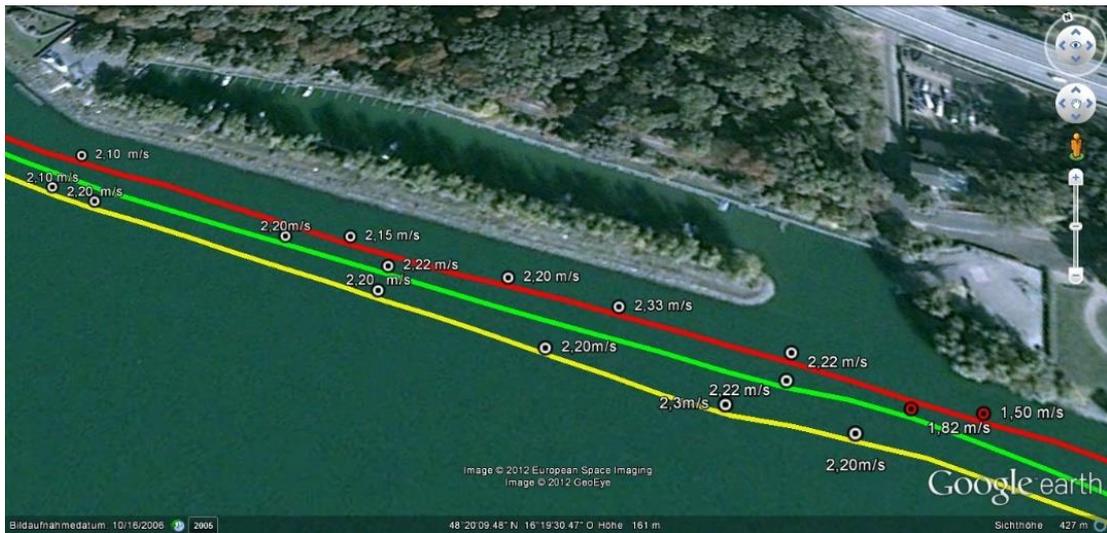
6.2.3.1.1 Erneuerbare Potentiale

Strombojen

Die Strombojen beziehen sich auf das Herstellerdatenblatt von Aqualibre (aqualibre.at / STROM-BOJE 3 /, o. J.). Mit einer Länge von 11 m einem Rotordurchmesser von 2,5 m und einer Nennleistung von 70 kW (bei 3,3 m/s) ist diese Boje für große Flüsse, wie z.B. Donau, Rhein oder Inn, konzipiert.

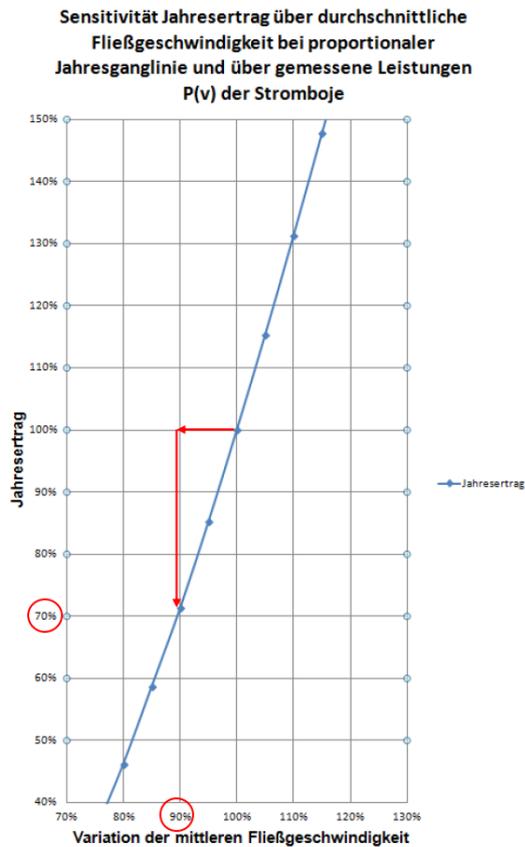
Eine Messung wurde an einem Hafen etwa 500 m vom Werf-Austritt entfernt aufgenommen, siehe Abbildung 6-23.

Abbildung 6-23: Fließgeschwindigkeit Donau Werft, oben (Nierer, 2021); Fließgeschwindigkeit Donau Kienstock (aqualibre.at | LEISTUNGSVERMÖGEN |, o. J.), unten



Dies wird aufgrund der Leistung in 3. Potenz zur Fließgeschwindigkeit entsprechend der Sensibilitätsanalyse (Knöbl in FH Technikum Wien, 2011) angenommen. Da der maximale Output der Stromboje bei 4 m/s 7 kWp beträgt und der geschätzte Output nur 16,5 % dieses beträgt, ist eine Wirtschaftlichkeit der Stromboje zu prüfen.

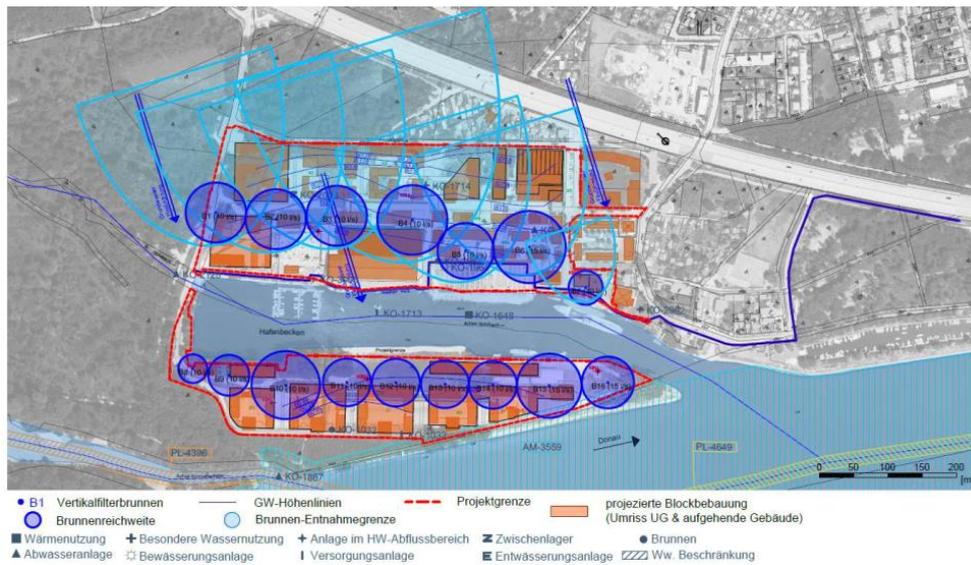
Abbildung 6-24: Leistung zu Fließgeschwindigkeit Stromboje 3 (Knöbl, 2011)



Potential Grundwasser

Gemäß Potenzialstudie durch Geoconsult Wien ZT GmbH geht hervor, dass entsprechend gewählter Variante 3, für die Verdampferleistung ein Potenzial von durchschnittlich je 10 l/s für Brunnen zur Versorgung der Wärmepumpen bereitsteht. Insgesamt können aufgrund des geringen Gefälles 16 Brunnen im Quartier hergestellt werden was ein Gesamtpotenzial von 175 l/s entspricht. Dies entspricht wiederum einem Verdampferpotenzial der Wärmepumpen von knapp 2.500 kW. Da 20 Komplexe im Quartier verbaut sind, müssen teilweise mehrere Wärmepumpen über einen Brunnen versorgt werden. Eine Aufteilung der möglichen Brunnensysteme ist in Abbildung 6-25 dargestellt.

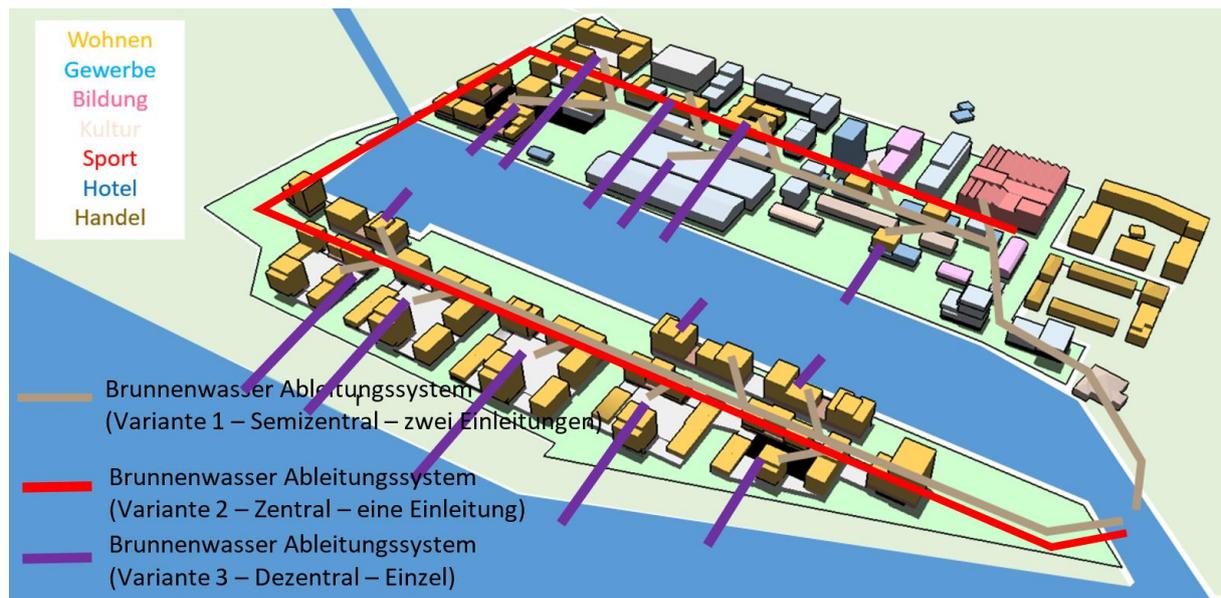
Abbildung 6-25: Potenzialstudie des Grundwassers (Geoconsult Wien ZT GmbH)



Wie aus Abbildung 6-25 ersichtlich, können auf der Halbinsel mehr Brunnen als am Festland verbaut werden, was zu einem höheren Potenzial der Halbinsel führt. Im Gegensatz dazu, wird jedoch am Festland mehr Leistung benötigt, da auf diesem Teil die Büronutzung überwiegt und somit eine höhere Heizlast aufweist.

Aufgrund der geringen Anzahl an möglichen Brunnen wird dazu tendiert, das rückfließende Wasser nicht über Schluckbrunnen in das Erdreich zu leiten, sondern direkt über Abwasserrohre in die Donau zu leiten. Mögliche Konzepte sind in Abbildung 6-26 dargestellt. Die erste Variante entspricht der kostengünstigsten Variante, in welche ein Abwasserrohr jeweils auf der Halbinsel und dem Festland in die Donau einfließen. Die zweite Variante fasst das gesamte Quartierswasser in einer Leitung zusammen und leitet diese an einem zentralen Punkt in die Donau ein. Die letzte Variante stellt eine einzelne Zuleitung pro Komplex dar. Eine Abwasserführung ist für jede Variante notwendig, da auch bei reiner Fernwärme Versorgung die Kühlung über Grundwasser-Wärmepumpen durchgeführt wird (um Rückkühler in die Außenluft zu vermeiden wegen Platzbedarf und Lärmbelästigung) und somit das Brunnenwasser ebenfalls in die Donau abgeführt werden muss.

Abbildung 6-26: Führung des rückläufigen Brunnenwassers



Potential Erdwärme

Aufgrund des hohen Grundwasserstandes und des gut strukturierten Bodens im Areal Werft-Korneuburg können zusätzlich zu den 2.500 kW der Grundwassernutzung etwa 30 W/m² aus Wärmetauschern unter der Bodenplatte sowie 15 W/m² aus Wärmetauschern entlang der erdberührten Wände gewonnen werden. Unter Berücksichtigung der Baufelder sind etwa 22.000 m² erdberührter Boden sowie 17.000 m² erdberührte Außenwände zur Verfügung. Somit kann über das gesamte Quartier ein zusätzliches Verdampferpotenzial von knapp 915 kW genutzt werden.

Zusätzlich ist die Nutzung über Erdwärmesonden möglich. Wenn diese bilanziell ausgeglichen über das gesamte Jahr betrieben werden, können 50 W/m_{Sondenlänge} angesetzt werden.

Fernwärme

Zur Fernwärmeversorgung des Quartiers müsste eine Zuleitung der Fernwärme mit einer Länge von ca. 900 m verlegt werden. Diese Zuleitung würde inklusive Planung sowie Ausführung eine Vorlaufzeit von etwa 3 Jahren benötigen, um das Quartier zu versorgen.

6.2.3.1.2 Varianten

0. Variante Warmwasserbereitung über Fernwärme (FW)

Die Warmwasserdeckung erfolgt über Fernwärme. Spitzenlastabdeckung der Heizwärme wird über Wärmepumpensysteme durchgeführt. Der Kühlwärmebedarf wird in den Büro- und Geschäftsflächen die Wärmepumpen durchgeführt. Wohngebäude und andere Nutzungen werden über Direct-Cooling temperiert. In Büro- und Veranstaltungsräumen befinden sich dezentrale Lüftungsgeräte mit 80 % Wärmerückgewinnung. Wohngebäude sind mit einer Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung ausgestattet. 40 % aller im Quartier befindlichen Fahrzeuge sind e-Autos. Gemäß Niederösterreichischer Bauordnung befindet sich jeweils eine Ladestation pro e-Auto im Quartier. Photovoltaik wird rein an 20 % des Daches in Ost-West Orientierung mit 15° Aufständigung angebracht. Zusätzlich zur PV-Anlage steht eine Wasserkraft-Anlage durch eine 70 kWp Boje zur Verfügung.

Abbildung 6-27: Schematische Darstellung der 0. Variante (WW FW)

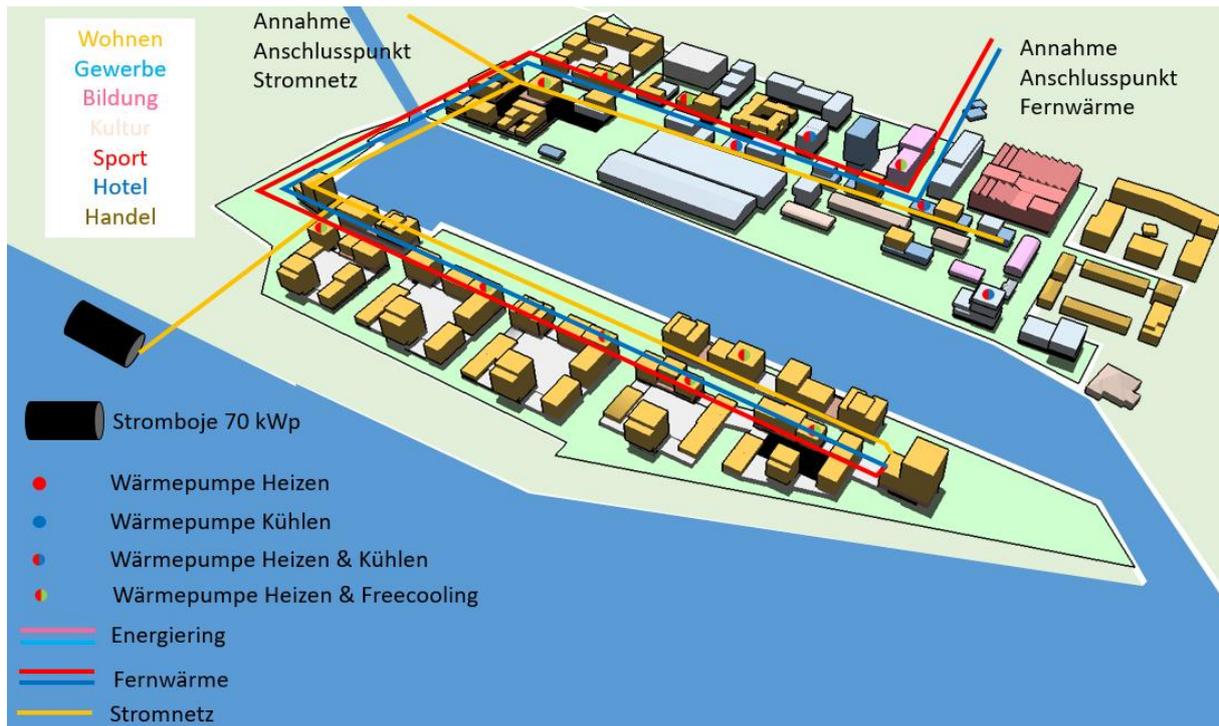


Tabelle 6-32: Pro und Contra der 0. Variante (WW FW)

Pro	Contra
Hohe Volllaststunden der FW	Lange Trassenführung
Geringer Regelungstechnischer Aufwand	Geringes Maß an erneuerbaren Energien

1. Variante FW

Die Heizwärme- und Warmwasserdeckung erfolgt vollständig aus dem Fernwärmenetz. Die Kühlung erfolgt über Grundwasser wie in Variante 0, d.h. aktive Kühlung Büro/Gewerbe, Temperierung über Direct-Cooling für Wohnen und. Die Warmwasserbereitung erfolgt als Grund- und Spitzenlastdeckung mittels Fernwärme. In Büro- und Veranstaltungsräumen befinden sich semizentrale Lüftungsanlagen mit 80-prozentiger Wärmerückgewinnung. Wohngebäude sind mit einer reinen Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung ausgestattet. 50 % aller im Quartier befindlichen Fahrzeuge sind e-Autos. Es befindet sich jeweils eine Ladestation pro zwei e-Autos im Quartier. Photovoltaik wird an 70 % der Dachfläche in Ost-West Orientierung mit 15° Aufständigung sowie an 20 % der Fassade angebracht. Zusätzlich zur Photovoltaik besteht die Möglichkeit des Wind-Peak-Shavings durch nahegelegene Wind Parks sowie eine Wasserkraft-Strombojen. Wird eine Leistung von 40 % der gesamten Windparkleistung überschritten, steht diese dem Quartier vergünstigt zur Verfügung.

Abbildung 6-28: Schematische Darstellung der 1. Variante (FW)

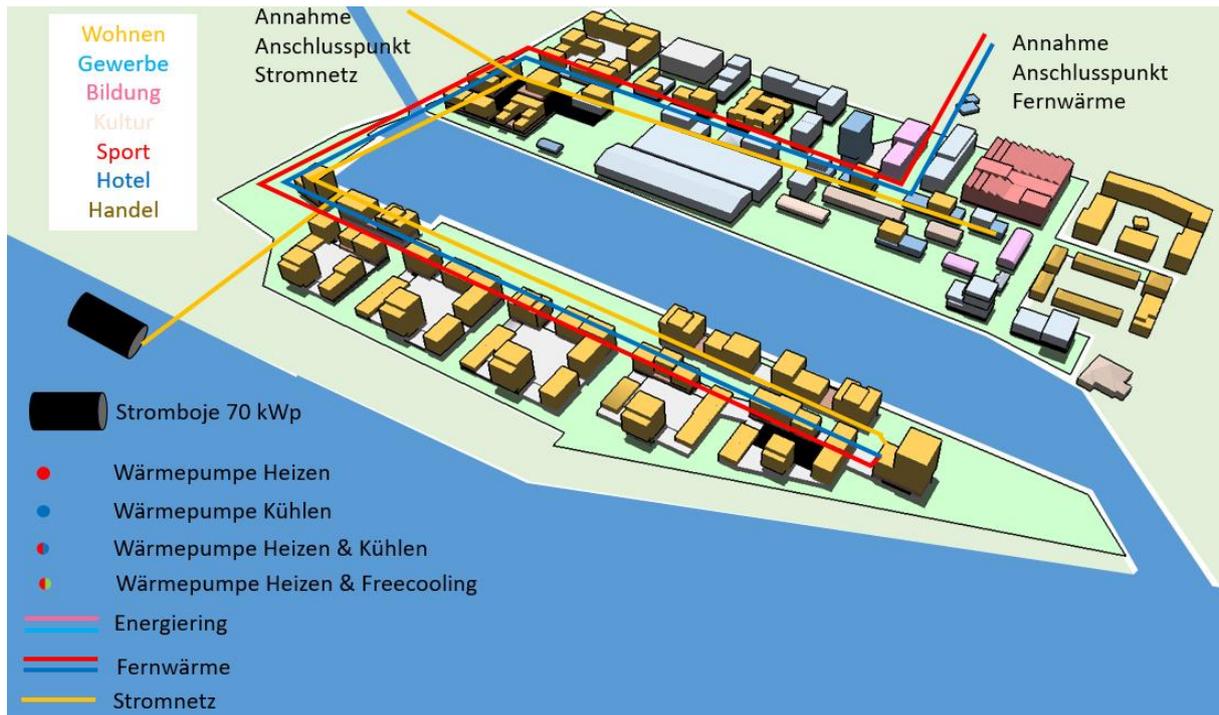


Tabelle 6-33: Pro und Contra der 1. Variante (FW)

Pro	Contra
Bezüglich Investitionskosten kostengünstige Variante	Hohe Investitionskosten für Infrastruktur Trassen Verteilverluste → Trassenführung
Geringer Betriebsführungsaufwand lokal	Primärenergie Fernwärme muss für Energieautonomie mit extra PV etc. kompensiert werden Kühlung, bzw. sommerliche Temperierung mit extra System

2. Variante Hybridsystem

Es wird das Festland über die Fernwärme versorgt. Dadurch sind weniger Trassenmeter erforderlich (und somit weniger Verteilverluste). Der Kühlwärmebedarf wird rein in den Büro- und Geschäftsflächen über die Wärmepumpen durchgeführt. Wohngebäude und andere Nutzungen werden nicht aktiv gekühlt, sondern über das Grundwasser direkt temperiert. In Büro- und Veranstaltungsräumen befinden sich dezentrale Lüftungsgeräte mit 80-prozentiger Wärmerückgewinnung. Wohngebäude sind mit einer reinen Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung ausgestattet. 50 % aller im Quartier befindlichen Fahrzeuge sind E-Autos. Es befindet sich jeweils eine Ladestation pro zwei E-Autos im Quartier. Photovoltaik wird an 70 % der Dachfläche in Ost-West Orientierung mit 15° Aufständigung sowie an 20 % der Fassade angebracht. Zusätzlich zur Photovoltaik besteht die Möglichkeit des Wind-Peak-Shavings durch nahegelegene Wind Parks sowie Wasserkraft-Strombojen. Wird eine Leistung von 40 % der gesamten Windparkleistung überschritten, steht diese dem Quartier vergünstigt und mit gemindertem Primärenergiefaktor zur Verfügung.

Abbildung 6-29: Schematische Darstellung der 2. Variante (Hybrid)

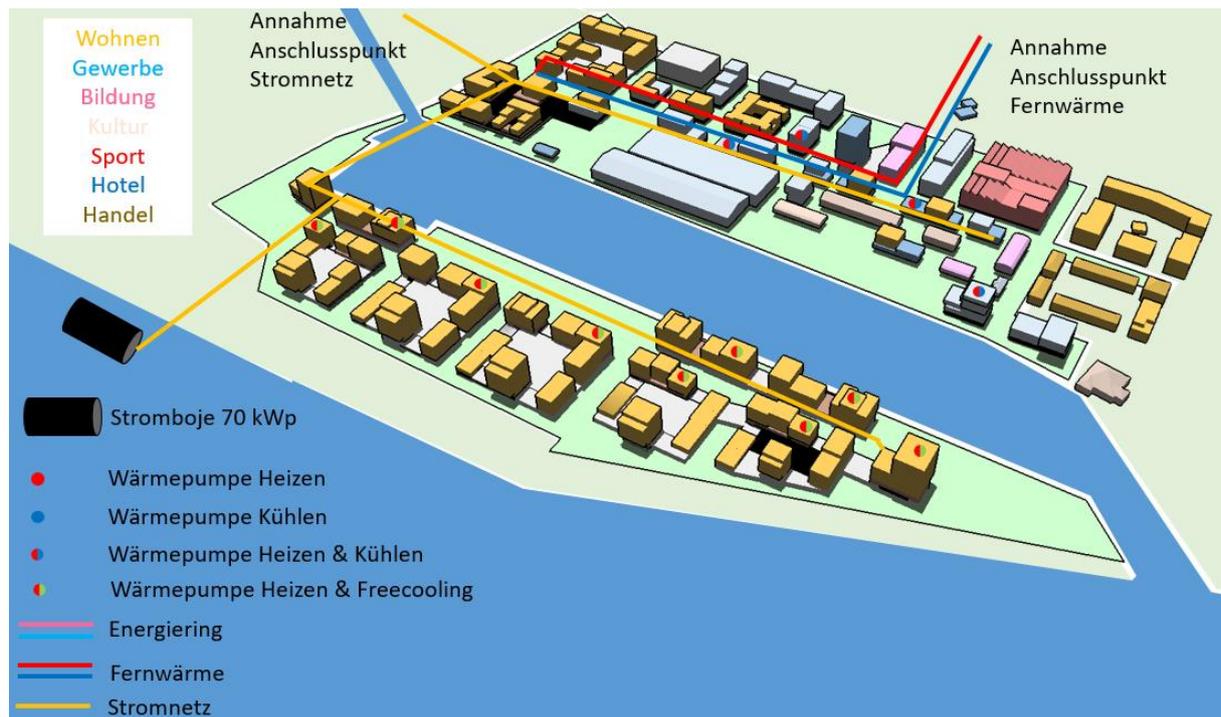


Tabelle 6-34: Pro und Contra der 2. Variante (Hybrid)

Pro	Contra
Optimierte Trassenlänge	Keine optimale Nutzung der Potenziale
Reduzierte Verteilverluste Einsatz alternativer Technologien	Höhere Investitionskosten durch doppeltes Versorgungssystem am Festland

3. Variante WP dezentral

U-Werte dieser Variante richten sich nach U-Werten gemäß OIB-Richtlinie 6, 16er Linie. Die Heiz- und Kühlwärmedeckung erfolgt vollständig über Wärmepumpen, welche in den Komplexen semizentral untergebracht sind und jeweils ein bis zwei Brunnensysteme zur Versorgung benötigen. Die Warmwasserbereitung erfolgt mittels Wärmepumpen. Das Warmwasser wird hierbei nur vortemperiert und über dezentrale Wohnungsstationen auf die benötigte Temperatur aufgeheizt. In Büro- und Veranstaltungsräumen befinden sich dezentrale Lüftungsgeräte mit 80-prozentiger Wärmerückgewinnung. Wohngebäude sind mit einer reinen Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung ausgestattet. 50 % aller im Quartier befindlichen Fahrzeuge sind E-Autos. Es befindet sich jeweils eine Ladestation pro zwei E-Autos im Quartier. Photovoltaik wird an 70 % der Dachfläche in Ost-West Orientierung mit 15° Aufständigung sowie an 20 % der Fassade angebracht. Zusätzlich zur Photovoltaik besteht die Möglichkeit des Wind-Peak-Shavings durch naheliegende Wind Parks sowie Wasserkraft-Strombojen mit je 70 kWp. Wird eine Leistung von 40 % der gesamten Windparkleistung überschritten, steht diese dem Quartier vergünstigt und mit gemindertem Primärenergiefaktor zur Verfügung. Die Wärmepumpen werden auf die Heizlast ausgelegt, da Wohngebäude nur klimatisiert werden.

Abbildung 6-30: Schematische Darstellung der 3. Variante (WP dezentral)



Tabelle 6-35: Pro und Contra der 3. Variante (WP dezentral)

Pro	Contra
Reduzierte Verteilverluste Einsatz alternativer Technologien	Höherer Regelungstechnischer Aufwand (Heizen & Kühlen)
Reines Wärmepumpensystem Nahezu optimale Nutzung der Potenziale	Höhere Investitionskosten

4. Variante Energiering+WP

Die U-Werte dieser Variante richten sich nach U-Werten gemäß OIB-Richtlinie 6, 16er Linie. Die Heizwärmedeckung erfolgt vollständig über Wärmepumpen welche zentral an drei Grundstücksplätzen untergebracht sind und über den Energiering gespeist werden. Der Energiering dient zusätzlich im Sommer als natürliche Kühlung mit 13-15°C, indem dem Boden Kälte entzogen wird und in die Gebäude gespeist wird. Um die Wärmeübertragung möglichst effizient zu gestalten, werden die Energiering Trassen nicht isoliert, was auch zu einer Kostenreduktion führt. Die Warmwasserbereitung erfolgt mittels Wärmepumpen beziehungsweise über den Energiering, wodurch sich die Lasten über den Gleichzeitigkeitsfaktor reduzieren, da der Energiering diese bei anstehender Leistung aber wenig Bedarf auch unter den Komplexen verteilen kann. Das Warmwasser wird hierbei nur vortemperiert und über dezentrale Wohnungsstationen auf die benötigte Temperatur aufgeheizt. In Büro- und Veranstaltungsräumen befinden sich dezentrale Lüftungsgeräte mit 80-prozentiger Wärmerückgewinnung. Wohngebäude sind mit einer reinen Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung ausgestattet. 50 % aller im Quartier befindlichen Fahrzeuge sind E-Autos. Es befindet sich jeweils eine Ladestation pro zwei E-Autos im Quartier. Photovoltaik wird an 70 % der Dachfläche in Ost-West Orientierung mit 15° Aufständigung sowie an 20 % der Fassade angebracht. Zusätzlich zur Photovoltaik besteht die Möglichkeit des Wind-Peak-Shavings durch naheliegende Wind Parks sowie Wasserkraft-Strombojen mit je 70 kWp. Wird eine Leistung von 40 % der gesamten

Windparkleistung überschritten, steht diese dem Quartier vergünstigt und mit gemindertem Primärenergiefaktor zur Verfügung.

Abbildung 6-31: Schematische Darstellung der 4. Variante (Energierung+WP)



Tabelle 6-36: Pro und Contra der 4. Variante (Energierung+WP)

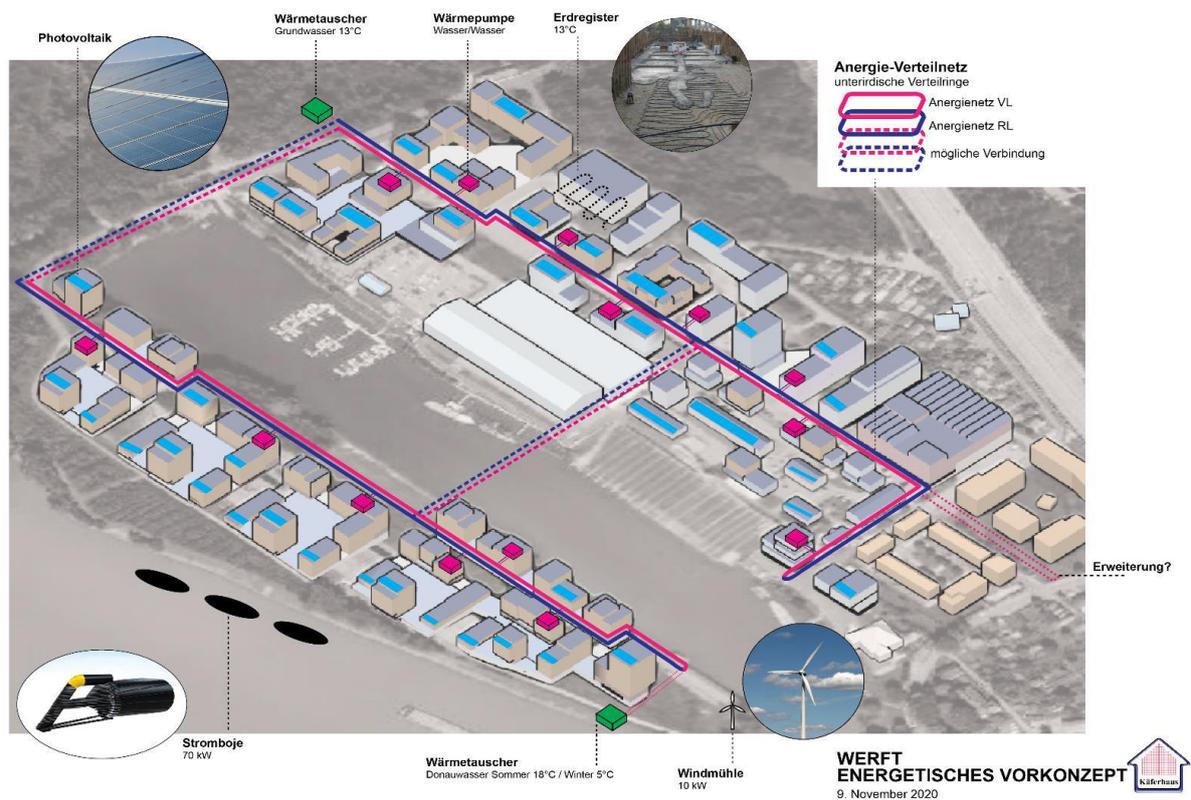
Pro	Contra
Reduzierte Verteilverluste Nutzung von free Cooling	Optimale Nutzung der Potenziale
Einsparung von Brunnensystemen	Höherer Regelungstechnischer Aufwand

Bekanntermaßen haben – auch im Winter – unterschiedliche Objekte (Wohnungen, Büros, Gewerbe) unterschiedliche Wärme- und Kälteansprüche bzw. gibt es Abfallwärme durch Kälteerzeugung. So müssen im Winter auch EDV-Zentralen ebenso gekühlt werden, wie Besprechungszimmer in Büros oder Kühltruhen im Supermarkt. Und jede Kühlung bedeutet Abfallwärme, die im Winter in den Energierung eingespeist wird. Dieser dient als Energiepuffer, in den, für jedes Objekt via Wärmepumpe Niedertemperaturwärme bzw. Kälte eingespeist und entzogen wird. Grundgedanke dieses Systems ist, dass aufgrund unterschiedlicher Nutzung nie von allen Nutzern dieses Stadtteiles gleichzeitig die gesamte erforderliche Heiz- beziehungsweise Kälteleistung von rund 3 MW gefordert wird. Ebenso gibt es immer Abwärme im System.

Das intelligente Anergienetz stellt sich als ein unisolierter Versorgungsring dar, der im Sommer mit circa 18 °C und im Winter mit circa 23 °C betrieben wird. Im Energierung wird so lange die wechselseitige Energieflüsse ‚gespeichert‘ und ausgetauscht, bis es erforderlich ist, zusätzliche Energie aus dem Grundwasser zuzuführen.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass die Warmwasserbereitung, die diesen Energierung temperaturmäßig durcheinanderbringen würde, als teilautonomes System, zentral oder dezentral, geplant wird und somit den hohen Wirkungsgrad der Wärmepumpen nicht verschlechtern kann.

Abbildung 6-32: Varianten „Anergie“- oder Niedertemperatur-Quartiersnetz oder dezentral (Käferhaus)



5. Variante Energiering+FW

U-Werte dieser Variante richten sich nach U-Werten gemäß OIB-Richtlinie 6, 16er Linie. Die Heizwärmedeckung erfolgt auf der Halbinsel über Wärmepumpen und am Festland über die Fernwärme. Der Energiering dient zusätzlich im Sommer als natürliche Kühlung mit 13-15°C, indem dem Boden Kälte entzogen wird und in die Gebäude gespeist wird sowie als Abdämpfung der Gleichzeitigkeit durch Verschieben der Lasten über die Komplexe hinaus. Durch die Einspeisung des Fernwärmerücklaufes in den Energiering wird die Temperaturdifferenz des Fernwärmenetzes weiter angehoben, was beim Fernwärmebetreiber als positiv angesehen werden kann. Um die Wärmeübertragung möglichst effizient zu gestalten, werden die Energiering Trassen nicht isoliert, was auch zu einer Kostenreduktion führt. Die Warmwasserbereitung erfolgt mittels Wärmepumpen beziehungsweise über den Energiering. In Büro- und Veranstaltungsräumen befinden sich dezentrale Lüftungsgeräte mit 80-prozentiger Wärmerückgewinnung. Wohngebäude sind mit einer reinen Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung ausgestattet. 50 % aller im Quartier befindlichen Fahrzeuge sind E-Autos. Es befindet sich jeweils eine Ladestation pro zwei E-Autos im Quartier. Photovoltaik wird an 70 % der Dachfläche in Ost-West Orientierung mit 15° Aufständigung sowie an 20 % der Fassade angebracht. Zusätzlich zur Photovoltaik besteht die Möglichkeit des Wind-Peak-Shavings durch nahegelegene Wind Parks sowie Wasserkraft-Strombojen. Wird eine Leistung von 40 % der gesamten Windparkleistung überschritten, steht diese dem Quartier vergünstigt und mit gemindertem Primärenergiefaktor zur Verfügung.

Abbildung 6-33: Schematische Darstellung der 5. Variante (Energiering+FW)

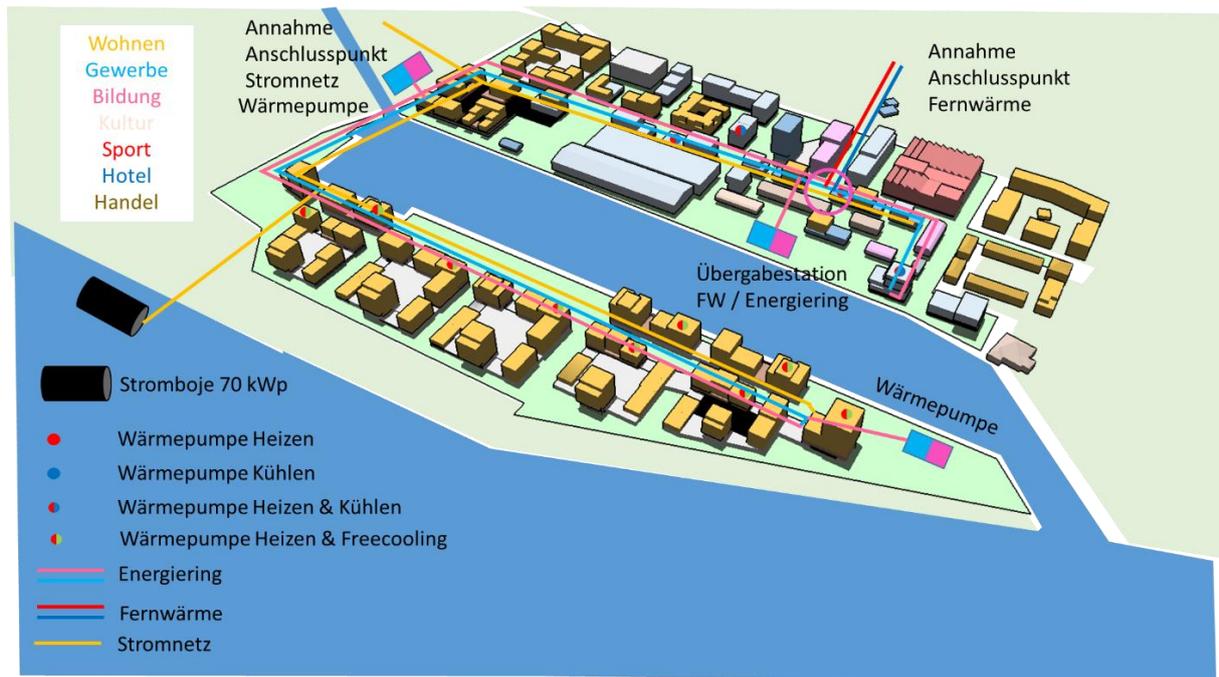


Tabelle 6-37: Pro und Contra der 5. Variante (Energiering+FW)

Pro	Contra
Reduzierte Verteilverluste Einsparung von Brunnsensystemen durch Energiering Erhöhte Temperaturdifferenz der FW	Optimale Nutzung der Potenziale Höherer Regelungstechnischer Aufwand (Heizen, Kühlen, Energiering)

6.2.3.2 Systemvergleich

Zur Veranschaulichung wurden die Systeme der einzelnen Varianten in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 6-38: Varianten im Vergleich, Werft Korneuburg

Variante	0 WW über FW	1 Referenz	2 Hybridsyst em	3 Dezentra l WP	4 Energieri ng + WP	5 Energiering + FW	Einhe it
Standort	Korneuburg (Wetterdaten gem. Wien Hohe Warte)						
Wohnbau NGF				94.543			m ² _{NGF}
Bürobau NGF				22.017			m ² _{NGF}
Schule NGF				4.137			m ² _{NGF}
Sport NGF				6.816			m ² _{NGF}
Handel NGF				9.944			m ² _{NGF}
Summe NGF				137.457			m ² _{NGF}
Grundstücksfläche				105.167			m ²

Inklusive Wege mit Bestandsgebäuden und Schwimmplätzen							
GFZ	1,6						-
U-Werte	Entsprechend PH-Standard						-
Stellplätze	1.928 – 1 Stellplatz pro Wohnung						-
Davon E-Car Ladestellen	771 (40%)		964 (50%)			-	
Heizung	FW als Grundlast WP als Spitzenlast	FW	Fernwärme am Festland, WP auf der Halbinsel	WP	WP Energieering als Grundlast	FW am Festland, WP auf der Halbinsel Energiering als Grundlast	-
Kühllast	WP	Keine	WP	WP	Energieering	WP und Energiering	-
Warmwasser	FW	FW	Dez. WW-Station	Dez. WW-Station	Dez. WW-Station	Dez. WW-Station	-
Leitungslänge FW	1.435	1.435	600	0	0	90	m
Leitungslänge Energiering	0	0	0	0	1.435	1.345	m
Anzahl Brunnensysteme	16	0	16	16	5	3	Stk.
Lüftung	Komfortlüftung mit 85 % WRG						-
Photovoltaik	20 % Dachbelegung Ost-West 887 kWp		70 % Dachbelegung Ost-West 20 % Fassadenbelegung Ost-West & Süd 4.292 kWp			-	
Wasserkraft	5 x Stromboje á 70 kWp						-
Wind-Peak-Shaving	Ohne		Ab 40 % Windpark-Leistung Windpark außerhalb des Quartiers			-	
Demand-Side-Management	Ohne		Bei Überschuss PV oder Wind-Peak-Shaving			-	

Maßnahmen zusammengefasst:

- Hochwertige thermische Gebäudehülle, Heizwärmebedarf $HWB_{Ref,RK,zul}$ 10er Linie laut OIB-RL6, $KB^* \leq 0,7 \text{ W/m}^3\text{a}$
- Da in der Bauweise (zumindest auf Halbinsel) Auftriebsschutz erforderlich, wird vorgeschlagen, zumindest Hybridbauweise umzusetzen (Stahlbetonskelett mit leichter oder

Holzmassiv-Außenhülle). Damit sind neben reduzierter grauer Energie auch schlankere Außenwände möglich.

- Lüftung mit hochwertiger Wärme- und Feuchterückgewinnung für Büro/Gewerbe, zumindest optimierte Abluft Wohnen (auch Wohnen/Arbeiten), besser mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung
- Gebäudetechnik, Regelung, Dämmung Haustechnik in Passivhausqualität (Gesamtenergieeffizienzfaktor $f_{GEE} \leq 0,6$ laut OIB-RL6)
- Strahlungsheizung, bzw. -kühlung: Fußbodenheizung/-kühlung oder in der Decke für Wohnen in allen Varianten, Betonkernaktivierung für Büro, Gewerbe mit hochwertiger Hülle hoher thermischer Komfort erreichbar
- Eigenverbrauchsoptimierung PV-Strom, Nutzung Gebäudespeichermasse und anderer Speicher für Wind-Peak-Shaving und PV-Überschuss
- Energieversorgung wird ausschließlich lokal bereitgestellt (Ausnahmen: teilweise Mobilität, Hochtemperaturwärme ab 150°C), mit Variante Wärmepumpen mit Grundwasser und Erdwärmesonden hybrid mit Energiering (Anergienetz). Fernwärme aus Biomasse Heizwerken bewirken einen hohen Primärenergiebedarf gesamt, daher deutlich mehr PV-Flächen etc. für Kompensation erforderlich (Energieautonomie). Zudem ist die Rückkühlung in diesem Fall zusätzlich zu bewerkstelligen.
 - Nutzung Wärme/Kälte Grundwasser, oberflächennahe Erdwärme (Aktivierung Fundamentplatten, Piloten, Kollektoren etc.)
 - Nutzung Solarenergie für Erzeugung elektrische Energie (PV-Photovoltaik Flachdach, Balkone, Fassaden, Sonnenschutzdächer/-vordächer etc.)
 - Nutzung Wasserkraft (Strombojen)
 - Empfohlen wird die Umsetzung des Energierings auf Anergieniveau

6.2.3.3 PV-Anlage

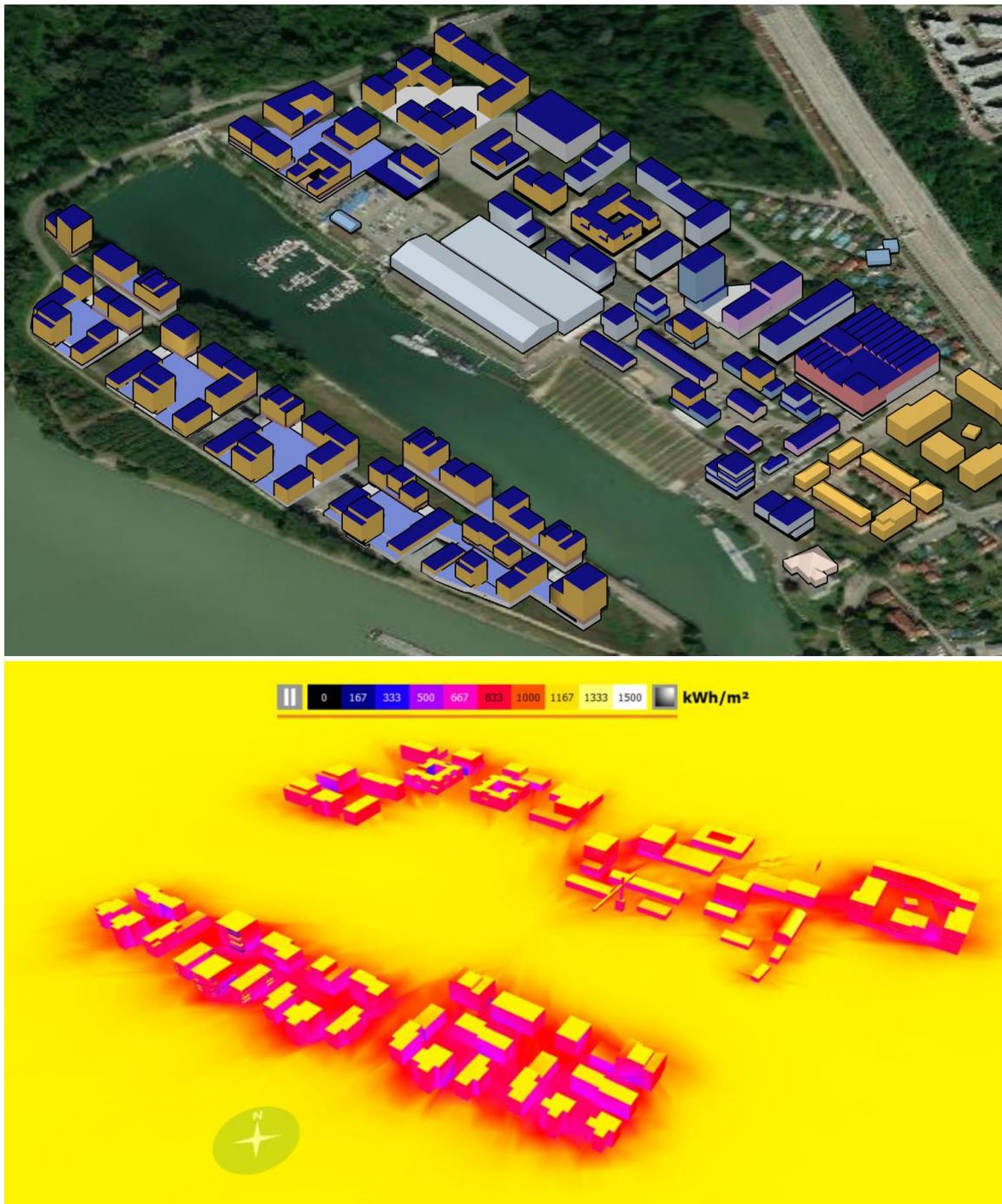
Aufgrund der konzeptionellen Planungsphase, sind auch die PV-Überlegungen auf diesen Stand in Form von Flächenpotentialen formuliert. Im unteren Teil von Abbildung 6-34 ist die zu erwartende solare Einstrahlung pro Quadratmeter und Jahr dargestellt, wobei klar hervorkommt, dass primär und vorrangig die (horizontalen) Dachflächen für PV-Belegungen verwendet werden sollten, aufgrund von ca. 1.100 kWh/m²a Solarstrahlung. Dagegen sind für die vertikalen Süd, Ost- und West-Flächen ca. 700-800 kWh/m²a zu erwarten. An Dachflächen stehen ca. 46.700 m² brutto zur Verfügung, woraus als erste Abschätzung ein PV-Ertrag von bis zu 40 kWh/ m²_{BGFA} möglich sind.

Als PV-optimierte Variante werden folgende Annahmen gewählt:

- 70% der Dachfläche, Ost-West-Orientierung
- 20% der Fassade, Orientierung offen

Daraus ergibt sich eine installierte Leistung von 6.260 kWp, was einem NGF-spezifischen Ertrag von 38,6 kWh/m²_{NGFA} entspricht.

Abbildung 6-34: Oben: PV-Potentialflächen Werft Korneuburg, unterschieden nach primärer (dunkel) und sekundärer (hell) Belegungsflächen; Unten: erwartete Sonneneinstrahlung pro Jahr (kWh/m²a)



6.2.4 Plusenergiequartier „Smart Block“ Geblergasse

Die bereits intensiv beforschte^{6,7} Bestandssanierung eines mehrgeschoßigen Wohnbaus aus der Gründerzeit am Hernalser Gürtel zeichnet sich durch Retrofitting mit Hybridkollektoren, Sole-Wasser-

⁶ Wörtl-Gössler J. et al: „Smart Block I“. Wien 2018

⁷ Wörtl-Gössler J. et al: „SMART BLOCK II“. Wien 2018

Wärmepumpen und ein erweiterbares Anergienetz mit Erdsonden im Innenhof aus, welches im Ursprungsgedanken Schritt für Schritt auf den ganzen Block ausgeweitet werden sollte.

Das Gebäude hat 17 Wohnungen im Endbestand nach Sanierung, davon sind 4 Wohnungen vermietet (thermische Sanierung auf 50 kW). Die Nutzfläche beträgt ca. 1.000 m², es gibt einen großen Hof für die Mieter:innengemeinschaft, die Größe der Wohnungen beträgt ca. 50-80 m². Im Garten bestehen Einlagerungsräume und Fahrradabstellplätze.

Die erste Ausbaustufe des geplanten Anergienetzes ist in Form der Sanierungen der Häuser Geblergasse 11 und 13 mit entsprechend vorbereiteter Haustechnik 2019 ausgeführt worden – Sockelsanierung der Gebäude und Ausführung einer dezentralen Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien über Contracting-Lösung. Ursprünglich war das Gebäude gasversorgt, hatte einen hohen Heizwärmebedarf (125 kWh/m²_{BGFA}, saniert 36 kWh/m²_{BGFA}) und es war kein Fernwärmenetz-Anschluss möglich/vorhanden. Die beiden Gebäude sollen die Startzelle für das erweiterbare Anergienetz sein. Voraussetzung für den Anschluss weiterer Nachbargebäude sind thermische Sanierungen dieser.

Abbildung 6-35: Blockrandbebauung der Geblergasse/Hernalser Gürtel/Ottakringer Straße/Veronikagasse in 1160 Wien (links), unsanierte Geblergasse 11 (rechts)



Energiekonzept

Die neue Energieversorgung wird durch ein System von Erdwärmesonden, Solarmatten, Wärmepumpe und hybriden Solar- und Photovoltaikanlagen (PVT-Kollektoren) realisiert. Im Innenhof sind 18 Sonden von rund 100 Metern Tiefe installiert, die im Winter Wärme dem Boden entziehen und sie über die Sommermonate wieder zurückführen. Die solare Aufladung im Sommer ermöglicht, dass der Rücklauf aus der Tiefe von etwa 20°C über Flächenheizsysteme wie Fußbodenheizung und Trockenbau-Kühldecken zur Temperierung der Wohnungen genutzt wird. Eine umkehrbare Wärmepumpe regelt das Temperaturmanagement und sorgt für eine energetische Bilanz im Bodenspeicher über das Jahr. Zur zusätzlichen Regeneration dienen Rückkühler und ein Erdgas-Brennwertkessel für Spitzenlastabdeckung oder Reserven.

Das im Smart Block Geblergasse errichtete Anergienetz ist die erste Wärmeversorgung in einem Wiener Althausbestand, die weitgehend auf Solarenergie und Geothermie basiert. Dieses System wird schrittweise für den gesamten Häuserblock implementiert und versorgt 18 Liegenschaften. Derzeit sind zwei Gebäude miteinander verbunden, und ein weiteres wird im Rahmen einer Sanierung folgen. Die Bohrungen für das Sondenfeld waren eine Herausforderung, da schwere Bohrmaschinen aufgrund

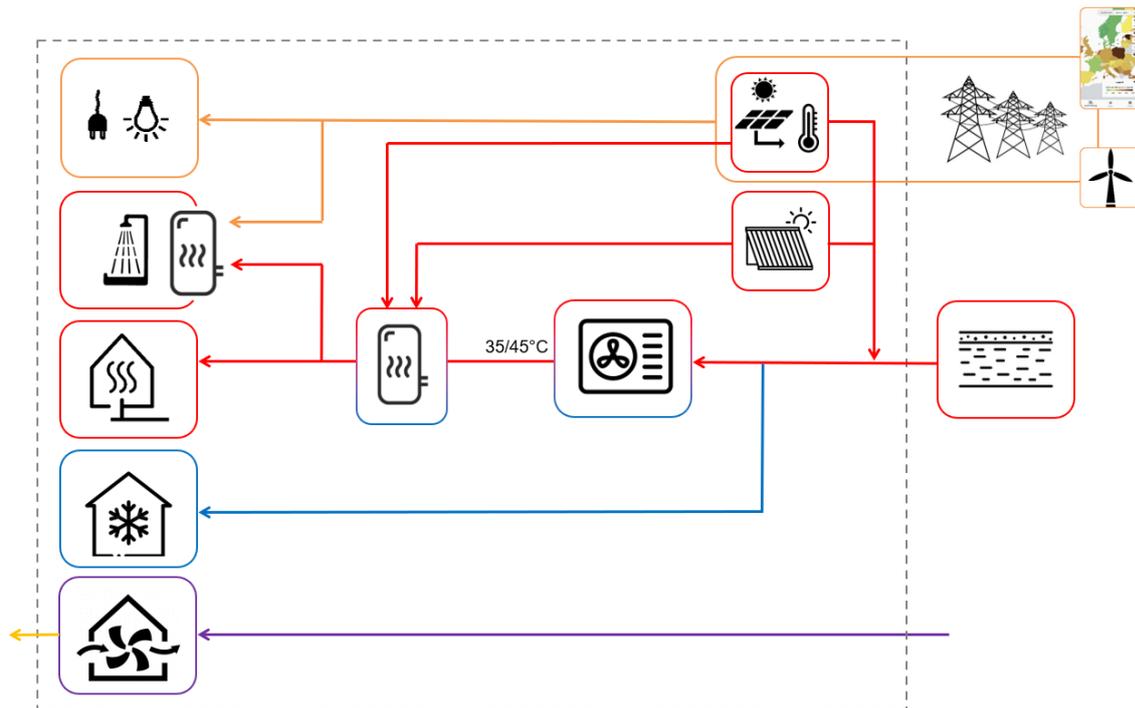
der nicht zugänglichen Hoffläche nicht verwendet werden konnten. Daher kamen Mini-Bohrgeräte für die Bohrungen im Abstand von vier bis fünf Metern zum Einsatz, teilweise schräg unter den Gebäuden. Nach Abschluss der Bohrungen wurde im Hof eine Gartenanlage mit Gemeinschaftsgärten angelegt.

Die dezentrale Warmwasserbereitung erfolgt in den Wohnungen. Speicher mit Wärmetauschern werden mit Niedertemperatur aus der Haustechnikzentrale bis zu 45°C aufgeheizt. Zusätzlich können die Bewohnerinnen und Bewohner bei Bedarf individuell E-Patronen nutzen, um höhere Temperaturen zu erreichen. Dadurch kann der Energieverbrauch je nach individueller Nutzung niedrig gehalten werden.

Elemente des neuen Energiesystems

- Energiebereitstellung für Heizung, Kühlung und Warmwasser erfolgt durch ein Energienetz mit Temperaturen zwischen 5 und 18°C. Das System umfasst insgesamt 61 Hybridkollektoren (PVT, Geblergasse 11+13), 42 m² Solarmatten und einen Sondenspeicher.
- Erdsonden mit einer Tiefe von 100 m sind im Innenhof der Geblergasse 11 im Abstand von 4 bis 5 m installiert, wobei teilweise Schrägbohrungen unter dem Gebäudebestand durchgeführt wurden. Diese dienen der Erdwärmenutzung und saisonalen Speicherung mit solarer Regenerierung.
- Eine reversible Wärmepumpe mit einer Leistung von etwa 100 kW_{th} und einer Arbeitszahl von 6 bis 7 ist das zentrale Element. Zusätzlich steht ein 100 kW Brennwert-Gaskessel als redundante Ersatzreserve zur Verfügung.
- Die Wärme- und Kälteabgabe erfolgt über Fußbodenheizung und Trockenbau-Deckenpaneele, insbesondere in Teilen der Dachgeschoße. In fünf vermieteten Wohnungen sind noch Gasetagenheizungen mit Radiatoren vorhanden.
- Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral durch Speicher mit Wärmetauscher, die durch aufschaltbare E-Patronen unterstützt werden.
- Der Betriebsstrom wird aus Hybridmodulen, transparenten PV-Zellen (Lift) und Netzbezug (Windkraft) erzeugt.

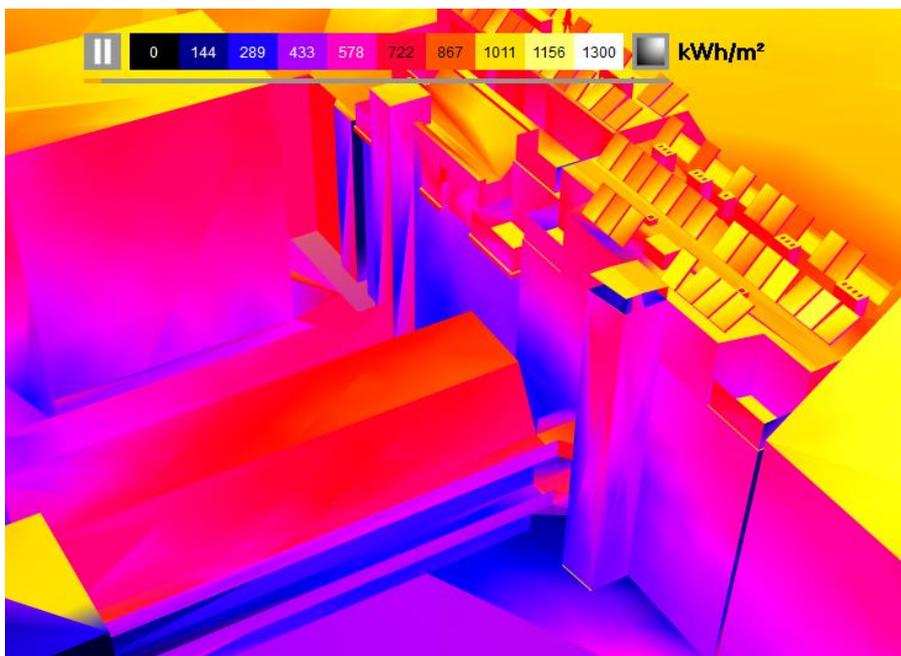
Abbildung 6-36: Schematische Darstellung des Energiekonzepts Geblergasse 11 (Rückkühler und Gas-Brennwertkessel nicht abgebildet)



PV-Anlage

Das Grundstück der Geblergasse 11 ist der Länge nach Nord-Süd ausgerichtet und hat den Eingang nordseitig, d.h. den Hof südseitig. Folgende Abbildung zeigt die jährlich zu erwarteten Einstrahlungswerte solarer Strahlung.

Abbildung 6-37: solare Einstrahlung Geblergasse 11 (Dachbelegung nach Realprojekt)



Die PVT-Module der ausgeführten Variante weisen eine Spitzenleistung von 290 Wp auf („PV290“). Diese Variante wird ebenso abgebildet, wie Adaptionen auf aktuelle PV-Leistungen bei ähnlicher Modulgröße auf 410 Wp („PV410“). Des Weiteren werden zusätzliche Flächen für die Belegung mit PV-

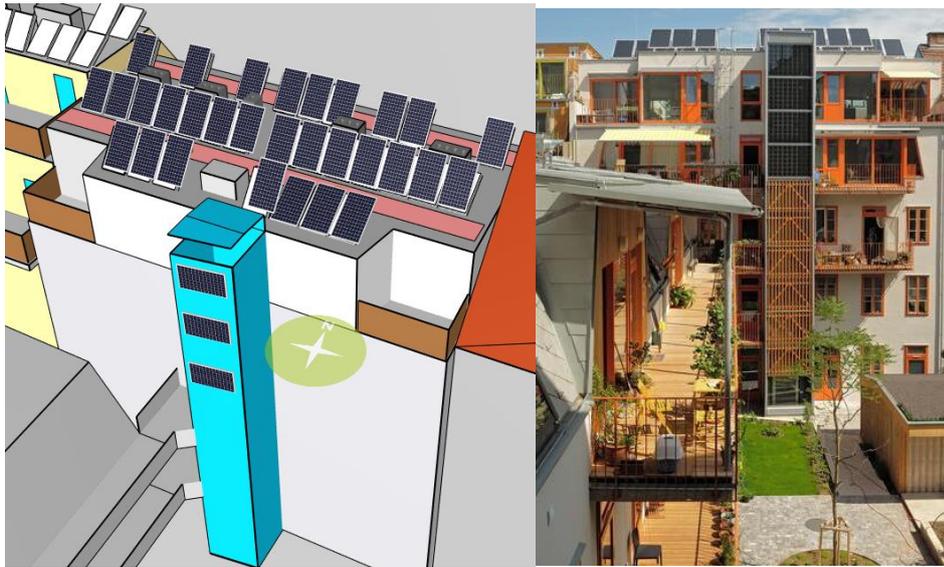
Modulen genutzt, um eine technische Maximalvariante abzubilden, wo auch Balkongeländer sowie Balkonüberdachungen zur Stromproduktion durch PV-Module genutzt werden und das Dach entsprechend einer „freien“ Dachfläche in Ost-West-Ausrichtung belegt („PV410 optimiert“).

Tabelle 6-39: PV Geblergasse – Variantenzusammenfassung

		PV290	PV410 optimiert	PV410 optimiert Ost-West
Spitzenleistung pro Modul	Wp	290	410	410
Fläche pro Modul	m ² _{PV}	1,70	1,95	1,95
Anzahl Module	-	30	114	137
Spitzenleistung	kWp	8,7	46,7	56,2
Modulfläche	m ² _{PV}	50,9	222,6	267,5
Ertrag	MWh/a	9,7	35,9	43,9
Max. Leistung	kW	10,2	39,1	46,3
NGF-Flächenspez. Ertrag	kWh/m ² _{NGF}	8,4	31,2	38,2
Leistungsspez. Ertrag	kWh/kWp	1114,1	767,8	781,1
PV-Flächenspez. Ertrag	kWh/m ² _{PV}	190,6	161,2	164,0
NGF-spez. Spitzenleistung	Wp/m ² _{NGF}	7,6	40,7	48,9

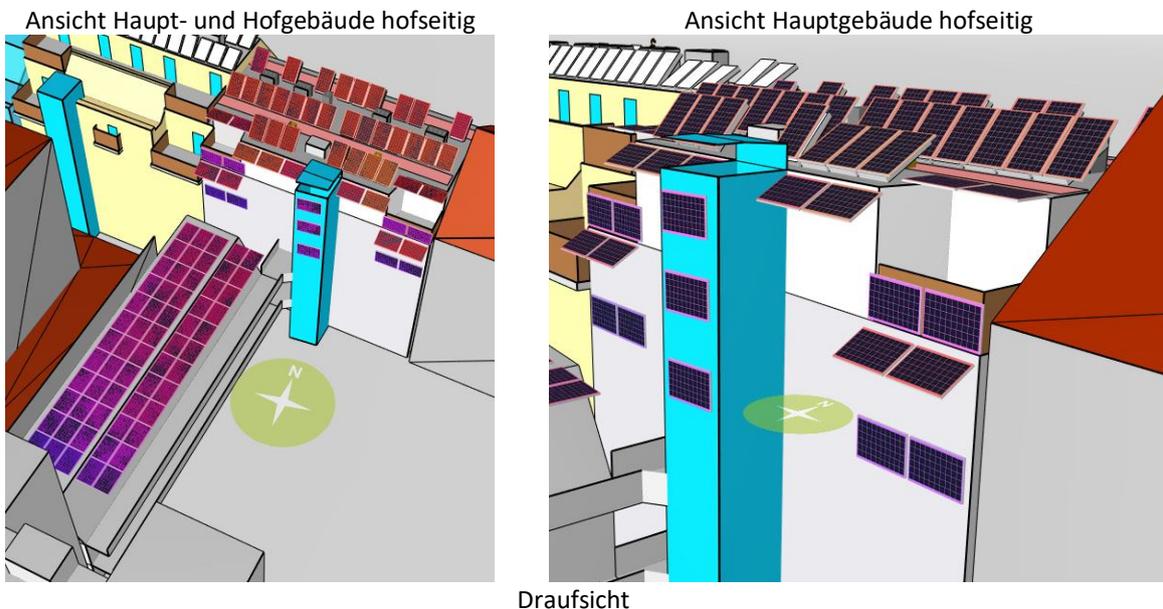
Die Kollektoren der realisierten Variante sind entsprechend üblicher Ausführung von Solarthermie-Kollektoren verstärkt aufgeständert (ca. 60°), d.h. wärmeorientiert montiert. Besonderer Vorteil der haustechnischen Ausführung sind die niedrigeren Kollektortemperaturen als bei üblichen PV-Modulen, da die Wärme der Kollektoren abgeführt wird und so das Erdreich in den Sommermonaten regeneriert. Dieser Umstand führt zu Vorteilen des Wirkungsgrades und somit der Stromproduktion der Solarzellen des PVT-Moduls. Zusätzlich finden sich am Liftschacht auf Höhe der obersten beiden Geschoße semitransparente PV-Module.

Abbildung 6-38: Geblergasse Variante PV290 PVT-Kollektoren, Südausrichtung (links), Hofansicht der ausgeführten Variante (rechts, Foto: Lisi Zeinger)



In weiteren (stromorientierten) Varianten wird das Hofgebäude ebenso mit PV-Modulen bestückt (statt teilweise mit „Schwimmbadabsorbern“). Dieser Ansatz geht in Richtung erhöhter installierter Leistung, ungeachtet geringerer Erzeugungswerte (zu sehen an den qualitativen Farbverläufen in Abbildung 6-39). Analog zu den Liftschacht-Belegungen mit semitransparenter PV, werden für Balkongeländer bzw. -brüstungen sowie zusätzlichen Balkonverschattungen/-überdachungen ebenso die obersten beiden Geschoße gewählt. Es ergibt sich eine Spitzenleistung von 46,7 kWp bzw. 40,7 Wp/m²_{NGF}.

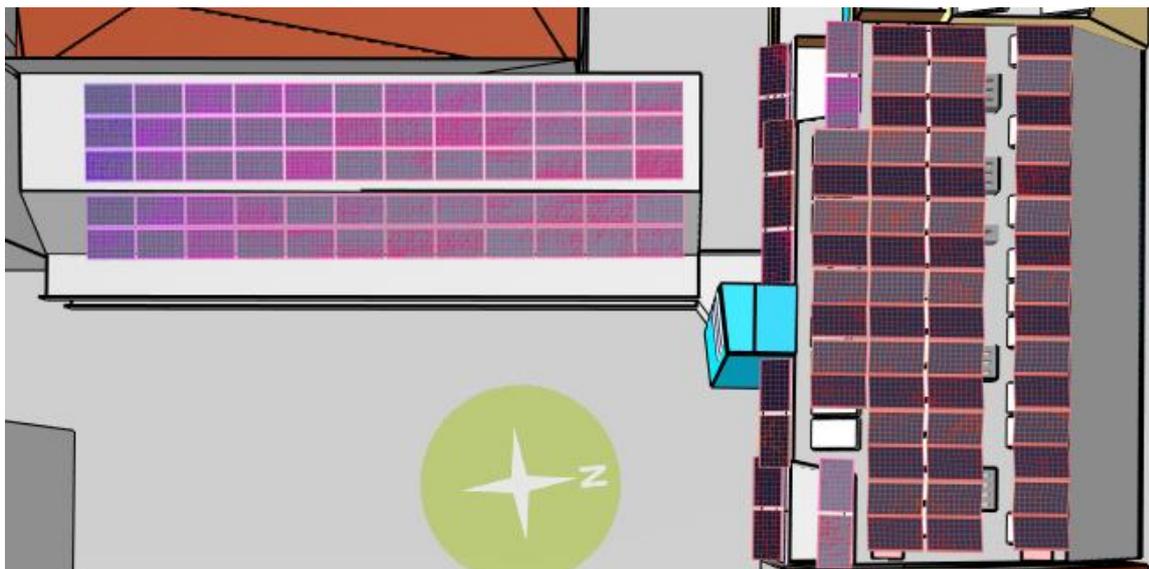
Abbildung 6-39: Geblergasse Variante PV410 optimiert, PV-Module Hof- und Hauptgebäude





In einer weiteren dachoptimierten Variante wird die horizontale Dachfläche statt der durch die PVT-Kollektoren notwendige südseitige steile Aufständerung eine 15° aufgeständerte Ost-West-Belegung gewählt (Abbildung 6-40). So kann wieder die installierte Leistung erhöht werden (56,2 kWp bzw. 48,9 Wp/m²_{NGF}).

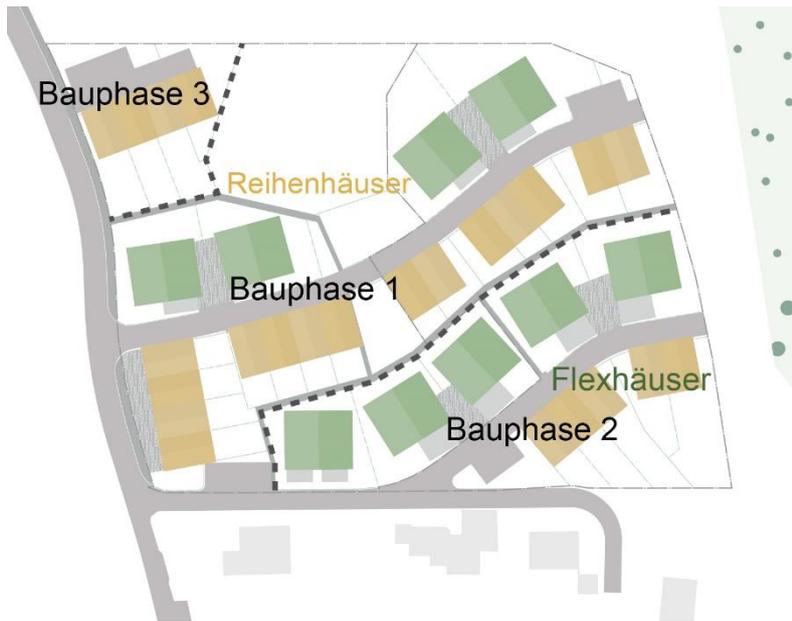
Abbildung 6-40: Geblergasse Variante PV410 optimiert Ost-West, Draufsicht



6.2.5 Sonnendorf Schwoich

Auf einem 1,5 ha großen Nordhang soll der Ort Schwoich in Tirol erweitert werden. Schwoich ist ein Dorf mit 2.330 Einwohner:innen in der Nähe von Kufstein. Das Quartier soll angrenzend an eine bestehende Siedlung der stark zersiedelten Gemeinde errichtet werden.

Abbildung 6-41: Lageplan Gebäude Sonnendorf Schwoich – Reihenhäuser und Flexhäuser⁸



Die Erschließung der Siedlung erfolgt über zwei parallel zu den Höhenlinien verlaufenden Straßen. Von hier aus werden die 33 Gebäude mit 42 Wohneinheiten erschlossen. Die hangseitigen Gebäude werden direkt von den Straßen aus erschlossen, die talseitigen spannen stets einen kleinen Platz auf. Die vielfältige Gestaltung der Bauvolumina und der Fassaden sollen einen abwechslungsreichen Dorfraum schaffen. Die Straßenräume dienen nicht nur als Erschließungswege sondern sind Lebens-, Kommunikations- und Spielräume für alle Bewohner:innen.

Beim Kauf der Häuser akzeptieren die neuen Bewohner:innen, dass die Dächer mit Solarzellen zur Stromgewinnung ausgestattet werden. Der produzierte Strom soll vor allem in der Siedlung genutzt werden. Für die Bewohner:innen steht darüber hinaus ein umfassendes Mobilitätskonzept mit Elektrofahrzeugen und E-Autos zur Verfügung.

Abbildung 6-42: Visualisierung Gebäude Sonnendorf Schwoich⁹



⁸ <https://www.sonnendorf.tirol/>

⁹ <https://www.sonnendorf.tirol/>

Obgleich kein städtisches Plusenergiequartier und mit singulärer Wohnnutzung, weist das in Ausführung befindliche Projekt „Sonnendorf“ einen interessanten Use Case für die Anwendung der Projektergebnisse des vorliegenden Forschungsvorhabens vor: Der erhöhte Mobilitätsbedarf stellt eine Extremsituation energieflexibler Gebäude mit hohem elektrischen Speicher- und Lastverschiebungspotential durch E-Mobilität dar. Darüber hinaus werden alle 33 Gebäude aus einer Hand errichtet und die Energiebereitstellung aus einer Hand organisiert und betrieben. Ein von der gesamten Siedlung genutztes zentrales und emissionsfreies Heizsystem – Tiefenbohrungen zur Erdwärmennutzung – wird realisiert. Die Tiefenbohrungen korrespondieren über Ausgleichsleitungen miteinander, dadurch können einerseits die Auslegung minimiert werden und außerdem die geänderte Nutzungsweise synergetisch genutzt werden. Die Gebäude werden in Massiv- und Holz-Mischbauweise (Beton/Ziegel/Holz errichtet, das ermöglicht eine sinnvolle thermische Speicherkapazität in Verbindung mit einem ökologischen Materialeinsatz. Diese Gesamtkonstellation lässt ein äußerst hohes Innovationspotenzial und ein ökologisches und raumplanerisches Musterprojekt erwarten.

Energiekonzept

Beheizt bzw. auf Wunsch gekühlt werden die Häuser über Erdwärme und Wärmetauscher. Zu diesem Zweck werden unter den Erschließungswegen Erdsonden angebracht, dadurch kann dem ungleichzeitigen Energiebedarf der einzelnen Wohneinheiten Rechnung getragen werden und die Anzahl der Tiefensonden um ca. 30 % reduziert werden. Im Sommer ist mit diesem System auch ein sanftes Kühlen über die Fußbodenheizung möglich. Die insgesamt 45 Erdwärmesonden sind gleichmäßig über das Grundstück verteilt und zwischen 120 und 140 m tief. Aus einem geologischen Gutachten mit Thermal Response Test wurde die Eignung des Untergrunds zur thermischen Nutzung bestätigt (3,0 W/mK effektive Wärmeleitfähigkeit).

An das zentrale Erdsondenfeld werden die Gebäude separat angeschlossen. In jedem Gebäude befindet sich ein System aus einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit integriertem Warmwasserspeicher (185 l) und externem Pufferspeicher, sowie einem Wärmetauscher für die Möglichkeit zu Direct-Cooling im Sommer. Des Weiteren sind die Häuser mit dezentralen Wohnraumlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung ausgestattet.

PV-Anlage

Die erste Variante (Bestand) stellt die geplante/auszuführende Variante dar. In einer zweiten Variante werden die Kiesdächer (keine Attika) in quasi Ost-West-Platzierung maximal belegt, um eine technische Maximalvariante abzubilden.

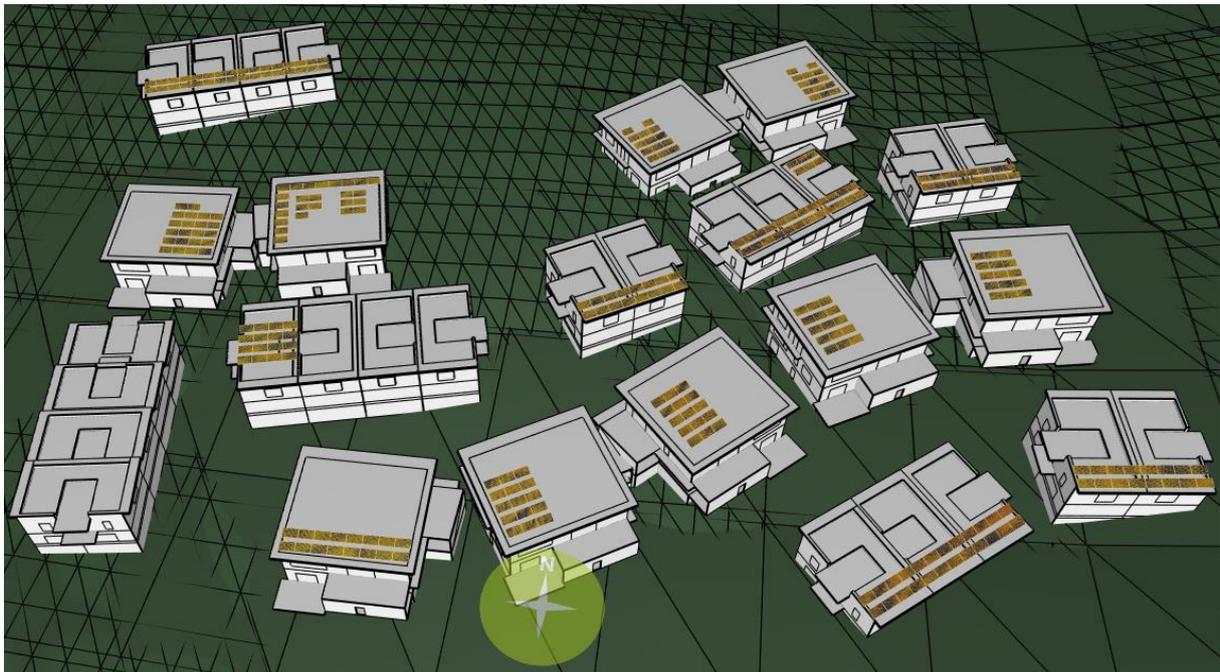
Tabelle 6-40: PV Sonnendorf Schwoich – Variantenzusammenfassung

		Bestand	Optimiert
Anzahl Module	-	306	1599
Spitzenleistung	kWp	116,3	655,6
Modulfläche	m ² _{PV}	597,5	3122,4
Ertrag	MWh/a	128,0	675,1
Max. Leistung	kW	104,0	543,7

NGF-Flächenspez. Ertrag	kWh/m ² _{NGF}	18,5	97,7
Leistungsspez. Ertrag	kWh/kWp	1100,6	1029,7
PV-Flächenspez. Ertrag	kWh/m ² _{PV}	214,2	216,2
NGF-spez. Spitzenleistung	Wp/m ² _{NGF}	16,8	94,9

In der Bestandsvariante sind die Module quasi gen Süden ausgerichtet (abhängig vom jeweiligen Gebäude) und mit 15° aufgeständert. Aufgrund der gleichen Bauhöhen und des nur leicht geneigten Hangs treten bei Dachmontage keine signifikanten Verschattungen auf. Das Gelände ist berücksichtigt, der leistungsspezifische Ertrag liegt bei ca. 1.100 kWh/kWp.

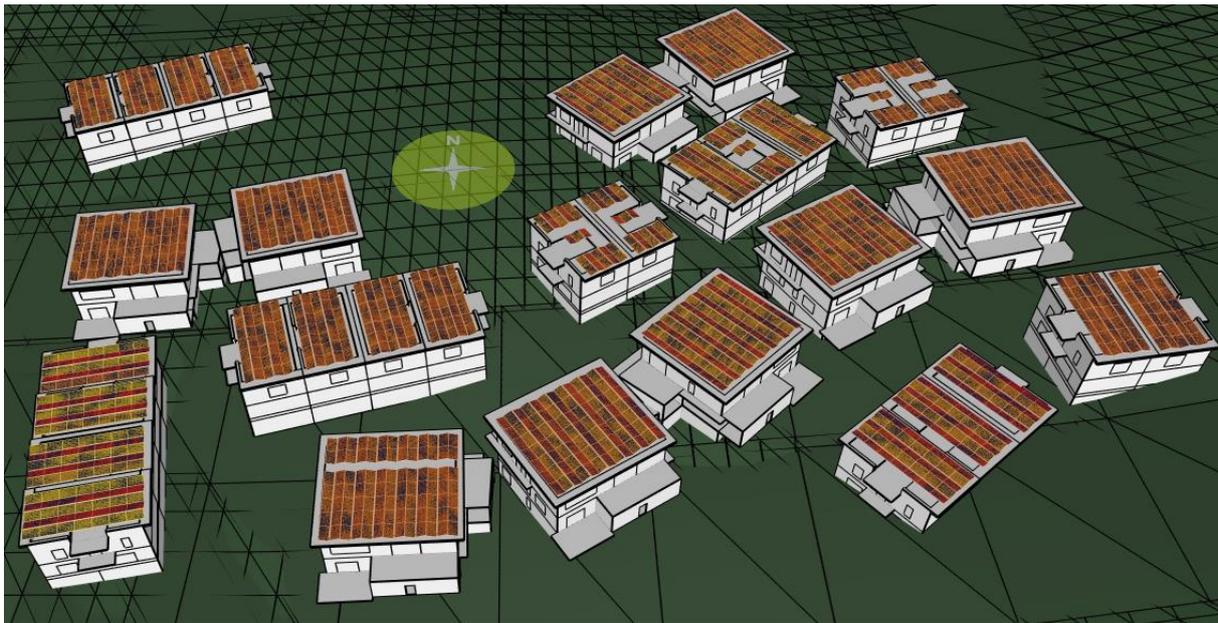
Abbildung 6-43: PV Sonnendorf Schwoich – Bestandsvariante



In der Bestandsvariante ist zu erkennen, dass einerseits nicht alle Gebäude mit PV-Modulen belegt sind und andererseits nicht die vollen Dachflächen genutzt werden (bei den Gebäudegeometrien ist zu beachten, dass diese teilweise nicht der tatsächlichen Ausführung entsprechen, diese jedoch in der PV-Planung berücksichtigt sind).

Für die Maximalvariante werden einerseits die Dächer aller Gebäude mit PV-Modulen belegt und andererseits die Dachbelegungen optimiert/maximiert. Daraus kann von einer Gesamtleistung der Bestandsvariante von 116,3 kWp auf 655,6 kWp der optimierten Variante maximiert werden.

Abbildung 6-44: PV Sonnendorf Schwoich – optimierte Variante



6.3 Energetische und ökologische Bewertung

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt gemäß der folgenden Struktur:

- Für alle bestehenden Gebäude die Ergebnisse der aktuellen Bestandsvariante
- Im Anschluss in für alle Quartiere/Gebäude gleiche Basisvarianten, die anhand von den wesentlichsten Qualitäten sowohl hinsichtlich Hardware wie deren Nutzung in wesentlichen Flexibilitätsoptionen

Dabei wird von der Bewertung der Aufwendungen für Betrieb für die Gebäude ausgegangen, diese wird mit der Alltagsmobilität ergänzt und schlussendlich zur Darstellung inklusive „grauen Energie“ für den Errichtungs- und Instandsetzungsaufwand fortgeschritten.

Die folgende Tabelle 6-41 stellt wichtige Eingangs- und Ergebnisdaten im Vergleich der 5 Quartiere/Gebäude dar.

Tabelle 6-41: Kennwerte im Vergleich zu den betrachteten Quartieren. PEQmin bezieht sich auf PEQ-Alpha einerseits und bezüglich Bedarf auf WDNBPost, bzw. Bestand andererseits. Siehe im Detail unten

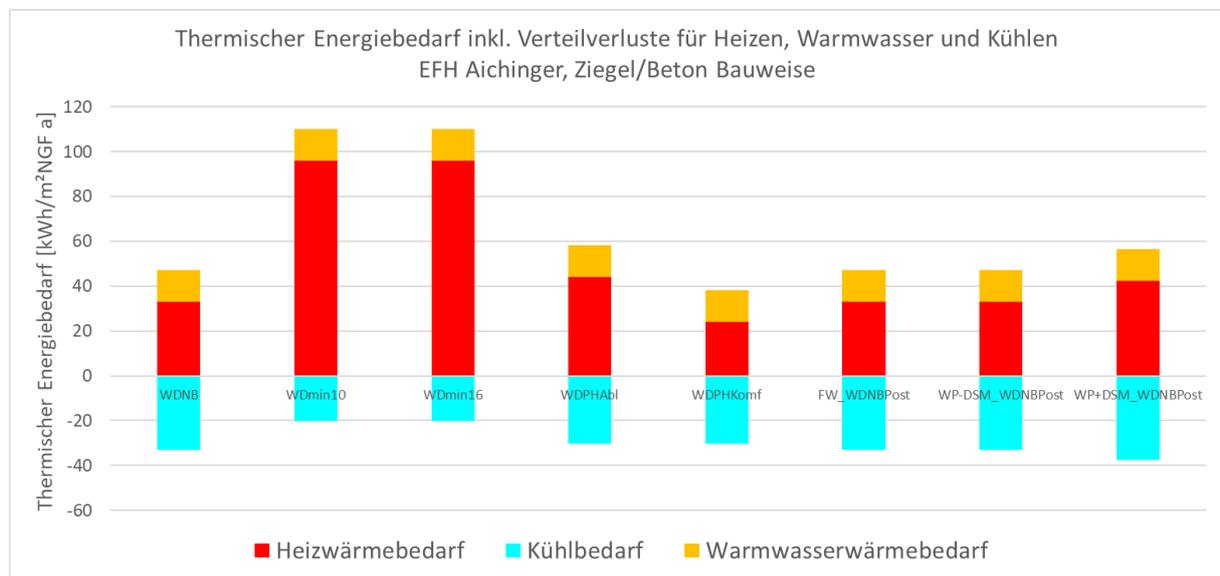
		Schwoich	Werft	MGG22	Aichinger	Geblergasse
GFZ		0,93	1,63	1,55	0,23	2,05
Dichteausgleich PEQ-Alpha	kWh/m ² _{NGFA}	-3,3	19,1	17,4	-107,1	25,6
Gutschrift EE Großkraftwerke PEQ-Beta	kWh/m ² _{NGFA}	14,1	19,5	14,1	14,1	14,1
Konversionsfaktor Fernwärme/Erdgas	kg CO ₂ eq/kWh _{PE}	0,057	0,057	0,020	0,057	0,236

Konversionsfaktor Fernwärme/Erdgas	kWh/kWh _{PE}	1,6	1,6	0,3	1,6	1,1
PV installiert	kWh/m ² _{NGFA}	16,7	35,8	0,0	0,0	7,6
PV PEQMin	kWh/m ² _{NGFA}	54,5	35,8	39,2	110,4	28,1
PV Max	kWh/m ² _{NGFA}	87,9	38,6	44,5	118,1	34,3

6.3.1 Referenzobjekt: Einfamilienhaus Aichinger

Für die Basisvarianten, die sich auf ein Einzelgebäude beziehen, ergeben sich die folgenden thermischen Nutzenergiebedarfe inkl. Verteilverlusten (ohne Umwandlungsverluste der Wärmepumpen, bzw. Fernwärme).

Abbildung 6-45: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste

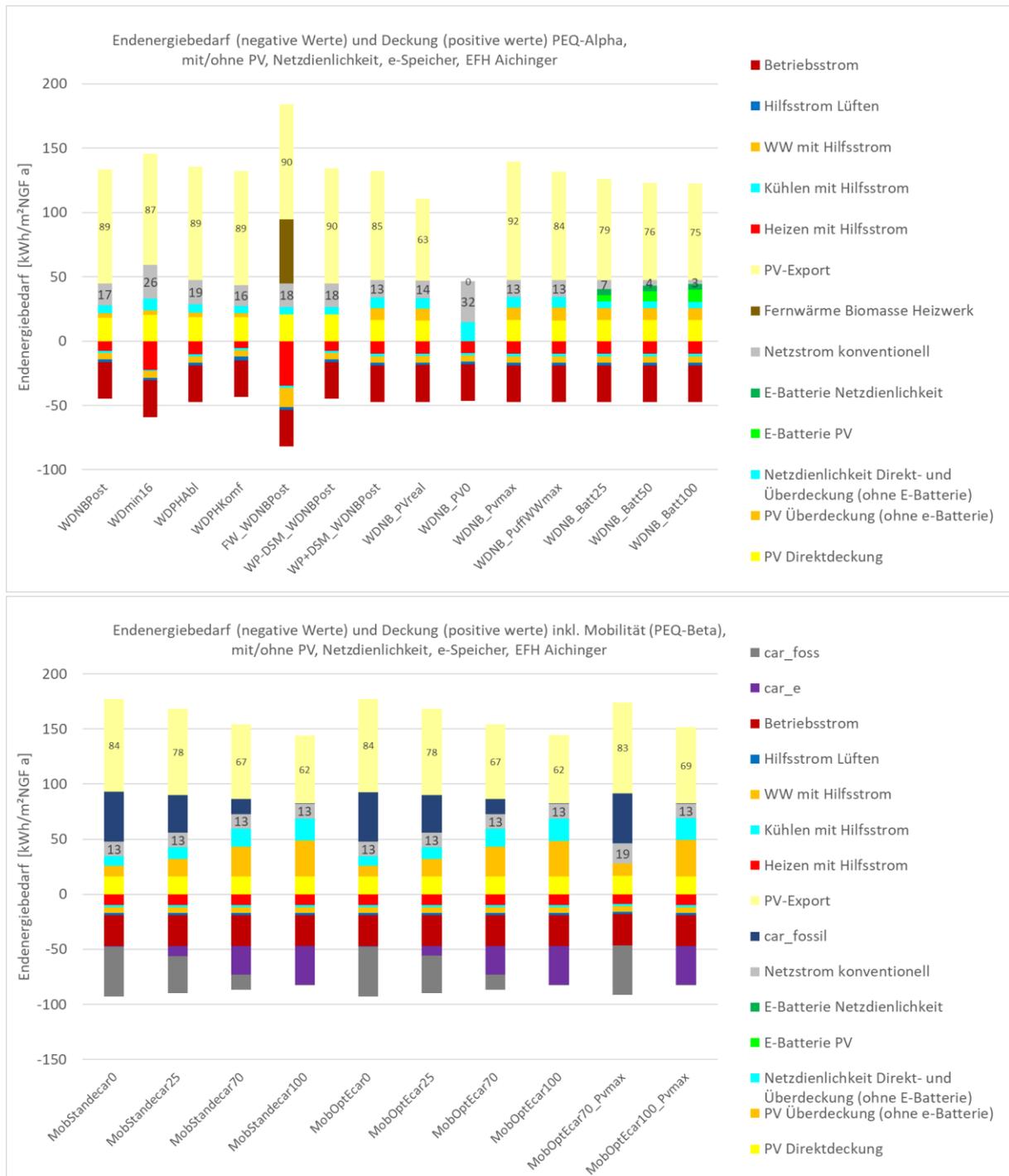


Kommentar:

Bauliche Varianten 1 bis 5 zeigen große Unterschiede im Heizwärme- und Kühlbedarf. Durch die Aktivierung der Standard-Flexibilitätsmaßnahmen ergeben sich merkliche Auswirkungen auf den thermischen Bedarf.

Der gesamte Endenergiebedarf inkl. Deckung ist in Abbildung 6-46 dargestellt.

Abbildung 6-46: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten

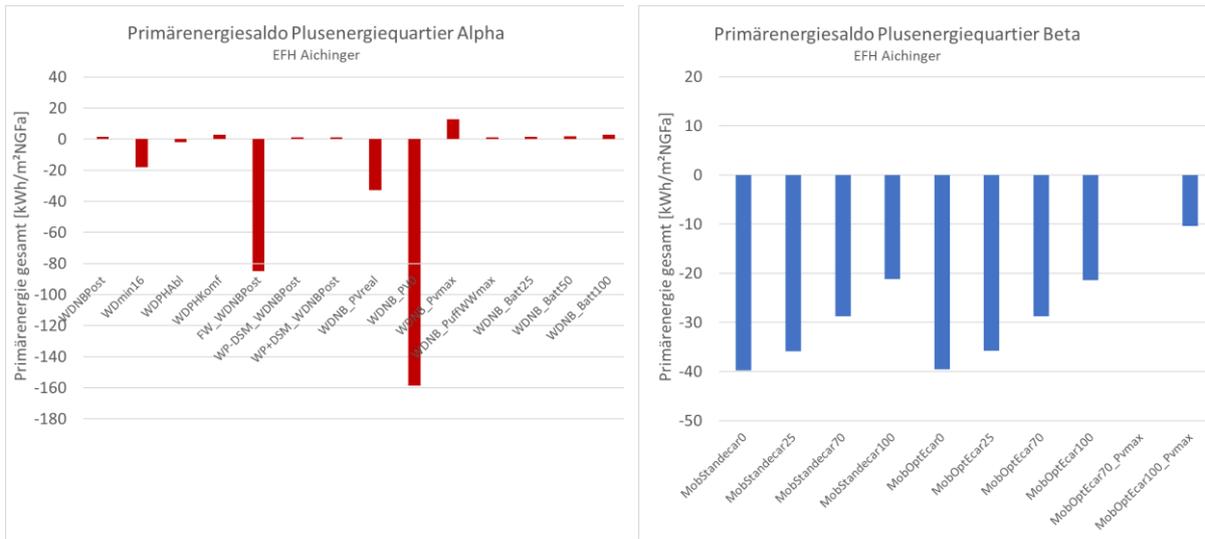


Kommentar:

- Der konventionell Netztromm kann von 18 bis auf 3 kWh/m²_{NGF a} reduziert werden in der besten Variante 18 mit Batterie (bei noch 5,8 kWh/m²_{NGF a} PV-Export).
- Mit Mobilität sind im besten Fall bei 100 % individuellen E-Mobilitätsgeräten (keine fossile Alltagsmobilität) 13 kWh/m²_{NGF a} an konventionellem Netztromm erforderlich

Eine Bewertung des Betriebs auf der Grundlage des Plusenergiequartiersansatzes gemäß Zukunftsquartiermethodik für Alpha und Beta (inkl. individuelle, motorisierte Alltagsmobilität) ergibt die folgenden Ergebnisse für den Saldo inkl. der Dichte und EE Großkraftwerksgutschrift.

Abbildung 6-47: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung.

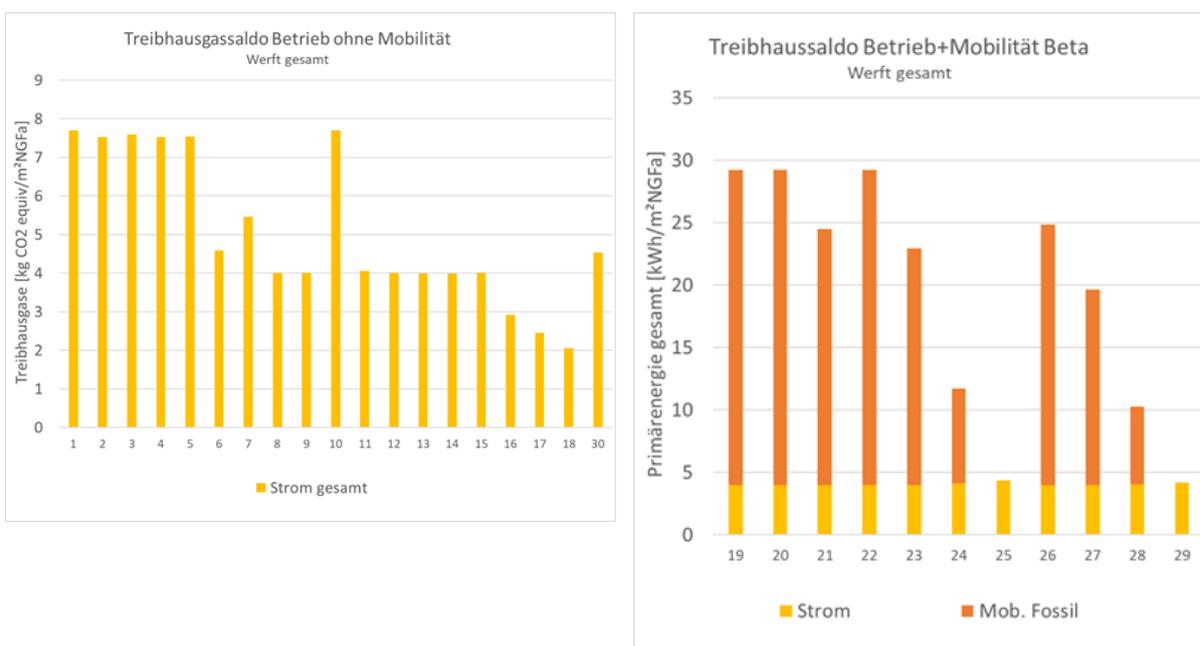


Kommentar:

- PEQ-Alpha: Für die Erreichung ist sowohl PV und Wind-Peak-Shaving erforderlich.
- Eigenverbrauchsoptimierung PV ist für die Überschreitung des Grenzwertes nicht erforderlich.
- Der Bestwert wird in der Variante mit maximaler PV erreicht
- PEQ-Beta: Der Grenzwert kann mit dem optimierten Modal Split auch nicht im optimierten Fall erreicht werden. Zusätzliche verkehrsplanerische oder individuelle Maßnahmen sind erforderlich, z.B. Reduktion km Leistung Auto, Ersatz durch ÖV wenn möglich.

Eine Bewertung mit den Wirkungen auf den Treibhauseffekt, ebenfalls mit monatlichen Konversionsfaktoren, ergeben die folgenden Emissionen an CO₂ äquivalent.

Abbildung 6-48: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019.



Kommentar:

- Der Treibhausgasaldo kann auf 2 kgCO₂eq/m²_{NGF} abgemindert werden
- Inkl. individueller motorisierter Alltagsmobilität wird der Treibhaussaldo vor allem durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen bestimmt. Die Belastungen durch den erhöhten Strombedarf für Elektromobilität wird zu einem großen Anteil durch eine Erhöhung des Eigenverbrauchs der PV und vor allem durch eine deutliche Ausweitung des Wind-Peak-Shavings erreicht.

Nachfolgend werden die Treibhausgasemissionen

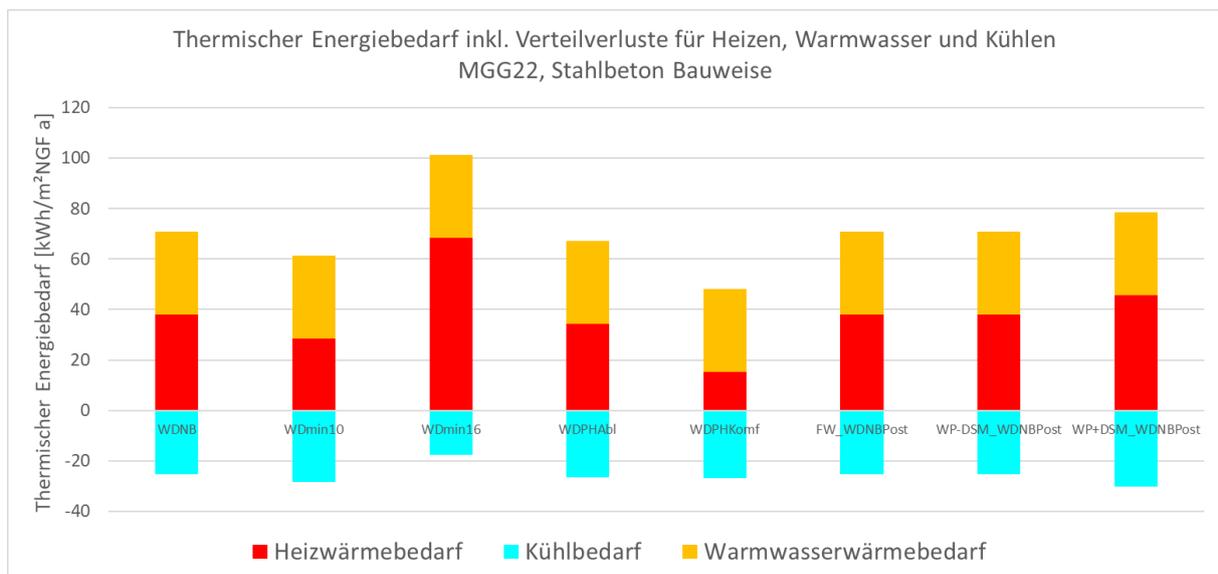
- Errichtung
- Errichtung und Gebäudebetrieb
- Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität inkl. Errichtung (PEQ-Omega)

dargestellt.

6.3.2 Referenzobjekt: Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse

Für die Basisvarianten, die von Wärmepumpen je Gebäudeblock mit Erdwärmenutzung und dem Austausch von elektrischer Energie im Quartier ausgehen, ergeben sich die folgenden thermischen Nutzenergiebedarfe inkl. Verteilverlusten (ohne Umwandlungsverluste Wärmepumpen, bzw. Fernwärme).

Abbildung 6-49: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste

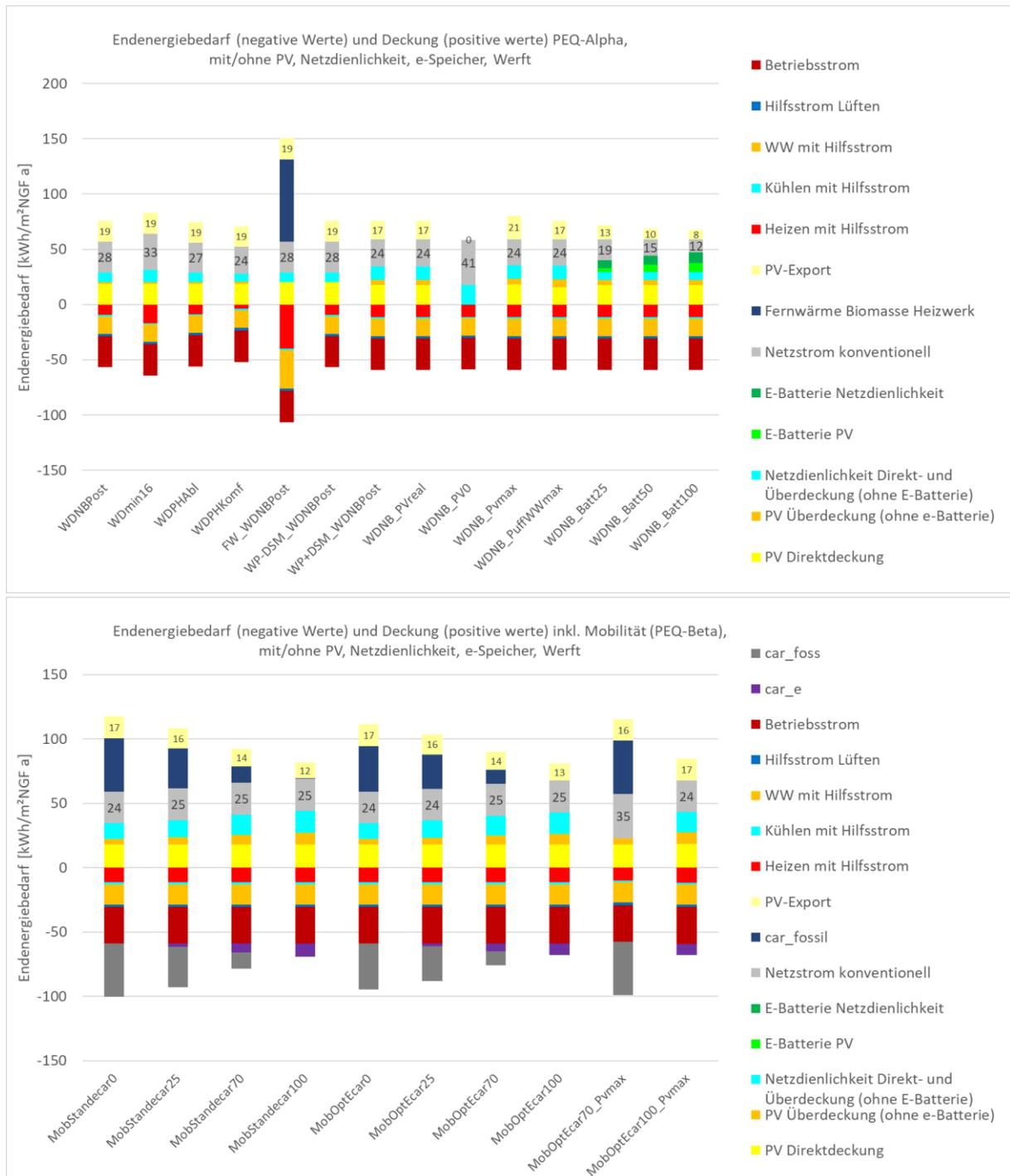


Kommentar:

Bauliche Varianten 1 bis 5 zeigen große Unterschiede im Heizwärme- und Kühlbedarf. Durch die Aktivierung der Standard-Flexibilitätsmaßnahmen ergeben sich vergleichsweise nur geringe Auswirkungen auf den thermischen Bedarf.

Der gesamte Endenergiebedarf inkl. Deckung ist in Abbildung 6-50 dargestellt.

Abbildung 6-50: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten.

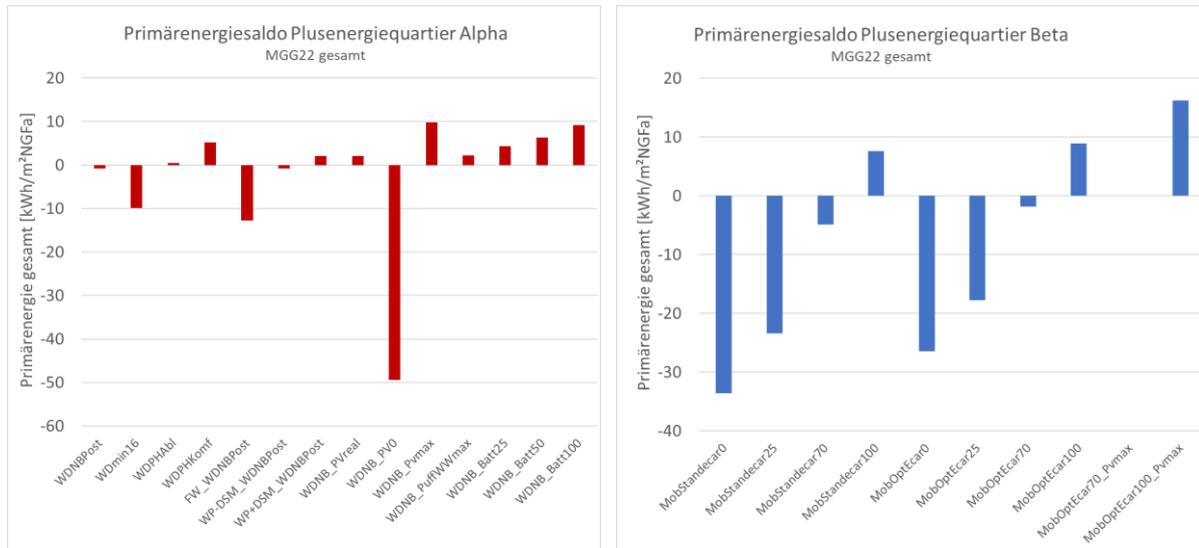


Kommentar:

- Der konventionell Netztrom kann von 28 bis auf 12 kWh/m²_{NGF}a reduziert werden in der besten Variante 18 mit Batterie (bei noch 8 kWh/m²_{NGF}a PV-Export).
- Mit Mobilität sind im besten Fall bei 100 % individuellen e-Mobilitätsgeräten (keine fossile Alltagsmobilität) 24 kWh/m²_{NGF} a an konventionellen Netztrom erforderlich

Eine Bewertung des Betriebs auf der Grundlage des Plusenergiequartiersansatzes gemäß Zukunftsquartiermethodik für Alpha und Beta (inkl. individuelle, motorisierte Alltagsmobilität) ergibt die folgenden Ergebnisse für den Saldo inkl. der Dichte und EE Großkraftwerksgutschrift.

Abbildung 6-51: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung

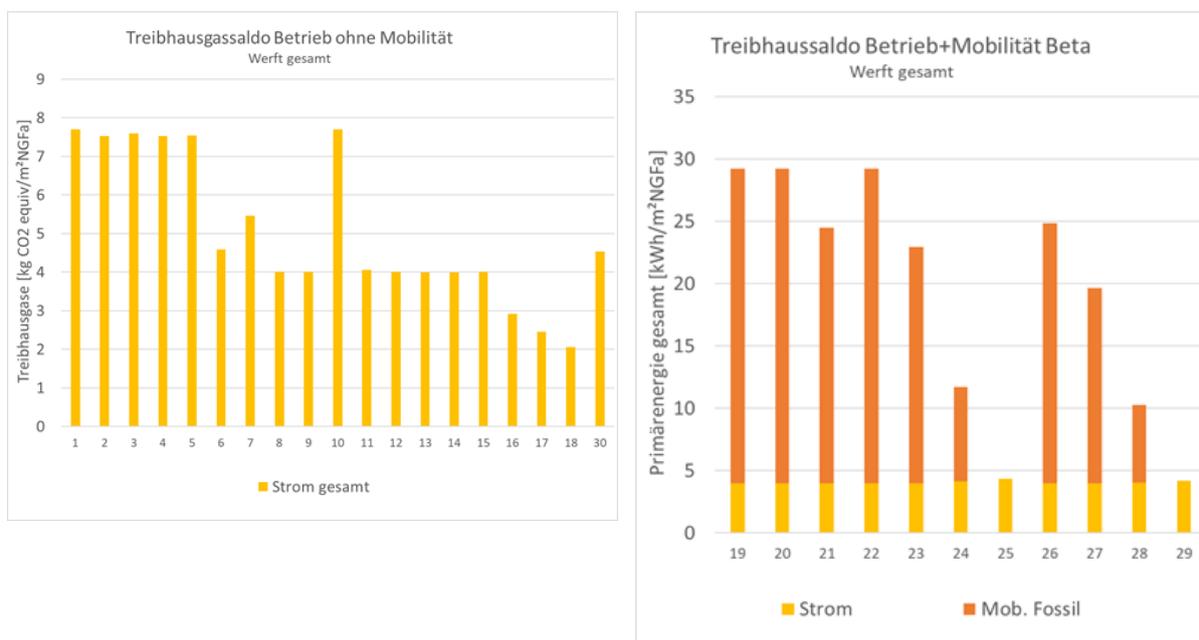


Kommentar:

- PEQ-Alpha: Für die Erreichung ist sowohl PV und Wind-Peak-Shaving erforderlich.
- Eigenverbrauchsoptimierung PV ist für die Überschreitung des Grenzwertes nicht erforderlich.
- Der Bestwert wird in der Variante mit maximaler PV erreicht
- PEQ-Beta: Der Grenzwert wird nur bei 100 % e-Mobilität erreicht, wobei bei optimierten Modal Split mit 70 % e-Mobilitätsgrad fast die Plusenergie-Schwelle überschritten wird. Optimierte PV-Nutzung und Wind-Peak-Shaving sind jedenfalls erforderlich

Eine Bewertung mit den Wirkungen auf den Treibhauseffekt, ebenfalls mit monatlichen Konversionsfaktoren, ergeben die folgenden Emissionen an CO₂ äquivalent.

Abbildung 6-52: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019.



Kommentar:

- Der Treibhausgasaldo kann auf 2 kgCO₂eq/m²_{NGF} abgemindert werden
- Inkl. individueller motorisierter Alltagsmobilität wird der Treibhaussaldo vor allem durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen bestimmt. Die Belastungen durch den erhöhten Strombedarf für Elektromobilität wird zu einem großen Anteil durch eine Erhöhung des Eigenverbrauchs der PV und vor allem durch eine deutliche Ausweitung des Wind-Peak-Shavings erreicht.

Nachfolgend werden die Treibhausgasemissionen

- Errichtung
- Errichtung und Gebäudebetrieb
- Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität inkl. Errichtung (PEQ-Omega)

dargestellt.

Da die Ergebnisse der Ökobilanzierung qualitativ denjenigen aus der Untersuchung der Quartiere Werft Korneuburg und Sonnendorf Schwoich entsprechen, werden sie hier in geringerem Detailgrad dargestellt.

Tabelle 6-42: Varianten Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse (Details siehe 6.1.5)

Variante Nr.	Bezeichnung	Variante Nr.	Bezeichnung
188	Best	205	Batt50
190	WDmin	206	Batt100
191	WDPH	209	MobOpt
192	WDPHKomf	211	MobStE25
193	FW	212	MobStE70
194	WP-DSM	213	MobStE100
197	PV0	215	MobOptE25
198	PVmax	216	MobOptE70
201	DSMWWmidi	217	MobOptE100
202	DSMWWmax	218	Netzdien0
204	Batt25	219	MobOptE100 PV Max

Durch die maximale Nutzung von Photovoltaik können die Treibhausgasemissionen im Gebäudebetrieb auf ein Minimum reduziert werden (V198). Der Anteil an Elektromobilität in den Varianten 211 – 213 sowie 215 – 217 steigert zwar leicht das GWP für die Betriebsenergie, reduziert aber den fossilen Anteil an der Mobilität drastisch. Durch eine Kombination dieser Maßnahmen (volle PV-Nutzung sowie 100 % E-Cars in Variante 219) wird das Treibhauspotenzial über den Lebenszyklus minimiert.

Abbildung 6-53: GWP total Betriebsenergie, Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse, ausgewählte energetische Varianten

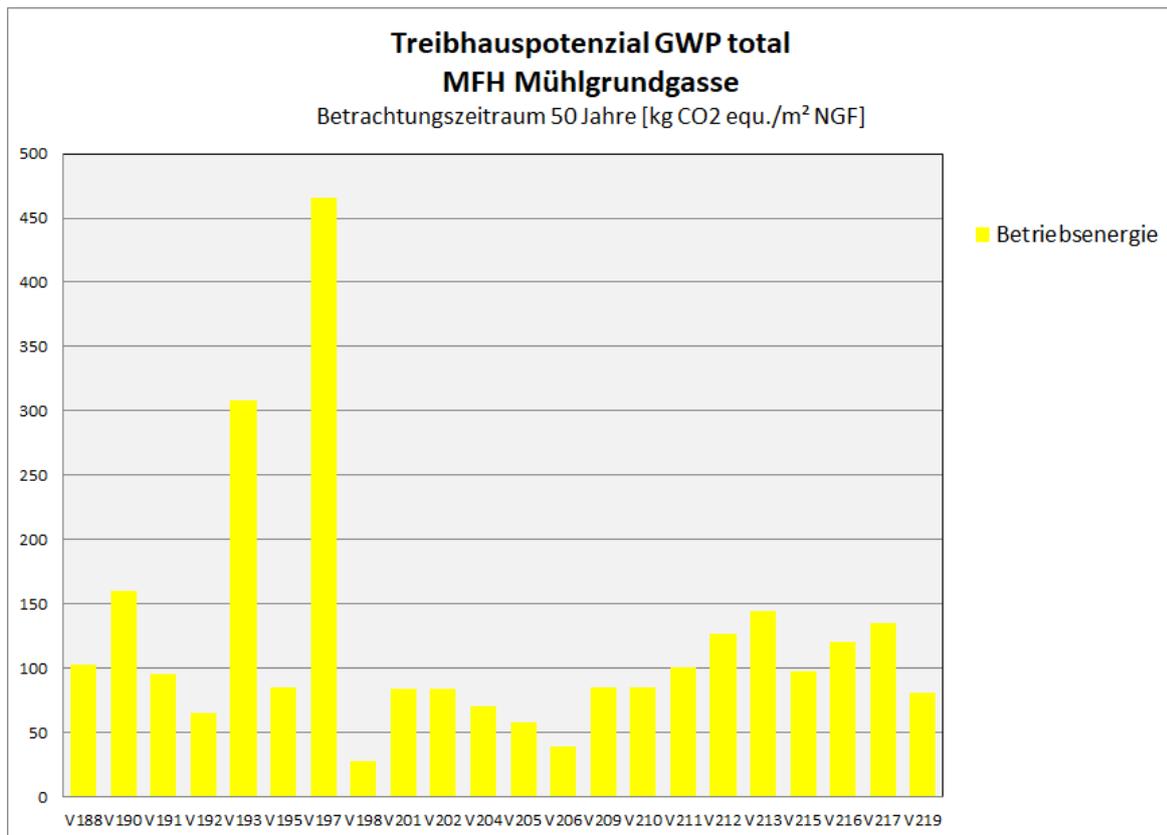


Abbildung 6-54: GWP total Mobilität, Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse, ausgewählte energetische Varianten

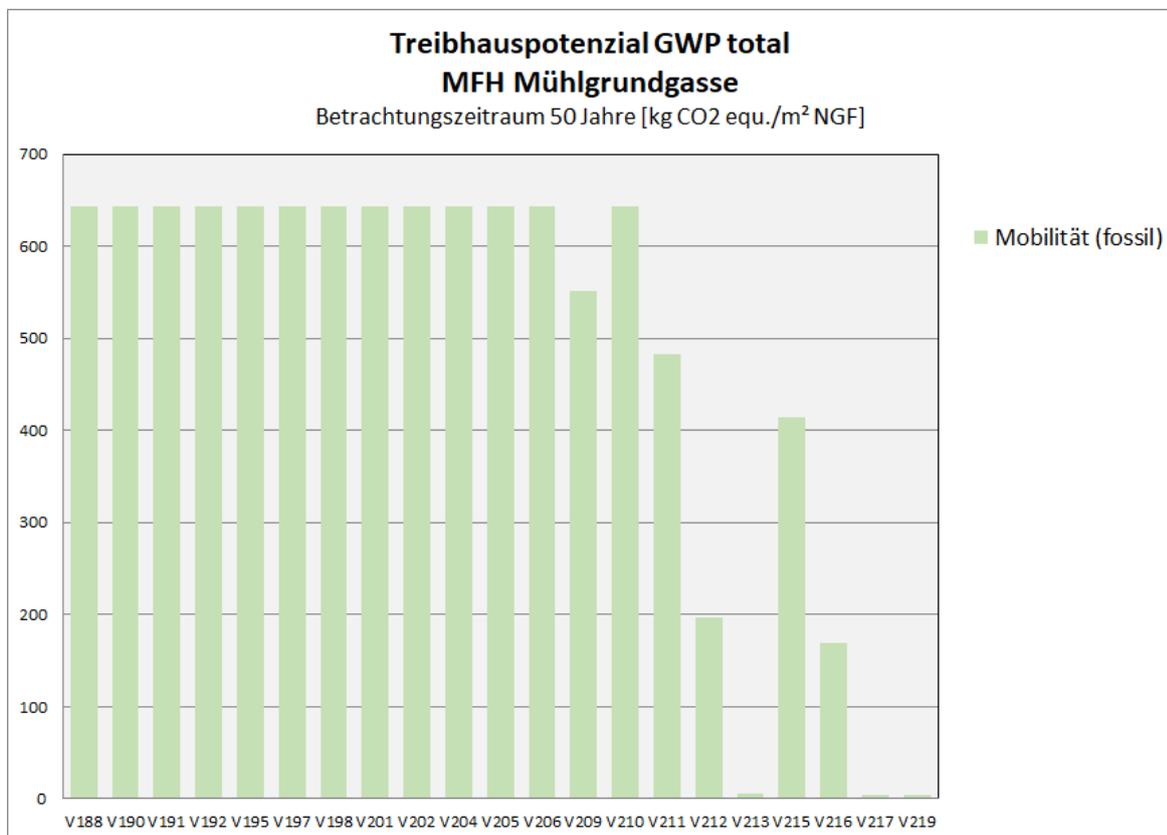
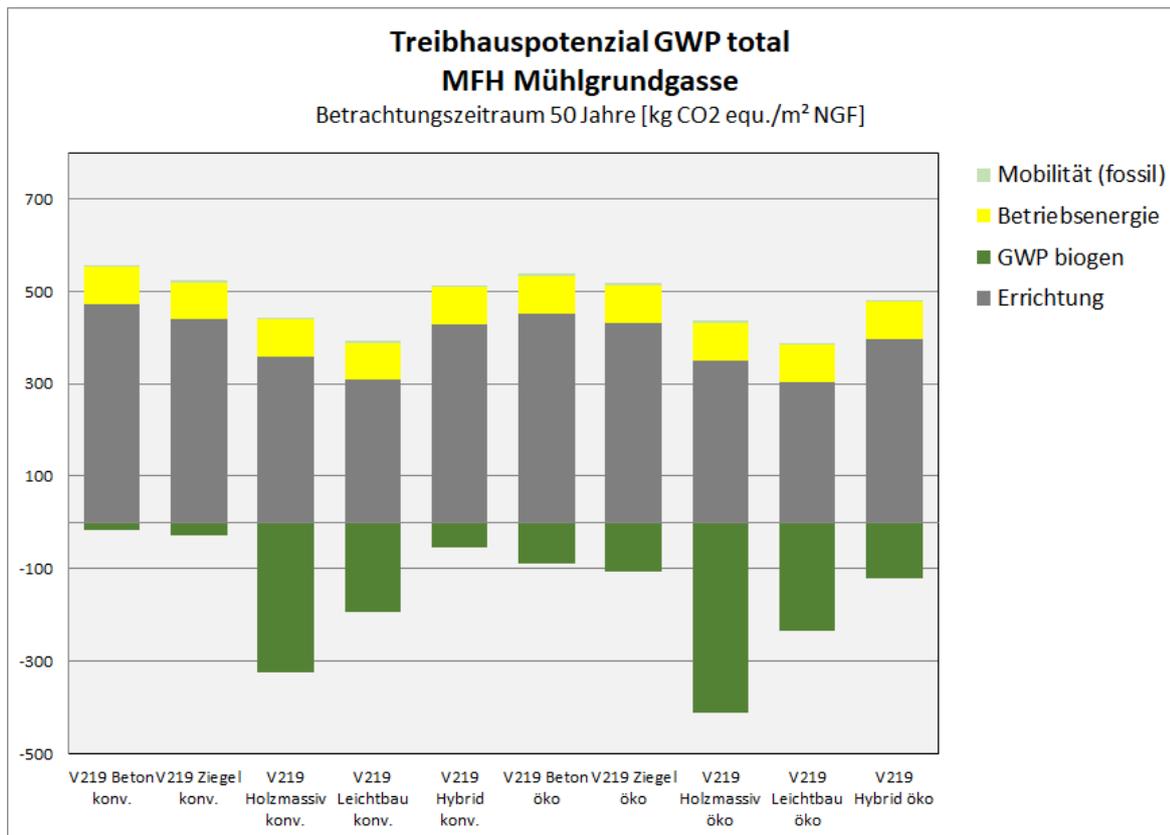


Abbildung 6-55: GWP total Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal

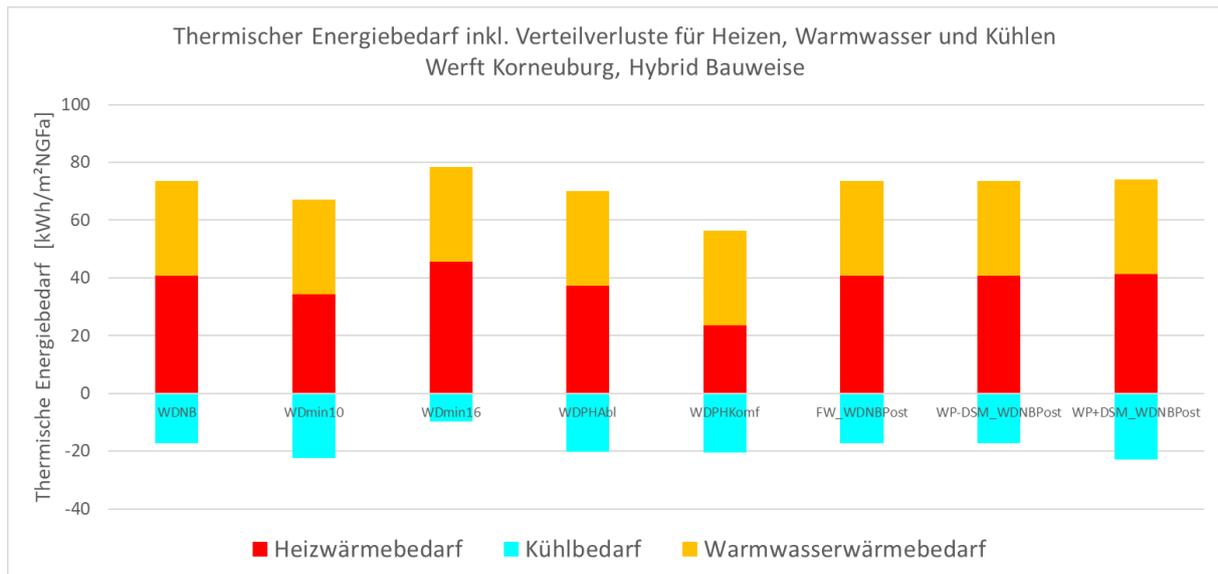


6.3.3 Werft Korneuburg

Für die Werft Korneuburg existieren noch keine konkreten architektonische Entwürfe, zudem ist durch die noch laufende Umweltverträglichkeitsprüfung unklar, welche bauliche Dichte tatsächlich umgesetzt werden kann. Es wird daher von einem Planstand Ende 2022 ausgegangen. Die im Laufe des Projekts erarbeiteten Energielösungen wurden auf diesen Planstand angepasst.

Für die Basisvarianten, die von einem Anergienetz und dem Austausch von elektrischer Energie im Quartier ausgehen, ergeben sich die folgenden thermischen Nutzenergiebedarfe inkl. Verteilverluste (Ohne Umwandlungsverluste Wärmepumpen, bzw. Fernwärme).

Abbildung 6-56: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste



Kommentar:

Varianten 1 bis 5 für unterschiedliche Baustandards zeigt große Unterschiede im Heizwärme- und Kühlbedarf. Durch die Aktivierung von Flexibilitätsmaßnahmen ergeben sich vergleichsweise nur geringe Auswirkungen auf den thermischen Bedarf

Der gesamte Endenergiebedarf inkl. Deckung ist in Abbildung 6-57 dargestellt.

Abbildung 6-57: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten

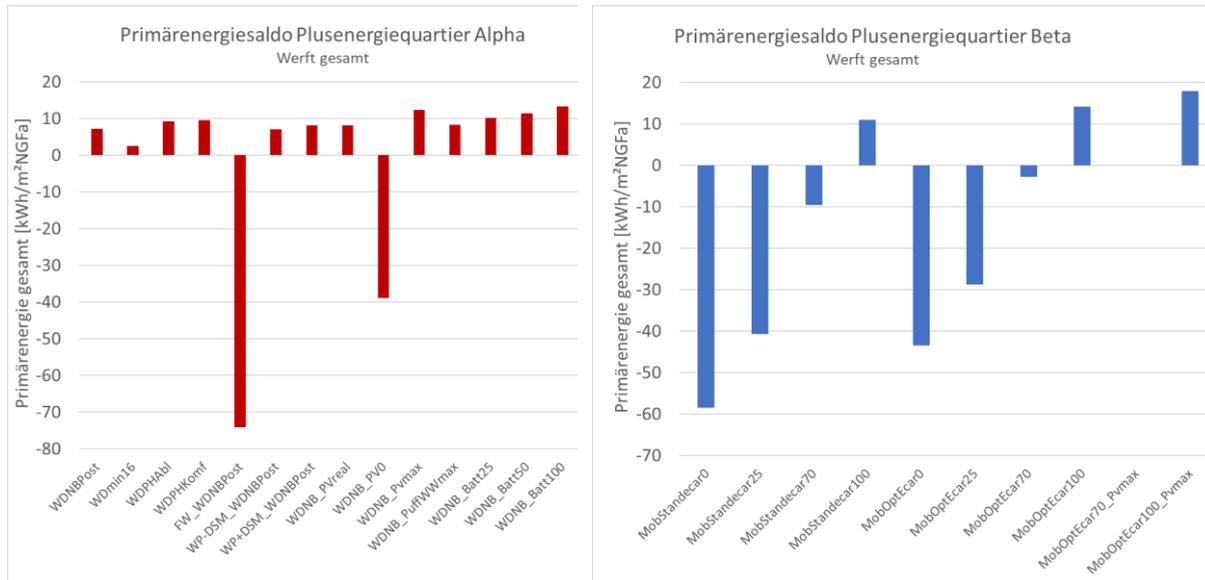


Kommentar:

- Der konventionell Netztromm kann von 22 bis auf 10 kWh/m²_{NGF}a reduziert werden in der besten Variante 18 mit Batterie (bei noch 7 kWh/m²_{NGF}a PV-Export).
- Mit Mobilität sind im besten Fall bei 100 % individuellen e-Mobilitätsgeräten (keine fossile Alltagsmobilität) 20 kWh/m²_{NGF} a an konventionellen Netztromm erforderlich

Eine Bewertung des Betriebs auf der Grundlage des Plusenergiequartiersansatzes gemäß Zukunftsquartiermethodik für Alpha und Beta (inkl. individuelle, motorisierte Alltagsmobilität) ergibt die folgenden Ergebnisse für den Saldo inkl. der Dichte und EE Großkraftwerksgutschrift.

Abbildung 6-58: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung.

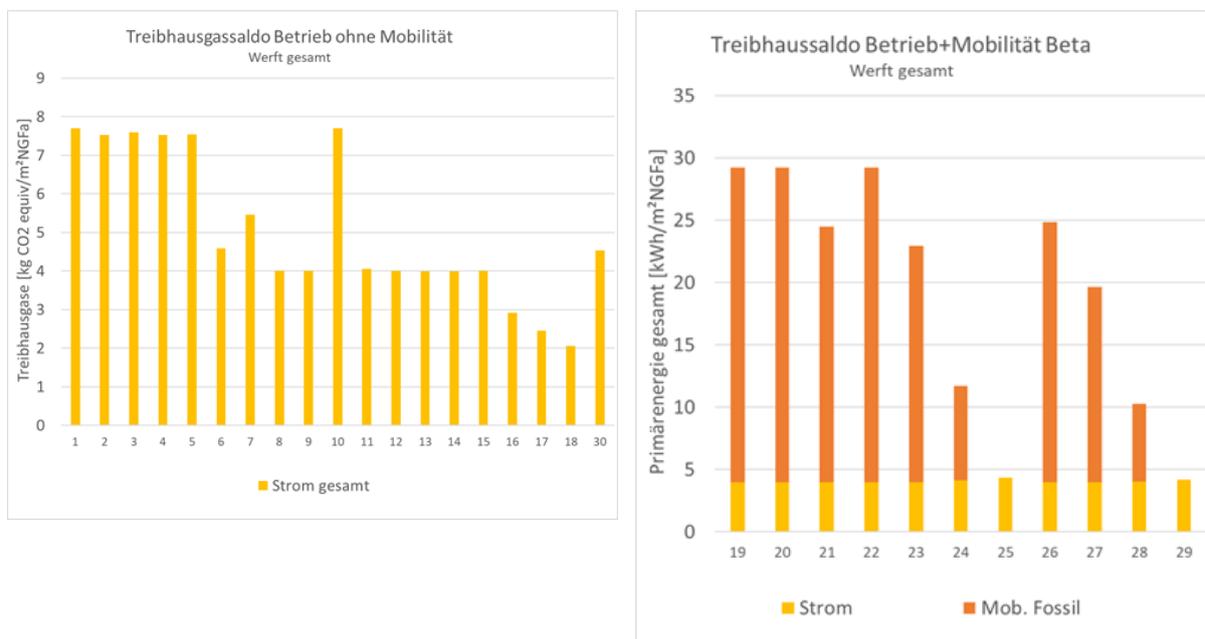


Kommentar:

- PEQ-Alpha: Für die Erreichung ist die PV erforderlich.
- Eigenverbrauchsoptimierung PV ist für die Überschreitung des Grenzwertes nicht erforderlich.
- Der Bestwert wird in der Variante 18 mit größter e-Batterie erreicht
- PEQ-Beta: Der Grenzwert wird nur bei 100 % e-Mobilität erreicht, wobei bei optimierten Modal Split mit 70 % e-Mobilitätsgrad fast die Plusenergie-Schwelle überschritten wird. Optimierte PV-Nutzung und Wind-Peak-Shaving sind jedenfalls erforderlich

Eine Bewertung mit den Wirkungen auf den Treibhauseffekt, ebenfalls mit monatlichen Konversionsfaktoren, ergeben die folgenden Emissionen an CO₂ equiv.

Abbildung 6-59: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019. (Bilder nebeneinander)



Kommentar:

- Der Treibhausgassaldo kann auf $2 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$ abgemindert werden
- Inkl. individueller motorisierter Alltagsmobilität wird der Treibhaussaldo vor allem durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen bestimmt. Die Belastungen durch den erhöhten Strombedarf für Elektromobilität wird zu einem großen Anteil durch eine Erhöhung des Eigenverbrauchs der PV und vor allem durch eine deutliche Ausweitung des Wind-Peak-Shavings erreicht.

Nachfolgend werden die Treibhausgasemissionen

- Errichtung
- Errichtung und Gebäudebetrieb
- Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität inkl. Errichtung (PEQ Omega)

dargestellt.

In der Ökobilanz der Errichtung der Gebäude liegt der Indikator GWP total in etwa zwischen $-100 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$ und $500 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$. Generell ist das Treibhauspotenzial in der Betonbauweise am höchsten, gefolgt von Ziegel- und Hybridbauweise. Erheblich niedrigere Werte bei den Umweltindikatoren ergeben sich bei Leichtbauweise, optimal ist in dieser Betrachtung die Holzmassivbauweise. In den folgenden beiden Abbildungen werden ausgewählte energetische Varianten in den unterschiedlichen Bauweisen einander gegenübergestellt. Betrachtet werden eine Variante mit Fernwärme (V37), mit Wärmepumpe und Photovoltaik ohne (V38) bzw. mit (V39) Demand Side Management (DSM), mit Wärmepumpe ohne Photovoltaik (V41), sowie mit Wärmepumpe, PV und Batterie $100 \text{ Wh/m}^2_{\text{NGF}}$, C-Rate C2 (V49).

Abbildung 6-60: GWP total Errichtung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit konventionellen Baustoffen

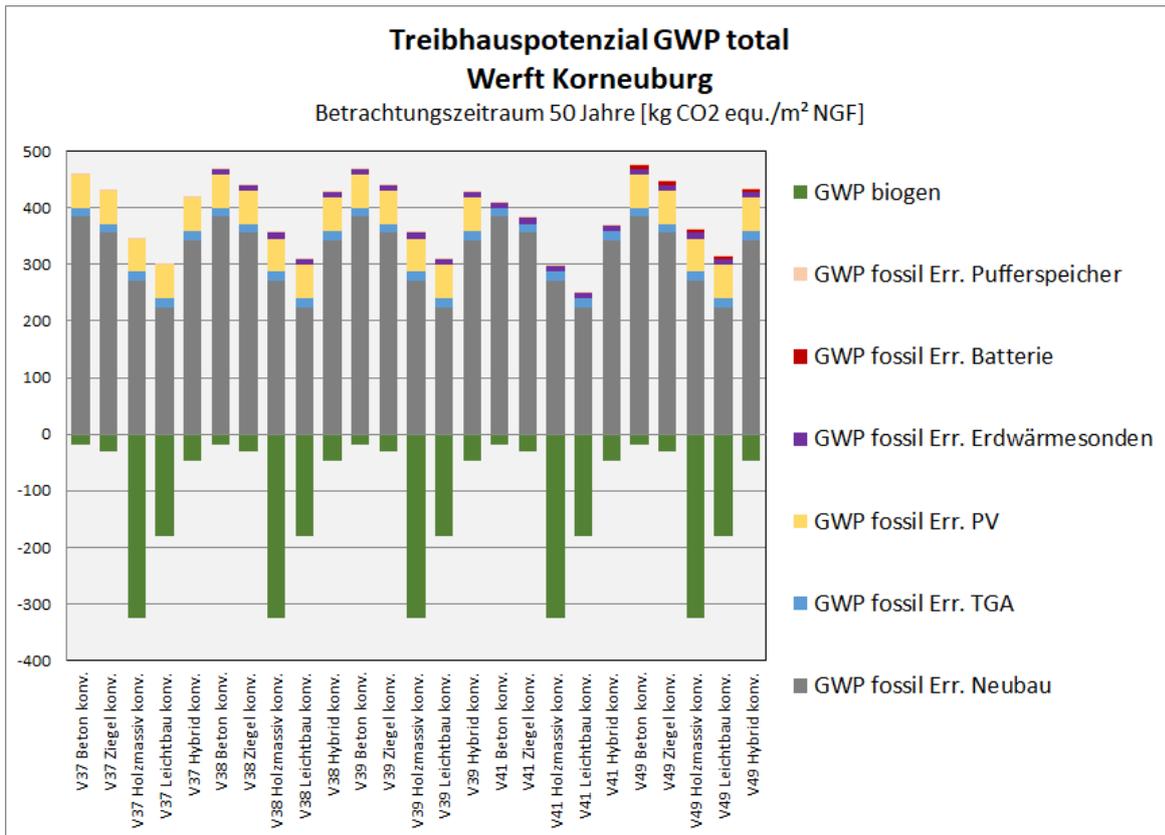
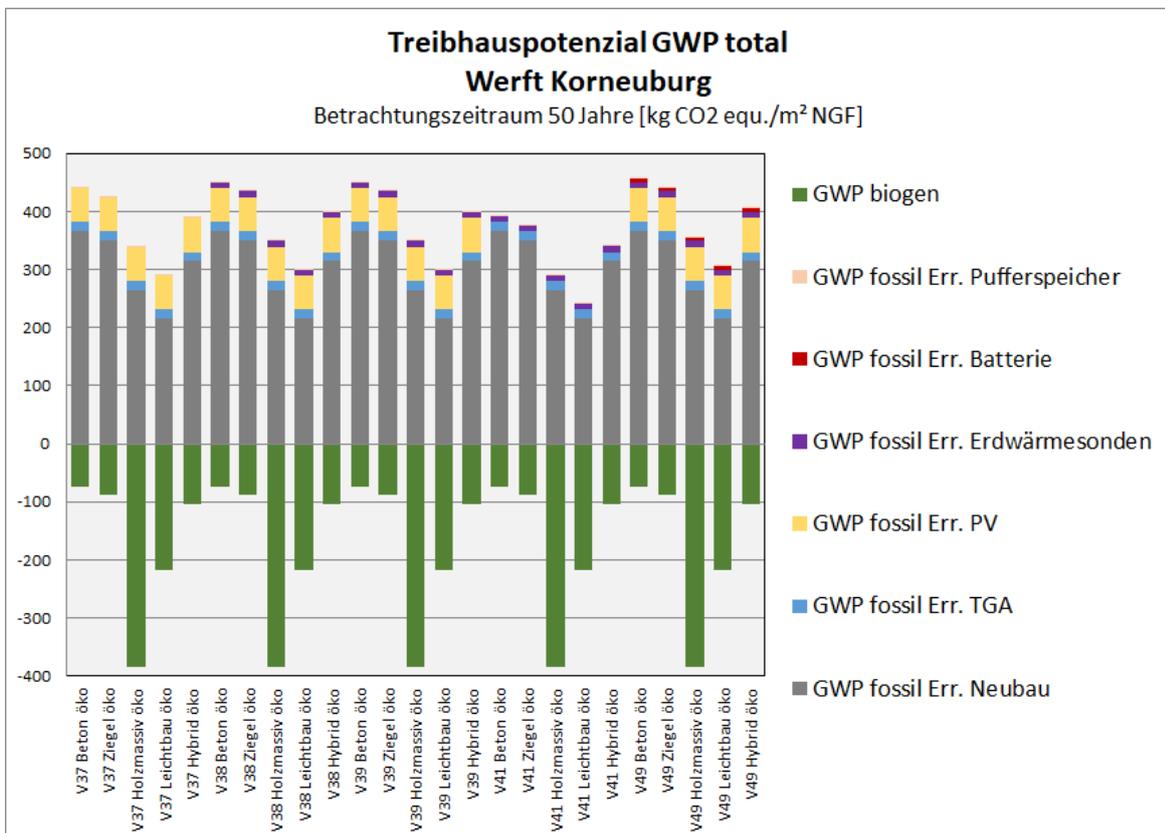
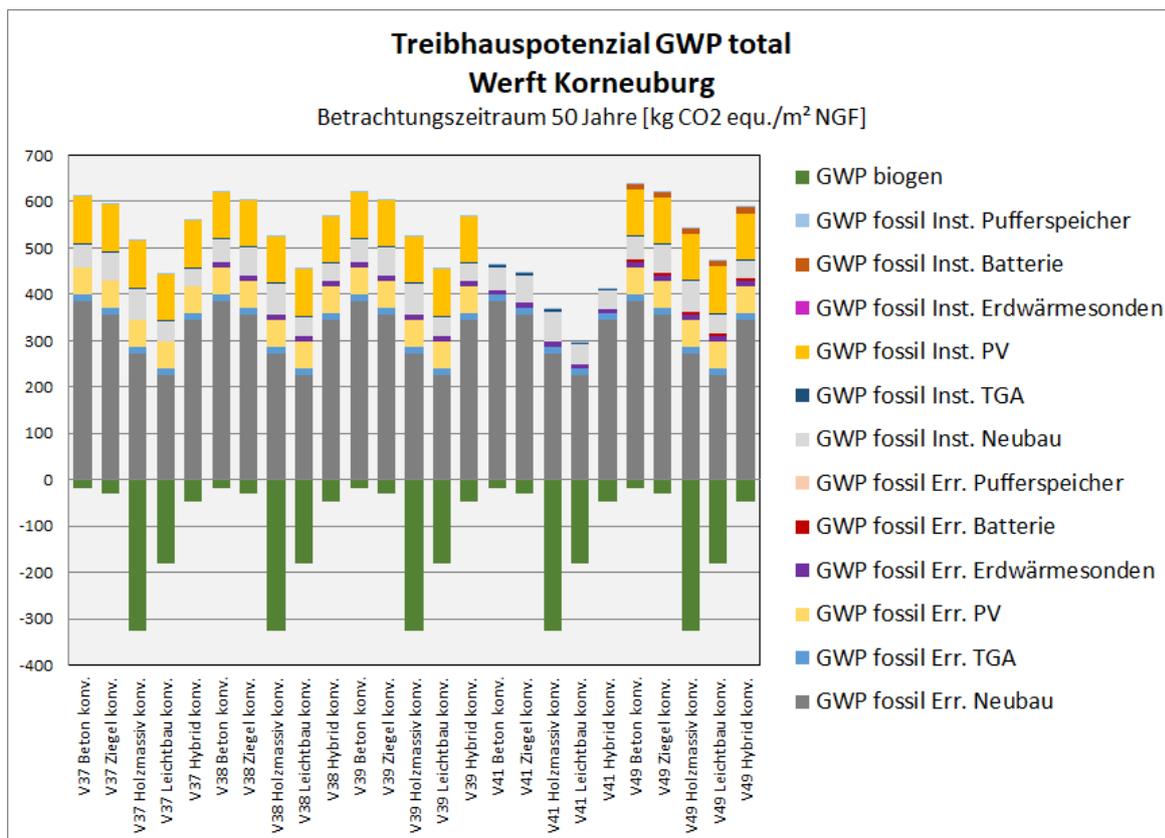


Abbildung 6-61: GWP total Errichtung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen



In diesen Berechnungen zeigt sich, dass die Haustechnik einen nicht unerheblichen Teil (ca. 20 %) der Emissionen aus der Errichtungsphase verursacht, vor allem die Photovoltaik sticht hier heraus (ca. 15 %). Dies gilt noch verstärkt, wenn man die Betrachtung auf die Nutzungsphase der Gebäude erweitert und den Austausch von Bauteilen und TGA-Komponenten während des Lebenszyklus miteinbezieht (Abbildung 6-62). Allerdings sind hier die Annahmen stark zu hinterfragen: Wie in der Ökobilanzierung üblich und in Kapitel 6.1.7 erläutert, wird der Materialersatz mit aktuellen Prozessen und Ökobilanzdaten bewertet. Zudem wird von einer relativ geringen Nutzungsdauer der PV-Komponenten (20 Jahre) ausgegangen, was über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren einen zweimaligen Austausch zusätzlich zur Errichtung bedeutet.

Abbildung 6-62: GWP total Errichtung und Instandsetzung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit konventionellen Baustoffen



Bei der Analyse weiterer Umweltindikatoren schneidet durchwegs die Leichtbauweise am besten ab. Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie (PENRT) liegt hier in den untersuchten Varianten unter 1.400 kWh/m²_{NGF}, während er bei Betonbauweise über 1.700 kWh/m²_{NGF} betragen kann.

Abbildung 6-63: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Errichtung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit konventionellen Baustoffen

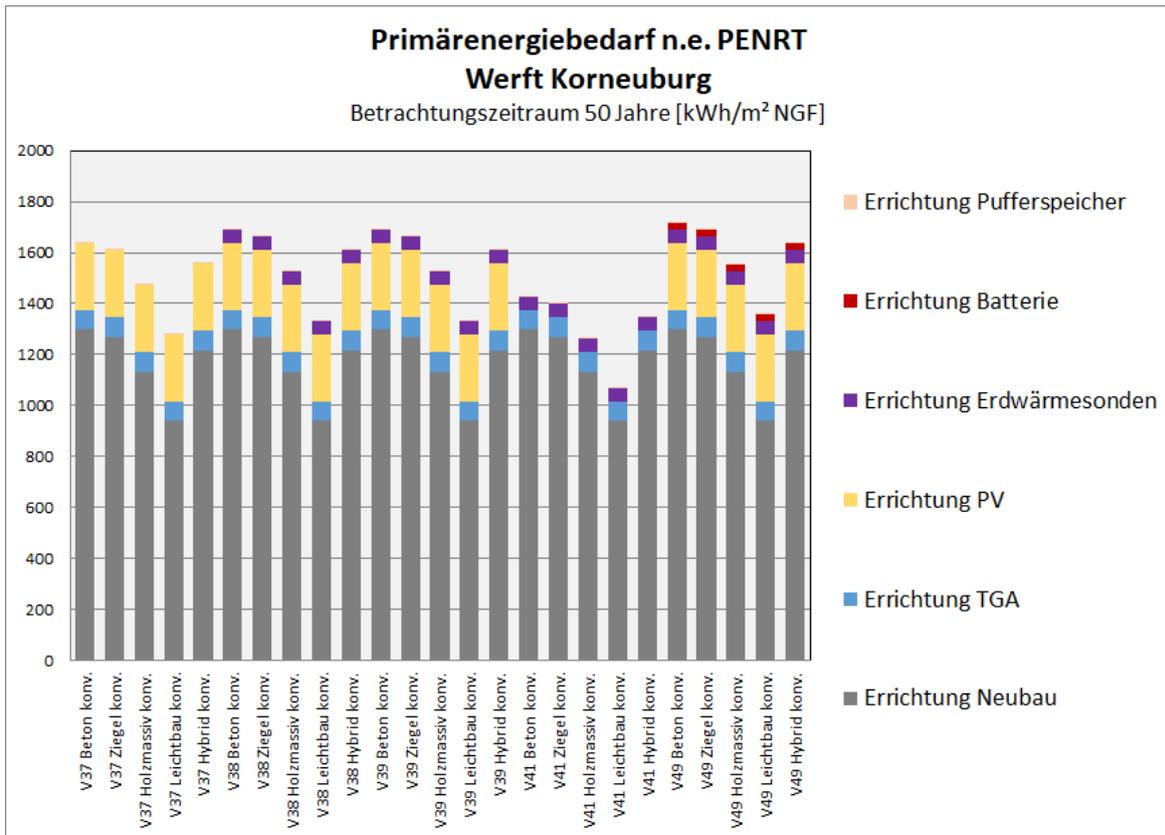
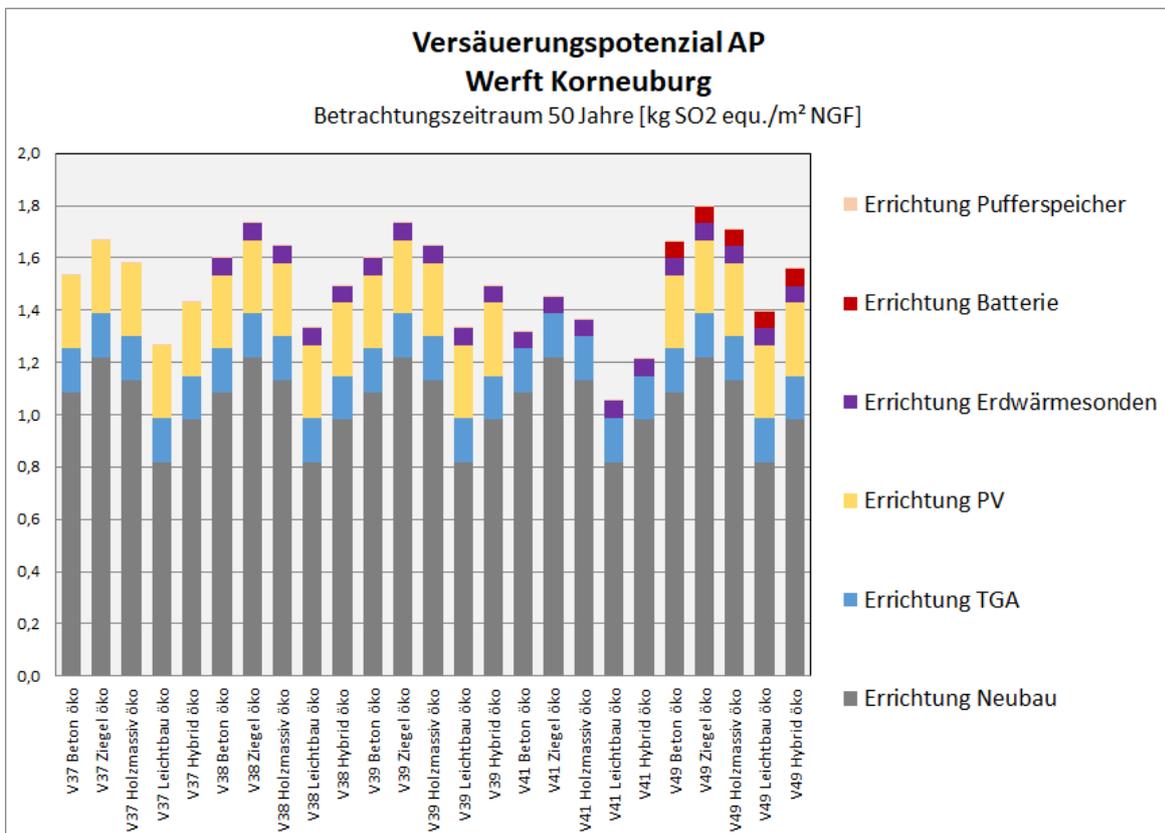


Abbildung 6-64: Versäuerungspotenzial (AP) Errichtung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen

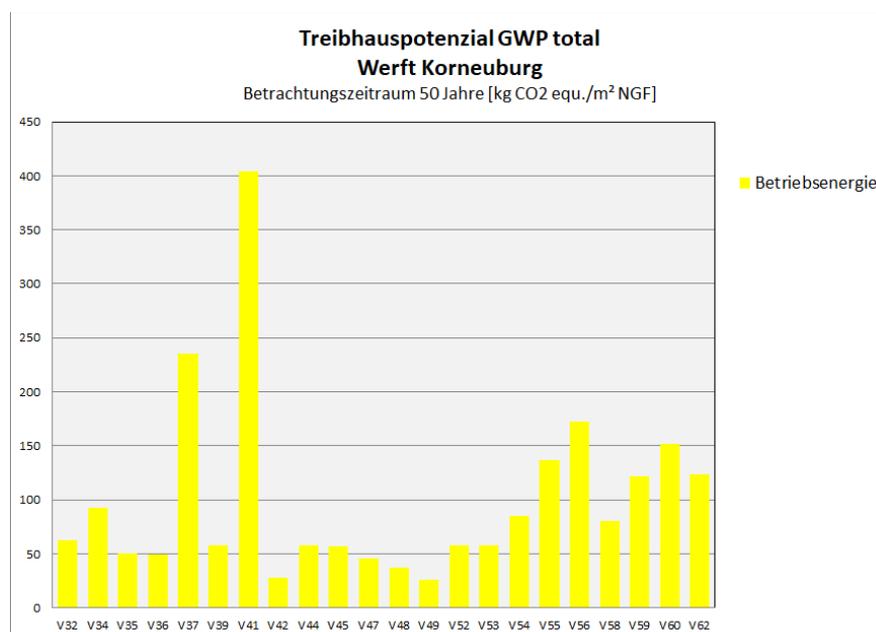


Ein umfassendes Bild zeigt sich aber erst in der lebenszyklischen Betrachtung. In der Ausgangsvariante (V32) liegt der GWP-Wert für die Betriebsenergie bei $63 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$. Bei Variation des Wärmedämmstandards (V34 – V36) bewegt sich dieser Indikator zwischen 49 und $93 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$. Im Szenario Fernwärme (V37) schnellt das Treibhauspotenzial auf $236 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$, ohne Photovoltaik gar auf $404 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$ (V41). Demgegenüber wird bei optimiertem PV-Einsatz (V42) beinahe das Minimum des Global Warming Potentials für den Gebäudebetrieb erreicht, tatsächlich angenommen wird es im Szenario mit Batterie $100 \text{ Wh/m}^2_{\text{NGF}}$ (V49).

Tabelle 6-43: Varianten Werft Korneuburg (Details siehe 6.1.5)

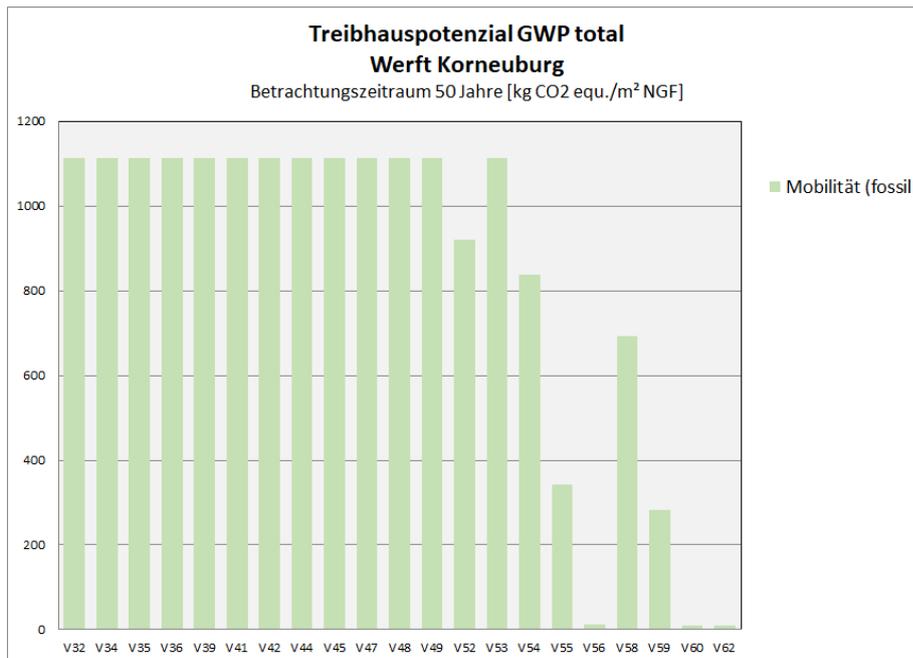
Variante Nr.	Bezeichnung	Variante Nr.	Bezeichnung
32	Best	48	Batt50
34	WDmin	49	Batt100
35	WDPH	52	MobOpt
36	WDPHKomf	53	MobStE0
37	FW	54	MobStE25
39	WP+DSM	55	MobStE70
41	PV0	56	MobStE100
42	PVmax	58	MobOptE25
44	DSMWWmidi	59	MobOptE70
45	DSMWWmax	60	MobOptE100
47	Batt25	62	MobOptE100 Pvmax

Abbildung 6-65: GWP total Betriebsenergie, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten



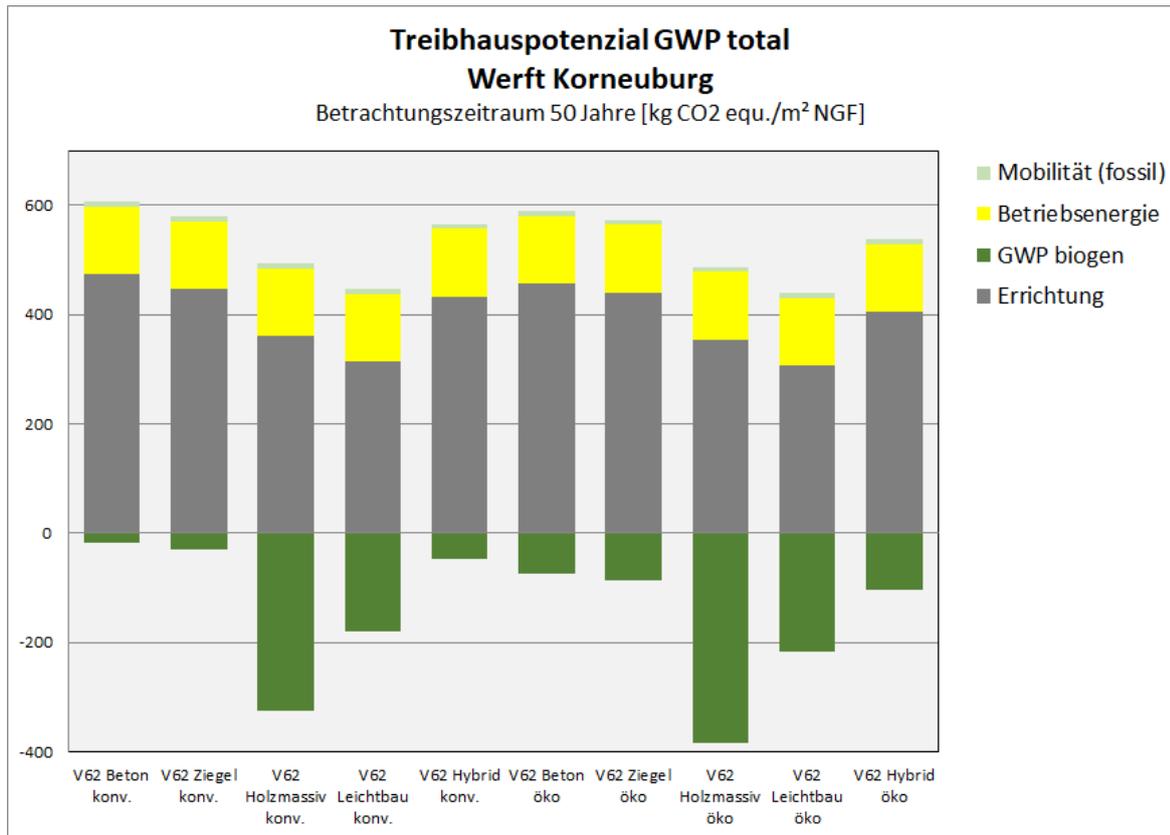
Der größte Anteil der Treibhausgasemissionen über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren wird aber durch fossile Energie für die Mobilität verursacht. In den nicht eigens optimierten Varianten schlägt das Global Warming Potential hier mit 1.114 kgCO₂eq/m²_{NGF} zu Buche. Eklatante Reduktionen können durch die Optimierung des Modal Split (V52), einen steigenden Anteil an E-Cars (V54 – V56) oder die Kombination dieser Maßnahmen (V58 – V60) erreicht werden. Der durch die Elektromobilität höhere GWP-Wert für die Betriebsenergie liegt in diesen Varianten dennoch nur bei ca. 100-150 kgCO₂eq/m²_{NGF}.

Abbildung 6-66: GWP total Mobilität, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten



Folgerichtig wird das Minimum des Treibhauspotenzials für Errichtung, Betriebsenergie und Mobilität in jener Variante erreicht, in der die Optimierungsmaßnahmen für Betriebsenergie (maximale PV-Belegung), Mobilität (optimierter Modal Split, 100 % E-Cars) und Errichtung (ökologisch optimierter Holzmassivbau) kombiniert werden (Variante 62).

Abbildung 6-67: GWP total Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Werft Korneuburg, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal



Die Werte der Primärenergiebedarfs-Umweltindikatoren PENRT und PEE liegen wieder für die energetischen Varianten V37 (Fernwärme) sowie V41 (mit DSM ohne PV) mit Abstand am höchsten - wobei im Fall der Fernwärme auch ein hoher Anteil an erneuerbarer Primärenergie benötigt wird.

Abbildung 6-68: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Betriebsenergie, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten

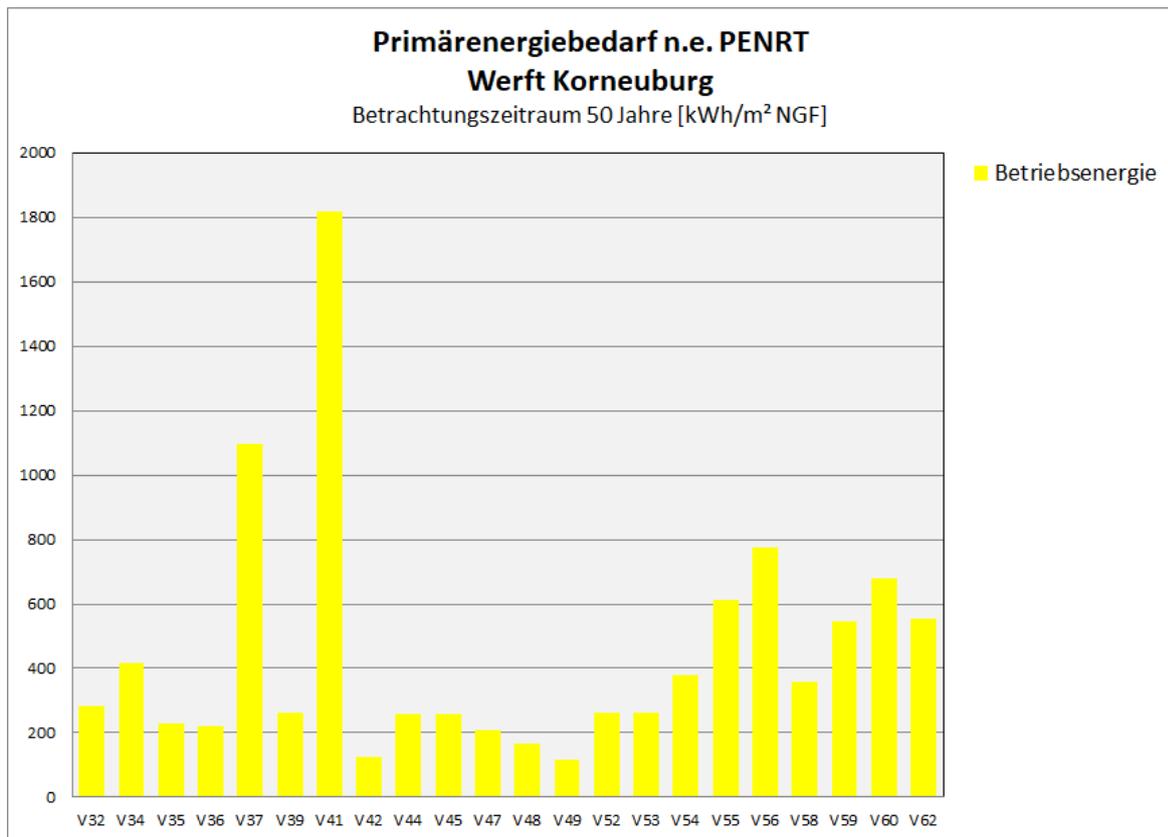
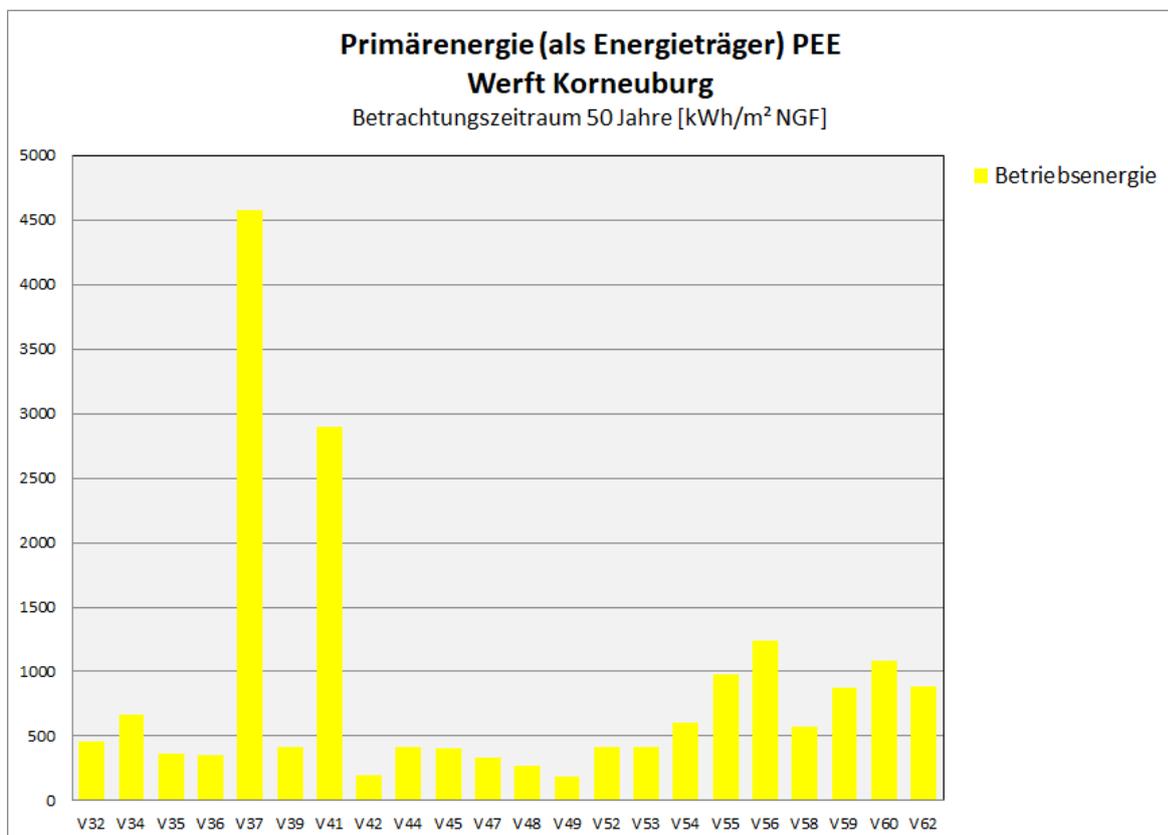


Abbildung 6-69: Primärenergiebedarf als Energieträger (PEE) Betriebsenergie, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten



Wie zuvor ist aber der fossile Anteil der Mobilität für den Großteil der Belastungen verantwortlich, sodass dessen Reduktion, kombiniert mit maximaler Nutzung von Photovoltaik, wiederum zum optimalen Ergebnis in Variante V62 führt (diesfalls in Leichtbauweise mit ökologisch optimierten Baustoffen).

Abbildung 6-70: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Mobilität, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten

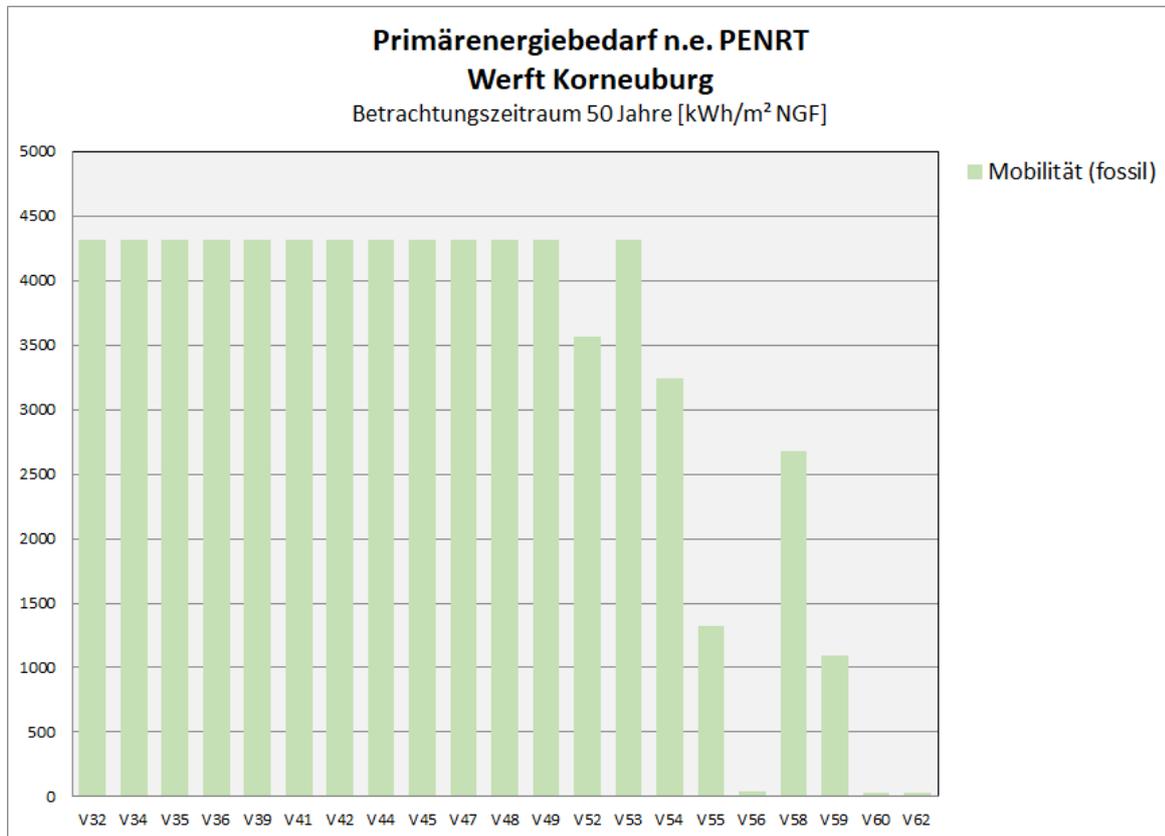
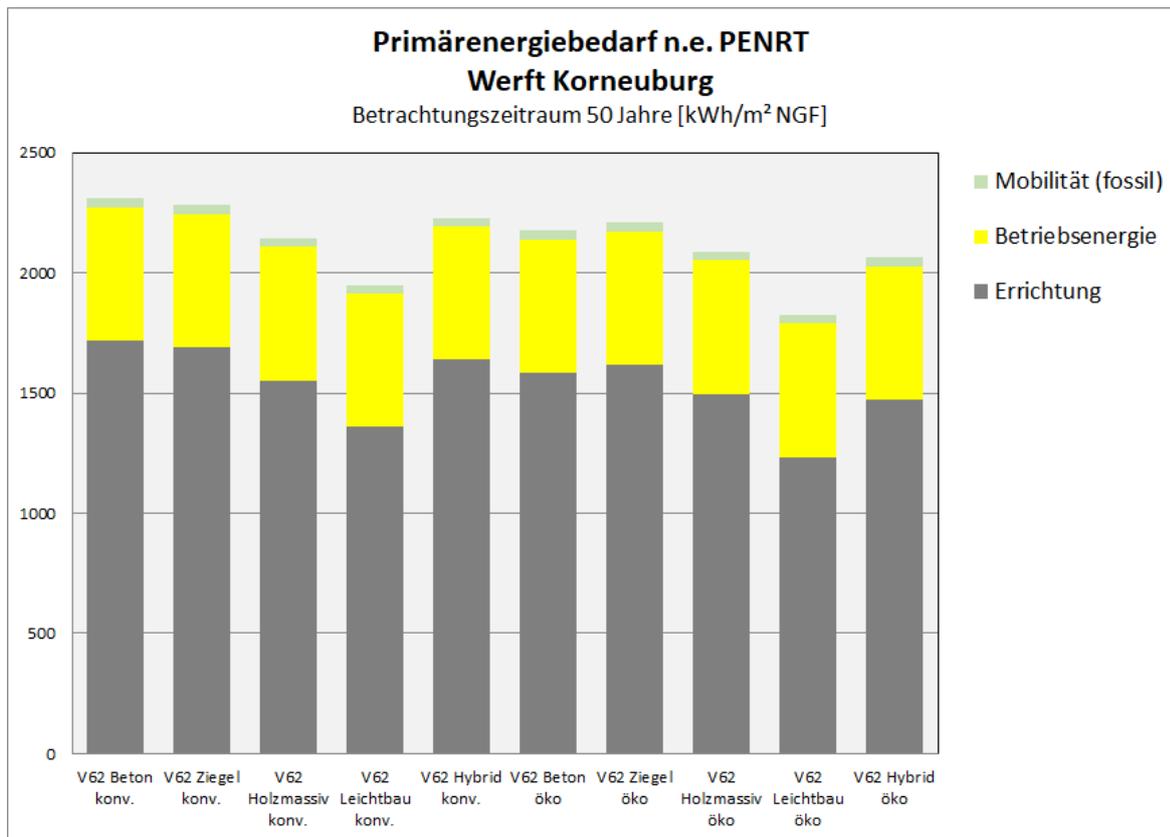


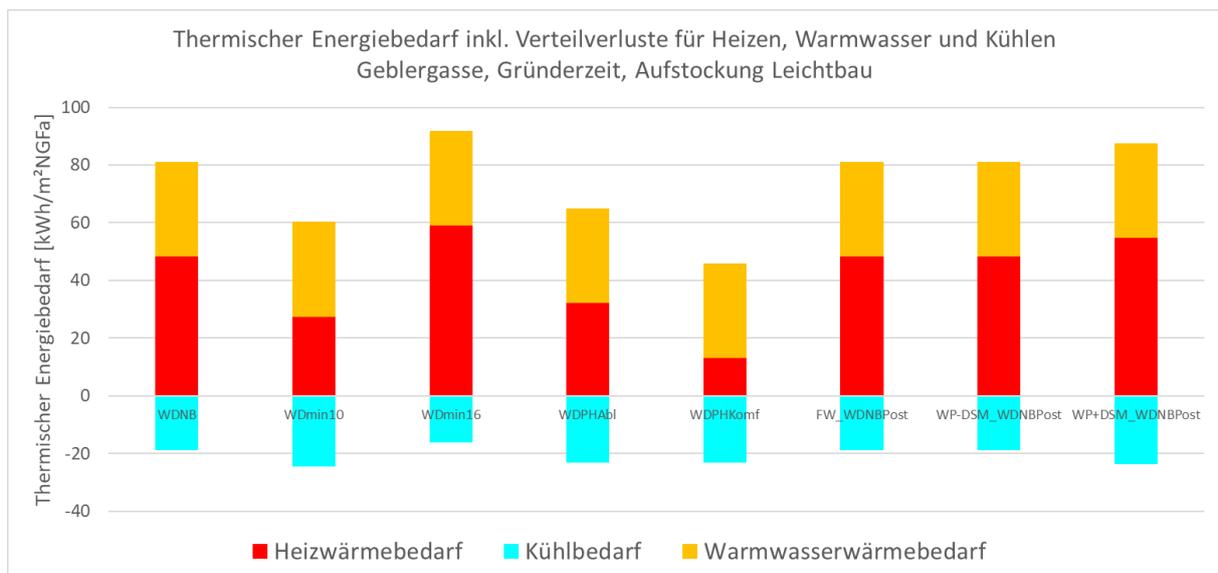
Abbildung 6-71: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Werft Korneuburg, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal



6.3.4 Geblergasse

Für die Basisvarianten, die von einem Anergienetz und dem Austausch von elektrischer Energie im Quartier ausgehen, ergeben sich die folgenden thermischen Nutzenergiebedarfe inkl. Verteilverluste (Ohne Umwandlungsverluste Wärmepumpen, bzw. Fernwärme).

Abbildung 6-72: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste

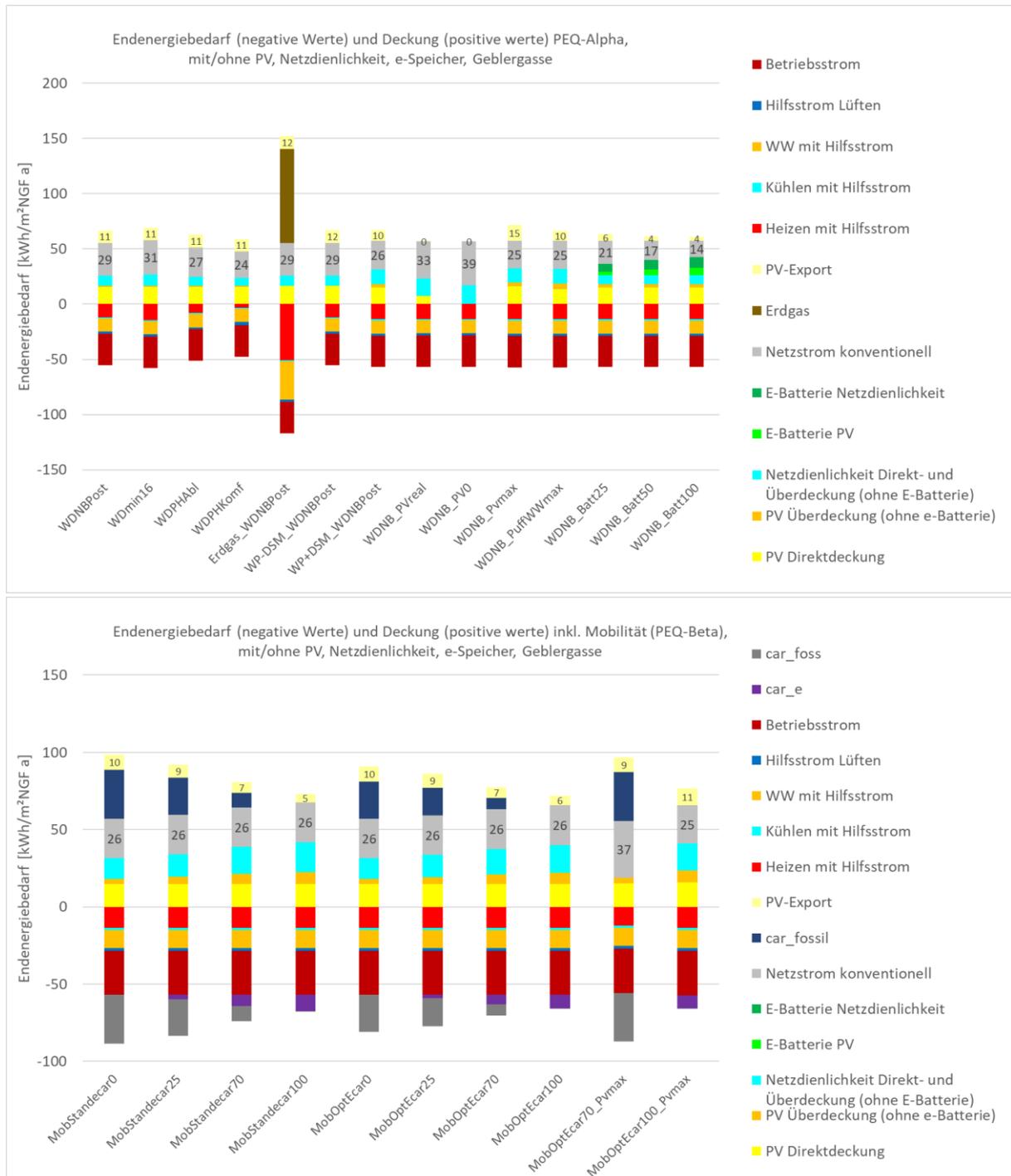


Kommentar:

Bauliche Varianten 1 bis 5 zeigen große Unterschiede im Heizwärmebedarf. Durch die Aktivierung der Standard-Flexibilitätsmaßnahmen ergeben sich vergleichsweise nur mittlere Auswirkungen auf den thermischen Bedarf.

Der gesamte Endenergiebedarf inkl. Deckung ist in Abbildung 6-73 dargestellt.

Abbildung 6-73: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten



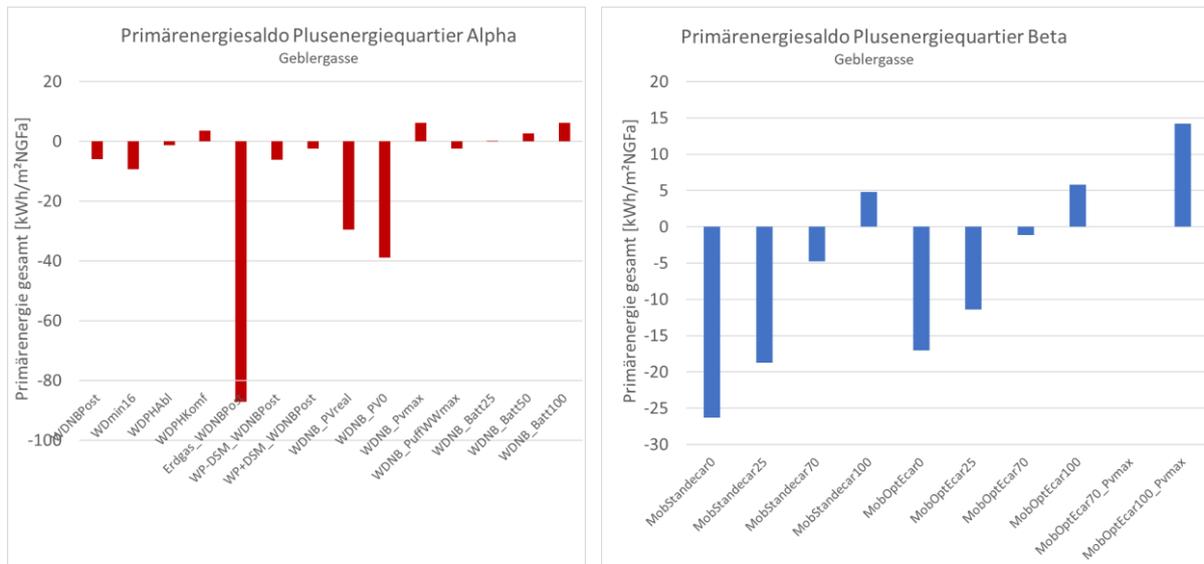
Kommentar:

- Der konventionell Netztrom kann von 29 bis auf 14 kWh/m²_{NGFa} reduziert werden in der besten Variante 18 mit Batterie (bei noch 4 kWh/m²_{NGFa} PV-Export).

- Mit Mobilität sind im besten Fall bei 100 % individuellen e-Mobilitätsgeräten (keine fossile Alltagsmobilität) 25 kWh/m²_{NGF} a an konventionellen Netzstrom erforderlich

Eine Bewertung des Betriebs auf der Grundlage des Plusenergiequartiersansatzes gemäß Zukunftsquartiermethodik für Alpha und Beta (inkl. individuelle, motorisierte Alltagsmobilität) ergibt die folgenden Ergebnisse für den Saldo inkl. der Dichte und EE Großkraftwerksgutschrift.

Abbildung 6-74: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung.

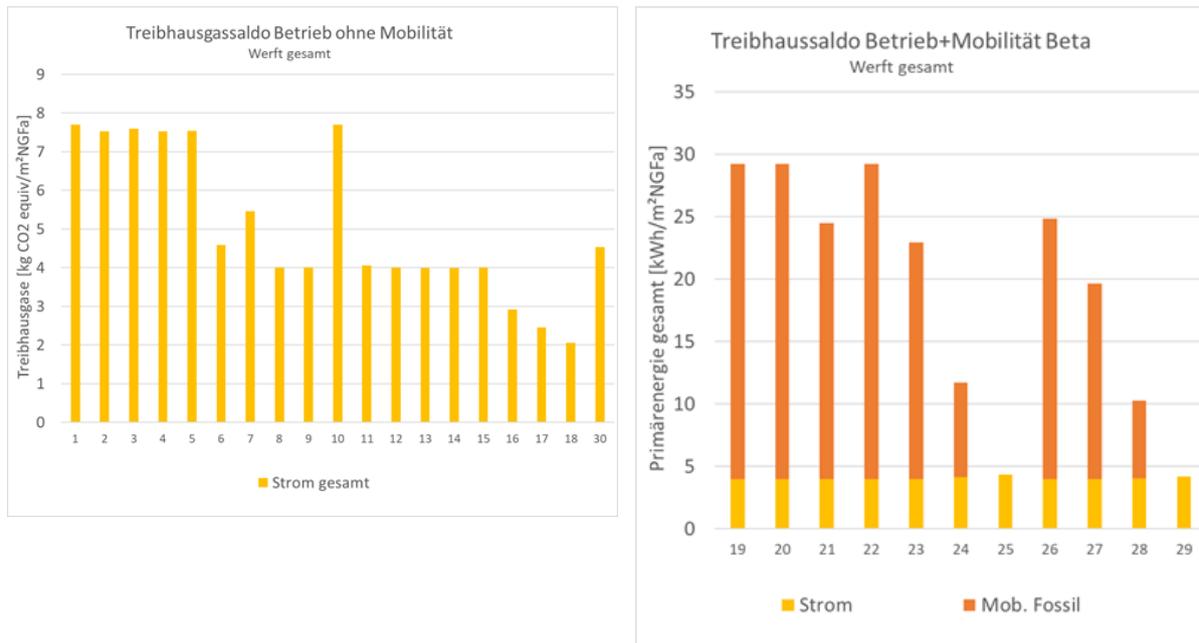


Kommentar:

- PEQ-Alpha: Für die Erreichung ist sowohl PV und Wind-Peak-Shaving erforderlich, entweder muss eine große Batterie eingebaut werden oder die PV muss maximiert werden. Alternativ wäre auch eine Sanierung auf Passivhausstandard mit Komfortlüftung möglich
- Eigenverbrauchsoptimierung PV ist für die Überschreitung des Grenzwertes erforderlich.
- Der Bestwert wird in der Variante 18 mit größter e-Batterie erreicht
- PEQ-Beta: Der Grenzwert wird nur bei 100 % e-Mobilität erreicht, wobei bei optimierten Modal Split mit 70 % e-Mobilitätsgrad fast die Plusenergie-Schwelle überschritten wird. Optimierte PV-Nutzung und Wind-Peak-Shaving sind jedenfalls erforderlich

Eine Bewertung mit den Wirkungen auf den Treibhauseffekt, ebenfalls mit monatlichen Konversionsfaktoren, ergeben die folgenden Emissionen an CO₂ equiv.

Abbildung 6-75: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019.



Kommentar:

- Der Treibhausgassaldo kann auf 2 kgCO₂eq/m²_{NGF} abgemindert werden
- Inkl. individueller motorisierter Alltagsmobilität wird der Treibhaussaldo vor allem durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen bestimmt. Die Belastungen durch den erhöhten Strombedarf für Elektromobilität wird zu einem großen Anteil durch eine Erhöhung des Eigenverbrauchs der PV und vor allem durch eine deutliche Ausweitung des Wind-Peak-Shavings erreicht.

Nachfolgend werden die Treibhausgasemissionen

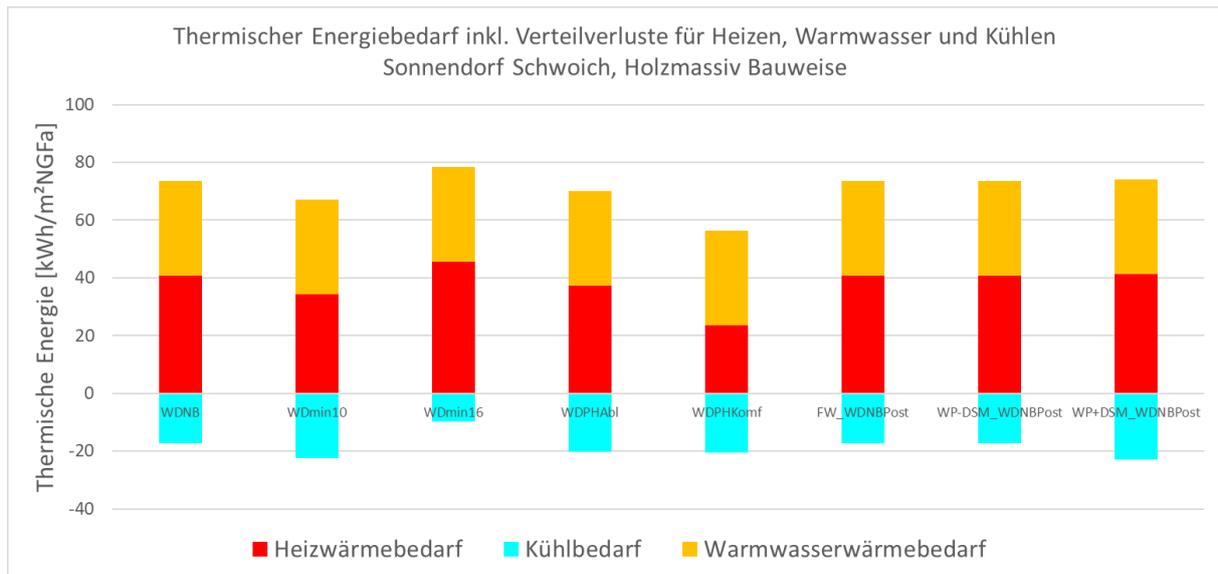
- Errichtung
- Errichtung und Gebäudebetrieb
- Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität inkl. Errichtung (PEQ Omega)

dargestellt.

6.3.5 Sonnendorf Schwoich

Für die Basisvarianten, die von gebäudebezogener Versorgung mit Erdwärme über eine Wärmepumpe ausgehen und dem Austausch von elektrischer Energie im Quartier ausgehen, ergeben sich die folgenden thermischen Nutzenergiebedarfe inkl. Verteilverluste (Ohne Umwandlungsverluste Wärmepumpen, bzw. Fernwärme).

Abbildung 6-76: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste

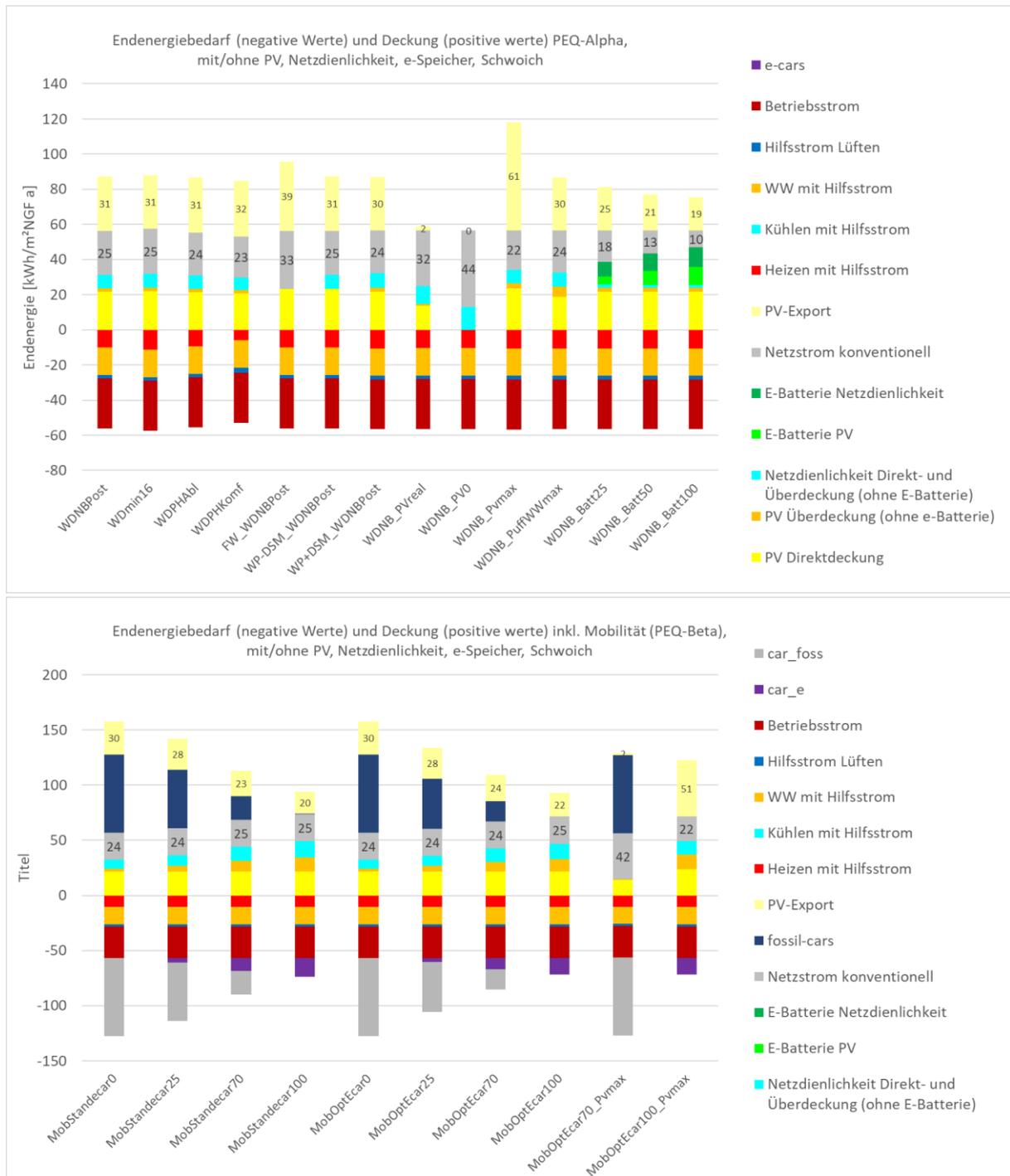


Kommentar:

Bauliche Varianten 1 bis 5 zeigen große Unterschiede im Heizwärme- und Kühlbedarf. Durch die Aktivierung der Standard-Flexibilitätsmaßnahmen ergeben sich vergleichsweise nur geringe Auswirkungen auf den thermischen Bedarf.

Der gesamte Endenergiebedarf inkl. Deckung ist in Abbildung 6-77 dargestellt.

Abbildung 6-77: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten.

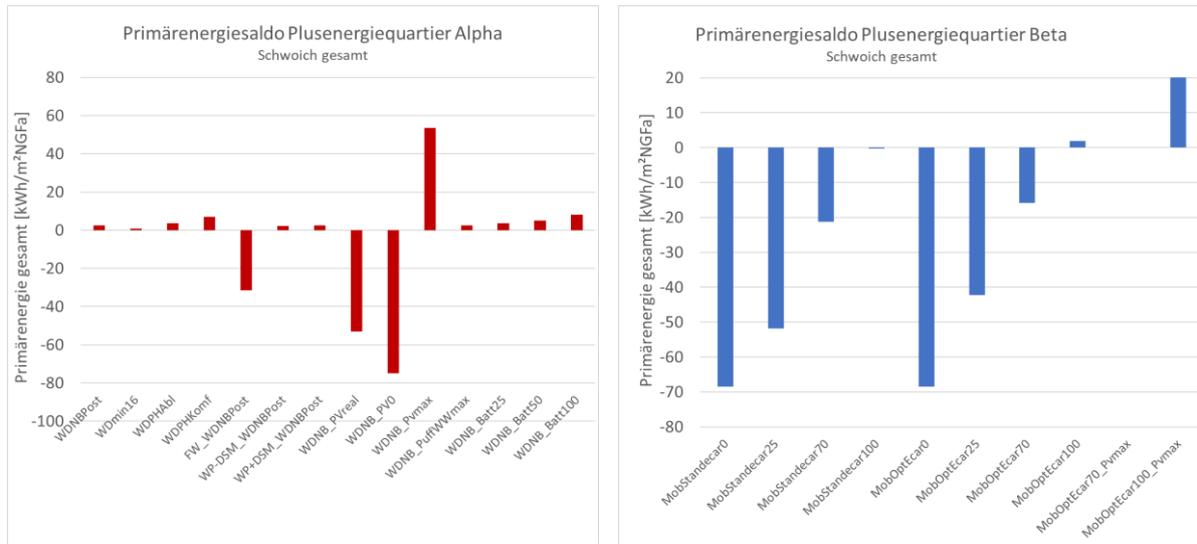


Kommentar:

- Der konventionell Netzstrom kann von 25 bis auf 10 kWh/m²_{NGF}a reduziert werden in der besten Variante 18 mit Batterie (bei noch 19 kWh/m²_{NGF}a PV-Export).
- Mit Mobilität sind im besten Fall bei 100 % individuellen e-Mobilitätsgeräten (keine fossile Alltagsmobilität) 22 kWh/m²_{NGF} a an konventionellen Netzstrom erforderlich

Eine Bewertung des Betriebs auf der Grundlage des Plusenergiequartiersansatzes gemäß Zukunftsquartiermethodik für Alpha und Beta (inkl. individuelle, motorisierte Alltagsmobilität) ergibt die folgenden Ergebnisse für den Saldo inkl. der Dichte und EE Großkraftwerksgutschrift.

Abbildung 6-78: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung.

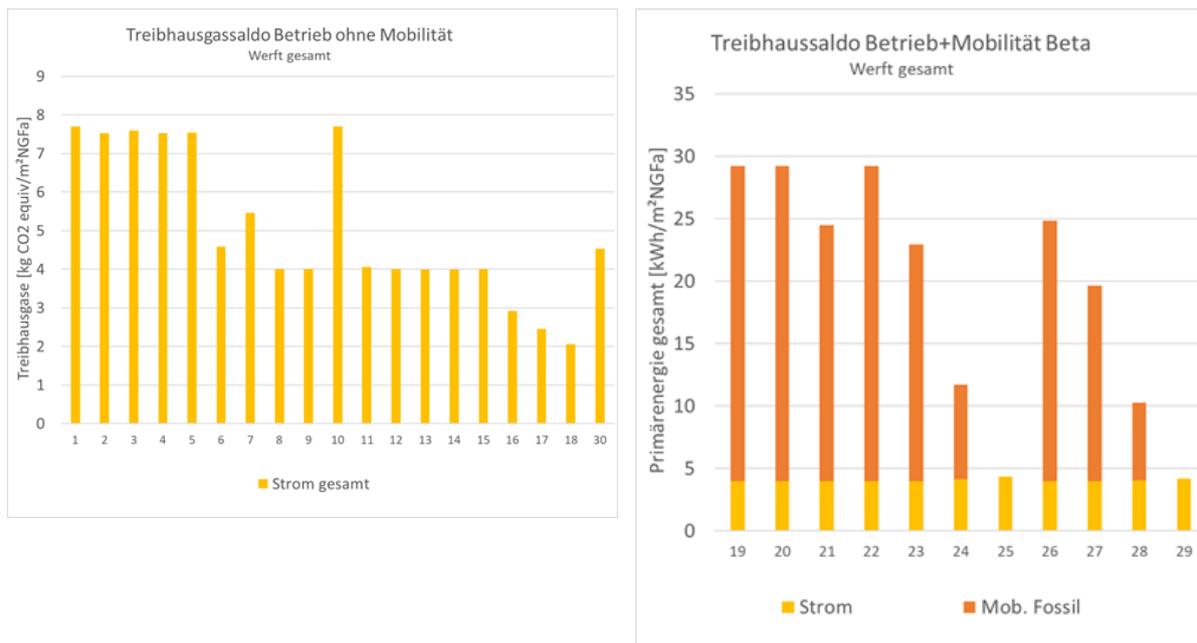


Kommentar:

- PEQ-Alpha: Für die Erreichung ist nur eine PV-Anlage erforderlich.
- Eigenverbrauchsoptimierung PV ist für die Überschreitung des Grenzwertes nicht erforderlich.
- Der Bestwert wird in der Variante 18 mit größter e-Batterie erreicht
- PEQ-Beta: Der Grenzwert wird nur bei 100 % e-Mobilität erreicht. Optimierte PV-Nutzung und Wind-Peak-Shaving sind jedenfalls erforderlich

Eine Bewertung mit den Wirkungen auf den Treibhauseffekt, ebenfalls mit monatlichen Konversionsfaktoren, ergeben die folgenden Emissionen an CO₂ equiv.

Abbildung 6-79: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019.



Kommentar:

- Der Treibhausgasaldo kann auf $2 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$ abgemindert werden
- Inkl. individueller motorisierter Alltagsmobilität wird der Treibhaussaldo vor allem durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen bestimmt. Die Belastungen durch den erhöhten Strombedarf für Elektromobilität wird zu einem großen Anteil durch eine Erhöhung des Eigenverbrauchs der PV und vor allem durch eine deutliche Ausweitung des Wind-Peak-Shavings erreicht.

Nachfolgend werden die Treibhausgasemissionen

- Errichtung
- Errichtung und Gebäudebetrieb
- Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität inkl. Errichtung (PEQ Omega)

dargestellt.

In den folgenden Grafiken werden wie im Abschnitt 6.3.3 Ökobilanzwerte für die Errichtungsphase dargestellt. Der Vergleich enthält analog zu den obigen Darstellungen eine Variante mit Fernwärme (V90), mit Wärmepumpe und Photovoltaik ohne (V91) bzw. mit (V92) Demand Side Management (DSM), mit Wärmepumpe ohne Photovoltaik (V94), sowie mit Wärmepumpe, PV und Batterie $100 \text{ Wh/m}^2_{\text{NGF}}$ (V102).

Die Haustechnikkomponenten verursachen in den betrachteten Varianten ca. 22 % der Treibhausgasemissionen in der Errichtung (Photovoltaik, wenn vorhanden, ca. 19 %). Die Gutschrift für GWP biogen beträgt bei konventioneller Bauweise max. $362 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$, bei ökologischer Optimierung bis zu $469 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$.

Abbildung 6-80: GWP total Errichtung, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte Varianten mit konventionellen Baustoffen

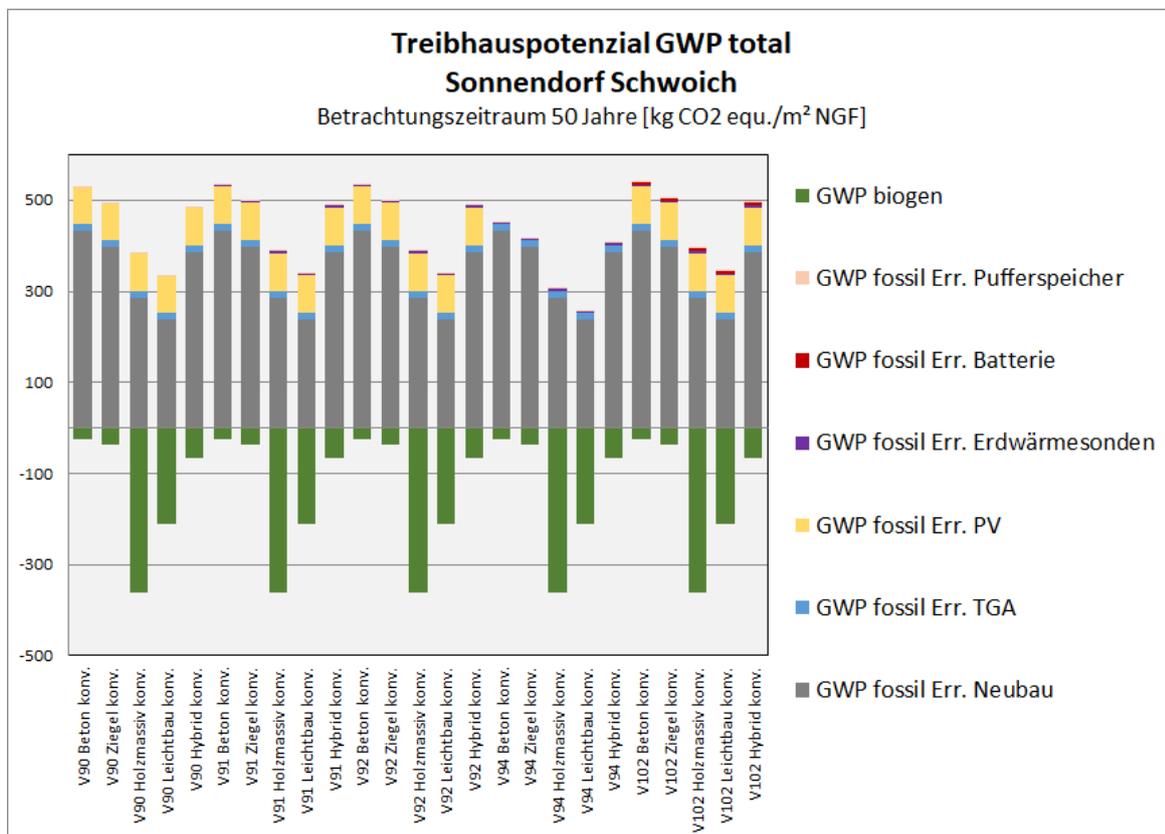
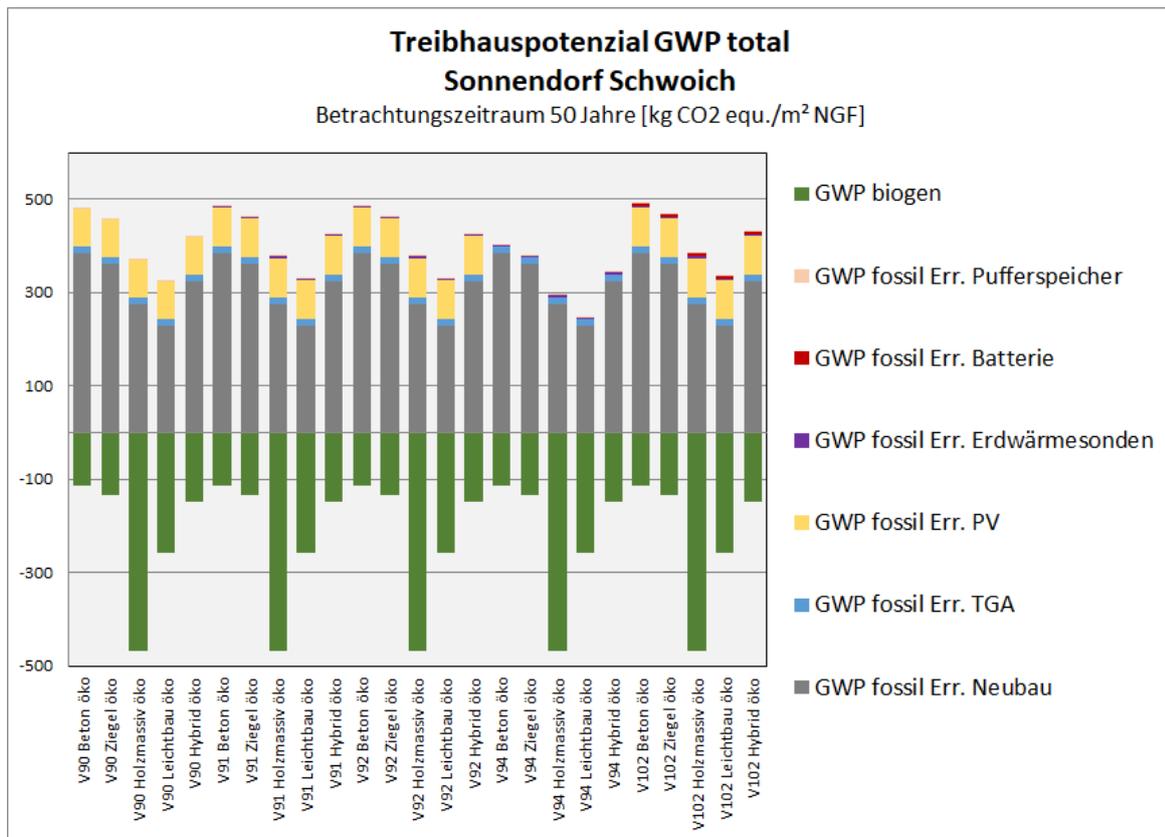


Abbildung 66-81: GWP total Errichtung, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen



Damit fällt der Vergleich der Bauweisen wie beim Quartier Werft Korneuburg aus, die Holzmassivbauweise reduziert das Treibhauspotenzial auf bis zu $-174 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NGF}}$. Bei den weiteren Umweltindikatoren (unten sind beispielhaft PEE und AP dargestellt) bietet wieder die Leichtbauweise das größte Optimierungspotenzial. Die Batteriespeicher in Variante 102 tragen nur beim Versäuerungspotenzial nennenswert zu den Belastungen bei.

Abbildung 6-82: Primärenergiebedarf als Energieträger (PEE) Errichtung, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen

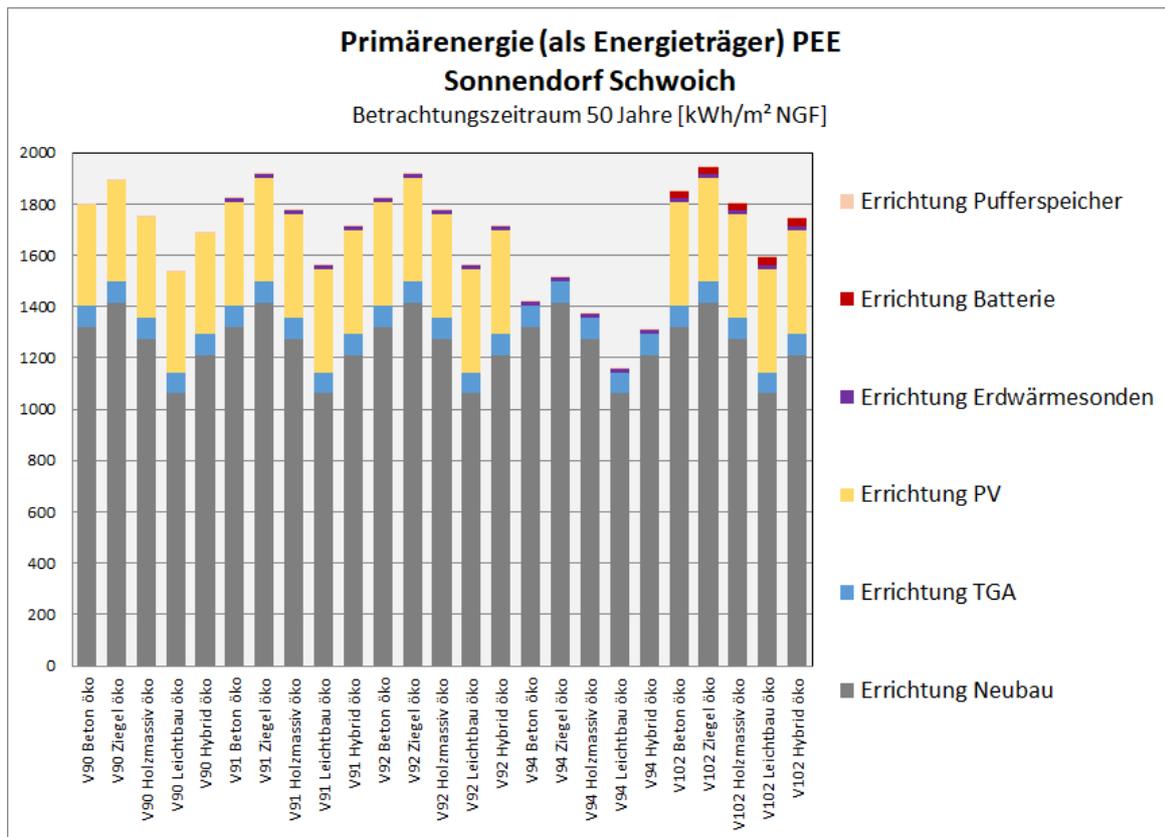
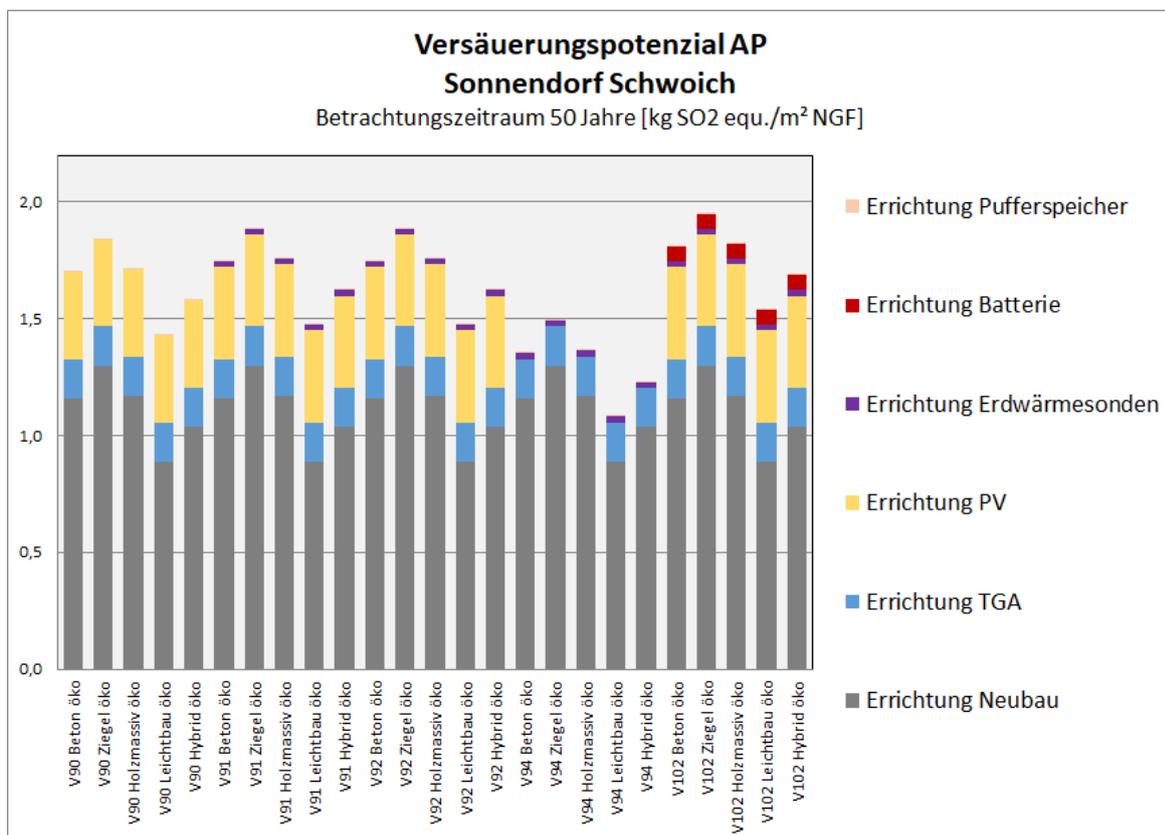


Abbildung 6-83: Versäuerungspotenzial (AP) Errichtung, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen



Bei der Betriebsenergie ergeben sich durch PV-Überschüsse, die Netzstrom substituieren und so als ökologische Gutschrift gerechnet werden, in vielen Varianten negative Werte der Ökobilanzindikatoren – am stärksten klarerweise in der Variante mit maximaler PV-Belegung.

Tabelle 6-44: Varianten Sonnendorf Schwoich (Details siehe siehe 6.1.5)

Variante Nr.	Bezeichnung	Variante Nr.	Bezeichnung
85	Best	101	Batt50
87	WDmin	102	Batt100
88	WDPH	105	MobOpt
89	WDPHKomf	106	MobStE0
90	FW	107	MobStE25
92	WP+DSM	108	MobStE70
94	PV0	109	MobStE100
95	PVmax	111	MobOptE25
97	DSMWWmidi	112	MobOptE70
98	DSMWWmax	113	MobOptE100
100	Batt25	115	MobOptE100 Pvmax

Abbildung 6-84: GWP total Betriebsenergie, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte energetische Varianten

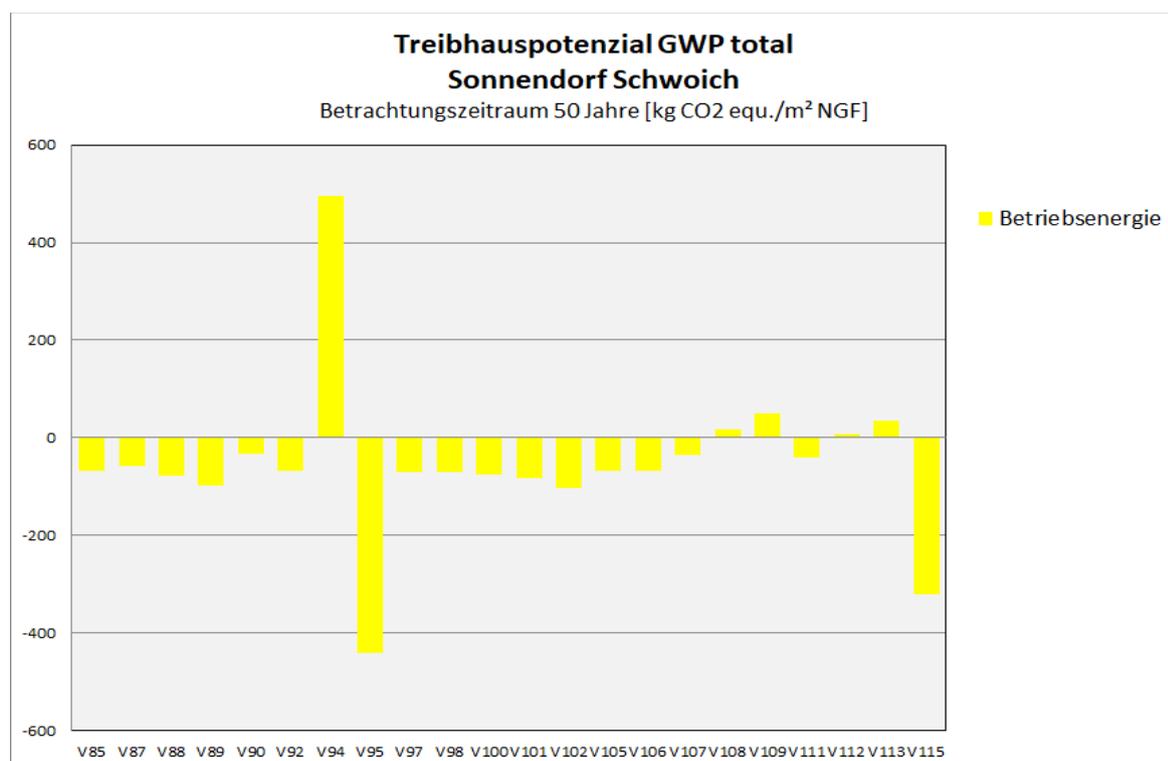
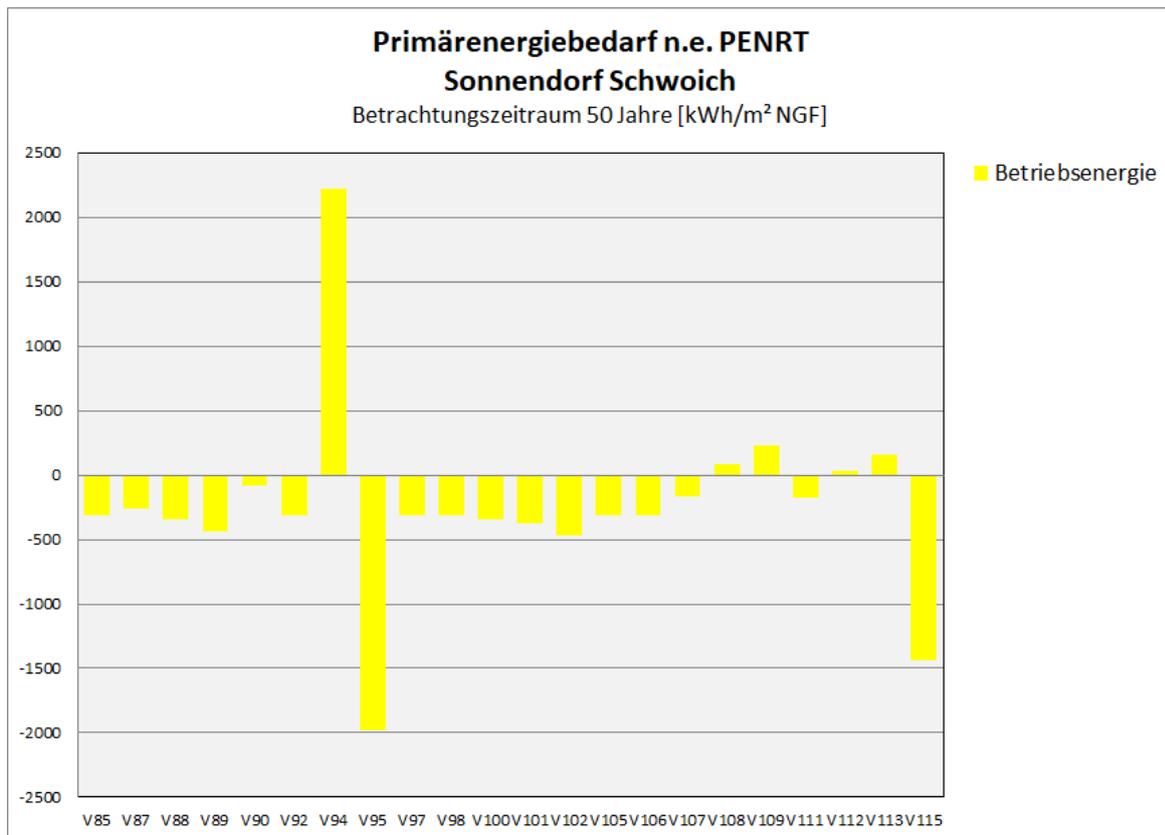


Abbildung 6-85: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Betriebsenergie, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte energetische Varianten



Für die Mobilität bleibt die Schlussfolgerung: Die Reduktion des fossilen Anteils ist der stärkste Hebel für die Minimierung der Umweltwirkungen im Lebenszyklus. Das minimale Treibhauspotenzial wird in der Variante mit optimiertem Modal Split, 100 % E-Cars und maximaler PV-Belegung, kombiniert mit ökologisch optimiertem Holzmassivbau, erreicht.

Abbildung 6-86: GWP total Mobilität, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte energetische Varianten

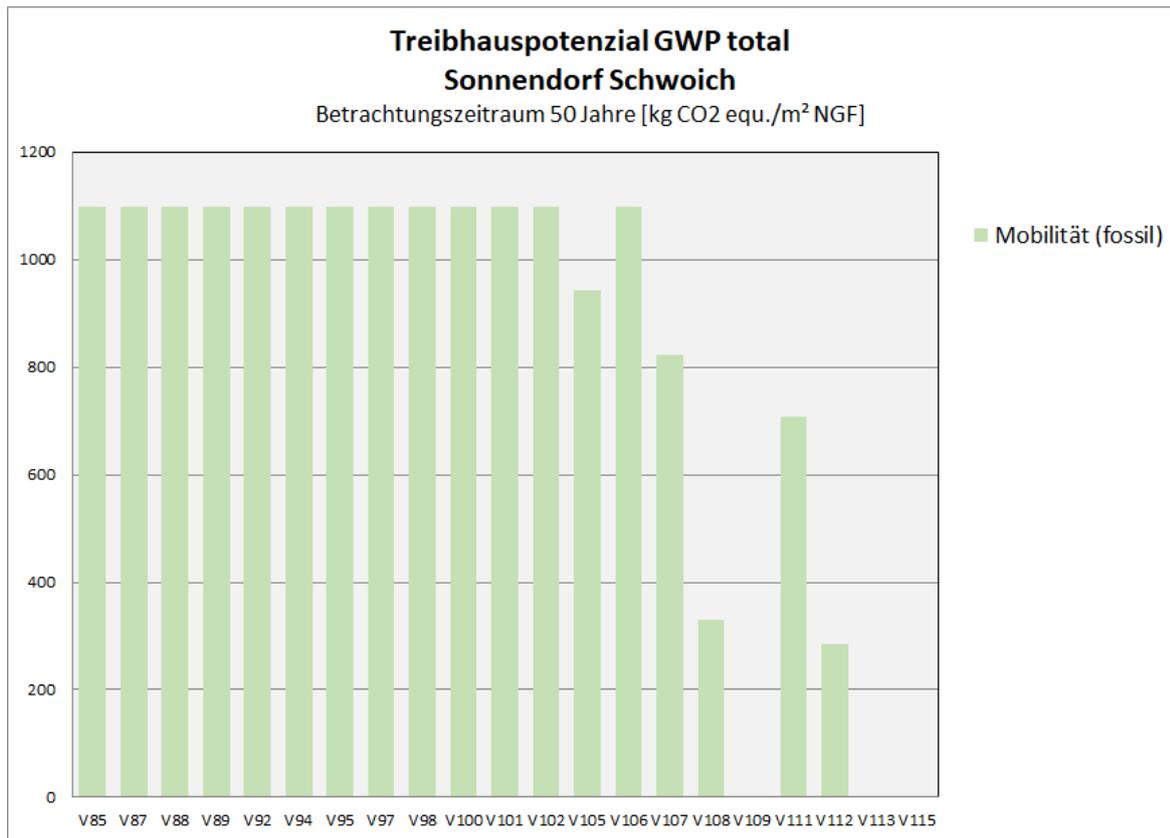


Abbildung 6-87: GWP total Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Sonnendorf Schwoich, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal

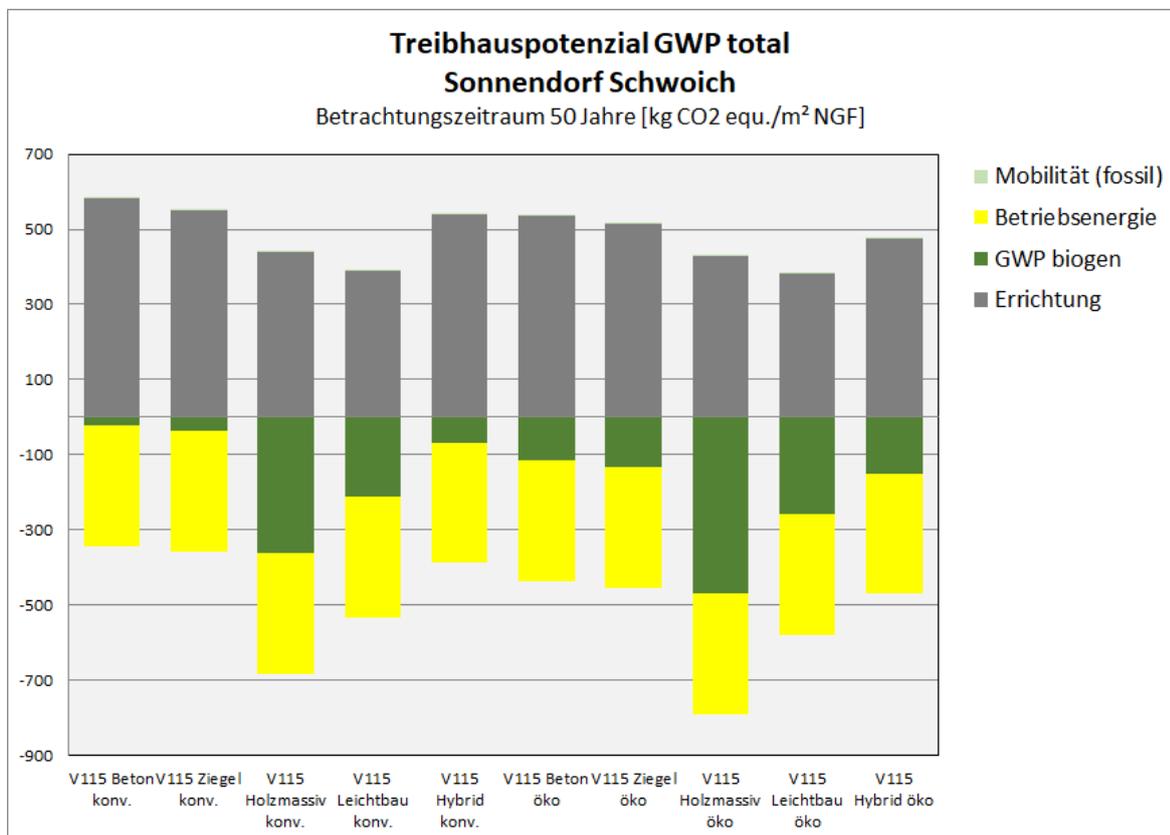
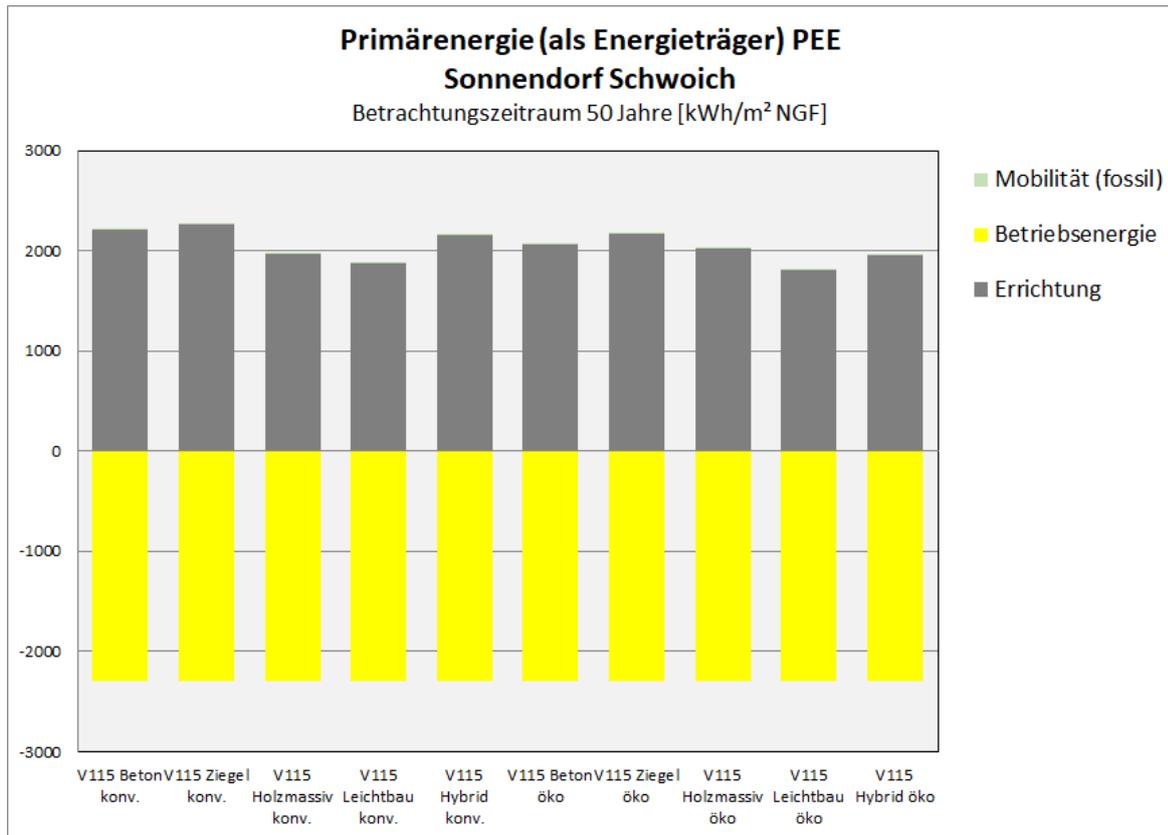


Abbildung 6-88: Primärenergiebedarf als Energieträger (PEE) Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Sonnendorf Schwoich, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal



6.4 Ökonomische Bewertung

6.4.1 Bauwerkskosten

Die Bauwerkskosten der unterschiedlichen Varianten liegen zwischen € 2.234,- und 2.543,- pro m²_{NGF}.

Die untenstehende **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gibt einen Überblick der Bauwerks-Kostenunterschiede:

- zwischen den Quartieren Werft, Mühlgrund und Schwoich
- zwischen den jeweiligen Varianten (Dämmung, PV-Ausstattung, Batterie-Nutzung)

Tabelle 6-45: Vergleich der Bauwerkskosten Flucco+: Unterschiede zwischen den Quartieren anhand der Varianten ohne PV und Best in Prozent der Kosten Werft - und den Varianten innerhalb der Quartiere (in Prozent der Ausgangsvariante Best)

Vergleich Quartiere anhand der Bauwerkskosten in % Bauwerkskosten Werft						
Varianten ohne PV		Werft: 100%	Mühlgrund 98%	Schwoich 103 %		
Varianten Best		Werft: 100%	Mühlgrund 99%	Schwoich 105 %		
Varianten Reihung nach Bauwerkskosten nach Quartieren						
Varianten Reihung	Variante Werft	%Best	Variante Mühlgrund	%Best	Variante Schwoich	%Best
1 (billigste Variante)	V41(W)_PV0	96,6%	V193(M)_FW	95,5%	V94(S)_PV0	95,0%
2	V37(W)_FW	96,9%	V197(M)_PV0	95,8%	V90(S)_FW	97,4%
3	V34(W)_WDmin	99,0%	V190(M)_WDmin	99,0%	V87(S)_WDmin	98,8%
4	V32(W)_Best	100,0%	V188(M)_Best	100,0%	V188(M)_Best	100,0%
5	V42(W)_PVmax	100,4%	V198(M)_PVmax	100,1%	V100(S)_Batt25	100,2%
6	V47(W)_Batt25	100,7%	V204(M)_Batt25	100,5%	V88(S)_WDPH	100,6%
7	V48(W)_Batt50	101,6%	V191(M)_WDPH	101,1%	V101(S)_Batt50	101,0%
8	V35(W)_WDPH	101,6%	V205(M)_Batt50	101,3%	V89(S)_WDPHKomf	101,2%
9	V36(W)_WDPHKomf	102,3%	V192(M)_WDPHKomf	101,7%	V95(S)_PVmax	102,1%
10 (teuerste Variante)	V49(W)_Batt100	103,3%	V206(M)_Batt100	103,0%	V102(S)_Batt100	102,6%
Variante	Werft 6,7%Punkte		Mühlgrund 7,5%Punkte		Schwoich 7,6%Punkte	

- Bis zu 5 % Punkte Unterschied der gesamten Bauwerkskosten entstehen durch die Kompaktheit der Gebäude (Vergleich der Varianten ohne PV). Im Vergleich zum Quartier Werft (100 %) liegen sie im Quartier Schwoich bei 103 %, im Mühlgrund bei 98 %
- Der Vergleich der Bauwerkskosten der einzelnen Varianten innerhalb der jeweiligen Quartiere ergibt Unterschiede von 6,7 % Punkten (Werft), 7,5 % Punkten (Mühlgrund) und 7,6 % Punkten (Schwoich).

Die billigsten Varianten in den jeweiligen Quartieren sind:

- im Quartier Werft die Variante ohne Photovoltaik (PV0) mit 97 %, gefolgt von Fernwärme (FW) mit 97 % und minimaler Wärmedämmung (WDmin) mit 99 % der Kosten der Ausgangsvariante (Best).
- am Mühlgrund die Variante mit Fernwärme (FW) mit 96 % gefolgt von ohne Photovoltaik (PV0) mit 96 % und minimaler Wärmedämmung (WDmin) mit 99 % der Kosten der Ausgangsvariante (Best).
- in Schwoich die Varianten ohne Photovoltaik (PV0) mit 95 % gefolgt von Fernwärme (FW) mit 97 % und mit minimaler Wärmedämmung (WDmin) mit 99 % der Kosten der Ausgangsvariante (Best).

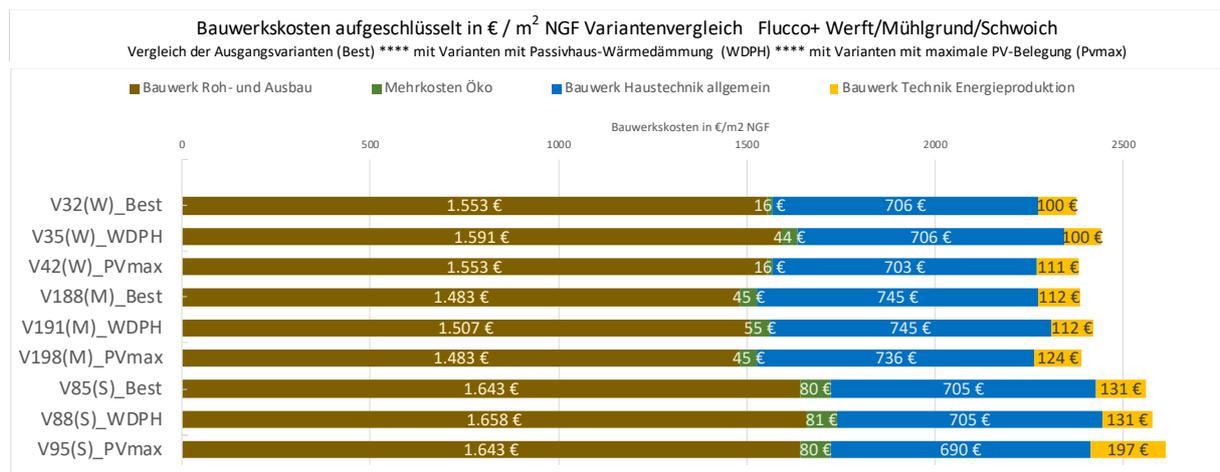
Die teuersten Varianten in den jeweiligen Quartieren sind:

- im Quartier Werft die Variante mit der maximalen Ausstattung mit elektrischem Speicher (Batt100) mit 103 %, gefolgt von Passivhaus-Dämmung und Komfortlüftung (WDPHKomf) und Passivhaus-Wärmedämmung (WDPH) mit 102 % der Kosten der Ausgangsvariante (Best).
- am Mühlgrund die Variante mit 100 kWh/m² elektrischen Speicher (Batt100) mit 103 % gefolgt von Passivhaus-Wärmedämmung mit Komfortlüftung (WDPHKomf) mit 102 % und 50kWh Batteriespeicherung (Batt50) mit 101 % der Kosten der Ausgangsvariante (Best).
- in Schwoich die Variante mit maximalem elektrischen Speicher (Batt100) mit 103 % gefolgt von maximaler PV-Belegung (PVmax) mit 101 % und Passivhaus-Wärmedämmung mit Komfortlüftung (WDPHKomf) mit 101 % und der Kosten der Ausgangsvariante (Best).

In Prozent der Gesamt-Bauwerkskosten liegen die Kosten für Roh- und Ausbau zwischen 63 % und 68 %, die Mehrkosten für Öko-Bauweise bei 0,1 % bis 3 %, für die Haustechnik bei 27-34 % und der Energieversorgung (PV und Stromanschluss) bei 1 % bis 5 %.

In der untenstehenden Abbildung wird der Standard der jeweiligen Ausgangsvarianten (Best) für die Quartiere Werft(W), Mühlgrund(M) und Schwoich(S) durch den Vergleich mit den jeweiligen Varianten mit Passivhaus-Wärmedämmung (WDPH) und maximaler PV-Belegung (PVmax) dargestellt.

Abbildung 6-89: Vergleich der Bauwerkskosten der Ausgangsvarianten (Best) mit den Varianten Passivhausdämmung und maximale PV-Belegung - Quartiere Werft(W), Mühlgrund(M) und Schwoich(S)

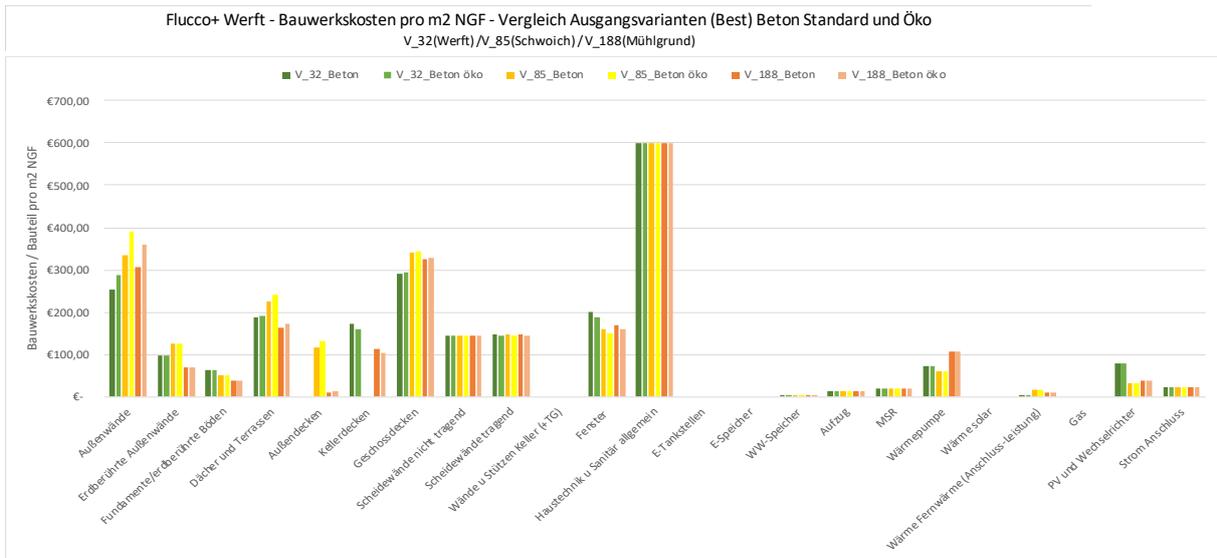


Die Bauwerkskosten für die gewählten Dämmstärken der Ausgangsvarianten (Best) liegen unter den Kosten für den Passivhausstandard (WDPH): In Prozent der Kosten für WDPH liegen die Kosten Best bei 97,6 % in der Werft, 98,4 % am Mühlgrund, 99,1 % in Schwoich.

Die Kosten für die gewählte PV-Ausstattung der Ausgangsvarianten (Best) liegen sehr unterschiedlich unter der maximal möglichen PV-Ausstattung (PVmax): In Prozent der Kosten für PVmax liegen die Kosten Best in der Werft bei 89,5 %, am Mühlgrund bei 90,2 % und in Schwoich bei 66,4 %.

In den untenstehenden Abbildungen werden Unterschiede der Bauwerkskosten für die Ausgangsvarianten (Best) und die Varianten in Passivhausbauweise (WDPH) in Standard- und Ökobauweise detailliert nach Bauteilen abgebildet Die Mehrkosten für höhere Dämmstärken und ökologische Dämmmaterialien ergeben sich insbesondere bei den Außenwänden und Dächern/Decken. Die Holzfenster der Ökoverianten sind in der Anschaffung kostengünstiger – der erforderliche Mehrbedarf an Wartung wird erst in der Darstellung der Lebenszyklus- und kumulierten Gesamtkosten ersichtlich.

Abbildung 6-90: Vergleich Bauwerkskosten (€/m²_{NGF}) Bauteil nach Effizienz der Hülle (Dämmstärken) – Werft, Mühlgrund und Schwoich



Ein Überblick über die Bauwerkskosten für alle Quartiere und Varianten, aufgeschlüsselt in Roh- und Ausbau Standardvariante und die Mehrkosten für Öko-Bauweise, Haustechnik allgemein und Stromproduktion(+Anschluss) findet sich im Anhang.

6.4.2 Lebenszykluskosten

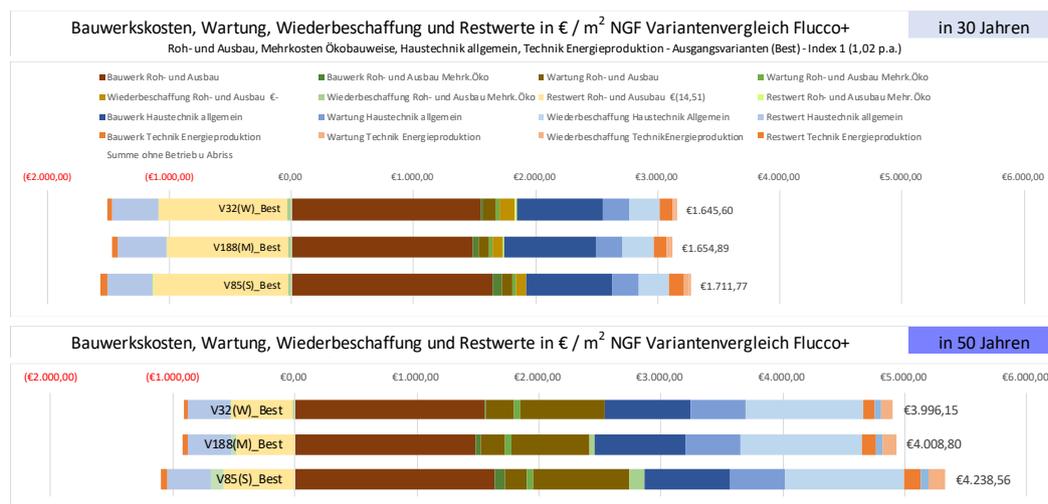
Für die Darstellung der Lebenszykluskosten (Betrachtungszeiträume 30 Jahre und 50 Jahre) wurden im ersten Schritt die Wartungs- und Wiederbeschaffungskosten sowie die Restwerte auf Grundlage der Liste Nutzungsdauern, Wartung und Entsorgungskosten (siehe Kapitel 6.1.8 Ökonomische Bewertung, Lebenszykluskosten) ermittelt. Dabei kommt der Index von 1,02 zur Anwendung.

Im zweiten Schritt werden auch die Betriebskosten (Energie) mitbetrachtet und die Auswirkungen unterschiedlicher Preisentwicklungen (Szenarien 1 bis 3) dargestellt.

6.4.2.1 Wartung, Wiederbeschaffung und Restwert

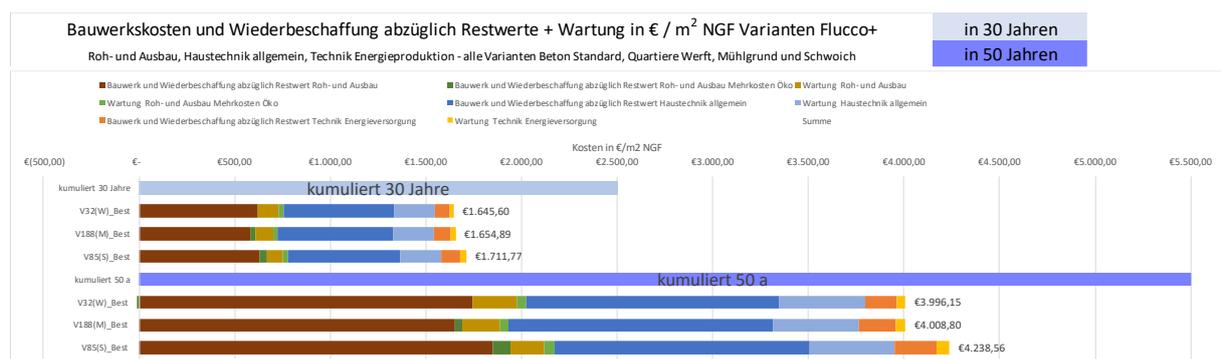
Die nachfolgenden Abbildungen zeigen jeweils einen Überblick über die Summen der Bauwerkskosten, Wiederbeschaffungskosten, Restwerte und Wartungskosten - getrennt nach Roh- und Ausbau, Haustechnik und Energieproduktion (PV) in 30 und 50 Jahren Betrachtungszeitraum der Ausgangsvarianten (Best) in Beton-Standardbauweise sowie die Mehrkosten der Öko-Bauweise.

Abbildung 6-91: Bauwerkskosten und Kosten für Wartung und Wiederbeschaffung sowie Restwert detailliert - Gegenüberstellung 30 und 50 Jahre Betrachtungszeitraum für die Ausgangsvarianten (Best) Werft, Mühlgrund und Schwoich



Zur besseren Übersichtlichkeit werden im folgenden Varianten-Überblick die Kosten für Bauwerk, Wiederbeschaffung und die Restwerte summiert dargestellt.

Abbildung 6-92: komprimierte Darstellung: Bauwerks- und Wiederbeschaffung abzüglich Restwert + Wartung - Gegenüberstellung 30 und 50 Jahre Betrachtungszeitraum für die Ausgangsvarianten (Best) Werft, Mühlgrund und Schwoich



Szenario 1 (Ausgangs-Szenario)

Wie bereits im Kapitel Methoden (6.1.3 Lebenszykluskosten) erläutert, wurden die Steigerungen der Energiekosten in der Ausgangsvariante sehr zurückhaltend bewertet:

- Die Abschätzung der Energiepreise erfolgte auf Preisbasis 2023:
- mit einem gedeckelten Preis für Fernwärme (Wienstrom)
- ohne die derzeit nicht eingehobenen Abgaben (Ökostromabgabe, CO₂-Steuer)
- mit einem erhöhten Index (1,04) für Fernwärme (Abbau der Abhängigkeit von Erdgas) und Diesel in den ersten 20 Jahren.
- Für Strom (ab dem 1. Jahr) und Fernwärme ab dem 21. Jahr mit keiner Abweichung des Index von dem angenommenen „allgemeinen Index“ (1,02)

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Strom- und Wärmeproduktion (Wärmepumpen, PV) wurden diesem Szenario zur Energiepreisentwicklung 2 weitere gegenübergestellt:

Szenario 2:

- Ausgangspreis Fernwärme ohne Deckelung (Fernwärme Graz, aktuelles Preisblatt)
- Ausgangspreis Strom und Wärme zuzüglich einer CO₂-Steuer in der Höhe von € 55,-/tCO₂eq (ausgehend von den Berechnungen des Umweltbundesamt aktualisiert 2023¹⁰ Stromaufbringung Österreich (230 gCO₂ pro kWh) und Fernwärme (180 gCO₂ pro kWh) und Diesel (325 gCO₂ pro kWh – bei 1 l=1 kWh)
- CO₂-Steuer-Anstieg auf 345 €/tCO₂eq im Zeitraum Jahr 1 bis 30. Dieser Wert stellt den mittleren Wert der von Expert:innen und Experten des CCCA errechnete Niveaus zur Kostendeckung dar. Er ergibt sich unter der Annahme, wenn aus den angegebenen Kennwerten für Einstiegspreis (Annahme 2020) und 2030 auf das Jahr 2035 extrapoliert wird und der Wert zwischen Minimum und Maximum gewählt wird.
- zuzüglich einer Ökostromabgabe analog den Werten 2021 (€ 35,97/Haushalt/Jahr)
- PV-Einspeisung 1/3 des Strompreises (ohne CO₂-Steuer) – Index 1,01
- ohne erhöhtem Index

Szenario 3 Klimaplan¹¹ Österreich (Entwurf):

- 100 % Strom aus Erneuerbaren bis 2030 (Ausgangswert 79 % 2022)
- Wärme: bis 2030 60 % erneuerbar, bis 2035 80 % erneuerbar (Seite 158) – Ausgang 2020 46 % (Umweltreport 2022)
- CO₂-Preise 35,- (2023), 45,- (2024), 55,- (2025) – dann (wie Szenario 2) Anstieg auf € 345/tCO₂eq im 30. Jahr
- Ökostromabgabe wie Variante 2

¹⁰ Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger, Umweltbundesamt, Datenbasis 2021, aktualisiert 2023, <https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html> (aufgerufen 1.11.23)

¹¹ Entwurf des Nationalen Klimaplan, BMK 2023, https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:34c13640-4532-4930-a873-4eccc4d3001/NEKP_Aktualisierung_2023_2024_zur_Konsultation_20230703.pdf (aufgerufen 1.11.23)

- PV-Einspeisung: 1/3 des Strompreises (ohne CO₂-Steuer) bis zum 20. Jahr Anstieg auf ½ des Strompreises (entspricht einem Index von 1,041) – danach Index 1,02
- Diesel: wie Szenario 2 mit Index 1,025

Abbildung 6-93: Entwicklungsszenarien Energiepreise Flucco+ (Szenario 1 = Ausgangsvariante)

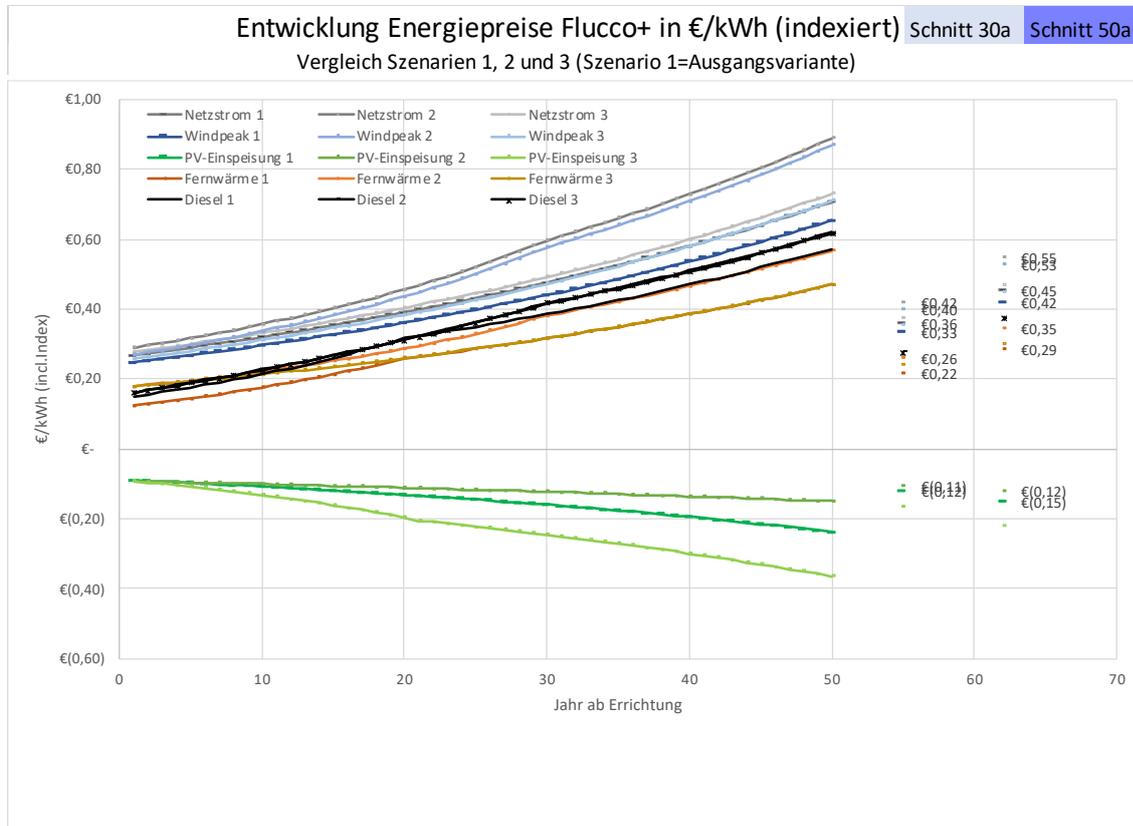
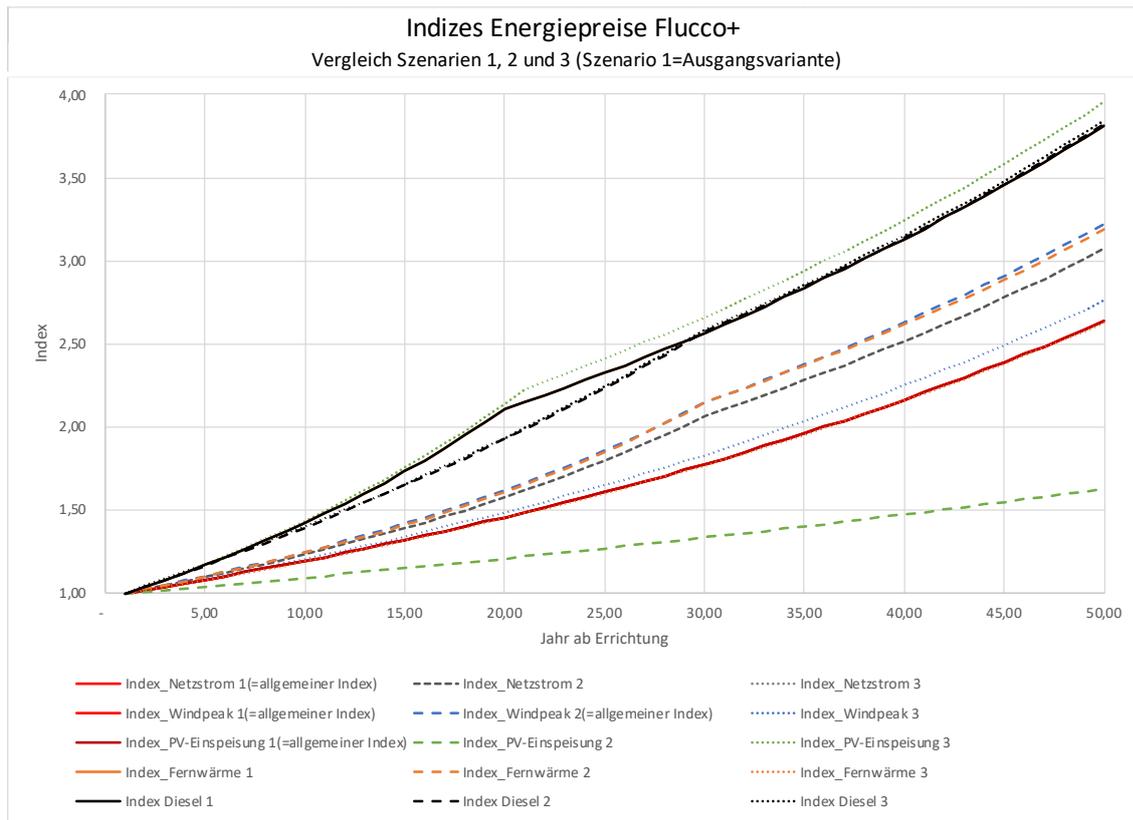


Abbildung 6-94: Indizes Energiepreisentwicklungs-Szenarien 1-3 Flucco+



In Szenario 1 liegen alle Indizes außer Fernwärme im Bereich der angenommenen allgemeinen Preisentwicklung. Der höhere Index für Fernwärme in den ersten 20 Jahren ergibt sich insbesondere aus der aktuellen Deckelung des Fernwärmepreises, die in diesem Szenario übernommen wurde.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Energiepreise nach Szenarien auf die Energiekosten/m²_{NGF} der simulierten Varianten werden in der folgenden Tabelle anhand der in 50 Jahren kumulierten Einsparungen bzw. Mehrkosten pro m²_{NGF} (in Euro absolut und in Prozent) im Vergleich zur jeweiligen Ausgangsvariante überblicksmäßig zusammengefasst.

- Grün markiert sind die Varianten mit den größten Einsparungen bzw. geringsten Mehrkosten
- Gelb markiert sind die Varianten mit den mittleren Einsparungen bzw. Mehrkosten
- Orange markiert sind die Varianten mit den geringsten Einsparungen und größten Mehrkosten

Tabelle 6-46: Überblick über Auswirkungen der Energiepreisszenarien auf Varianten im Verhältnis zur Ausgangsvariante in Prozent

Varianten Werft				Varianten Mühlgrund				Varianten Schwoich			
Dämmung (Werft) Szenarien	1	2	3	Dämmung (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	Dämmung (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V34(W)_Wdmin Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V190(M)_Wdmin Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V87(S)_Wdmin Ausgangsvariante	100%	100%	100%
V35(W)_WDPH Reduktion	78,8%	78,8%	77%	V191(M)_WDPH Einsparung	78%	78%	77%	V88(S)_WDPH Einsparung	93%	93%	91%
V36(W)_WDPHKomf Reduktion	78%	78%	76%	V192(M)_WDPHKomf Einsparung	68%	68%	66%	V89(S)_WDPHKomf Einsparung	84%	84%	80%
PV (Werft) Szenarien	1	2	3	PV (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	PV (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V41(W)_PVO Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V197(M)_PVO	100%	100%	100%	V94(S)_PVO	100%	100%	100%
V42(W)_PVmax Reduktion	45%	49%	40%	V198(M)_PVmax Reduktion	65%	66%	63%	V95(S)_PVmax Reduktion	48%	52%	42%
Batterie (Werft) Szenarien	1	2	3	Batterie (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	Batterie (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V39(W)_WP+DSM Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V195(M)_WP+DSM Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V92(S)_WP+DSM Ausgangsvariante	100%	100%	100%
V47(W)_Batt25 Reduktion	90%	91%	97%	V204(M)_Batt25 Reduktion	98%	98%	99%	V100(S)_Batt25 Reduktion	98%	97%	98%
V48(W)_Batt50 Reduktion	84%	85%	92%	V205(M)_Batt50 Reduktion	97%	97%	97%	V101(S)_Batt50 Reduktion	97%	97%	98%
V49(W)_Batt100 Reduktion	80%	80%	87%	V206(M)_Batt100 Reduktion	94%	94%	95%	V102(S)_Batt100 Reduktion	95%	95%	96%
E-Mobilität (Werft) Szenarien	1	2	3	E-Mobilität (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	E-Mobilität (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V53(W)_MobStE0 Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V210(M)_MobStE0 Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V106(S)_MobStE0 Ausgangsvariante	100%	100%	100%
V54(W)_MobStE25 Reduktion	86%	83%	85%	V211(M)_MobStE25 Reduktion	90%	87%	88%	V107(S)_MobStE25 Reduktion	85%	82%	84%
V55(W)_MobStE70 Reduktion	61%	53%	57%	V212(M)_MobStE70 Reduktion	71%	62%	67%	V108(S)_MobStE70 Reduktion	59%	51%	54%
V56(W)_MobStE100 Reduktion	45%	33%	39%	V213(M)_MobStE100 Reduktion	59%	46%	53%	V109(S)_MobStE100 Reduktion	41%	30%	35%
V52(W)_MobOpt Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V209(M)_MobOpt Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V105(S)_MobOpt Ausgangsvariante	100%	100%	100%
V58(W)_MobOptE25 Reduktion	87%	84%	85%	V215(M)_MobOptE25 Reduktion	91%	87%	89%	V111(S)_MobOptE25 Reduktion	86%	83%	84%
V59(W)_MobOptE70 Reduktion	63%	55%	59%	V216(M)_MobOptE70 Reduktion	74%	65%	69%	V112(S)_MobOptE70 Reduktion	61%	52%	56%
V60(W)_MobOptE100 Reduktion	48%	35%	42%	V217(M)_MobOptE100 Reduktion	62%	50%	56%	V113(S)_MobOptE100 Reduktion	44%	32%	37%
V62(W)_MobOptE100 Pvmx Reduktion	46%	34%	40%	V219(M)_MobOptE100 Pvmx Einsparung	58%	46%	51%	V115(S)_MobOptE100 Pvmx Reduktion	24%	17%	13%
Mobilität-Optimierung (Werft) Szenarien	1	2	3	Mobilität-Optimierung (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	Mobilität-Optimierung (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V53(W)_MobStE0 Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V210(M)_MobStE0 Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V106(S)_MobStE0 Ausgangsvariante	100%	100%	100%
V52(W)_MobOpt Reduktion	88%	86%	87%	V209(M)_MobOpt Reduktion	93%	91%	92%	V105(S)_MobOpt Reduktion	90%	89%	89%
V56(W)_MobStE100 Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V213(M)_MobStE100 Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V109(S)_MobStE100 Ausgangsvariante	100%	100%	100%
V60(W)_MobOptE100 Reduktion	94%	94%	93%	V217(M)_MobOptE100 Reduktion	97%	97%	97%	V113(S)_MobOptE100 Reduktion	95%	95%	94%
Dämmung (Werft) Szenarien	1	2	3	Heizsysteme (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	Heizsysteme (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V32(W)_Best Ausgangsvariante	100%	100%	100%	V188(M)_Best	100%	100%	100%	V85(S)_Best	100%	100%	100%
V37(W)_FW Mehrkosten	216%	285%	224%	V193(M)_FW	212%	293%	217%	V90(S)_FW	241%	355%	259%

Tabelle 6-47: Überblick über Auswirkungen der Energiepreisszenarien auf Varianten in absoluten Zahlen (Differenz Energiebedarf Ausgangsvariante / Vergleichsvariante in €/m²NGF)

Varianten Werft				Varianten Mühlgrund				Varianten Schwoich			
Dämmung (Werft) Szenarien	1	2	3	Dämmung (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	Dämmung (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V32(W)_Best Vergleich	523 €	680 €	487 €	V188(M)_Best Vergleich	949 €	1.147 €	973 €	V85(S)_Best Vergleich	932 €	1.127 €	956 €
V34(W)_Wdmin Ausgangsvariante	596 €	776 €	569 €	V190(M)_Wdmin Ausgangsvariante	1.091 €	1.330 €	1.130 €	V87(S)_Wdmin Ausgangsvariante	940 €	1.145 €	972 €
V35(W)_WDPH Reduktion	126 €	155 €	130 €	V191(M)_WDPH Einsparung	181 €	220 €	189 €	V88(S)_WDPH Einsparung	44 €	53 €	46 €
V36(W)_WDPHKomf Reduktion	131 €	160 €	135 €	V192(M)_WDPHKomf Einsparung	265 €	322 €	276 €	V89(S)_WDPHKomf Einsparung	97 €	117 €	102 €
PV (Werft) Szenarien	1	2	3	PV (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	PV (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V41(W)_PVO Ausgangsvariante	1.096 €	1.329 €	1.143 €	V197(M)_PVO	1.298 €	1.576 €	1.355 €	V94(S)_PVO	1.258 €	1.523 €	1.310 €
V42(W)_PVmax Reduktion	604 €	676 €	682 €	V198(M)_PVmax Reduktion	457 €	532 €	496 €	V95(S)_PVmax Reduktion	660 €	727 €	757 €
Batterie (Werft) Szenarien	1	2	3	Batterie (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	Batterie (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V39(W)_WP+DSM Ausgangsvariante	521 €	668 €	478 €	V195(M)_WP+DSM Ausgangsvariante	956 €	1.167 €	993 €	V92(S)_WP+DSM Ausgangsvariante	918 €	1.119 €	950 €
V47(W)_Batt25 Reduktion	50 €	60 €	16 €	V204(M)_Batt25 Reduktion	17 €	21 €	12 €	V100(S)_Batt25 Reduktion	23 €	30 €	16 €
V48(W)_Batt50 Reduktion	81 €	102 €	40 €	V205(M)_Batt50 Reduktion	32 €	38 €	26 €	V101(S)_Batt50 Reduktion	29 €	36 €	21 €
V49(W)_Batt100 Reduktion	104 €	132 €	61 €	V206(M)_Batt100 Reduktion	56 €	65 €	49 €	V102(S)_Batt100 Reduktion	45 €	51 €	34 €
E-Mobilität (Werft) Szenarien	1	2	3	E-Mobilität (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	E-Mobilität (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V53(W)_MobStE0 Ausgangsvariante	1.782 €	2.468 €	2.086 €	V210(M)_MobStE0 Ausgangsvariante	1.411 €	1.807 €	1.577 €	V106(S)_MobStE0 Ausgangsvariante	1.735 €	2.411 €	1.981 €
V54(W)_MobStE25 Reduktion	249 €	419 €	319 €	V211(M)_MobStE25 Reduktion	145 €	243 €	185 €	V107(S)_MobStE25 Reduktion	258 €	427 €	326 €
V55(W)_MobStE70 Reduktion	694 €	1.169 €	890 €	V212(M)_MobStE70 Reduktion	403 €	678 €	518 €	V108(S)_MobStE70 Reduktion	715 €	1.188 €	908 €
V56(W)_MobStE100 Reduktion	985 €	1.664 €	1.267 €	V213(M)_MobStE100 Reduktion	575 €	967 €	738 €	V109(S)_MobStE100 Reduktion	1.015 €	1.690 €	1.292 €
V52(W)_MobOpt Ausgangsvariante	1.562 €	2.129 €	1.810 €	V209(M)_MobOpt Ausgangsvariante	1.307 €	1.646 €	1.446 €	V105(S)_MobOpt Ausgangsvariante	1.558 €	2.139 €	1.759 €
V58(W)_MobOptE25 Reduktion	425 €	685 €	540 €	V215(M)_MobOptE25 Reduktion	228 €	368 €	289 €	V111(S)_MobOptE25 Reduktion	398 €	639 €	502 €
V59(W)_MobOptE70 Reduktion	792 €	1.304 €	1.011 €	V216(M)_MobOptE70 Reduktion	450 €	742 €	574 €	V112(S)_MobOptE70 Reduktion	791 €	1.292 €	1.001 €
V60(W)_MobOptE100 Reduktion	1.033 €	1.714 €	1.323 €	V217(M)_MobOptE100 Reduktion	597 €	990 €	763 €	V113(S)_MobOptE100 Reduktion	1.050 €	1.725 €	1.331 €
V62(W)_MobOptE100 Pvmx Reduktion	1.067 €	1.747 €	1.364 €	V219(M)_MobOptE100 Pvmx Einsparung	654 €	1.047 €	836 €	V115(S)_MobOptE100 Pvmx Reduktion	1.362 €	2.037 €	1.751 €
Mobilität-Optimierung (Werft) Szenarien	1	2	3	Mobilität-Optimierung (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	Mobilität-Optimierung (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V53(W)_MobStE0 Ausgangsvariante	1.782 €	2.468 €	2.086 €	V210(M)_MobStE0 Ausgangsvariante	1.411 €	1.807 €	1.577 €	V106(S)_MobStE0 Ausgangsvariante	1.735 €	2.411 €	1.981 €
V52(W)_MobOpt Reduktion	220 €	339,1 €	276,5 €	V209(M)_MobOpt Reduktion	104 €	160 €	131 €	V105(S)_MobOpt Reduktion	177 €	273 €	222 €
V56(W)_MobStE100 Ausgangsvariante	797 €	804 €	819 €	V213(M)_MobStE100 Ausgangsvariante	836 €	839 €	839 €	V109(S)_MobStE100 Ausgangsvariante	720 €	721 €	690 €
V60(W)_MobOptE100 Reduktion	49 €	50,1 €	55,5 €	V217(M)_MobOptE100 Reduktion	22 €	22,5 €	25,3 €	V113(S)_MobOptE100 Reduktion	34 €	34 €	40 €
Dämmung (Werft) Szenarien	1	2	3	Heizsysteme (Mühlgrund) Szenarien	1	2	3	Heizsysteme (Schwoich) Szenarien	1	2	3
V32(W)_Best Ausgangsvariante	508 €	508 €	478 €	V188(M)_Best	668 €	668 €	636 €	V85(S)_Best	492 €	492 €	414 €
V37(W)_FW Mehrkosten	- 587 €	- 942 €	- 594 €	V193(M)_FW	- 749 €	- 1.290 €	- 743 €	V90(S)_FW	- 692 €	- 1.252 €	- 658 €

Aus diesen Zusammenfassungen zeigt sich bezüglich der Strompreisentwicklung:

- Im Vergleich der relativen Zahlen:
 - Szenario 1 als günstigstes Entwicklungsszenario bei der Flexibilisierung (Batteriespeicherung) in der Werft.
 - Szenario 2 als günstigstes Entwicklungsszenario für die Mobilitätsoptimierung und Fernwärme
 - Szenario 3 als günstigstes Szenario für reduzierte Strombedarfe (Wärmedämmung und PV-Maximierung) und Mobilitätsoptimierung.
- Im Vergleich der absoluten Zahlen zeigt sich Szenario 2 in allen Batterie-Speicher-Varianten als günstigste Variante. fast allen Bereichen als günstigste Variante, da hier die höchsten Preise angenommen wurden und damit die größten Reduktionen möglich sind.

Im Anschluss werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Energiepreisszenarien auf jene Varianten dargestellt, die (im Neubau) keine zusätzlichen Investitionskosten mit sich bringen:

- Vergleich der Varianten zur Optimierung der Mobilität (geändertes Mobilitätsverhalten) und
- Vergleich der Varianten mit unterschiedlicher Optimierung der Regelung (DSM) für die Warmwasserbereitung.

Eine Übersicht und weitere Variantenvergleich der kumulierten Energiekosten finden sich im Anhang.

Varianten Änderung Mobilitätsverhalten (Optimierte Varianten UAP)

Abbildung 6-95: Energiekosten in €/m²_{NGF} - kumuliert 50 Jahre - Varianten Mobilitätsverhalten

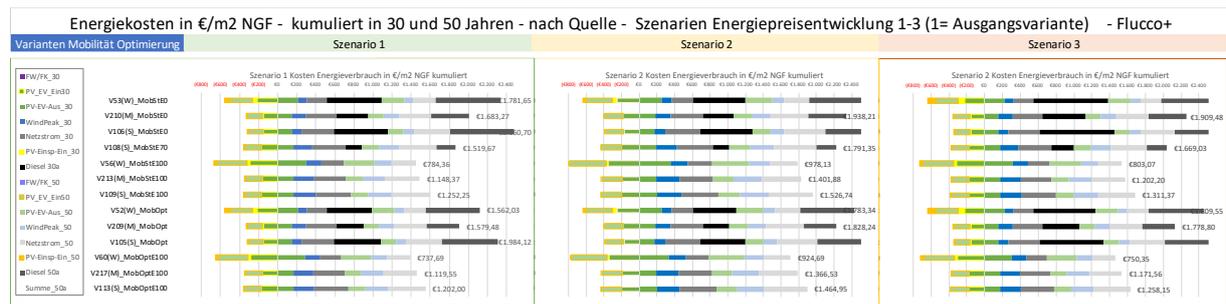


Tabelle 6-48: Energiekosten in €/m²_{NGF} - kumuliert 50 Jahre - Varianten Mobilitätsverhalten

Mob Optimierung (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Mob Optimierung (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Mob Optimierung (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V53(W)_MobStE0	1.782 €	2.016 €	2.086 €	V210(M)_MobStE0	1.683 €	1.938 €	1.909 €	V106(S)_MobStE0	2.161 €	2.436 €	2.514 €
V52(W)_MobOpt	1.562 €	1.783 €	1.810 €	V209(M)_MobOpt	1.579 €	1.828 €	1.779 €	V105(S)_MobOpt	1.984 €	2.248 €	2.292 €
V56(W)_MobStE100	784 €	978 €	803 €	V213(M)_MobStE100	1.148 €	1.402 €	1.202 €	V109(S)_MobStE100	1.252 €	1.527 €	1.311 €
V60(W)_MobOptE100	738 €	925 €	750 €	V217(M)_MobOptE100	1.120 €	1.367 €	1.172 €	V113(S)_MobOptE100	1.202 €	1.465 €	1.258 €
OptE0/StE0	88%	88%	87%	OptE0/StE0	94%	94%	93%	OptE0/StE0	92%	92%	91%
OptE100/StE100	94%	95%	93%	OptE100/StE100	97%	97%	97%	OptE100/StE100	96%	96%	96%

Die Auswirkung eines geänderten Mobilitätsverhaltens (Reduktion der Verkehrsleistung PKW-Lenker:in/Mitfahrende) auf die Energiekosten zeigen sich im Vergleich der Varianten MobSt mit MobOpt (jeweils mit 0 % und 100 % E-Mobilität).

Ohne E-Mobilität (OptE0/StE0) können durch Veränderung des Mobilitätsverhaltens in der Werft 12 % bis 13 %, am Mühlgrund 7 % bis 8 % und in Schwoich 9 % bis 11 % der Energiekosten eingespart werden. Bei 100 % E-Mobilität reduziert sich das Einsparungspotential um rund die Hälfte.

Unterschiedliche Auswirkungen der Energiepreis-Szenarien sind hier am besten im Quartier Werft erkennbar: Das größte Einsparungspotential findet sich in Szenario 3, gefolgt von Szenario 1 und Szenario 2.

Anzumerken ist, dass weitere Einsparungen (z.B. durch den Wegfall von KFZ-Anschaffungen) hier nicht mit abgebildet sind.

Energiekosten Varianten DSM Warmwasser

Abbildung 6-96: Energiekosten in €/m²_{NGF} - kumuliert 50 Jahre - Varianten DSM Warmwasser

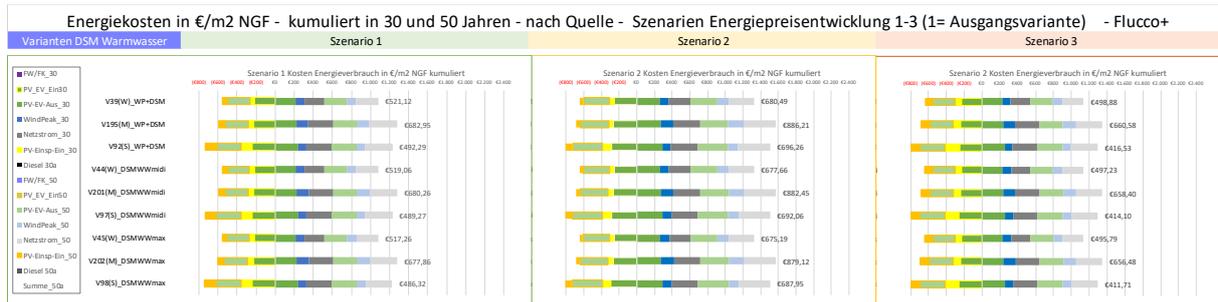


Tabelle 6-49: Energiekosten in €/m²_{NGF} - kumuliert 50 Jahre – Varianten DSM Warmwasser

DSM WW (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	DSM WW (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	DSM WW (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V39(W)_WP+DSM	521 €	680 €	499 €	V195(M)_WP+DSM	683 €	886 €	661 €	V92(S)_WP+DSM	492 €	696 €	417 €
V44(W)_DSMWWmidi	519 €	678 €	497 €	V201(M)_DSMWWmi	680 €	882 €	658 €	V97(S)_DSMWWmidi	489 €	692 €	414 €
V45(W)_DSMWWmax	517 €	675 €	496 €	V202(M)_DSMWWmax	678 €	879 €	656 €	V98(S)_DSMWWmax	486 €	688 €	412 €
DSMWWmidi/WP+DSM	99,6%	99,6%	99,7%	DSMWWmidi/WP+DSM	99,6%	99,6%	99,7%	DSMWWmidi/WP+DSM	99,4%	99,4%	99,4%
DSMWWmax/WP+DSM	99,3%	99,2%	99,4%	DSMWWmax/WP+DSM	99,3%	99,2%	99,4%	DSMWWmax/WP+DSM	98,8%	98,8%	98,8%

Die Optimierung der Regelung (DSM) zur Warmwasserbereitung führt (bei Neubau) ebenfalls zu keinen gesonderten Investitionskosten und wird daher im Vergleich der Energiekosten der dazu simulierten Varianten dargestellt.

Das Einsparungspotential liegt hier in den Quartieren Werft und Mühlgrund im Promillebereich – im Quartier Schwoich bei 1,2 %.

6.4.3 Lebenszykluskosten und kumulierte Gesamtkosten

Die im Folgenden dargestellten Lebenszykluskosten enthalten:

- die Summen aus Bauwerkskosten, Wiederbeschaffung abzüglich Restwert der Standardvarianten (Beton) sowie die Mehrkosten für Ökobauweise
 - die Kosten für Wartung
 - die Kosten für Betrieb/Energie
 - und die Kosten für Abriss und Entsorgung
- jeweils kumuliert auf 30 bzw. 50 Jahre Betrachtungszeitraum

Die Betrachtung der kumulierten Gesamtkosten dient vorrangig der Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Gebäudehülle und Energieproduktion (PV mit Wechselrichter, Speicher, E-Tankstellen)

Die Darstellungen der kumulierten Gesamtkosten enthalten - zusätzlich zu den Lebenszykluskosten – auch Finanzierungskosten von angenommen 4 %. Hier erfolgte die Berechnung in 2 Stufen:

- Variante 1: Kreditlaufzeit von 25 Jahren (lila Balken)
- Variante 2: Kreditlaufzeit analog der Nutzungsdauern der jeweiligen Bauteile – maximal 40 Jahre (Darstellung der Variante 2 als Mehrkosten zu Variante 1 fliederfarbene Balken)

Die folgenden Abbildungen zeigen jeweils die Vergleiche der Ausgangsvarianten (Best) mit Varianten mit unterschiedlicher/m:

- Wärmedämmung
- Heizsystem
- PV-Belegung
- E-Mobilität
- Batterie-Speicherkapazitäten

Der Überblick der Lebenszykluskosten und kumulierten Gesamtkosten aller Varianten findet sich im Anhang.

Detailansicht Lebenszykluskosten und kumulierte Gesamtkosten Varianten Wärmedämmung

Abbildung 6-97: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher Dämmung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

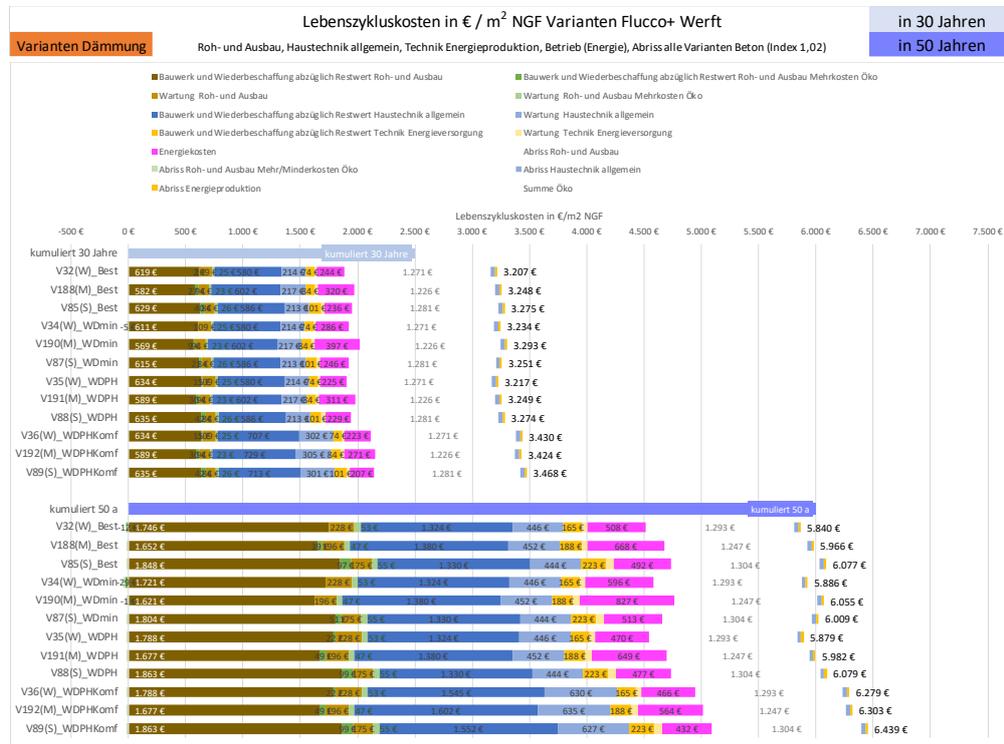


Abbildung 6-98: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher Dämmung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

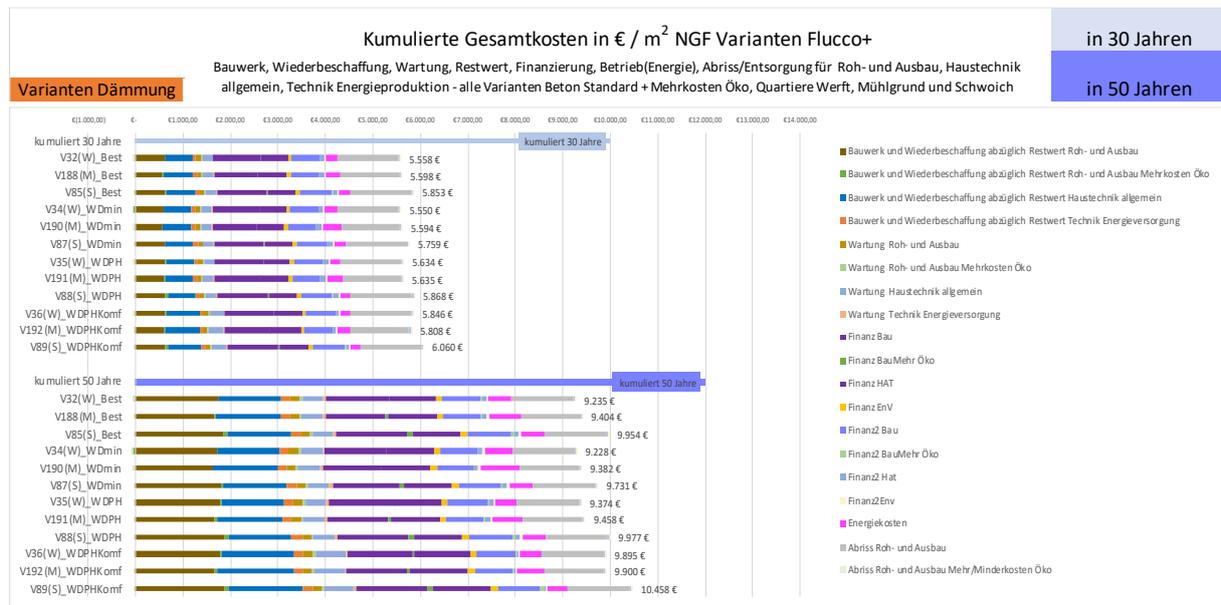


Tabelle 6-50: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF}- Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre: Vergleich der Varianten mit unterschiedlicher Dämmung – Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

Dämmung (W)	LCC 30a	LCC 50a	Mehrk.Öko 50a	Dämmung (M)	LCC 30a	LCC 50a	Mehrk.Öko 50a	Dämmung (S)	LCC 30a	LCC 50a	Mehrk.Öko 50a
V32(W)_Best	3.189 €	5.813 €	27 €	V188(M)_Best	3.207 €	5.894 €	73 €	V85(S)_Best	3.218 €	5.939 €	138 €
V34(W)_WDmin	3.223 €	5.876 €	10 €	V190(M)_WDmin	3.271 €	6.022 €	33 €	V87(S)_WDmin	3.213 €	5.917 €	92 €
V35(W)_WDPH	3.186 €	5.817 €	61 €	V191(M)_WDPH	3.205 €	5.900 €	83 €	V88(S)_WDPH	3.215 €	5.939 €	140 €
V36(W)_WDPHKomf	3.399 €	6.218 €	61 €	V192(M)_WDPHKomf	3.380 €	6.220 €	83 €	V89(S)_WDPHKomf	3.409 €	6.299 €	140 €
WDmin / Best	101%	101%	39%	WDmin / Best	102%	102%	45%	WDmin / Best	100%	100%	67%
WDPH/Best	100%	100%	228%	WDPH/Best	100%	100%	114%	WDPH/Best	100%	100%	102%
WDPHK/Best	107%	107%	228%	WDPHK/Best	105%	106%	114%	WDPHK/Best	106%	106%	102%

Tabelle 6-51: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher Dämmung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

	Dämmung (W)	Energie	Summe	Dämmung (M)	Energie	Summe	Dämmung (S)	Energie	Summe
30 Jahre	V32(W)_Best	244 €	5.555 €	V188(M)_Best	320 €	5.543 €	V85(S)_Best	236 €	5.725 €
	V34(W)_WDmin	286 €	5.566 €	V190(M)_WDmin	397 €	5.583 €	V87(S)_WDmin	246 €	5.684 €
	V35(W)_WDPH	225 €	5.590 €	V191(M)_WDPH	311 €	5.566 €	V88(S)_WDPH	229 €	5.738 €
	V36(W)_WDPHKomf	223 €	5.801 €	V192(M)_WDPHKon	271 €	5.739 €	V89(S)_WDPHKomf	207 €	5.930 €
50 Jahre	V32(W)_Best	508 €	9.212 €	V188(M)_Best	668 €	9.260 €	V85(S)_Best	492 €	9.621 €
	V34(W)_WDmin	596 €	9.245 €	V190(M)_WDmin	827 €	9.341 €	V87(S)_WDmin	513 €	9.517 €
	V35(W)_WDPH	470 €	9.268 €	V191(M)_WDPH	649 €	9.293 €	V88(S)_WDPH	477 €	9.637 €
	V36(W)_WDPHKomf	466 €	9.789 €	V192(M)_WDPHKon	564 €	9.734 €	V89(S)_WDPHKomf	432 €	10.118 €

Sowohl in der Betrachtung der Lebenszykluskosten als auch bei den kumulierten Gesamtkosten erweist sich die Ausgangsvariante Best über den Betrachtungszeitraum von 30 und 50 Jahren in den Quartieren Werft und Mühlgrund als kostengünstigste Variante. Im Quartier Schwoich können die Mehrkosten für Passivhausbauweise und Ausgangsvariante Best nicht allein durch die Energie-Einsparungen gedeckt werden. Dies erklärt sich damit, dass im Quartier Schwoich in der Ausgangsvariante beinahe Passivhausstandard erreicht wird und die höheren Bauwerkskosten für mehr Dämmung aufgrund der vergleichsweise niedrigeren Bebauungshöhe (mehr m² Hülle pro m²_{NGF}) stärker ins Gewicht fallen als in den anderen Quartieren.

Bei einer Energiepreisentwicklung wie in Szenario 2 beschrieben, reduziert sich das Delta auch in Schwoich von € 113,- auf € 70,-. Hier ist anzumerken, dass bei den Berechnungen keine Landes-Förderungen (z.B. Wohnbauförderung) berücksichtigt wurden.

Insgesamt ist anzumerken, dass bei den Berechnungen Landesförderungen wie z.B. Wohnbauförderung nicht berücksichtigt wurden.

Detailansicht Lebenszykluskosten und kumulierte Gesamtkosten Varianten Heizsystem

Abbildung 6-99: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Heizsystem (Fernwärme/Wärmepumpe) - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich

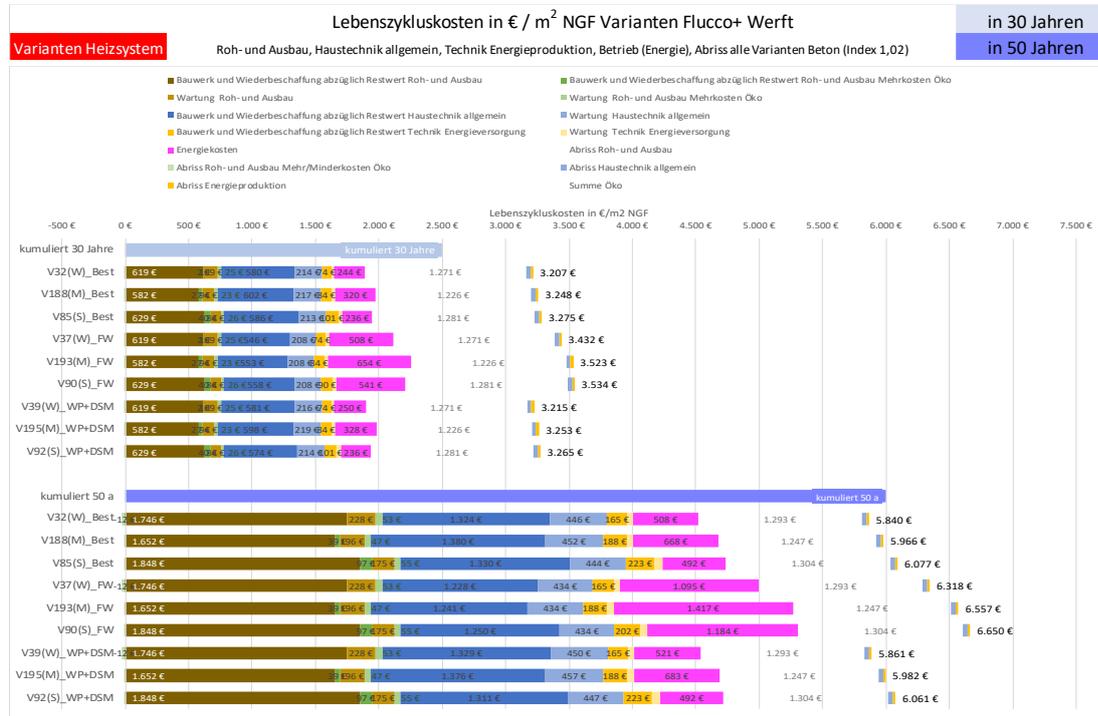


Abbildung 6-100: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichen Heizsystemen - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

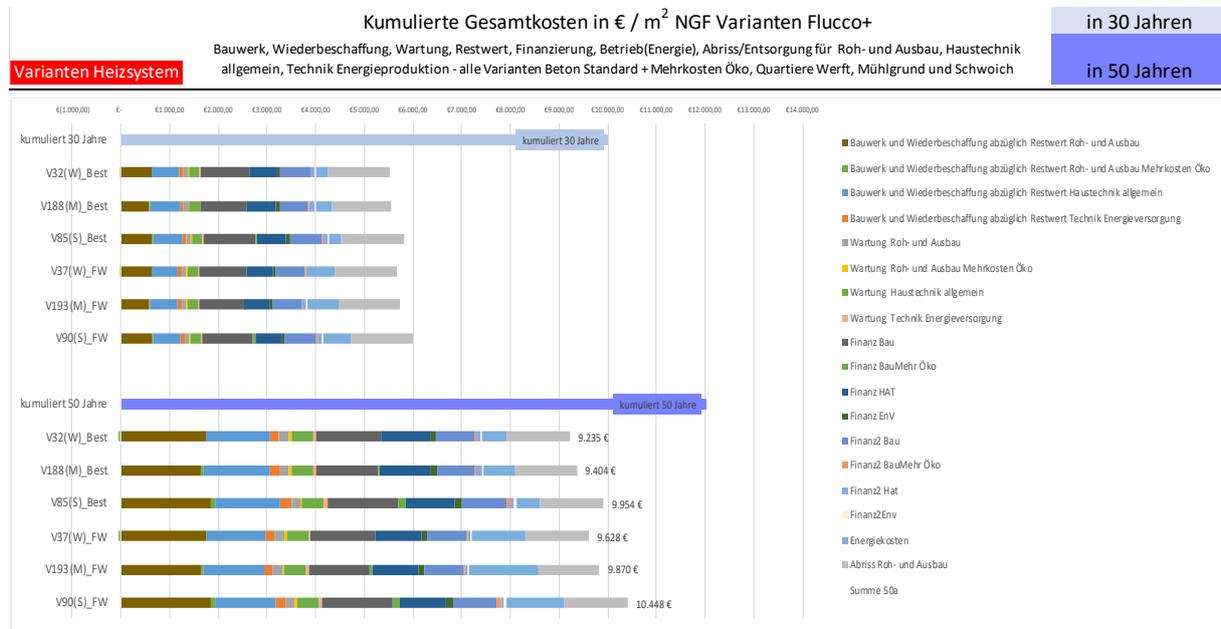


Abbildung 6-101: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Heizsystem - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

Heizsysteme (W)	LCC 30a	LCC 50a	Heizsysteme (M)	LCC 30a	LCC 50a	Heizsysteme (S)	LCC 30a	LCC 50a
V32(W)_Best	3.189 €	5.813 €	V188(M)_Best	3.207 €	5.894 €	V85(S)_Best	3.218 €	5.939 €
V39(W)_WP+DSM	3.198 €	5.834 €	V195(M)_WP+DSM	3.212 €	5.910 €	V92(S)_WP+DSM	3.207 €	5.922 €
V37(W)_FW	3.414 €	6.291 €	V193(M)_FW	3.482 €	6.485 €	V90(S)_FW	3.476 €	6.512 €
WP-DSM/Best	100,3%	100,4%	WP-DSM/Best	100,2%	100,3%	WP-DSM/Best	99,7%	99,7%
FW/Best	107%	108%	FW/Best	109%	110%	FW/Best	108%	110%

Tabelle 6-52: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichen Heizsystemen - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

	Heizsysteme (W)	Energie	Summe	Heizsysteme (M)	Energie	Summe	Heizsysteme (S)	Energie	Summe
30 Jah	V32(W)_Best	244 €	5.555 €	V188(M)_Best	320 €	5.543 €	V85(S)_Best	236 €	5.725 €
	V37(W)_FW	508 €	5.704 €	V193(M)_FW	654 €	5.708 €	V90(S)_FW	541 €	5.912 €
50 Jah	V32(W)_Best	508 €	9.212 €	V188(M)_Best	668 €	9.260 €	V85(S)_Best	492 €	9.621 €
	V37(W)_FW	1.095 €	9.604 €	V193(M)_FW	1.417 €	9.726 €	V90(S)_FW	1.184 €	10.114 €

Sowohl in der Betrachtung der Lebenszykluskosten als auch der kumulierten Gesamtkosten zeigt sich die Wärmepumpe in allen Quartieren längerfristig (nach 30 und 50 Jahren Betrachtungszeitraum) das kostengünstigste Heizsystem. Das zeigt sich auch in allen 3 Energiepreis-Szenarien. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass Förderungen von Heizungssystemen nicht in die Berechnung eingeflossen sind, da Quartiere einerseits Neubauprojekte sind – und die Wahl des Heizungssystems in erster Linie vom Angebot (bzw. den regionalen Gegebenheiten) abhängen.

Tabelle 6-53: kumulierte Gesamtkosten - Varianten Heizungssysteme - Vergleich mit Energiepreis-Entwicklungsszenarien 1, 2 und 3

	Heizsysteme (W)	Su Sz1	Su Sz2	Su Sz3	Heizsysteme (M)	Su Sz1	Su Sz2	Su Sz3	Heizsysteme (S)	Su Sz1	Su Sz2	Su Sz3
50 Jah	V32(W)_Best	9.212 €	9.372 €	9.182 €	V188(M)_Best	9.260 €	9.462 €	9.228 €	V85(S)_Best	9.621 €	9.826 €	9.543 €
	V37(W)_FW	9.604 €	9.780 €	9.581 €	V193(M)_FW	9.726 €	9.937 €	9.689 €	V90(S)_FW	10.114 €	10.338 €	10.003 €

Detailansicht Lebenszykluskosten und kumulierte Gesamtkosten Varianten PV-Ausstattung

Abbildung 6-102: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher PV-Ausstattung - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich

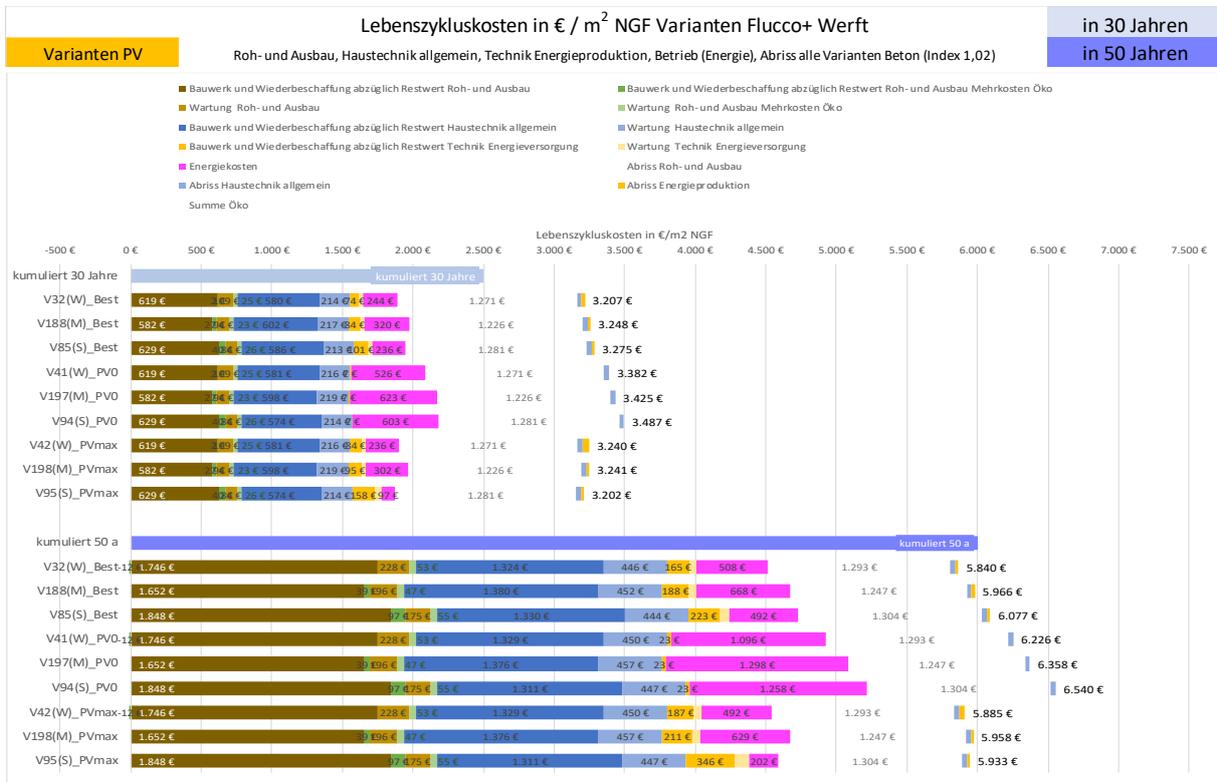


Abbildung 6-103: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher PV-Ausstattung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

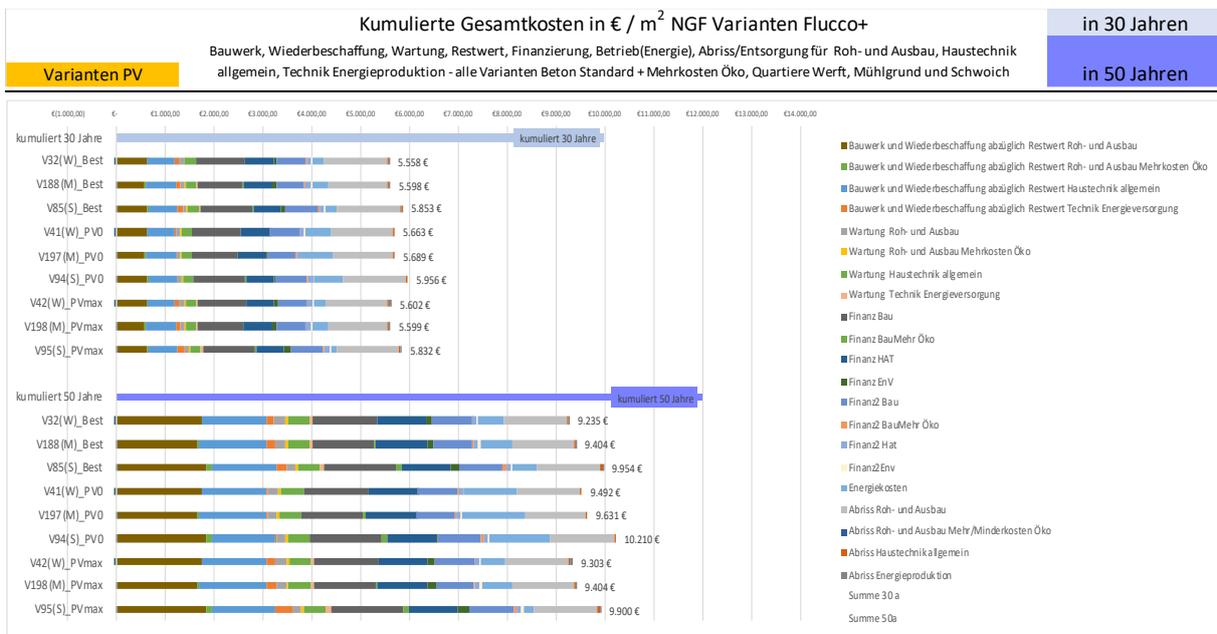


Abbildung 6-104: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher PV-Ausstattung - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich

PV (W)	LCC 30a	LCC 50a	PV (M)	LCC 30a	LCC 50a	PV (S)	LCC 30a	LCC 50a
V32(W)_Best	3.189 €	5.813 €	V188(M)_Best	3.207 €	5.894 €	V85(S)_Best	3.218 €	5.939 €
V41(W)_PV0	3.364 €	6.199 €	V197(M)_PV0	3.384 €	6.285 €	V94(S)_PV0	3.430 €	6.402 €
V42(W)_PVmax	3.222 €	5.858 €	V198(M)_PVmax	3.200 €	5.885 €	V95(S)_PVmax	3.144 €	5.795 €
PV0 / Best	105%	107%	PV0 / Best	106%	107%	PV0 / Best	107%	108%
PVmax/Best	101%	101%	PVmax/Best	100%	100%	PVmax/Best	98%	98%

Abbildung 6-105: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher PV-Ausstattung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

	PV (W)	Energie	Summe	PV (M)	Energie	Summe	PV (S)	Energie	Summe
30 Jahre	V32(W)_Best	244 €	5.555 €	V188(M)_Best	320 €	5.543 €	V85(S)_Best	236 €	5.725 €
	V41(W)_PV0	526 €	5.660 €	V197(M)_PV0	623 €	5.634 €	V94(S)_PV0	603 €	5.828 €
	V42(W)_PVmax	236 €	5.599 €	V198(M)_PVmax	302 €	5.543 €	V95(S)_PVmax	97 €	5.704 €
50 Jahre	V32(W)_Best	508 €	9.212 €	V188(M)_Best	668 €	9.260 €	V85(S)_Best	492 €	9.621 €
	V41(W)_PV0	1.096 €	9.468 €	V197(M)_PV0	1.298 €	9.487 €	V94(S)_PV0	1.258 €	9.876 €
	V42(W)_PVmax	492 €	9.279 €	V198(M)_PVmax	629 €	9.260 €	V95(S)_PVmax	202 €	9.566 €

Wie aus obenstehender Abbildung und Tabelle ersichtlich ist, sind die Lebenszykluskosten und die kumulierten Gesamtkosten in allen Quartieren für die Varianten ohne PV bereits nach 30 Jahren und nach 50 Jahren höher als die Vergleichsvarianten mit PV.

Die Varianten mit maximaler PV-Belegung sind in der Werft knapp ungünstiger, in Schwoich knapp günstiger als die Ausgangsvarianten, in jedem Fall aber viel günstiger als die Null-Varianten.

In den Berechnungen ist der aktuelle ÖMAG-Fördersatz von € 140,-/kWp berücksichtigt (siehe Kapitel Methoden).

Detailansicht Lebenszykluskosten und kumulierte Gesamtkosten Varianten E-Mobilität

Abbildung 6-106: Lebenszykluskosten in €/m²NGF - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Anteil E-Mobilität - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich

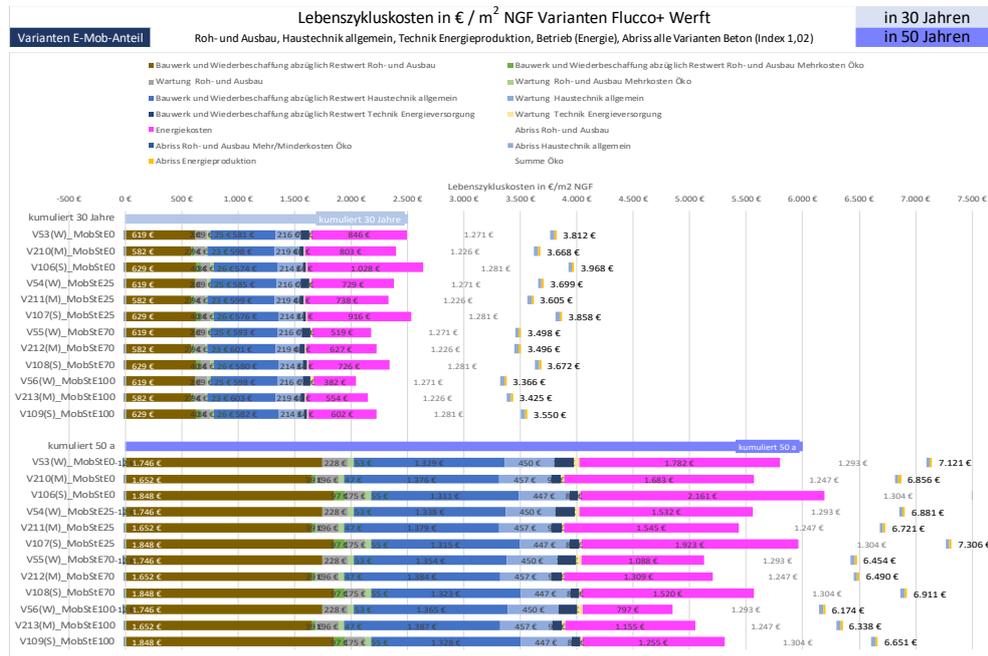


Abbildung 6-107: kumulierte Gesamtkosten in €/m²NGF - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem E-Mobilitätsanteil - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

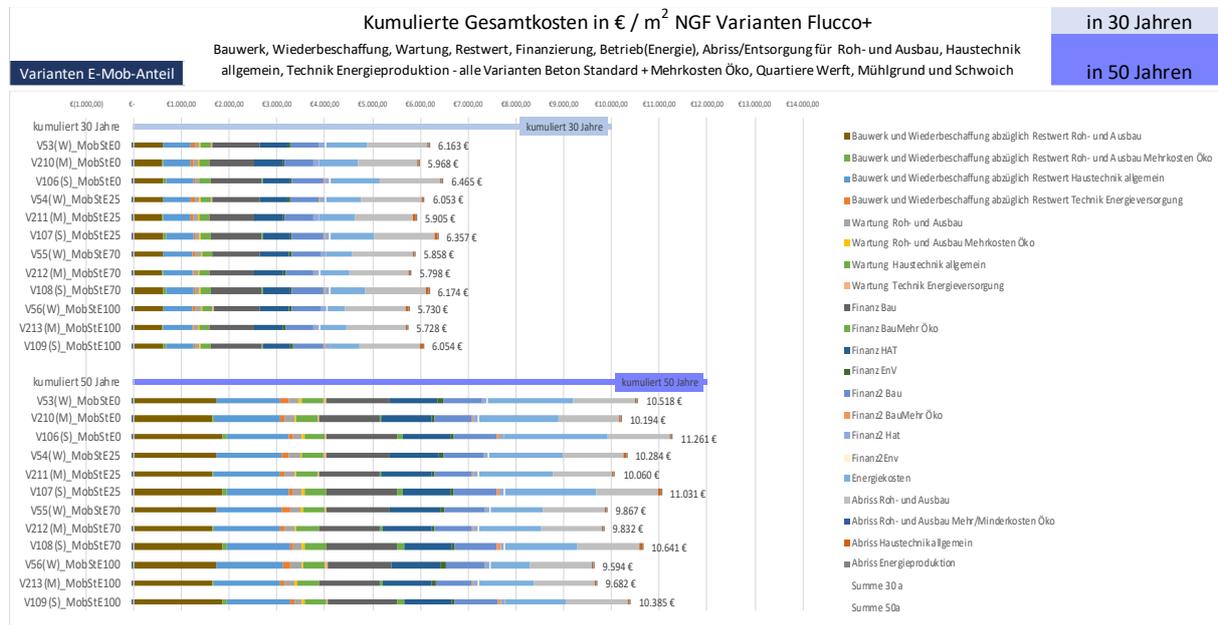


Tabelle 6-54: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Anteil E-Mobilität (Standard und optimiert)- Werft, Mühlgrund und Schwoich

MobStand.E-Anteil (W)	LCC 30a	LCC 50a	MobStand.E-Anteil (M)	LCC 30a	LCC 50a	MobStand.E-Anteil (S)	LCC 30a	LCC 50a
V53(W)_MobStE0	3.794 €	7.094 €	V210(M)_MobStE0	3.628 €	6.783 €	V106(S)_MobStE0	3.910 €	7.401 €
V54(W)_MobStE25	3.681 €	6.854 €	V211(M)_MobStE25	3.564 €	6.648 €	V107(S)_MobStE25	3.800 €	7.168 €
V55(W)_MobStE70	3.480 €	6.427 €	V212(M)_MobStE70	3.456 €	6.417 €	V108(S)_MobStE70	3.614 €	6.772 €
V56(W)_MobStE100	3.348 €	6.147 €	V213(M)_MobStE100	3.384 €	6.265 €	V109(S)_MobStE100	3.493 €	6.513 €
MobStE25 / MobStE0	97%	97%	MobStE25 / MobStE0	98%	98%	MobStE25 / MobStE0	97%	97%
MobStE70 / MobStE0	92%	91%	MobStE70 / MobStE0	95%	95%	MobStE70 / MobStE0	92%	92%
MobStE100 / MobStE0	88%	87%	MobStE100 / MobStE0	93%	92%	MobStE100 / MobStE0	89%	88%
MobOpt.E-Anteil (W)	LCC 30a	LCC 50a	MobOpt.E-Anteil (M)	LCC 30a	LCC 50a	MobOpt.E-Anteil (S)	LCC 30a	LCC 50a
V52(W)_MobOpt	3.690 €	6.875 €	V209(M)_MobOpt	3.579 €	6.680 €	V105(S)_MobOpt	3.826 €	7.224 €
V58(W)_MobOptE25	3.598 €	6.679 €	V215(M)_MobOptE25	3.524 €	6.564 €	V111(S)_MobOptE25	3.733 €	7.025 €
V59(W)_MobOptE70	3.433 €	6.329 €	V216(M)_MobOptE70	3.431 €	6.365 €	V112(S)_MobOptE70	3.573 €	6.685 €
V60(W)_MobOptE100	3.325 €	6.098 €	V217(M)_MobOptE100	3.370 €	6.236 €	V113(S)_MobOptE100	3.468 €	6.462 €
MobOptE25 / MobOptE0	97%	97%	MobOptE0	98%	98%	MobOptE0	98%	97%
MobOptE70 / MobOptE0	93%	92%	MobOptE70 / MobOptE0	96%	95%	MobOptE70 / MobOptE0	93%	93%
MobOptE100 / MobOptE0	90%	89%	MobOptE100 / MobOptE0	94%	93%	MobOptE100 / MobOptE0	91%	89%

Sowohl im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren als auch von 50 Jahren reduzieren sich die Lebenszykluskosten der E-Mobilitätsvarianten im Vergleich zur Variante mit 100 % fossiler Mobilität um rund 3 % pro 25 % E-Mobilitätsanteil in den Quartieren Werft und Schwoich. Im Quartier Mühlgrund (weniger KFZ-Fahrleistung) um rund 2 %.

Abbildung 6-108: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem E-Mobilitätsanteil - Werft, Mühlgrund und Schwoich

	MobStand.E-Anteil (W)	Energie	Summe	MobStand.E-Anteil (M)	Energie	Summe	MobStand.E-Anteil (S)	Energie	Summe
30 Jahre	V53(W)_MobStE0	846 €	6.160 €	V210(M)_MobStE0	803 €	5.912 €	V106(S)_MobStE0	1.028 €	6.337 €
	V54(W)_MobStE25	729 €	6.050 €	V211(M)_MobStE25	738 €	5.849 €	V107(S)_MobStE25	916 €	6.229 €
	V55(W)_MobStE70	519 €	5.855 €	V212(M)_MobStE70	627 €	5.742 €	V108(S)_MobStE70	726 €	6.046 €
	V56(W)_MobStE100	382 €	5.727 €	V213(M)_MobStE100	554 €	5.672 €	V109(S)_MobStE100	602 €	5.926 €
50 Jahre	V53(W)_MobStE0	1.782 €	10.495 €	V210(M)_MobStE0	1.683 €	10.050 €	V106(S)_MobStE0	2.161 €	10.928 €
	V54(W)_MobStE25	1.532 €	10.260 €	V211(M)_MobStE25	1.545 €	9.916 €	V107(S)_MobStE25	1.923 €	10.698 €
	V55(W)_MobStE70	1.088 €	9.844 €	V212(M)_MobStE70	1.309 €	9.689 €	V108(S)_MobStE70	1.520 €	10.307 €
	V56(W)_MobStE100	797 €	9.571 €	V213(M)_MobStE100	1.155 €	9.539 €	V109(S)_MobStE100	1.255 €	10.051 €
	MobOpt.E-Anteil (W)	Energie	Summe	MobOpt.E-Anteil (M)	Energie	Summe	MobOpt.E-Anteil (S)	Energie	Summe
30 Jahre	V52(W)_MobOpt	742 €	6.056 €	V209(M)_MobOpt	753 €	5.863 €	V105(S)_MobOpt	945 €	6.254 €
	V58(W)_MobOptE25	645 €	5.967 €	V215(M)_MobOptE25	698 €	5.809 €	V111(S)_MobOptE25	849 €	6.162 €
	V59(W)_MobOptE70	473 €	5.808 €	V216(M)_MobOptE70	602 €	5.718 €	V112(S)_MobOptE70	685 €	6.004 €
	V60(W)_MobOptE100	359 €	5.704 €	V217(M)_MobOptE100	539 €	5.658 €	V113(S)_MobOptE100	578 €	5.902 €
50 Jahre	V52(W)_MobOpt	1.562 €	10.275 €	V209(M)_MobOpt	1.579 €	9.946 €	V105(S)_MobOpt	1.984 €	10.751 €
	V58(W)_MobOptE25	1.357 €	10.085 €	V215(M)_MobOptE25	1.461 €	9.832 €	V111(S)_MobOptE25	1.780 €	10.555 €
	V59(W)_MobOptE70	990 €	9.745 €	V216(M)_MobOptE70	1.258 €	9.637 €	V112(S)_MobOptE70	1.432 €	10.220 €
	V60(W)_MobOptE100	748 €	9.522 €	V217(M)_MobOptE100	1.125 €	9.509 €	V113(S)_MobOptE100	1.204 €	10.001 €

In den kumulierten Gesamtkosten ergibt sich eine Reduktion um rund 2 % pro 25 % E-Mobilitätsanteil in den Quartieren Werft und Schwoich. Am Mühlgrund liegt aufgrund der geringeren Fahrzeugleistungen die Reduktion bei rund 1 % pro 25 % E-Mobilitätsanteil.

Detailansicht Lebenszykluskosten Varianten Batteriespeicher

Abbildung 6-109: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Batteriespeicher - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

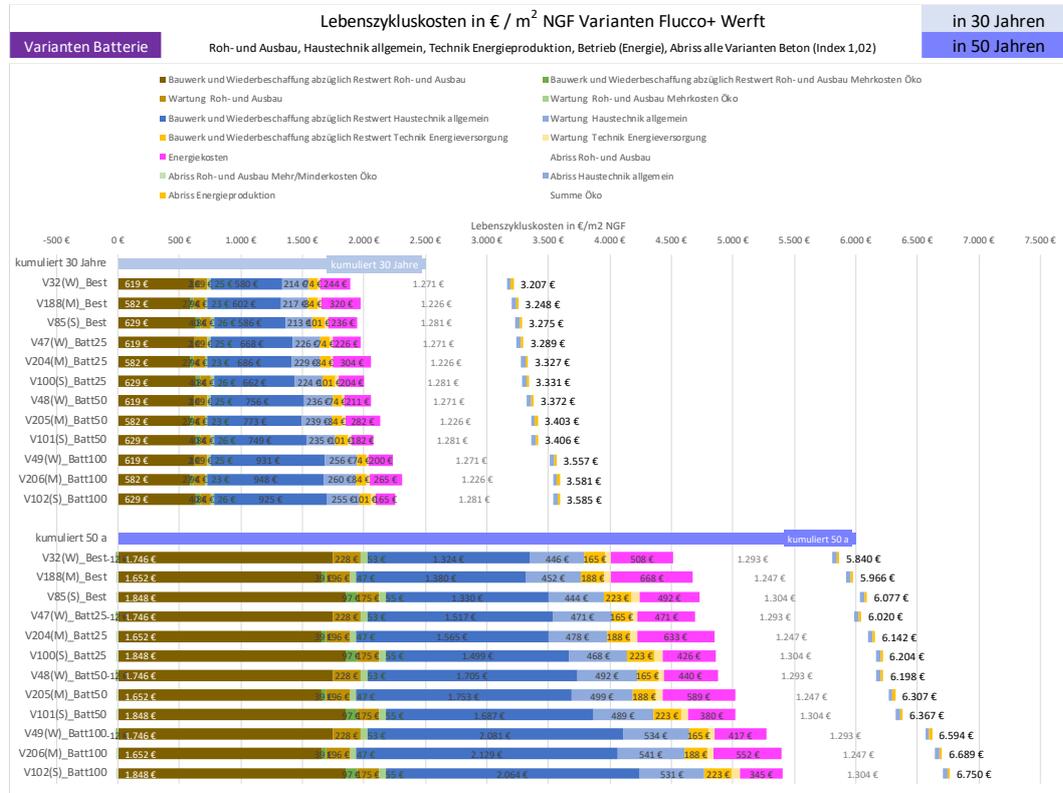


Abbildung 6-110: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher E-Speicherung (Batterie) - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

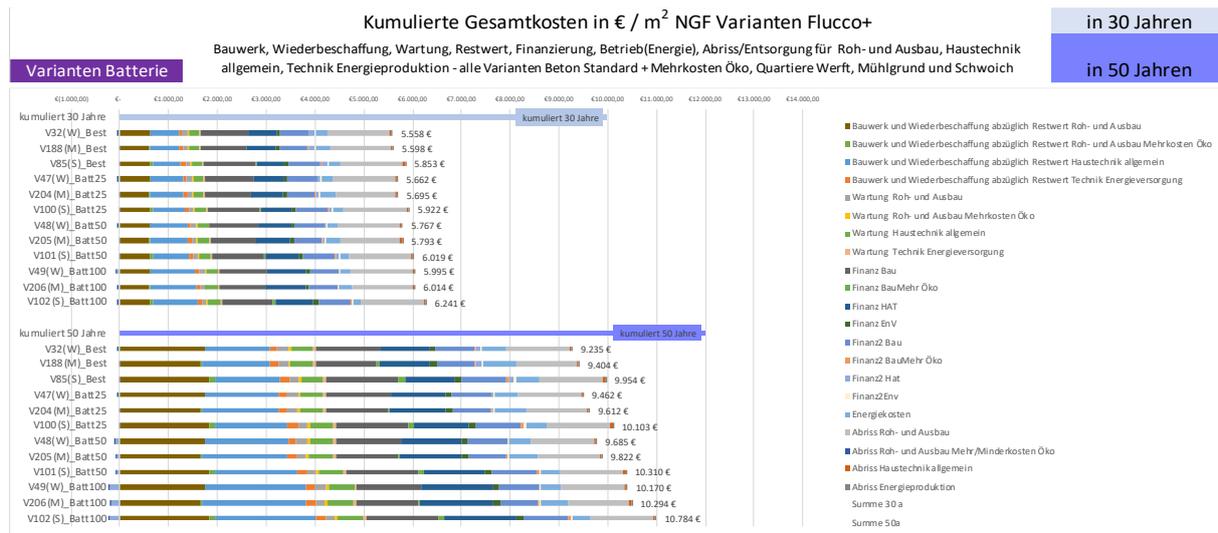


Tabelle 6-55: Lebenszykluskosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Batteriespeicher - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich

Batterie (W)	LCC 30a	LCC 50a	Batterie (W)	LCC 30a	LCC 50a	Batterie (W)	LCC 30a	LCC 50a
V39(W)_WP+DSM	3.198 €	5.834 €	V195(M)_WP+DSM	3.212 €	5.910 €	V92(S)_WP+DSM	3.207 €	5.922 €
V47(W)_Batt25	3.271 €	5.993 €	V204(M)_Batt25	3.286 €	6.070 €	V100(S)_Batt25	3.273 €	6.066 €
V48(W)_Batt50	3.354 €	6.172 €	V205(M)_Batt50	3.363 €	6.234 €	V101(S)_Batt50	3.349 €	6.228 €
V49(W)_Batt100	3.539 €	6.567 €	V206(M)_Batt100	3.541 €	6.616 €	V102(S)_Batt100	3.527 €	6.612 €
Batt25 / Best	102%	103%	Batt25 / Best	102%	103%	Batt25 / Best	102%	102%
Batt50/Best	105%	106%	Batt50/Best	105%	105%	Batt50/Best	104%	105%
Batt100/Best	111%	113%	Batt100/Best	110%	112%	Batt100/Best	110%	112%

Im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren liegen die Mehrkosten für die Varianten mit Batteriespeicher bei 2-11 % - im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren erhöhen sich die Mehrkosten auf 3 -13 %. Dies begründet sich dadurch, dass die Förderung nur beim ersten Ankauf berücksichtigt wurde – die Ersatzanschaffungen (Nutzungsdauer 10 Jahre) ohne Förderung gerechnet wurden.

Abbildung 6-111: kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher E-Speicherung (Batterie) - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich

	Batterie (W)	Energie	Summe	Batterie (M)	Energie	Summe	Batterie (S)	Energie	Summe
30 Jahre	V39(W)_WP+DSM	250 €	5.564 €	V195(M)_WP+DSM	328 €	5.544 €	V92(S)_WP+DSM	236 €	5.706 €
	V47(W)_Batt25	226 €	5.659 €	V204(M)_Batt25	304 €	5.640 €	V100(S)_Batt25	204 €	5.794 €
	V48(W)_Batt50	211 €	5.764 €	V205(M)_Batt50	282 €	5.738 €	V101(S)_Batt50	182 €	5.891 €
	V49(W)_Batt100	200 €	5.992 €	V206(M)_Batt100	265 €	5.959 €	V102(S)_Batt100	165 €	6.113 €
50 Jahre	V39(W)_WP+DSM	521 €	9.234 €	V195(M)_WP+DSM	683 €	9.264 €	V92(S)_WP+DSM	492 €	9.581 €
	V47(W)_Batt25	471 €	9.438 €	V204(M)_Batt25	633 €	9.469 €	V100(S)_Batt25	426 €	9.770 €
	V48(W)_Batt50	440 €	9.662 €	V205(M)_Batt50	589 €	9.678 €	V101(S)_Batt50	380 €	9.977 €
	V49(W)_Batt100	417 €	10.147 €	V206(M)_Batt100	552 €	10.150 €	V102(S)_Batt100	345 €	10.451 €

Wie bereits bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten ersichtlich ist, tragen die Batteriespeicher zum angenommenen Preis von € 1.000/kWh und einer einmaligen Förderung von € 200,-/kWh nicht zu einer Kostenreduktion bei. Die Differenz zwischen den Varianten mit DSM ohne Batteriespeicherung und Batt25 liegen zwischen € 88,- (Schwoich) und € 96,- (Mühlgrund) in 30 Jahren und zwischen € 189,- (Schwoich) € 205,- (Mühlgrund) in 50 Jahren.

Auch bei Anwendung des im Vergleich der Energiepreis-Szenarien optimalen Szenarios 2 ergibt sich kein anderes Bild.

Abbildung 6-112: kumulierte Gesamtkosten Energiepreisszenarien 1,2 und 3 in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher E-Speicherung (Batterie) - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich

	Batterie (W)	Su Sz1	Su Sz2	Su Sz3	Batterie (M)	Su Sz1	Su Sz2	Su Sz3	Batterie (S)	Su Sz1	Su Sz2	Su Sz3
30 Jahre	V32(W)_Best	5.564 €	5.620 €	5.554 €	V188(M)_Best	5.544 €	5.615 €	5.534 €	V85(S)_Best	5.706 €	5.776 €	5.677 €
	V47(W)_Batt25	5.659 €	5.708 €	5.657 €	V204(M)_Batt25	5.640 €	5.715 €	5.659 €	V100(S)_Batt25	5.794 €	5.864 €	5.811 €
	V48(W)_Batt50	5.764 €	5.808 €	5.764 €	V205(M)_Batt50	5.738 €	5.812 €	5.757 €	V101(S)_Batt50	5.891 €	5.961 €	5.909 €
	V49(W)_Batt100	5.992 €	6.034 €	5.992 €	V206(M)_Batt100	5.959 €	6.032 €	5.978 €	V102(S)_Batt100	6.113 €	6.183 €	6.131 €

6.4.4 Zusammenfassung der ökonomischen Bewertung

Zusammenfassend zeigt sich:

- Höhere Investitionen in die Gebäudehülle (wie in den Ausgangsvarianten) rechnen sich auch ohne Förderung, insbesondere im verdichteten (mehrgeschossigen) Neubau, sowohl bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten, als auch bei der Betrachtung der kumulierten Gesamtkosten (mit 4 % Verzinsung und einer Laufzeit analog den Nutzungsdauern).
 - Der Passivhausstandard führt, trotz zusätzlicher Energieeinsparungen, ohne Förderung zu Mehrkosten von knapp 1 % der kumulierten Gesamtkosten. Bei den Lebenszykluskosten (ohne Finanzierungskosten) liegt der Unterschied zwischen der Dämmung der Ausgangsvarianten und einer Passivhausdämmung im Promillebereich.
 - Die Lebenszyklus-Mehrkosten für Ökobauweise liegen im Betrachtungszeitraum bei rund 1 % im verdichteten (mehrgeschossigen) Neubau – im Quartier Schwoich bei 2 %. Bei den kumulierten Gesamtkosten liegen die Mehrkosten nur noch zwischen 1 und 2 Promille (aufgrund der niedrigeren Investitionskosten bei den gewählten Holzfenstern).
 - Die Differenz zwischen den Bauwerkskosten im verdichteten (mehrgeschossigen) Neubau in der Werft und am Mühlgrund und dem Quartier Schwoich liegen bei etwa 5 %.
- Die Nutzung der Erdwärme ist in allen Varianten günstiger als die Fernwärme-Nutzung. Die Mehrkosten der Fernwärme liegen bei 7-10 % der Lebenszykluskosten, bzw. 3-5 % der kumulierten Gesamtkosten.
- Die maximale Belegung der Dächer mit Photovoltaik rechnet sich unter Berücksichtigung der Bundesförderung (€ 140,-/kWp) in allen Varianten sowohl bei den Lebenszykluskosten, als auch bei den kumulierten Gesamtkosten. Die zusätzlichen Fassadenpaneele im Quartier Werft führen zu weiteren Energie-Kosten Einsparungen in der Höhe von 3 %, die aber die Mehrkosten für Errichtung, Wartung und Finanzierung nicht zur Gänze abdecken können.
- Die Batteriespeicherung rechnet sich unter den angewendeten Annahmen (Investitionskosten von € 1.000,-/kWh und einmalige Förderung von € 200,-/kWh) in keiner der Varianten und führt in allen Quartieren zu Mehrkosten zwischen 2 % (25 Wh/m²_{NGF}) und 11 % (100 Wh/m²_{NGF}) der kumulierten Gesamtkosten. In absoluten Zahlen liegen die Mehrkosten (kumulierte Gesamtkosten) in 30 Jahren zwischen € 88,- und € 96,-/m²_{NGF} pro 25 Wh. Umgerechnet auf den Ausgangswert (ohne Index) ergibt dies monatliche Kosten von € 0,18 bzw. € 0,20 pro m²_{NGF} für den Zusatznutzen einer gewissen Blackout-Sicherheit.
- Maßnahmen zur Optimierung des Mobilitätsverhaltens können (ohne zusätzliche Investitionen) die Energiekosten um bis zu 13% reduzieren. Das Potential einer optimierten Warmwasserbereitung (DSM, ohne zusätzliche Investitionen) liegt im Promillebereich.
- Die Erhöhung des E-Mobilitätsanteils führt zu einer Reduktion der Energiekosten bis zu 59 % (bei 100 % E-Mobilitätsanteil) und kann damit die Lebenszykluskosten um bis zu 11% und die kumulierten Gesamtkosten um bis zu 8% reduzieren.
- Im Mobilitätsbereich ist zu beachten, dass hier nur die Energiekosten sowie Investitionen in die Elektrifizierung (Wallboxen) betrachtet wurden. Kosten für Fahrzeuge, Stellplätze und ähnliches sind nicht in die Berechnungen eingegangen.

6.5 Anwendung der Flexibilitätssignale

Dieses Kapitel zeigt die Ergebnisse der Anwendung der erstellten Signale aus Kapitel 5 auf ein repräsentatives Quartier. Wie in Kapitel 6.1.9 beschrieben, wird die Geometrie und Anlagentechnik vom Sonnendorf Schwoich herangezogen. Die folgenden Auswertungen sollen die Auswirkungen von unterschiedlichen Signalen ein Beispielobjekt, bei unterschiedlichen Qualitäten und Speicherkapazitäten zeigen.

Kapitel 5.2.8 zeigt bereits die Charakterisierung der Energieflexibilität der Varianten in Form vom Verhältnis der Aufheiz- und Abkühldauer, woraus die Signale in diskreter Form (0/1) abgeleitet werden. Folgende Tabelle zeigt die Parameter und ihre untersuchten Ausprägungen, wobei vor allem der Baustandard und die Bauweise entscheidend für die Ableitung der Signale sind:

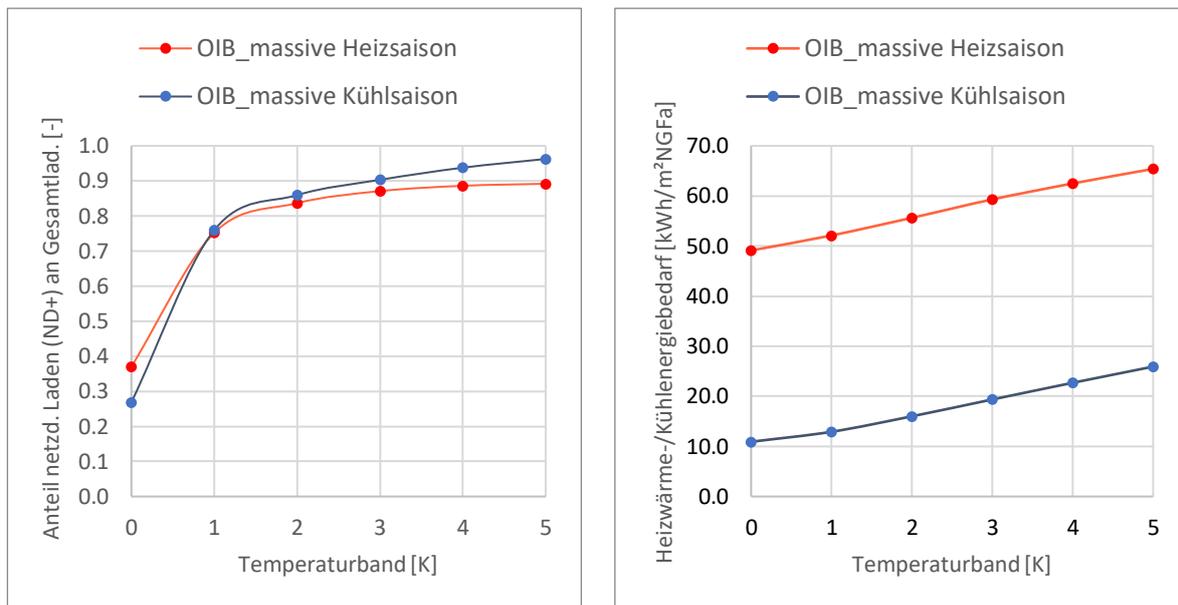
Tabelle 6-56: Variantentabelle zur Anwendung der Flexibilitätssignale

Baustandard	Bauweise	Temperaturband	Jahr
-	-	<i>K</i>	-
OIB	leicht	0	2018
PH	mittel	1	2019
	schwer	2	2020
		3	
		4	
		5	

6.5.1 Einfluss des Temperaturbandes

In diesen Varianten beschreibt das Temperaturband die Flexibilität und Speicherkapazität – je größer das Temperaturband (zwischen minimal notwendiger und maximal zulässiger Raumlufttemperatur), desto eher kann das Quartiersmodell auf Signale reagieren und Zeiten ohne Signal überwinden. Voraussetzung dafür ist, dass der thermische Speicher in Form der Gebäudemasse auch regelmäßig be- und entladen wird, d.h. das Signal auch gut an die Eigenschaften des Quartiersmodells (Baustandard und Bauweise) angepasst bzw. synthetisiert wurde. Im beschriebenen Ansatz der Signal-Synthetisierung wird deswegen das Verhältnis aus Be- und Entladung berücksichtigt.

Abbildung 6-113: Variante OIB-massiv mit dem Signal Windprognosefehler 2020 saisonal – Anteil an netzdienlichem Laden an Gesamtladebedarf (links) und Heizwärme-/Kühlenergiebedarf (rechts)

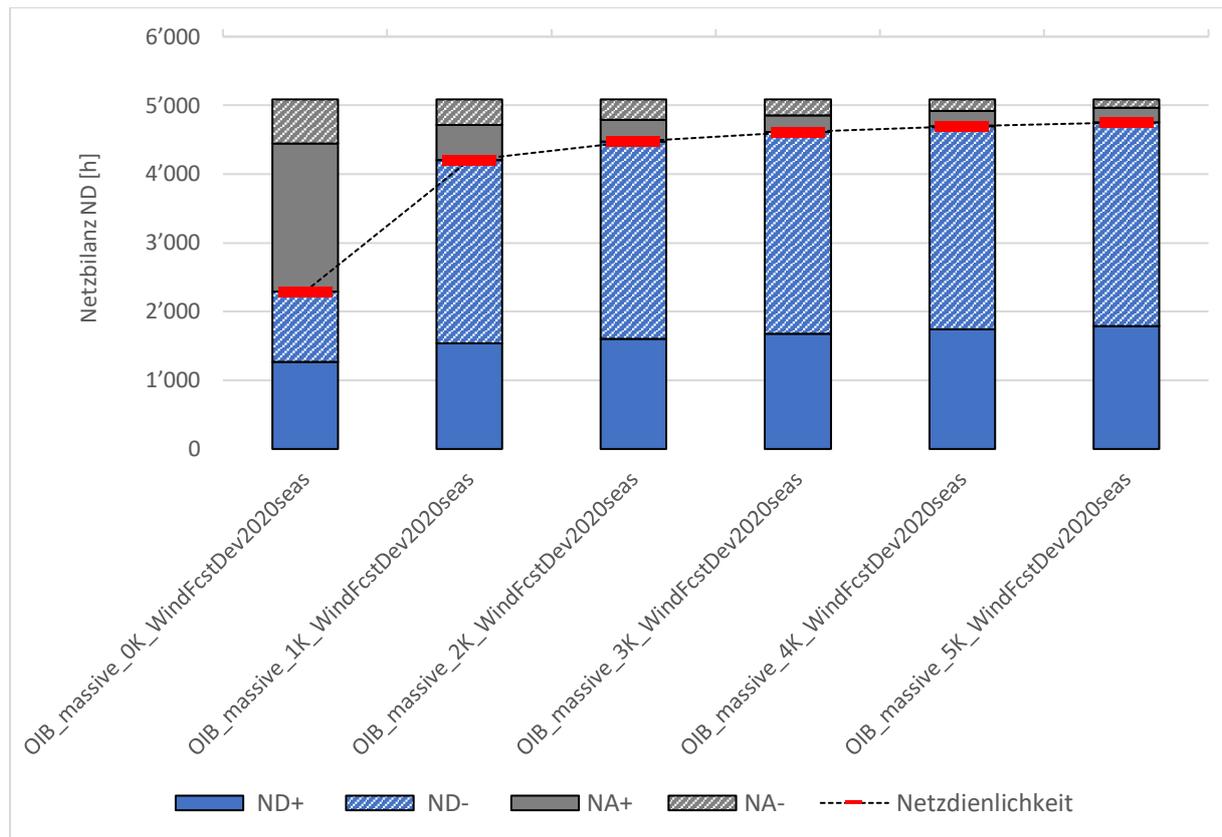


In Abbildung 6-113 sind für die Variante OIB-massiv die Netzdienstlichkeitswerte links und in diesem Zusammenhang auch der Heizwärme- bzw. Kühlenergiebedarf rechts dargestellt, sowohl für die Heiz- als auch Kühltseason. Diese Variante repräsentiert die Auswirkungen von DSM-Maßnahmen durch die Nutzung der Gebäudemasse als Wärmespeicher, auch wenn die Werte zwischen den Varianten variieren (siehe nächstes Kapitel).

Es zeigt sich, dass sich bereits durch DSM-Maßnahmen von 1 K Temperaturband ein signifikanter Anstieg des netzdienlichen Ladens ergibt und danach annähernd linear, leicht abschwächend, weiter ansteigt. Von 0 K bis 1 K ist bereits ein Anstieg des netzdienlichen Anteils von ca. 30 % auf ca. 75 %, d.h. um etwa 45 %, zu erkennen. Im darauffolgenden Temperaturband-Schritt um 1 K ist nur noch ein Anstieg um etwa 10 %, von 2 K auf 3 K nur noch 3 % (Heizsaison). Währenddessen steigt der Heizwärme- oder Kühlenergiebedarf von 0 K an bereits linear an. Das Optimum aus erhöhtem Bedarf und erhöhtem netzdienlichem Ladeanteil liegt somit bei einem Temperaturband von 1-2 K. Anzumerken ist, dass der bereits vorhandene netzdienliche Anteil bei 0 K durch zufälliges Zusammenfallen von Laden und Signal ergibt.

Gleiches Verhalten zeigt sich auch in Abbildung 6-114, wo die gesamte definierte Netzbilanz dargestellt ist, da sich relativ der gleiche Anteil von netzadverserem zu netzdienlichem Nicht-Laden, wie von netzadverserem zu netzdienlichem Laden, verschiebt. In dieser Bilanz wird es auch als positiv angerechnet, wenn bei Zeiten ohne vorliegendem Signal explizit, ob bewusst oder nicht bewusst, nicht geladen wird. Während die Netzdienstlichkeit (ND+ und ND-) der 0 K Variante bei 45 % liegt, erreicht sie bei 1 K bereits 83 % und bei 2 K 88 %. Die 5 K Variante liegt bei 93 %. Für diese Variante zeigt sich eine gute Anpassung des Signals an die Gebäudeeigenschaft bzw. auch umgekehrt gesehen.

Abbildung 6-114: Variante OIB-massiv mit dem Signal Windprognosefehler 2020 saisonal, Heizsaison – Netzbilanz (NB)

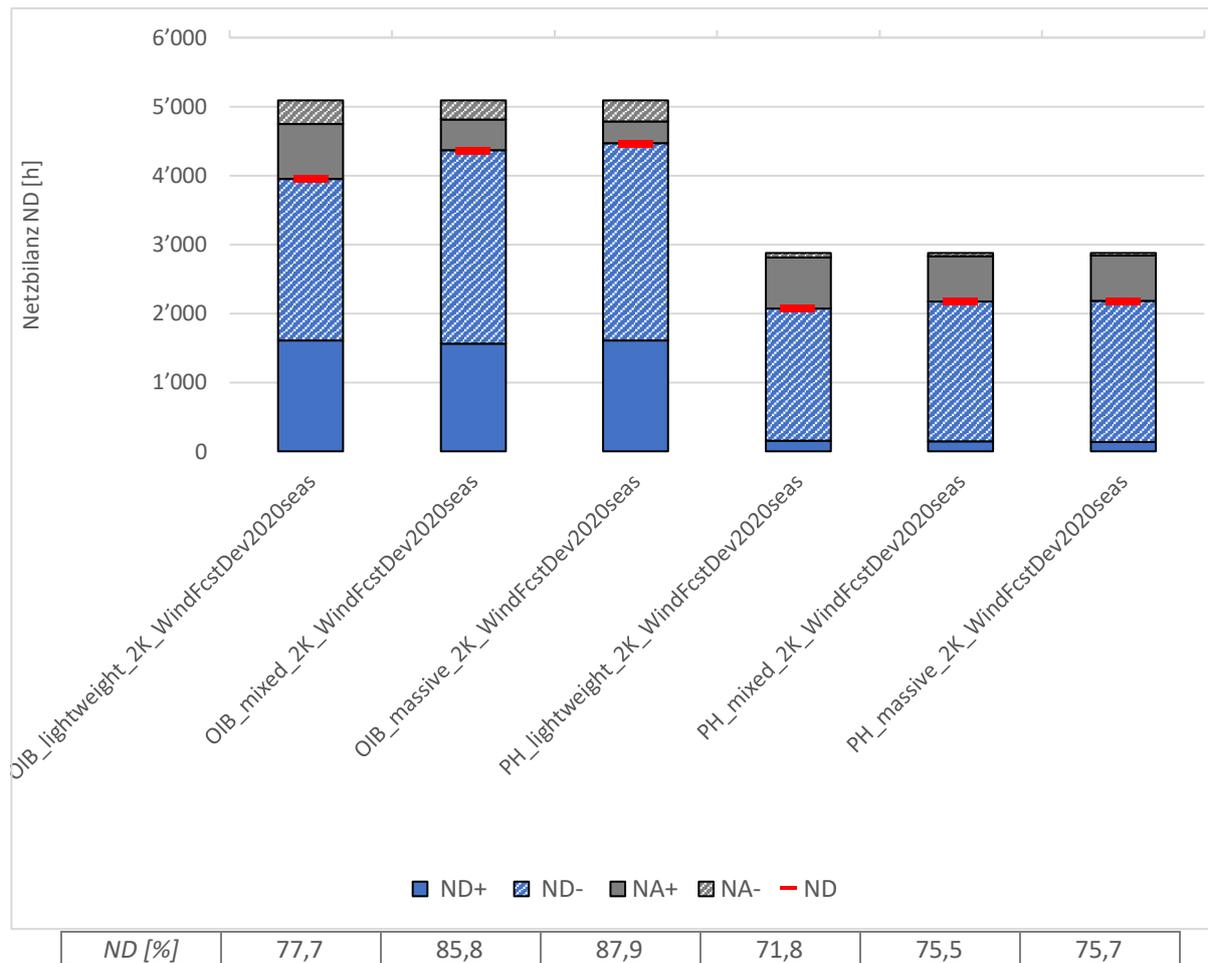


6.5.2 Einfluss der Gebäudeeigenschaften (Baustandard und Bauweise)

Der Baustandard unterscheidet sich durch unterschiedliche Transmissionswärmeverluste, die Bauweise weist unterschiedliche Ausprägungen der Speicherkapazität massiver Bauteile auf.

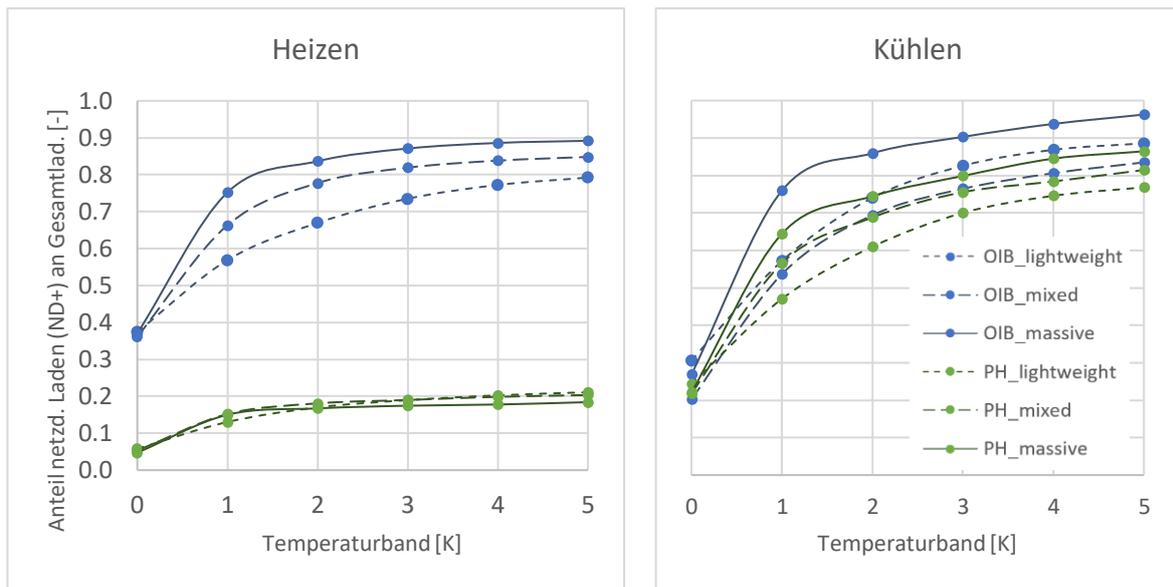
Abbildung 6-115 zeigt erneut die Netzbilanz, hier für ein konstantes Temperaturband von 2 K für die Varianten der Bauweise und des Baustandards, inkl. der prozentuellen Zahlenwerte für ND in der Tabelle. In absoluten Dauern unterscheiden sich die PH- und OIB-Varianten aufgrund unterschiedlich notwendiger Heizsaisonzeiten. Die relativen Werte für ND unterscheiden sich dabei jedoch marginal. Bei Blick auf die ND-Werte ist zu erkennen, dass sich schwerere Bauweisen netzdienstlicher Verhalten können, obgleich für alle Varianten die Signale spezifisch synthetisiert bzw. angepasst sind. Das zeugt von einer besseren Anpassung an nicht optimale Signale aufgrund ihrer Speicherefähigkeit. Bei den OIB-Varianten ist ein leicht stärkerer Anstieg von leichter zu schwerer Bauweise zu erkennen als bei den PH-Varianten – dies zeigt sich sowohl in Abbildung 6-115 als auch in Abbildung 6-116. Ausschlaggebend dafür sind die unterschiedlichen Transmissionswärmeverluste.

Abbildung 6-115: Varianten des Baustandards und der Bauweise, 2 K Temperaturband, Signal Windprognosefehler 2020 saisonal, Heizsaison – Netzbilanz (NB)



Wie wesentlich die gesamtheitliche Betrachtung aller Zeiten, also auch der Zeiten, in denen nicht geheizt oder gekühlt wird, ist, zeigen die folgenden Diagramme für Heizen und Kühlen. Hier ist ein signifikanter Unterschied von ND+ zwischen den PH- und OIB-Varianten zu erkennen, wobei in Abbildung 6-115 gezeigt wird, dass die Bilanz aus netzdienlichem Laden und Entladen (bzw. Nicht-Laden) gleiche Werte aufweist. Dennoch deuten die niedrigeren ND+ Werte der PH-Varianten auf einen „Mismatch“ der Varianten mit dem dazugehörigen Signal hin – es müsste öfter ein Signal vorliegen, um aktives Heizen und Kühlen von netzadversen Zeiten in netzdienliche Zeiten verschieben zu können. Damit ist vor allem die Signalfrequenz gemeint, die Signallänge ist aufgrund der geringeren auftretenden Leistungen weniger wesentlich.

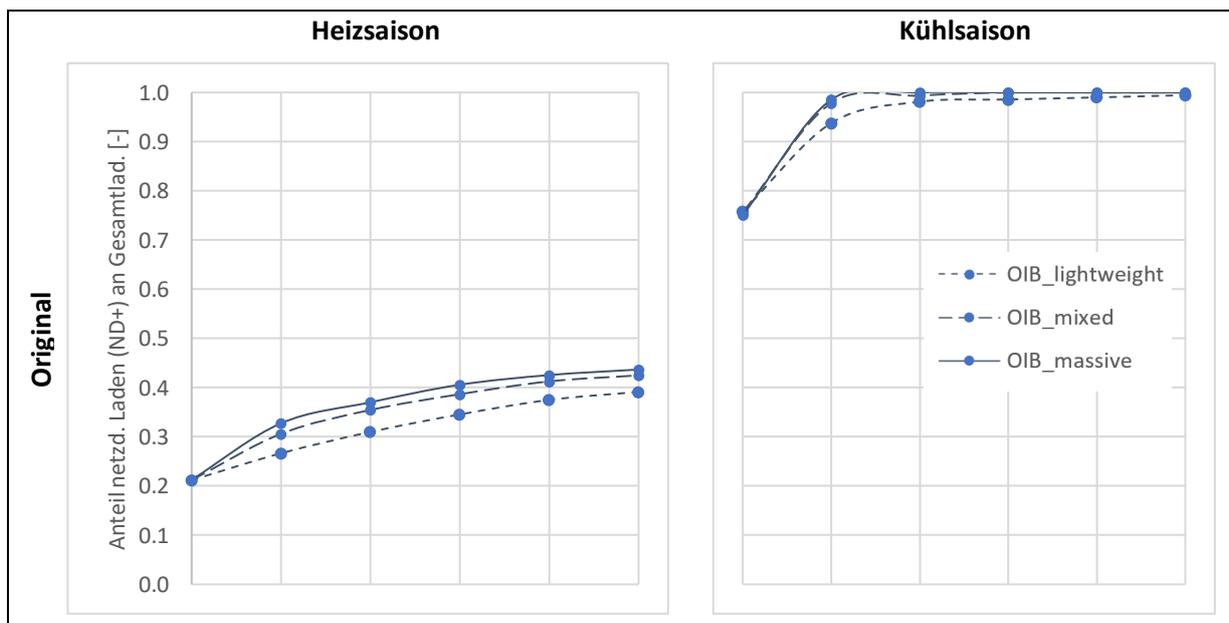
Abbildung 6-116: Varianten des Baustandards und der Bauweise, Signal Windprognosefehler 2020 saisonal, Heiz-/Kühlseason – Netzbilanz (NB)

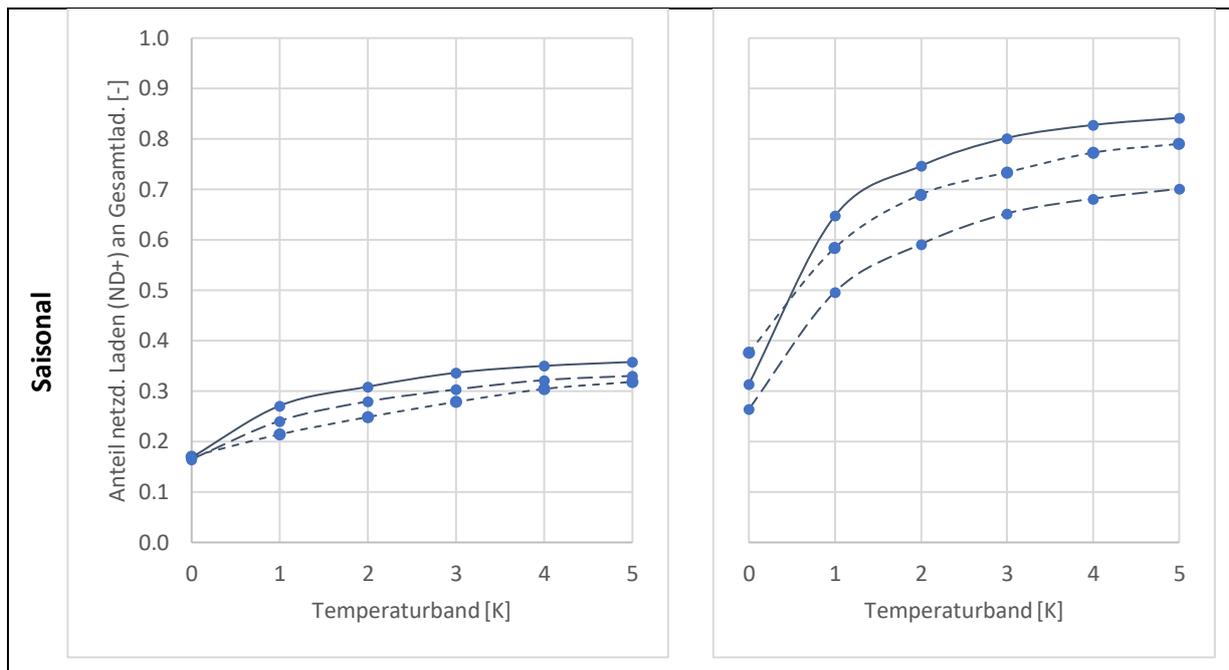


6.5.3 Einfluss Annualer/saisonaler Signale

Aufgrund saisonal unterschiedlichen Verhaltens von Gebäuden sowie unterschiedlichen Verläufen von originalen/rohen Profilen (Winderzeugung, usw.) andererseits, werden folgend die auf diese Weise synthetisierten Profile angewandt. Repräsentativ werden die Signale der Residuallast aus 2019 dargestellt, jeweils für die Heiz- und Kühlseason.

Abbildung 6-117: Vergleich der Anwendung annualer/originaler und saisonaler Signale mit Beispiel der Residuallast 2019, Baustandard OIB





Bei den annualen bzw. originalen Signalen, in denen keine Unterschiede des thermischen Gebäudeverhaltens berücksichtigt sind, zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Heiz- und Kühltisaison – in der Heizsaison liegen die ND+ Werte zwischen 20 % und 40 %, während in der Kühltisaison schon bei 1 K annähernd alle Gebäudevarianten zu 100 % während netzdienlichen Zeiten gekühlt werden (bei 0 K ca. 75 %). Das bedeutet für die Heizsaison zu selten vorkommende Signale bzw. zu lange Dauern zwischen Signalen. In der Kühltisaison sind ausreichend Signalzeiten vorhanden.

Der saisonale Unterschied bei einem saisonalen Signal zeigt konträr des Anspruches zur Steigerung der Netzdienlichkeit eine Verschlechterung der ND+ Werte. Der Unterschied der Verläufe zwischen Heiz- und Kühltisaison zeigen ein ähnliches Muster, wie bei den originalen Signalen.

6.5.4 Vergleich der Signale

Ergänzend zur isolierten Analyse der Profilarten in Kapitel 5 sind in diesem Kapitel die unterschiedlichen Auswirkungen der Signale dargestellt und beschrieben. Folgend wird anhand massiver Bauweise mit 2 K Temperaturband und Signalen aus 2020 verglichen. Zum direkten Vergleich sind die mittleren Zeiträume (Median) der Signale und Nicht-Signale in Abbildung 6-118 dargestellt.

Abbildung 6-118: Signalzeiträume (Signal- und Nicht-Signal) im Median; Winderzeugung, Windprognosefehler und Residuallast für das Jahr 2020 mit saisonalem CutOff

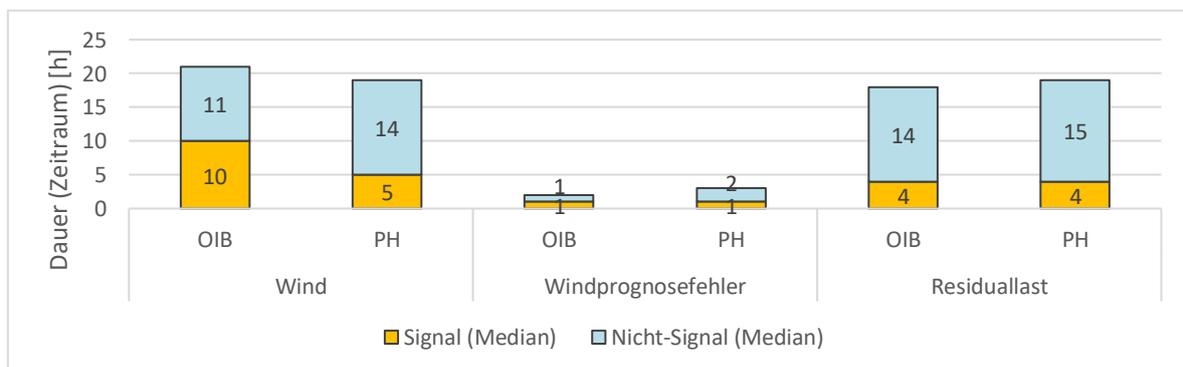
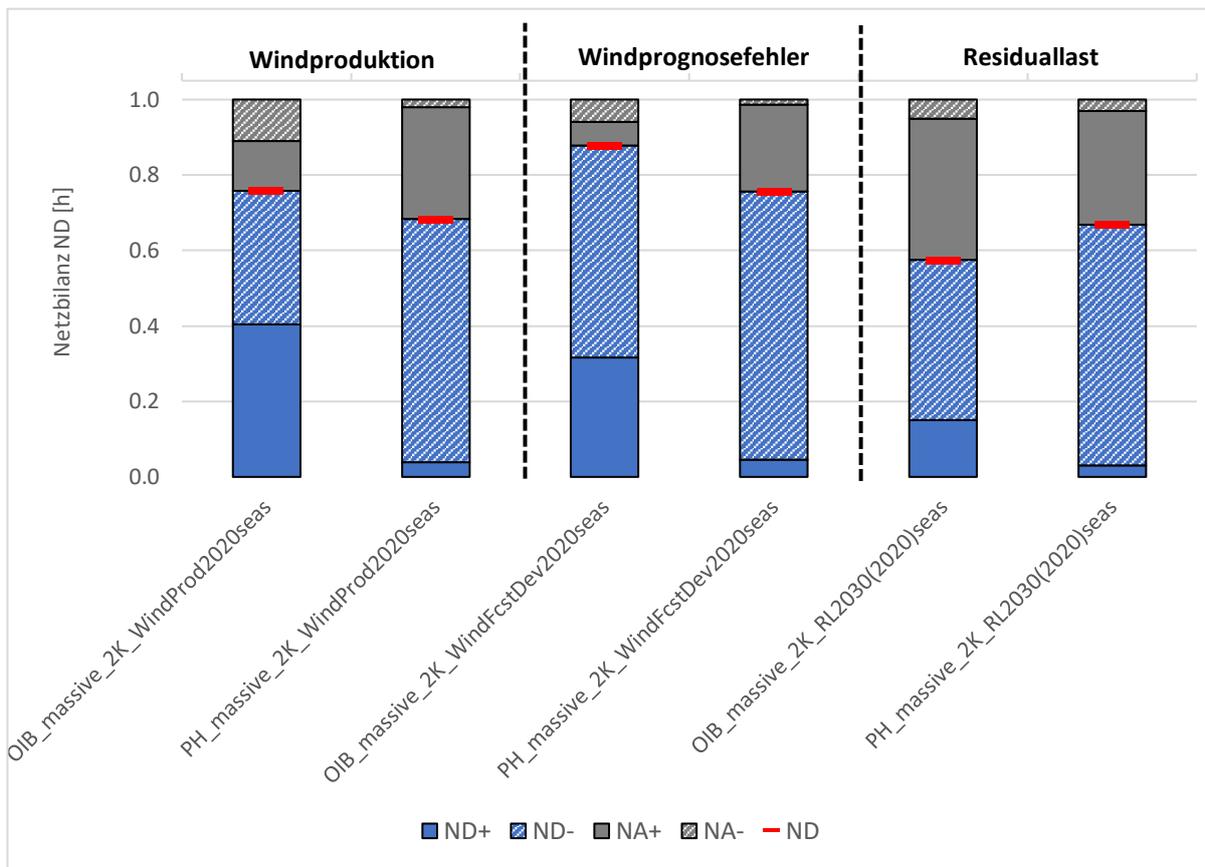
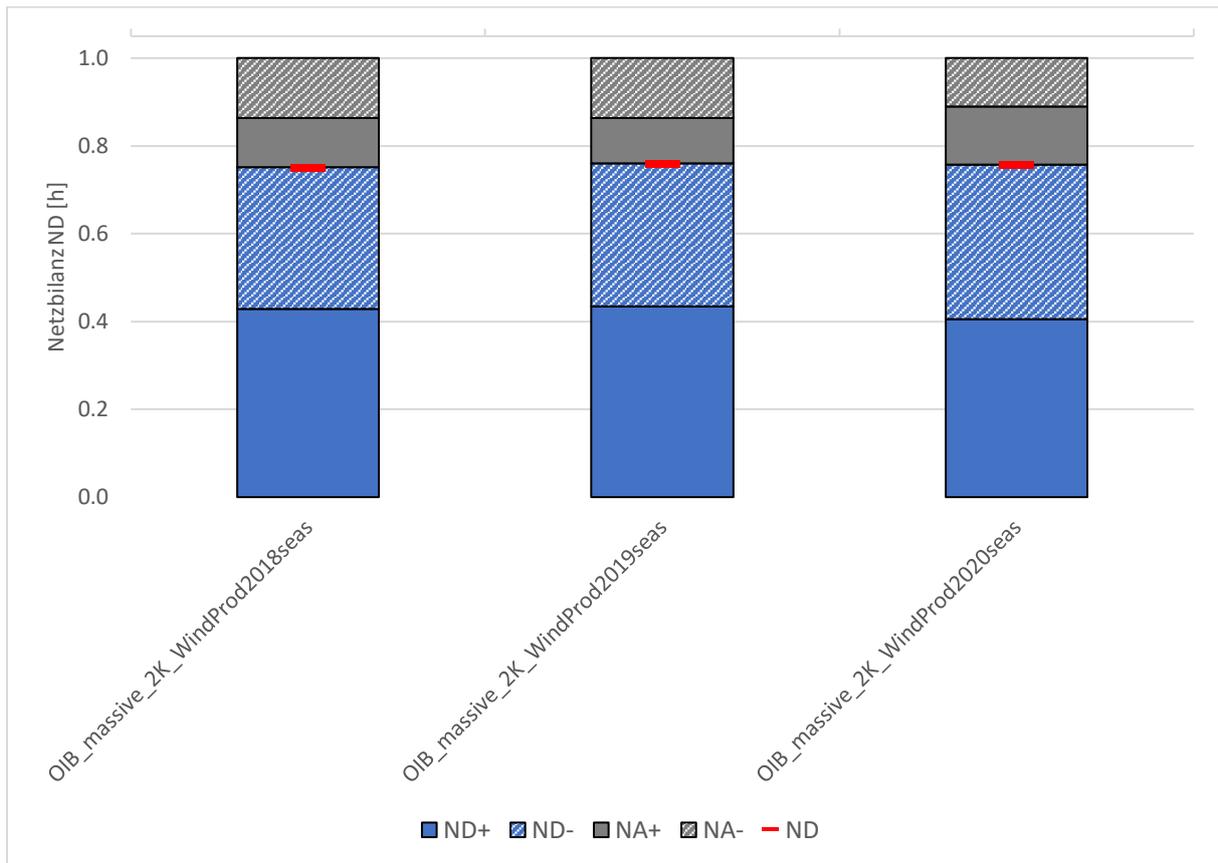


Abbildung 6-119: OIB/PH massiv, 2 K Temperaturband, saisonale Signale, 2020



Werden die unterschiedlichen Jahre der Signale verglichen, welche sich durchaus durch deren jährliche Verteilung sowie Jahressummen unterscheiden, sind marginale bis keine Unterschiede auszumachen. Repräsentativ dafür steht das in Abbildung 6-120 dargestellte Signal der Windproduktion für die Jahre 2018 bis 2020.

Abbildung 6-120: OIB massiv, 2 K Temperaturband, Windproduktion 2018, 2019, 2020



6.5.5 CO₂-Intensität als Netzsignal

Für die Bewertung unterschiedlicher Gebäudestandards und insbesondere deren Energieflexibilitätsoptionen wird die Beispielwohnung in unterschiedlichen Bauweisen, Wärmeschutzstandards und Wärmeabgabevarianten untersucht.

Für die Komfortbewertung wird das aus den Untersuchungen in Kap. 4 abgeleitete dynamische Komfortmodell auf der Basis von Schweiker herangezogen. Es wird Klasse II mit maximal 3% Überschreitungshäufigkeit als Grenzwert herangezogen. Die Überschreitungshäufigkeit von Klasse I wird ebenfalls dargestellt.

Für das Wohngebäude aus dem Quartier Werft wurden durch Simulation die folgenden Kennwerte ermittelt:

- Niedrigstenergiegebäude (ca. 16 bis 25 kWh/m²a Heizwärmebedarf und 3 bis 8 kWh/m²a Kühlbedarf für unterschiedliche Jahre)
- Bestandsgebäude (Heizwärmebedarf ca. Faktor 5 im Vergleich zum Niedrigstenergiegebäude, Kühlen leicht reduziert)

Abbildung 6-121: Komfortauswertung Jahr 1.9.2016 bis 31.8.2017, Schwere Bauweise mit Bauteilaktivierung

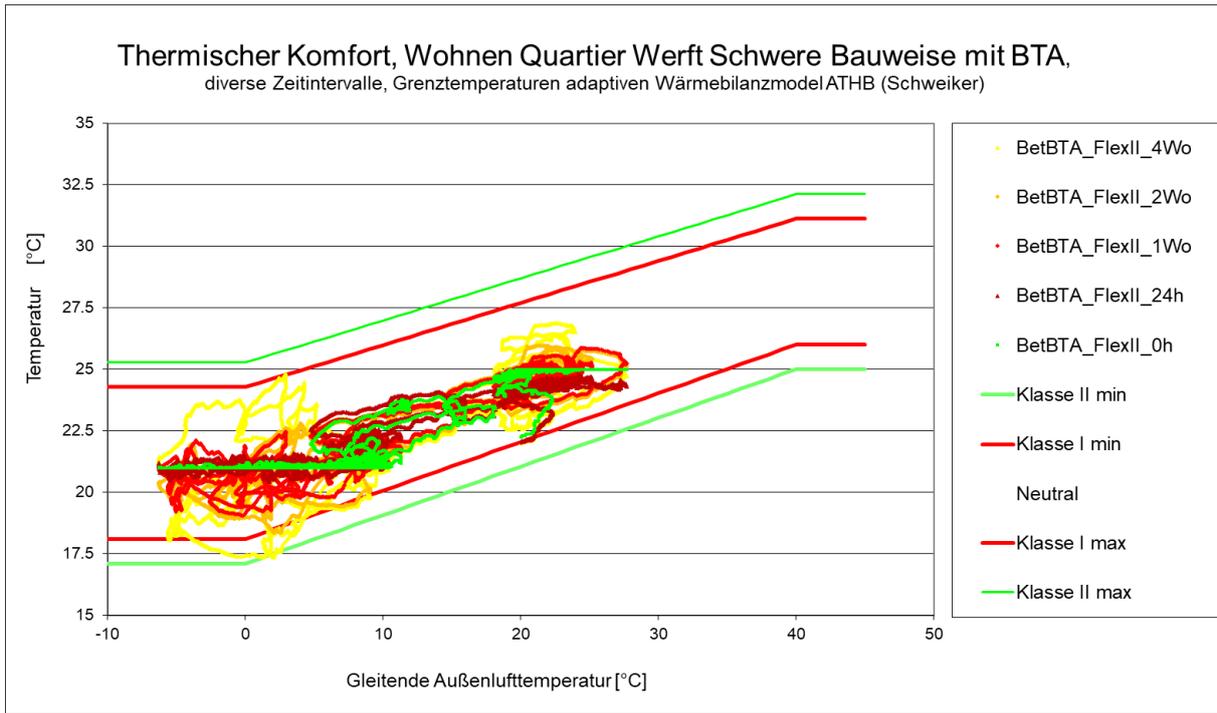


Abbildung 6-122: Einsparung CO_{2,eq} Emissionen durch Energieflexibilität, thermischer Komfort Niedrigstenergiegebäude 1.9.2016 bis 31.8.2017

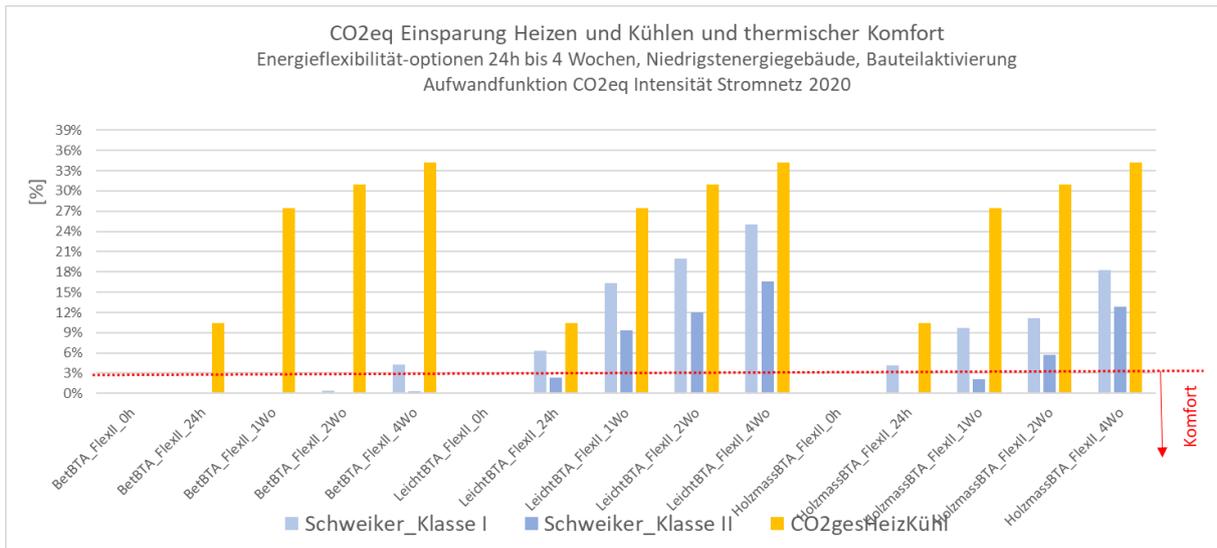


Abbildung 6-123: Einsparung CO_{2,eq} Emissionen durch Energieflexibilität, thermischer Komfort
Niedrigstenergiegebäude 2019

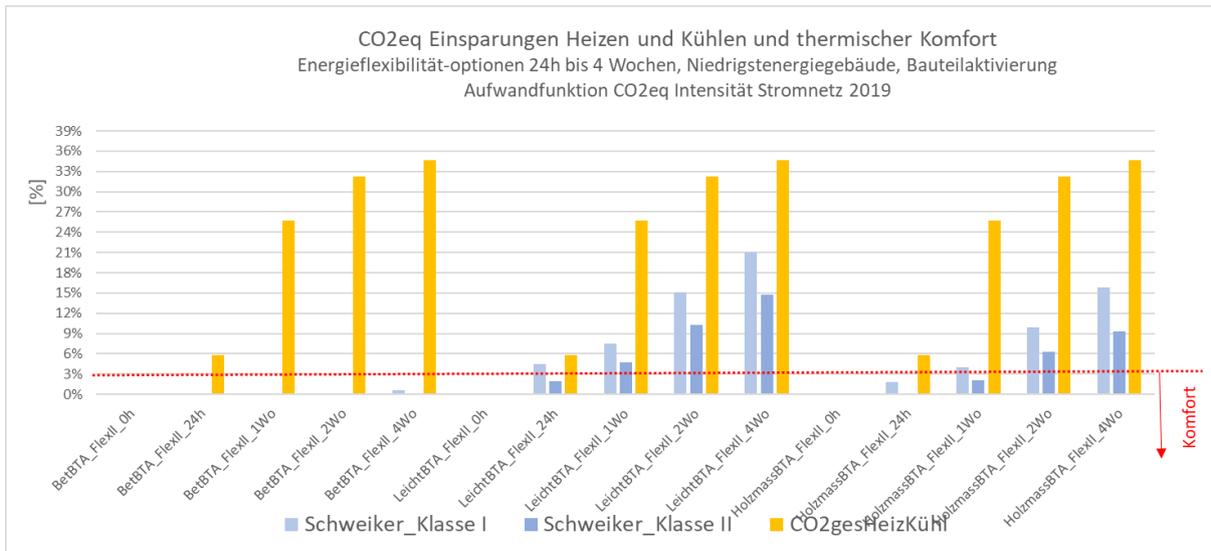


Abbildung 6-124: Einsparung CO_{2,eq} Emissionen durch Energieflexibilität, thermischer Komfort
Niedrigstenergiegebäude 2020

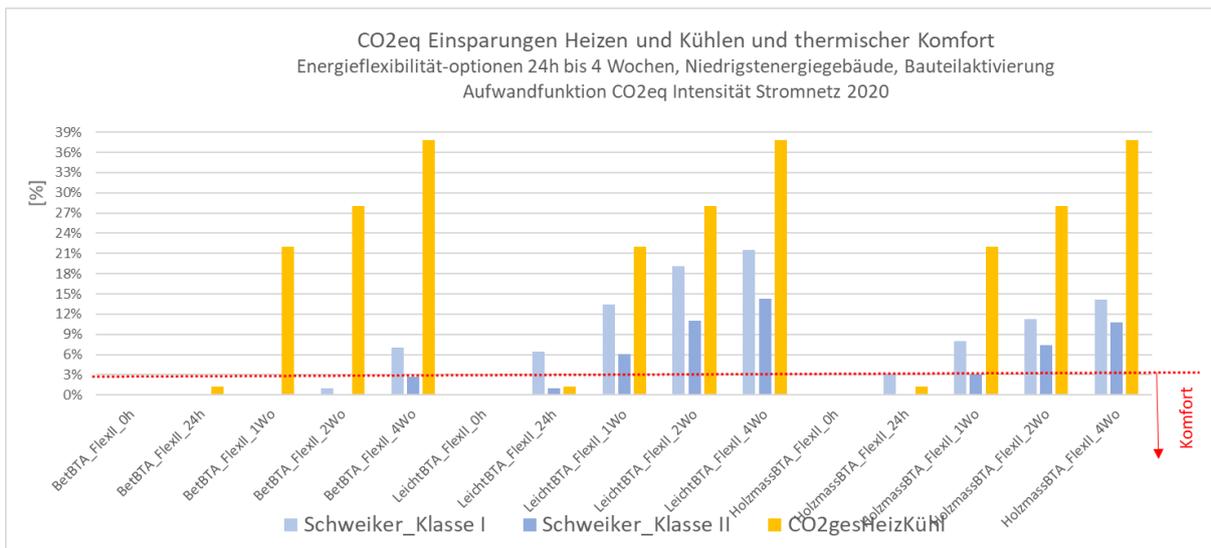


Abbildung 6-125: Einsparung CO_{2,eq} Emissionen durch Energieflexibilität, thermischer Komfort Niedrigstenergiegebäude 2021

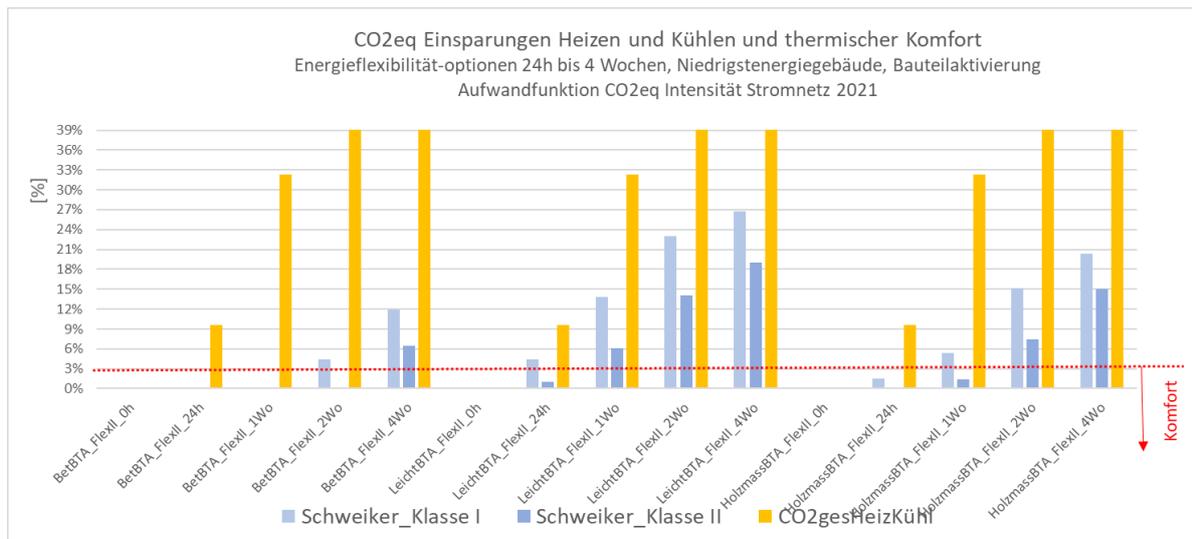
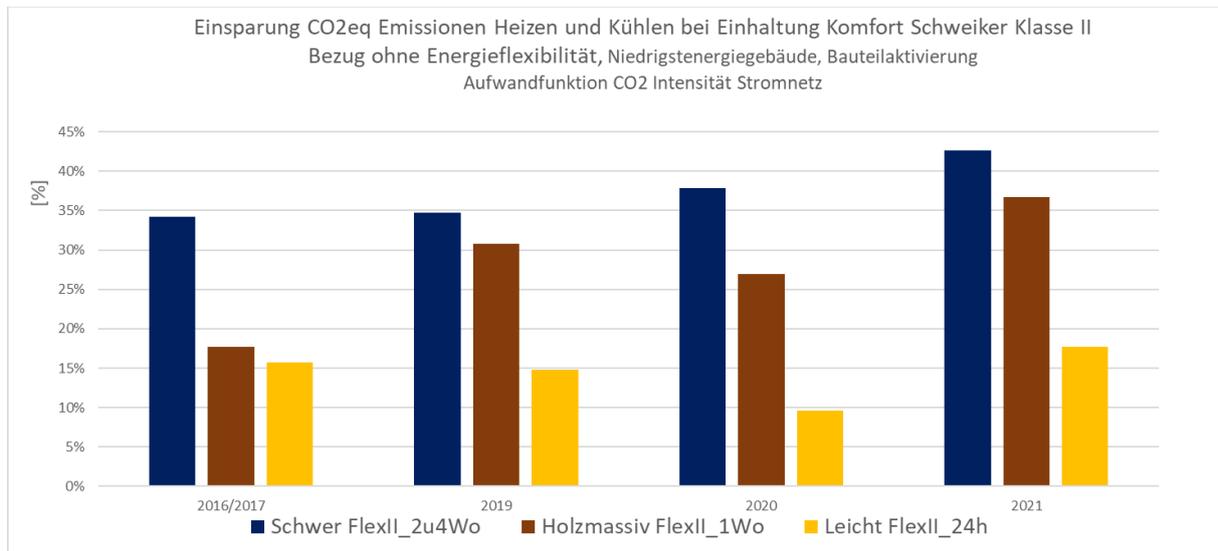


Abbildung 6-126: Überblick Einsparungen bei Einhaltung Komfortgrenze Schweiker Klasse II

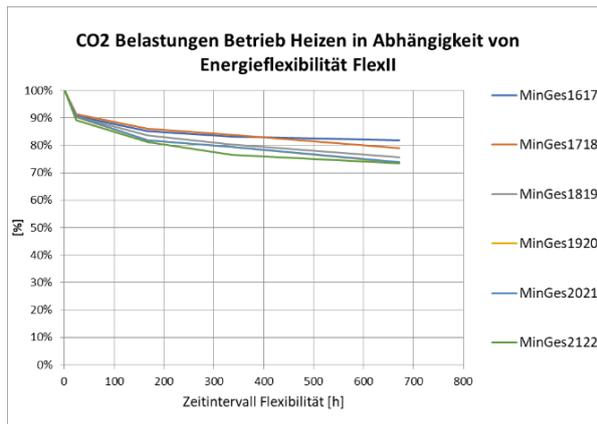


Folgerung:

- Mit einer schweren Bauweise können auch bei vier Wochen-Intervallen die Komfortgrenzen Schweiker_Klasse II eingehalten werden
- Im Fall der sehr leichten Bauweise ist eine flexible Allokation nur über 24 Stunden möglich, die Einsparungen liegen zwischen 25 % und 40 % im Vergleich zu einer sehr schweren Bauweise
- Die Holzmassivbauweise liegt dazwischen, wobei sich die Einsparung zwischen den einzelnen Jahren stark unterscheiden

Im Vergleich zu dem betrachteten guten Wärmeschutz reduzieren sich die relativen CO₂-Einsparungen mit steigenden Wärmeverlusten, wie in den Abbildung 6-127 ersichtlich.

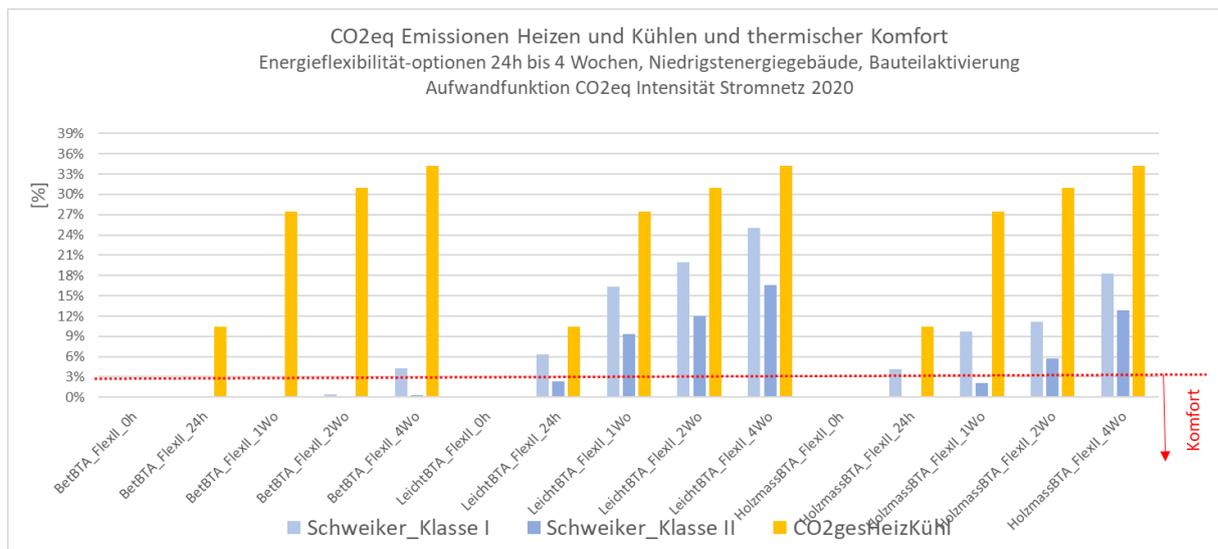
Abbildung 6-127: Beispiele für schwere Bauweise Bestandgebäude



Die Einsparung der CO₂-Emissionen reduziert sich von maximal 40 % bei sehr gutem Wärmeschutzstandard auf 20 % bei einem sehr niedrigen. Die absoluten Einsparungen sind in letzterem Fall deutlich höher, bei ähnlichem thermischem Komfort.

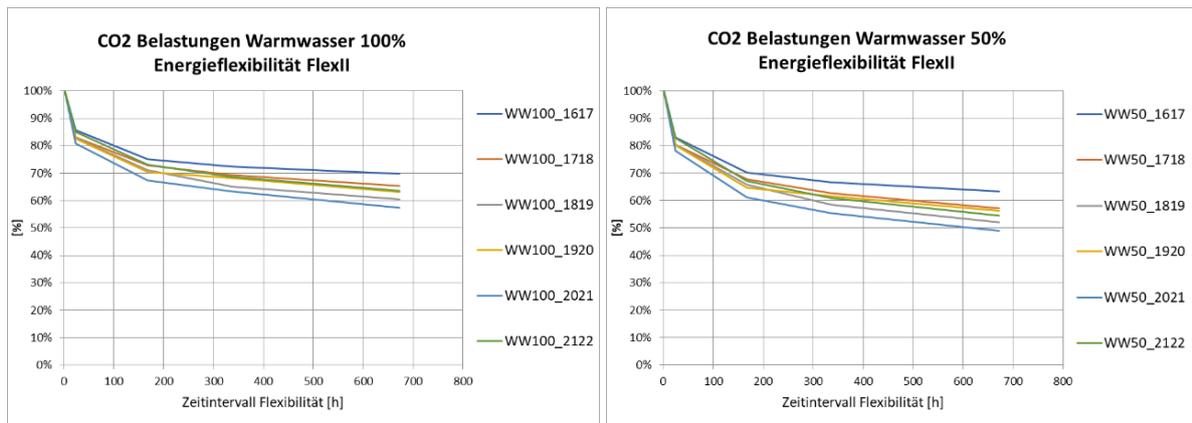
Ein Beispiel des thermischen Komforts für die Variante Bestand wird in Abbildung 6-128 für 2020 dargestellt.

Abbildung 6-128: Einsparung CO₂ Heizen und Kühlen und thermischer Komfort für den mittleren Wärmeschutzstandard



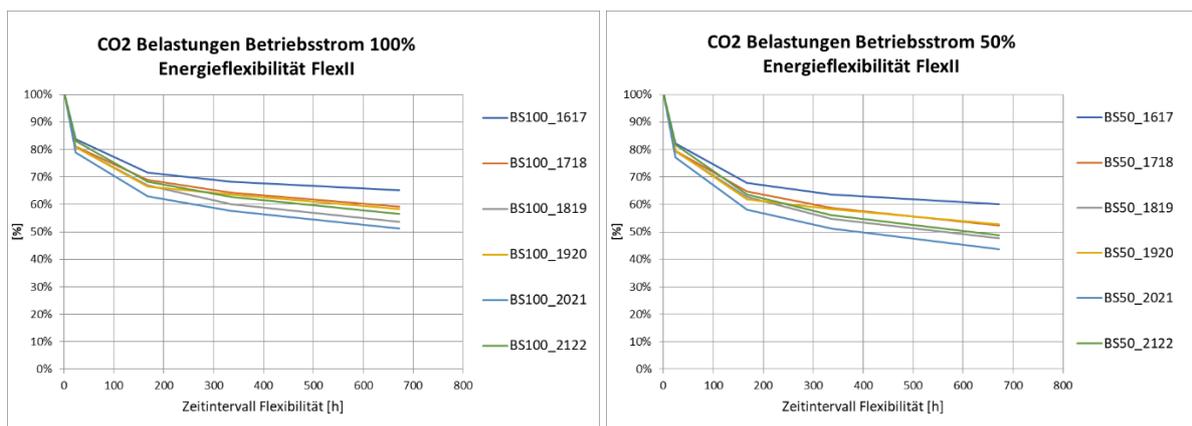
Für den Warmwasserbedarf ergeben sich für unterschiedliche Suffizienzstufen und Intervalle die Reduktionen an CO_{2,eq} gemäß Abbildung 6-129.

Abbildung 6-129: CO₂-Emissionen Warmwasserbedarf in Abhängigkeit von absoluter Höhe und Energieflexibilität



Für den Haushaltsstrom inkl. Allgemeinstrom ergeben sich die in Abbildung 6-130 dargestellten CO₂-Einsparungen.

Abbildung 6-130: CO₂-Emissionen Betriebsstrom, bzw. Haushaltsstrom inkl. Allgemeinstrom in Abhängigkeit von absoluter Höhe und Energieflexibilität

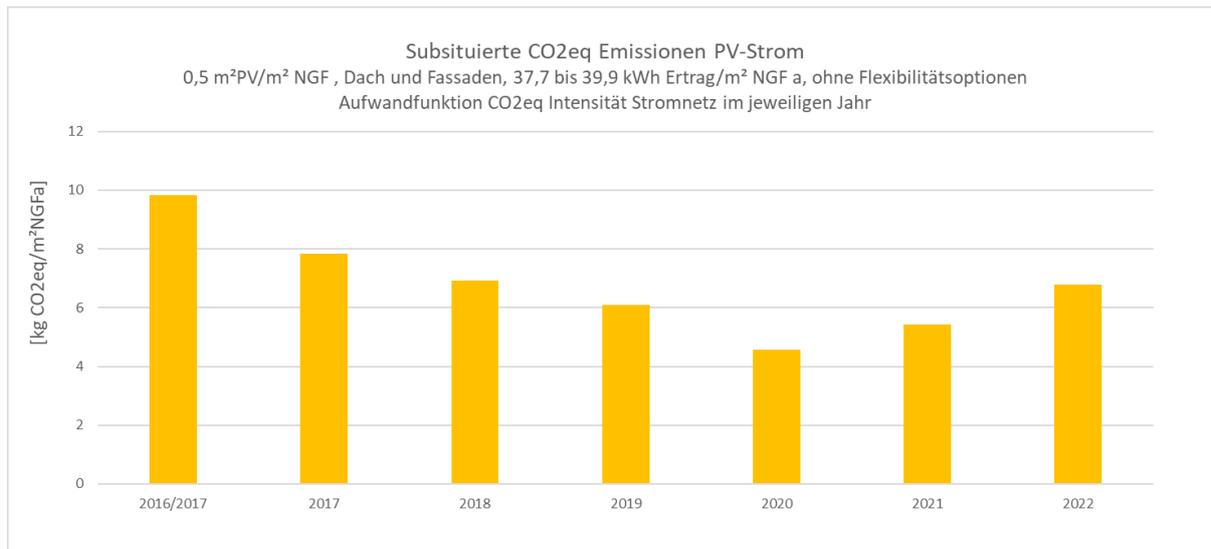


Die Einsparungen sind signifikant, allerdings in den längeren Zeitintervallen sicherlich unrealistisch. Deutlich wird in beiden Fällen, dass die starken Reduktionen in den ersten beiden Zeitintervallen liegen. Dies liegt einerseits an der ausgeprägten Tag/Nacht- und Werktag/Wochenende-Struktur des Gesamtstromverbrauchs, aber auch in den typischen Zeitverläufen von Wind- und Solarkraft. Für eine Darstellung aller Energiebedarfe des Gebäudes (ohne E-Cars) wurden daher die folgenden maximalen Zeitintervalle angenommen:

- Warmwasserbedarf: 1 Woche
- Haushaltsstrom: 50 % 1 Woche, der Rest 0 h

Zusätzlich wurde eine (flächenmäßig maximierte) PV-Anlage mit insgesamt $0,5 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ am Dach und an der Fassade angenommen. Diese ergibt insgesamt in den betrachteten Jahren das in Abbildung 6-131 dargestellt CO_{2,eq}-Substitutionspotential.

Abbildung 6-131: Substituierte CO_{2,eq}-Emissionen durch den erzeugten PV-Strom am Gebäude



Kommentar

- Die Substitutionspotentiale hängen weniger von der Solareinstrahlung in den jeweiligen Jahren ab, sondern vor allem von der Dynamik der CO₂-Intensitäten
- Mit einer elektrischen Batterie könnte zumindest ein Teil des erzeugten PV-Stroms in Stunden mit ungünstigen CO_{2,eq}-Intensitäten geschoben werden

Stellt man für die betrachteten beiden baulichen Varianten eine effiziente Bedarfsvariante für den Warmwasser- und den Betriebsstrombedarf (Haushaltsstrom + Alltagsstrom) mit 50 % Reduktion an die Seite, ergeben sich die in Abbildung 6-132 dargestellten Gesamt-CO_{2,eq} Emissionen, bzw. vermiedene Emissionen für 2020.

Abbildung 6-132: Bestandsgebäude gesamter Betriebsstrom mit durchschnittlichem Warmwasser- und Betriebsstrombedarf, negative Kennwerte Substitution in Stromnetz

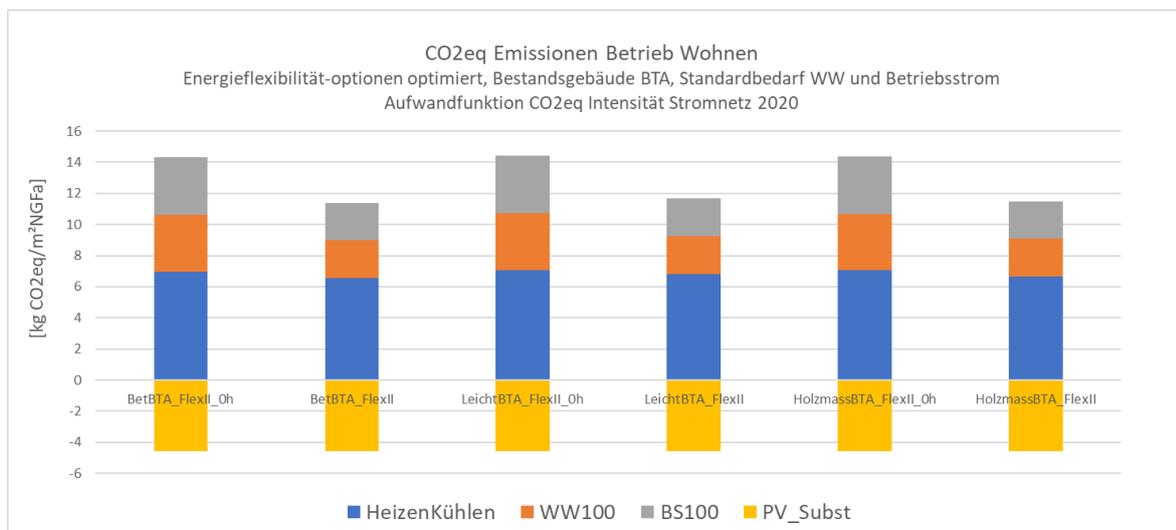


Abbildung 6-133: Niedrigstenergiegebäude gesamter Betriebsstrom mit durchschnittlichem Warmwasser- und Betriebsstrombedarf, negative Kennwerte Substitution in Stromnetz

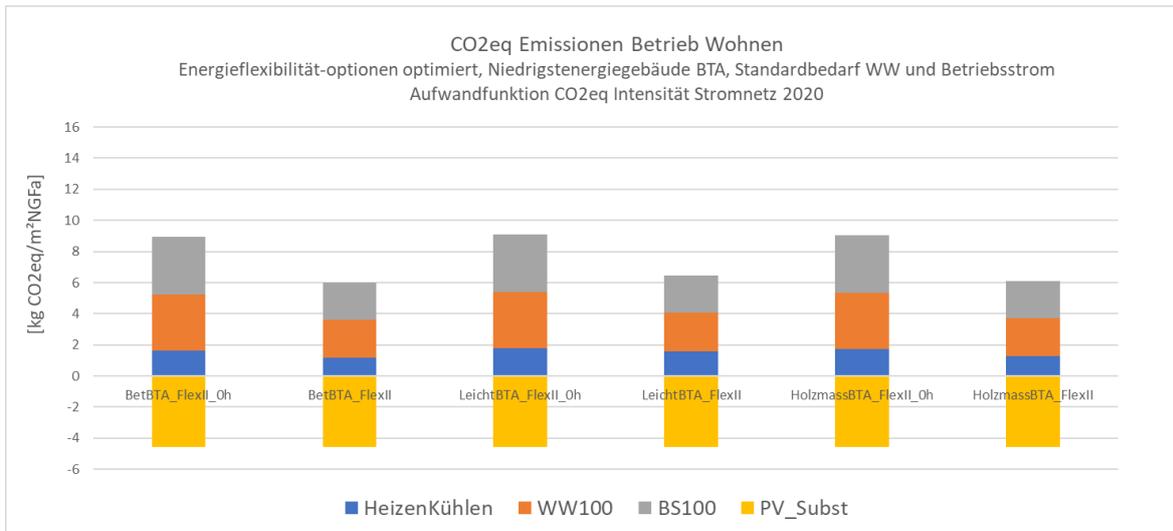


Abbildung 6-134: Bestandsgebäude gesamter Betriebsstrom mit 50 % Warmwasser- und Betriebsstrombedarf, negative Kennwerte Substitution in Stromnetz

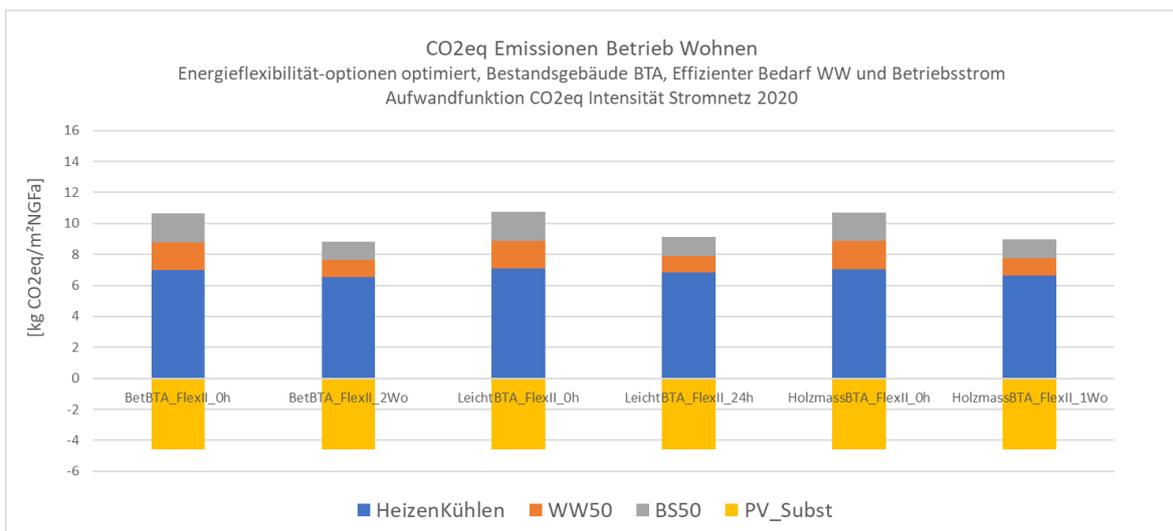
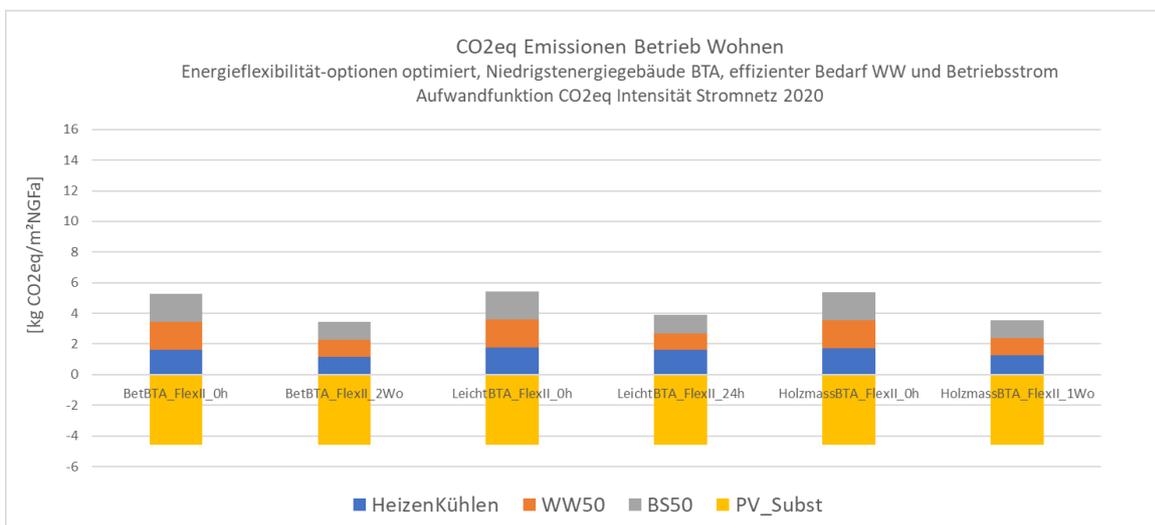


Abbildung 6-135: Niedrigstenergiegebäude gesamter Betriebsstrom mit 50 % Warmwasser- und Betriebsstrombedarf, negative Kennwerte Substitution in Stromnetz



Nur im Fall einer effizienten Gebäudehülle sowie effizienten wie suffizienten WW und Betriebsstrom inkl. Energieflexibilität liegen die Gesamt CO_{2,eq}-Emissionen unterhalb des Substitutionspotentials des erzeugten PV-Stroms. In den anderen Jahren ist der Zusammenhang ähnlich.

Das bedeutet, dass mit den Maßnahmen Plusenergiequartier und einer energieflexiblen CO_{2,eq} geführten Regelung der Energiedienstleistungen stündlich klimaneutrales Quartier möglich ist.

6.6 Diskussion

Anwendung der Flexibilitätssignale (Kapitel 6.5)

Für die Bewertung der Auswirkungen der Anwendung der erstellten Signale ist es wesentlich, die gesamte Bilanz der Stunden in einer Heiz- oder Kühlsaison zu betrachten, da auch ein bewusstes Nicht-Heizen/-Kühlen einen netzdienlichen Effekt haben kann. Für die Signalnutzung im Sinne der Netzdienlichkeit und der Flexibilitätsnutzung ist es wesentlich, die Gebäudecharakteristik aus Simulationen oder Messdaten einschätzen zu können. Ebenso vorteilhaft sind prädiktive Modelle für die zukünftigen Verläufe von Profilen.

Hinsichtlich dieser Kenntnis des Verhaltens des Gebäudes hat sich vor allem gezeigt, dass die Synthetisierung der Signale anhand einer saisonalen Teilung Optimierungsbedarf, vorweist. In einer praktischen Anwendung könnte dies mithilfe von datengetriebenen/maschinellen Lernmodellen bzw. modellprädiktiven Steuerungen realisiert werden. Dennoch zeichnet sich die prognose- und lernunabhängige Signalerstellung durch die Einfachheit aus und kann nach Verbesserungen im Ansatz zu einer sinnvollen Methode führen.

Unabhängig von originalen oder saisonalen Signalen zeigt sich, dass es generell gut möglich ist durch die Analyse des Aufheiz- und Abkühlverhaltens entsprechende Signale zu erhalten, was sich durch den Vergleich der PH- und OIB-Varianten gezeigt hat. Voraussetzung dafür ist eine geeignete Netzdienlichkeits-Bewertung.

Hinsichtlich des Temperaturbandes zeigt sich ein signifikanter netzdienlicher Vorteil durch die Anwendung von solch einer DSM-Maßnahme. Beim untersuchten Signal liegt bereits ab 1 K Temperaturband ein entscheidender Anstieg an Netzdienlichkeit vor.

Ein Vergleich hoher und niedriger Wärmeschutzstandards sowie thermisch aktivierbarer Bauteilmassen und der daraus resultierenden Aufheiz/Abkühlzeiten zeigt, dass das nutzbare Temperaturband beim Aufheizen von der Signallänge und beim Abkühlen von der Signalfrequenz nach oben hin beschränkt ist.

Das heißt, dass gut gedämmte, schwere Gebäude mit nicht allzu stark erhöhter Heizleistung bei kurzfrequenten Signalen nur ein geringes Temperaturband nutzen müssen, während Gebäude mit kürzeren Abkühlzeiten größere Bänder zur Nutzung desselben Signals benötigen.

Letztlich geht hervor, dass neben den Gebäudevarianten auch für die Jahre des Signals die These gültig ist, dass der gewählte Ansatz hier sinnvoll ist, da marginale bis keine Unterschiede bei der Anwendung der Signale unterschiedlicher Jahre auftreten. Das bedeutet, dass hier ebenso die Universalität des Ansatzes gegeben ist und für eine Anwendung in modellprädiktiven Steuerungen geeignet sein kann.

7 Schlussfolgerungen

7.1.1 Sozialwissenschaftliche Erhebungen

Die sozialwissenschaftlichen Erhebungen im Projekt konnten trotz der Widrigkeiten, die sich im Rahmen der COVID-19 Pandemie, speziell im Bereich der Befragungen und experimentellen Settings, ergaben erfolgreich umgesetzt werden. Entscheidend dafür waren einerseits methodisch und inhaltlich langfristig geplante Abläufe und andererseits die Begleitung der Prozesse durch den externen Projektbeirat.

Durch die Umsetzung der empirischen Forschungsprozesse im Sinne paralleler Prozesse – Expert:innen, Bewohner:innen, Bedarfsträger:innen – und auf einander aufbauender Untersuchungen konnten umfassende Schlussfolgerungen zu Erwartungen, Erfahrungen und Akzeptanz abgeleitet werden. Innovative und intelligente Gebäudetechnologien müssen im soziotechnischen Kontext der eingesetzten Technologien auf ihre Implikationen für die Bedürfnisträger:innen erforscht werden.

Vor allem im Bereich der Automatisierung und Fremdsteuerung gilt es, heterogenes Nutzer:innenverhalten sowie die Vorbehalte und Erwartungen der Endnutzer:innen hinsichtlich Flexibilisierungsmaßnahmen messbar zu machen und in die Wohnkomfortgestaltung mit einzubeziehen, um so letztlich die Akzeptanz zu erhöhen. Die Einbindung der Endnutzer:innen in den Prozess der technischen Implementierung kann entsprechend unterstützend bei Sensibilisierung und Information wirken. Eine Bestärkung des sozialen Zusammenhalts und der Kommunikation unter den Bewohner:innen im Gebäude, und letztlich auch im Wohnquartier, fördert nach den Ergebnissen des Forschungsprojekts darüber hinaus den Austausch und die gegenseitige Unterstützung bei der Umsetzung nachhaltiger Verhaltensweisen.

Die Fallstudie bietet einen ersten Einblick in die subjektiven Einstellungen und Erfahrungen der Nutzer:innen mit neuen Technologien sowie in die Planung dieser Maßnahmen aus Sicht der Expert:innen. Es gibt einen Bedarf an zusätzlicher Forschung nicht nur in Bezug auf die Repräsentativität des vorhandenen Datenmaterials. Es ist notwendig, die Faktoren empirisch zu identifizieren, die den Wohnkomfort und das Energieverhalten in energieflexiblen Gebäuden neben den unmittelbaren thermischen Bedingungen beeinflussen. Wenn ein Energiesystem auf schwankende Energiequellen ausgerichtet ist, besteht auch das Risiko, dass aufgrund von kurzfristigen Energiemangeln ein subjektiv empfundener Wohnkomfort nicht immer gewährleistet werden kann. In diesen Fällen kann zielgerichtete Information und zielgruppenadäquate Incentivierung zur Akzeptanzsteigerung beitragen.

7.1.2 Behaglichkeitsuntersuchungen

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Behaglichkeitsuntersuchungen lieferten aufgrund der unterschiedlichen Settings (Prüfbox, Versuchswohnung – homeoffice, reales Wohnumfeld) und der großen gewonnenen Datenmenge wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Aussagekraft und Anwendbarkeit bestehender Behaglichkeitsmodelle. Es zeigte sich, dass dynamische Behaglichkeitsmodelle nicht nur die Prognosegenauigkeit der derzeit verwendeten Standardmodelle in der Praxis verbessern, sondern darüber hinaus die Möglichkeit bieten, die fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen besser in die Gebäudesteuerungen zu integrieren. Die Grenzen der

stationären Behaglichkeitsmodelle sind zu eng gesetzt und ermöglichen daher bei gleichen Behaglichkeits-Votings geringere Flexibilität in der Nutzung.

7.1.3 Charakteristisch Signal-Eigenschaften: Mittlere Länge und Frequenz und Anwendung

Es gibt nicht „das richtige Signal“ für den flexiblen Quartiersbetrieb, vielmehr sind Quartiersspeicher und Signal in ihren Eigenschaften stark gekoppelt: Um die Flexibilitätspotentiale von Pluenergiequartieren bestmöglich nutzen zu können, weist das verwendete Regel-Signal idealerweise ähnliche zeitliche Charakteristika auf: Je besser die mittleren Signaldauern mit dem maximalen Zeitraum aktiver thermischer Speicherung und die mittleren Längen zwischen Signalen mit dem maximalen Zeitraum passiver thermischer Entladung zusammenpassen, umso höher der Regelgewinn in Form von vermiedenem Netzbezug zu Zeiten ohne Signal und gesteigertem Netzbezug zu Signalzeiten.

Im Rahmen des Projekts wurden heuristische Vorgangsweisen entwickelt und erfolgreich getestet, um die Signale hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit für ein bestimmtes PED zu optimieren: Dazu werden zuerst das charakteristische Verhältnis von aktiver Speicher-Beladung und passiver Speicher-Entladung ermittelt. Anschließend wird das zu verwendende kontinuierliche Signal mit einem passenden Cut-off auf dasselbe Verhältnis zwischen Signal und Nichtsignal diskretisiert. Abschließend kann das zulässige Komfortband erweitert oder reduziert und damit an die mittleren Signallängen angepasst werden.

Im Rahmen des Projekts wurden mehrere robuste Szenarien zur Signalableitung entwickelt. Aufgrund des individuell zu bewertenden Quartiersnutzbarkeit eines Signals wurde statt auf die Erstellung einheitlicher Signale, auf die Analyse und heuristische Erstellung und Optimierung der Signale abgestellt. Damit ist ein wichtiger Grundstein für die gegenseitige Wechselwirkung zwischen Netz und Gebäudesektor gelegt: In Zukunft kann das Verhalten unterschiedlicher Gebäudetypen auf Regelsignale antizipiert werden, und die verwendeten netzseitigen Regelsignale so angepasst und auf eine Anzahl flexibler Quartiere aufgeteilt werden, dass sich kollektiv ein höherer Flexibilitätsgewinn realisieren lässt, als wenn jedes Quartier auf dasselbe Signal reagieren würde.

In der Gesamtschlussfolgerung der Anwendung der entwickelten Signale muss die Wichtigkeit einer umfassenden Bewertung der Netzdienlichkeit von Signalen in Heiz- oder Kühlsaisons, unter Berücksichtigung bewussten Nicht-Heizens/-Kühlens betont werden. Die Nutzung von Signalen erfordert eine fundierte Einschätzung der Gebäudecharakteristik durch Simulationen oder Messdaten sowie prädiktive Modelle für zukünftige Profile. Die Synthetisierung saisonaler Signale zeigt Optimierungsbedarf, der durch datengetriebene/maschinelle Lernmodelle oder modellprädiktive Steuerungen adressiert werden kann. Trotzdem bleibt die prognose- und lernunabhängige Signalerstellung aufgrund ihrer Einfachheit eine sinnvolle Methode. Die Analyse des Aufheiz- und Abkühlverhaltens ermöglicht die Generierung von geeigneten Signalen unabhängig von ihrer Art, vorausgesetzt, es erfolgt eine angemessene Netzdienlichkeits-Bewertung. Die Anwendung von DSM-Maßnahmen in einem bestimmten Temperaturband zeigt signifikanten netzdienlichen Vorteil, wobei je nach Signal- und Speicherverfügbarkeit bereits ab 1 K Temperaturband eine deutliche Steigerung der Netzdienlichkeit festgestellt wird. Unterschiede in Wärmeschutzstandards und Bauteilmassen beeinflussen das nutzbare Temperaturband beim Aufheizen und Abkühlen, wobei gut gedämmte, schwere Gebäude bei kurzfrequenten Signalen ein geringeres Temperaturband nutzen müssen. Abschließend wird die Universalität des gewählten Ansatzes betont, da geringfügige Unterschiede bei

der Anwendung von Signalen aus verschiedenen Jahren auftreten, was die Eignung für modellprädiktive Steuerungen unterstreicht.

Hinsichtlich der Frage nach CO₂-Neutralität und welche Quartiers-Regelstrategie hier zielführend ist, muss zwischen der Situation heute und 2040 unterschieden werden.

7.1.4 Integration und Bewertung im Quartier

Energetisch:

Die direkte Einbindung der Netzdienlichkeitssignale als Zeitreihen im energetischen Quartiersmodell wurde erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, wie Quartiere hinsichtlich ihrer Flexibilitätsleistungen qualitativ charakterisiert und quantitativ bewertet werden können. Durch die Anwendung des abgeleiteten dynamischen Komfortmodells kann das Potential zur Reduktion von Primärenergie und Treibhausgasen deutlich effizienter genutzt werden bei akzeptabler Behaglichkeit. Die gewonnenen Erkenntnisse können zur Operationalisierung von zukünftigen Plusenergiequartiersbewertungsmodellen herangezogen werden.

Gleichzeitig zeigt sich, dass zumindest im Heizfall der Quartiersbetrieb auch mit „Proxy-Signalen“ effektiv möglich ist, also zu Zeiten, wo die österreichische Windkraftleistung einen Schwellenwert von 50% der installierten Leistung übersteigt.

Stündlich klimaneutrale Plusenergiequartiere sind mit einer CO_{2,eq} geführten Regelung der hocheffizient gedeckten Energiedienstleistungen möglich. Die Verwendung des CO_{2,eq} - Signals ist allerdings in der Praxis deutlich schwieriger zu implementieren.

Ökologisch:

In der Lebenszyklusanalyse der untersuchten Energiekonzepte hat sich einmal mehr gezeigt, wie unverzichtbar der Umstieg auf erneuerbare Energien für die Erreichung von Klimaneutralität ist. Im Lebenszyklus von Gebäuden und Quartieren sind die maximale Nutzung von Photovoltaik sowie die Sektorkopplung mit Elektromobilität die effektivsten Maßnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen sowie zur Verringerung weiterer Umweltwirkungen. Die Mitbetrachtung des fossilen Energiebedarfs für die Mobilität ist in der Lebenszyklusanalyse noch keineswegs Standard, obwohl hier die größten Optimierungspotenziale liegen. Die Belastungen aus der Errichtungsphase lassen sich am besten in der Holzmassivbauweise (für das Global Warming Potential) bzw. der Leichtbauweise (für Primärenergieindikatoren wie PENRT oder PEE sowie für das Versäuerungspotenzial) minimieren.

Ökonomisch:

Ökonomisch erweisen sich die Investitionen in die Produktion Erneuerbarer Energien (PV und Erdwärmenutzung) als die effizientesten Maßnahmen. Die Optimierung der Gebäudehülle rechnet sich bei entsprechender Förderung (die aufgrund der unterschiedlichen Regelungen in den einzelnen Bundesländern in den vorgenommenen Betrachtungen ausgeklammert wurde), wobei die Mehrkosten für Ökobauweise der angeführten Aufbauten im Projekt kaum relevant sind.

Die Batteriespeicherung zur Erhöhung der Flexibilität ist unter Voraussetzung der angenommenen Energiepreisentwicklung und der sonstigen Rahmenbedingungen ökonomisch (noch) nicht rentabel.

Die Optimierung des Mobilitätsverhaltens sowie die Erhöhung des E-Mobilitätsanteils führen zu erheblichen Einsparungen. Dabei ist aber anzumerken, dass hier lediglich die Investitionen in die E-Tankstellen berücksichtigt wurden – Neuanschaffungen von E-Fahrzeugen bzw. Minderkosten durch den Verzicht auf ein eigenes Fahrzeug sind in den Betrachtungen ausgeklammert.

8 Ausblick und Empfehlungen

Erneuerbare Energie wird künftig der Hauptbestandteil der Energieversorgung in Österreich sein. Bislang stehen normative Vorgaben bei den Anforderungen an Innenraumklimata den Potentialen dieser Energiebereitstellungsform jedoch entgegen. Es ist erforderlich, die Rahmenbedingungen an zukünftige Energieversorgungsstrategien anzupassen und zu erweitern, damit sie der Umsetzung der Energiewende nicht entgegenwirken. Weitere Überprüfungen der dynamischen Behaglichkeitsmodelle in Zusammenhang mit verschiedenen Gebäudetypen und Haustechniksystemen und der Erwartungshaltungen der Menschen an die damit ökologisch erreichbaren Innenraumklimata sind erforderlich um eine Integration in die Gebäudeleitsysteme bzw. – managementsysteme effizient zu ermöglichen.

Anwendung Flexibilitätssignale:

Die vorliegenden Erkenntnisse zur Anwendung von Flexibilitätssignalen bieten interessante Perspektiven und eine Basis für zukünftige Arbeiten im Bereich der netzdienlichen Steuerung von Gebäuden. Die Optimierung der Signalgenerierung, insbesondere durch den Einsatz datengetriebener/maschinelles Lernmodelle oder modellprädiktiver Steuerungen, stellt eine vielversprechende Richtung dar. Hierbei sollte ein Fokus darauf liegen, die Effizienz der Signalsynthesierung weiter zu verbessern, um die Netzdienlichkeit der Gebäudesteuerung zu maximieren.

Eine mögliche Weiterentwicklung könnte auch in der Integration von dynamischen Aspekten liegen, um auf kurzfristige Veränderungen im Netz reagieren zu können. Dies könnte durch die Berücksichtigung von Echtzeitdaten oder sich ändernden Umweltbedingungen erfolgen. Darüber hinaus könnte die Anpassung der Steuerungsstrategien an unterschiedliche Gebäudeprofile und -typen weiter erforscht werden, um eine breitere Anwendbarkeit sicherzustellen.

1. **Verbesserung der Signalgenerierung:** Es wird empfohlen, die Signalgenerierung durch den Einsatz fortschrittlicherer Methoden, wie datengetriebener Modelle oder modellprädiktiver Steuerungen, zu optimieren, um die Netzdienlichkeit weiter zu steigern.
2. **Integration von Echtzeitdaten:** Zukünftige Arbeiten könnten die Integration von Echtzeitdaten für eine dynamischere Anpassung der Steuerungsstrategien in Betracht ziehen, um auf kurzfristige Netzveränderungen reagieren zu können.
3. **Anpassung an verschiedene Gebäudeprofile:** Die Untersuchung und Anpassung der entwickelten Steuerungsstrategien an verschiedene Gebäudeprofile und -typen sollte weiter erforscht werden, um eine breite Anwendbarkeit zu gewährleisten.
4. **Berücksichtigung von Umweltbedingungen:** Die Berücksichtigung von sich ändernden Umweltbedingungen könnte ebenfalls in Betracht gezogen werden, um die Steuerungsstrategien an die realen Bedingungen anzupassen.
5. **Validierung in der Praxis:** Es ist ratsam, die entwickelten Steuerungsansätze in realen Gebäuden zu validieren, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse und die Praktikabilität in der realen Welt zu gewährleisten.

9 Verzeichnisse

Abbildung 4-1: Zusammenhänge im erweiterten ATBH-Modell von Schweiker (Schweiker, 2022)	18
Abbildung 4-2: Neutrale operative Temperatur für drei wesentliche Komfortmodelle: Wärmebilanzmodell („Fanger“), adaptives Modell und adaptives Wärmebilanzmodell ATHB („Schweiker“). Das Wärmebilanzmodell berücksichtigt nicht explizit die Außenkonditionen, allerdings ergeben sich durch die hier gewählten typischen Bekleidungsstärken von 0,75 clo im Winter und 0,5 clo im Sommer und typischer Raumluftfeuchten und Luftgeschwindigkeiten nicht klimatisierter Räume entsprechend unterschiedliche neutrale Temperaturen.....	19
Abbildung 4-3: ursprüngliches Prozessdesign der Nutzer:innen- und Stakeholdereinbindung.....	21
Abbildung 4-4: relevante Stakeholder im Kontext der Fragestellungen im Projekt Flucco+ (Wagner, 2020)	21
Abbildung 4-5: ACR Prüfbox Außenansicht	23
Abbildung 4-6: ACR Prüfbox innen (Testraum)	23
Abbildung 4-7: Schema des Messbaumes zur Erhebung raumklimatischer und CO ₂ -Daten in der Prüfbox	24
Abbildung 4-8: Schematischer Verlauf der operativen Temperatur im Untersuchungsraum der Prüfbox	24
Abbildung 4-9: Gemessener Verlauf der operativen Temperatur im Untersuchungsraum der Prüfbox über drei Tage	25
Abbildung 4-10: Messgerät zur Erhebung von Innenraumlufttemperatur, -feuchtigkeit und CO ₂ -Konzentration (umidus). Inkl. Schnittstelle zu openWeather-Daten zur Integration von Außenlufttemperatur und -feuchtigkeit. Ein implementierter Fragebogen ermöglicht die Abfrage von Daten zur Behaglichkeit. Sämtliche Daten werden bei bestehender WLAN- bzw. GSM-Verbindung in eine Mess-Cloud übertragen.....	26
Abbildung 4-11: 1220 Wien, Mühlgrundgasse 24/26 (MGG22).....	27
Abbildung 4-12: Testwohnung MGG22.....	27
Abbildung 4-13: Grundriss der Messwohnung mit Positionierung der Messgeräte und Sensoren	27
Abbildung 4-14: generelle Fragen zur Energieeinstellung (Geblergasse, n=7) (Mlinaric, 2020)	31
Abbildung 4-15: Primäre Gründe aus denen im Haushalt auf den Energieverbrauch geachtet wird (Geblergasse, n=7) (Mlinaric, 2020).....	32
Abbildung 4-16: Bereiche im Wohnumfeld bei denen sich die Befragten vorstellen können sie automatisiert steuern zu lassen (Geblergasse, n=7) (Mlinaric, 2020)	32
Abbildung 4-17: Moralische Verpflichtung, umweltbewusst zu leben n=12 (Zechmeister, 2020)	33

Abbildung 4-18: Thermischer Komfort im Zeitverlauf unter Berücksichtigung von Innen- und Außentemperatur (Winter, 2022)	35
Abbildung 4-19: Thermische Behaglichkeit in Verbindung mit Temperaturen an Decke, Außenwand und Boden (Winter, 2022)	36
Abbildung 4-20: Bewertung des thermischen Komforts in unterschiedlichen Körperregionen im Vergleich zur Raumtemperatur. Normbereich entspricht Klasse B, bzw. II (Winter, 2022)	37
Abbildung 4-21: Vergleich der mittleren Oberflächen- und Lufttemperaturen mit dem thermischen Empfinden (Fanger) (Winter, 2022).....	42
Abbildung 4-22: Vergleich der mittleren Oberflächen- und Lufttemperaturen mit dem thermischen Komfort (Winter, 2022).....	45
Abbildung 4-23: Vergleich der mittleren Oberflächen- und Lufttemperaturen mit der thermischen Akzeptanz im Bereich „Wintertemperaturen“ (Winter, 2022)	48
Abbildung 4-24: Vergleich der mittleren Oberflächen- und Lufttemperaturen mit der thermischen Präferenz (Winter, 2022)	48
Abbildung 4-25: Vergleich der gemessenen Raumlufthtemperatur mit dem thermischen Empfinden (Variable: thermisches Wohlbefinden bzw. Empfinden in den Datensätzen) und den realen Clothing-Faktoren (Winter, 2022).....	49
Abbildung 4-26: Vergleich der gemessenen Raumlufthtemperatur mit dem thermischen Empfinden (Wohlbefinden) in Abhängigkeit von der metabolischen Rate (Winter, 2022).....	50
Abbildung 4.27: Temperaturempfinden in Abhängigkeit von der Temperatur und der Temperaturdifferenz zum Zeitpunkt der Bewertung davor.....	51
Abbildung 4.28: PMV über den Temperaturdifferenzen	51
Abbildung 4.29: Blick von unten. Links ist der „Buckel zu erkennen und rechts die umgekehrte Krümmung.....	52
Abbildung 4.30: Die Temperaturbewertungen werden für höhere Temperaturen unabhängig von der Temperaturdifferenz (Farbverlauf wird gleichmäßiger über die Temperaturdifferenzen)	52
Abbildung 4-31: Temperaturverlauf im Wohnzimmer (rot) von Ende April 2021 bis Ende September 2021 und der Außentemperatur. Das Gebäude funktioniert im Sommer und in der Übergangszeit sehr gut.....	53
Abbildung 4-32: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. Es wurden nur Messzeitpunkte abgebildet, an welchen auch eine persönliche Bewertung durchgeführt wurde. Die Werte außerhalb von Kategorie 2 sind auf niedrige Temperaturen bei sehr hohen Außentemperaturen zurückzuführen.....	54
Abbildung 4-33: Temperaturverlauf im Wohnzimmer (rot) von Mai 2021 bis Ende Oktober 2023 und der Außentemperatur. Das Gebäude funktioniert im Sommer und in der Übergangszeit sehr gut.	55

Abbildung 4-34: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. 4 % der Werte liegen außerhalb der Kategorie 2, was auf zu hohe Temperaturen im Winter zurückzuführen ist. Dies liegt daran, dass die Temperaturen generell bei ca. 25°C im Mittel das ganze Jahr hindurch liegen.....	55
Abbildung 4-35: Temperaturverlauf im Wohnzimmer (rot) von Ende April 2021 bis Ende September 2021 und der Außentemperatur. Das Gebäude funktioniert im Sommer und in der Übergangszeit sehr gut.....	56
Abbildung 4-36: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. 1 % der Werte liegen außerhalb der Kategorie 2	56
Abbildung 4-37: Temperaturverlauf im Wohnzimmer (rot) von Mitte Mai 2021 bis Ende Oktober 2021 und der Außentemperatur. Das Gebäude funktioniert im Sommer und in der Übergangszeit sehr gut.	57
Abbildung 4-38: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. 5 % der Werte liegen außerhalb von Kategorie 2	57
Abbildung 4-39: Temperaturverläufe am Schreibtisch in der Versuchs-Wohnung während der „Aufheiz- und Abkühllexperimente“ und der Außentemperatur im Zeitraum Februar bis April 2022.	58
Abbildung 4-40: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. Die einzelnen sehr hohen Temperaturen sind auf die direkte solare Einstrahlung auf den Schreibtisch zurückzuführen .	59
Abbildung 4-41: Temperaturverläufe am Arbeitsplatz (Sitzplatz der Proband:innen im Zeitraum der Untersuchungen) in der Versuchs-Wohnung im Sommer 2022 und der Außentemperatur. Die gut funktionierende Bauteilkühlung ist u.a. in der Hitzeperiode im Juli deutlich zu erkennen.....	60
Abbildung 4-42: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. Die einzelnen sehr hohen Temperaturen sind auf die direkte solare Einstrahlung auf den Schreibtisch zurückzuführen. Durch Reduktion der Kühlung könnte die Kategorienstatistik noch verbessert werden	60
Abbildung 4-43: Auswertung nach ÖNORM EN 16798-1 mit Kategorienstatistik. Es sind nur jene Messpunkte abgebildet, bei welchen Personen anwesend waren, und eine Bewertung des Innenraumklimas stattfand.....	61
Abbildung 5-1: Schematische Darstellung passender Signale.....	66
Abbildung 5-2: „Ideales“ Laden und Entladen der Speichermasse innerhalb eines 5K Temperaturbandes im Heizfall (2018, Massivbauweise).....	67
Abbildung 5-3: Methodisches Vorgehen.....	69
Abbildung 5-4: Stromerzeugung gemäß aufbereiteter Szenarien, jeweils aufgeteilt nach erneuerbaren Energieträgern.....	70
Abbildung 5-5: Aus Electricity Maps abgeleitete Zeitreihen für den österreichischen Stromverbrauch 2015-2019. Oben: Jahressumme, unten: Wochenmittel.....	72
Abbildung 5-6: Datenlücken in den historischen Electricity Maps Maps Zeitreihen (cyan)	73

Abbildung 5-7: Primärenergiefaktoren auf Basis (Stolz & Frischknecht, 2017) und eigene Analyse	74
Abbildung 5-8: Beispielhafte Transformationen: Täglich (oben), Wöchentlich (Mitte), Jährlich (unten) in jeweils einer Tagesansicht (links), Wochenansicht (Mitte) und Jahresansicht (rechts).....	75
Abbildung 5-9: Intraday-Prognose, die tatsächliche Produktionsleistung durch Windkraft und die daraus resultierende Prognosedifferenz für einen exemplarische Jännertag. Viertelstündliche Werte aggregiert zu stündlichen Werten, Jahr 2018 (erstellt aus (Austrian Power Grid AG, 2023b), (Austrian Power Grid AG, 2023a)	76
Abbildung 5-10: schematische Darstellung der Herangehensweise zur Signalbildung aus Differenzen in Windprognosen	76
Abbildung 5-11: Vergleich stündlicher Emissionsintensitäten der Stromversorgung laut Electricity Maps und monatlich gemittelter Werte der OIB RL6- im Entwurf 2019.....	77
Abbildung 5-12: Stündliche Emissionsintensitäten (Electricity Maps), sowie Tages- und Wochenmittelwerte ggü. dem Jahresmittel der OIB RL-6 im Entwurf 2019.....	78
Abbildung 5-13: Durchschnittliche Emissionsintensität, Produktion und Verbrauch von Elektrizität in Österreich 2015-2019 gemäß Electricity Maps	79
Abbildung 5-14: Verhältnis zwischen Produktions- und Verbrauchsintensität europäischer Länder im Kontext ihrer Erneuerbaren Erzeugung. Quelle: (Tranberg et al., 2019)	80
Abbildung 5-15: Zeitliche Korrelation zwischen Emissionsintensität (grau/schwarz) und Residuallast RES _{VOL} (Wind, PV, Laufwasserkraft).....	80
Abbildung 5-16: Korrelation zwischen THG-Emissionen und Residuallast RES _{VOL} (Wind, PV, Laufwasserkraft) mit linearem und quadratischem Fit.....	81
Abbildung 5-17: PE-Konversionsfaktoren Vergleich laut OIB RL6 (oben) und Electricity Maps Zeitreihen	81
Abbildung 5-18: Stündliche (oben) und wöchentlich gemittelte (unten) Primärenergie-Konversionsfaktoren der historischen Electricity Maps Daten für Österreich.....	82
Abbildung 5-19: Leistung der Windkraftanlagen 2020	83
Abbildung 5-20: Kumulierte Anzahl an Signalen im Jahresverlauf für historische Windleistungen in Österreich (links oben), Referenzprofile aus der pyPSA Analyse (links unten), Windprognosen (rechts oben) und standortspezifische Windkraftleistungen (rechts unten).....	83
Abbildung 5-21: Carpet-Plot der Freigabezeiträume von Proxy-Signalen aus historischen Windkraft-Schwellen	84
Abbildung 5-22: Carpet-Plot der Freigabezeiträume von Proxy-Signalen aus standortspezifischen Windkraft-Profilen im Vergleich 2018- und 2019.....	84
Abbildung 5-23: Anteil der Signalzeiträume (links) sowie durchschnittliche Länge der Freigabesignale und deren Zwischenräumen (rechts) standortspezifischer Windkraftsignale im Sommer	85

Abbildung 5-24: Anteil der Signalzeiträume (links) sowie durchschnittliche Länge der Freigabesignale und deren Zwischenräumen (rechts) standortspezifischer Windkraftsignale im Winter	86
Abbildung 5-25: Anteil der Signalzeiträume (oben) sowie durchschnittliche Länge der Freigabesignale und deren Zwischenräumen.....	87
Abbildung 5-26: Carpet-Plot vereinfachter Residuallastsignale. Diskret und kontinuierlich	88
Abbildung 5-27: monatliche Verhältnisse Signal zu Nicht-Signalstunden und Überschussmengen	88
Abbildung 5-28: Box-Plot der Signal- und Nichtsignalzeiträume je Szenario (logarithmische Achsen).	88
Abbildung 5-29: Beispielszenario auf Basis der Electricity Maps Maps Daten 2019	89
Abbildung 5-30: Lineare Skalierung von Electricity Maps Maps 2015 auf Szenario „WEM 2030 (UBA2017)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge	90
Abbildung 5-31: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2018 auf Szenario „WEM 2030 (UBA2017)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge	90
Abbildung 5-32: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2019 auf Szenario „WEM 2030 (UBA2017)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge	90
Abbildung 5-33: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2015 auf Szenario „100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (FLUCOO+)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge	91
Abbildung 5-34: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2018 auf Szenario „100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (FLUCOO+)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge	92
Abbildung 5-35: Lineare Skalierung von Electricity Maps 2019 auf Szenario „100 % Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (FLUCOO+)“. Oben negative Residuallast in GW, unten negative Residuallast als Carpet-Plot, sowie resultierende Anzahl und mittlere Signallänge	92
Abbildung 5-36: Basisszenario mit linearer Skalierung der Zeitreihen aus 2019	93
Abbildung 5-37: Stromverbrauch und Erzeugung im linearen Basisszenario	94
Abbildung 5-38: Transformation des Basisszenarios durch saisonale Umverteilung	94
Abbildung 5-39: Transformation des Basisszenarios durch saisonale Umverteilung und Anwendung von Tagesspeichern.....	94
Abbildung 5-40: Transformation des Basisszenarios durch saisonale Umverteilung und Anwendung von Tagesspeichern und einer PV-Abflachung	95
Abbildung 5-41: Resultierendes Szenario nach den obigen Transformationen, Szenario 100% Erneuerbare Deckung 2050 inkl. Methan (Flucco+)	95

Abbildung 5-42: Residuallast RES _{VOL}	95
Abbildung 5-43: Diskretisierung des Residuallastsignals mit Schwellenwerten von 0 bis 6 GW	96
Abbildung 5-44: Carpet-Plot der Signalreihen „Windprognosedifferenz“. Diskret und kontinuierlich .	96
Abbildung 5-45: Das Verhältnis von Zeiträumen mit und ohne Signal in den Jahren 2018 – 2021, sowie der kumulierte Überschuss in diesen Zeiträumen nimmt ab	97
Abbildung 5-46: Box-Plot der Signal- und Nicht-Signalzeiträume je Szenario (logarithmische Achsen)	97
Abbildung 5-47: Darstellung CO ₂ -Intensität der in Österreich verbrauchten elektrischen Energie	98
Abbildung 5-48: CO ₂ -Intensität für Österreich für das Jahr 2020, bezogen auf die verbrauchte elektrische Energie.....	99
Abbildung 5-49: Darstellung der Netzsignale für unterschiedliche Zeitintervalle für den Hochwinter 2019/2020. Hinweis: Die Signale höherer Intervalle überlappen teilweise diejenigen kürzerer Dauer	100
Abbildung 5-50: Reduktion der CO ₂ -Emissionen durch energieflexiblen Betrieb der Heizung (Niedrigstenergiestandard).	100
Abbildung 5-51: schematische Beschreibung der Cut-Off Methodik mit pauschalem (Jahres-)CutOff	101
Abbildung 5-52: schematische Beschreibung der Signal-CutOffs in Abhängigkeit vom saisonalen Gebäudeverhalten	102
Abbildung 5-53 Korrelation zwischen Netzstrom Emissionsintensität (y) und gesamtösterreichischer Windkraft als „Proxy-Signal“ (x) aufgeteilt nach Heiz-, Kühlperiode und Übergangszeit, sowie die Jahre 2018, 2019 und 2020	105
Abbildung 6-1: PEQ-Alpha Simulationsmodell des Operationalisierungstools	108
Abbildung 6-2: PEQ-Beta Simulationsmodell des Operationalisierungstools	108
Abbildung 6-3: Priorisierung und Zuordnung der verfügbaren Energiequellen zu den Quartiersenergiebedarfen in Systemgrenze PEQ-Beta.....	110
Abbildung 6-4: CO _{2,eq} -Fußabdrücke für den Standard aspern klimafit in der Seestadt (Zelger, 2020)	112
Abbildung 6-5: Zielwert CO _{2,eq} -Fußabdruck für Einhaltung 1,5 °C Ziel (Zelger, 2020)	112
Abbildung 6-6: Beeinflussbarer Bereich des CO _{2,eq} -Fußabdruck im Bereich Gebäude/Quartiere (Zelger, 2020)	113
Abbildung 6-7: Detaildarstellung beeinflussbare Bereiche durch Bauträger/Planer:innen in aspern klimafit (Zelger, 2020)	113

Abbildung 6-8: Veranschaulichung der direkt beeinflussbaren Bereiche des CO _{2,eq} -Fußabdruck (Zelger, 2020)	114
Abbildung 6-9: Darstellung unterschiedlicher THG Reduktionspfade bei einem definierten Gesamt Budget für THG (Steininger, 2022).....	115
Abbildung 6-10: Lebenswegmodule gemäß EN 15804, Quelle: EN 15804	123
Abbildung 6-11: Trennung des Jahres für Zeiten mit/ohne Signal und mit/ohne aktuelle Heizung/Kühlung	131
Abbildung 6-12: EFH Aichinger in Göllersdorf (Friembichler et al. 2016)	135
Abbildung 6-13: Grundprinzip des Steuerungsprinzips mit Temperaturhub der Raumlufttemperatur bei Umweltenergiefreigabe, zur Speicherung von thermischer Energie aus Umweltenergie innerhalb der Gebäudestruktur (Friembichler et al. 2016).....	135
Abbildung 6-14: Prinzipskizze Energieversorgung der BTA mittels Windenergie und Wärmepumpe (Friembichler et al. 2016).....	136
Abbildung 6-15: Prinzipskizze PV-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung (Friembichler et al. 2016)	137
Abbildung 6-16: PV EFH Aichinger - Minimalvariante.....	138
Abbildung 6-17: PV EFH Aichinger - Maximalvariante Draufsicht (links) und perspektivische Ansicht (rechts).....	138
Abbildung 6-18: MGG22 Visualisierung (© VDX.AT – Neues Leben).....	140
Abbildung 6-19: Energieversorgungsschema MGG22 (<i>Kommen um zu bleiben - Im Wohnquartier MGG22 auf Sommerfrische - VCÖ Vorbildhafte Mobilitätsprojekte</i> , o. J.).....	141
Abbildung 6-20: Korneuburg mit Werftareal	142
Abbildung 6-21: Werft Korneuburg Gebäudekubaturen	142
Abbildung 6-22: Heiz- und Kühllasten des Quartiers Werft Korneuburg.....	145
Abbildung 6-23: Fließgeschwindigkeit Donau Werft, oben (Nierer, 2021); Fließgeschwindigkeit Donau Kienstock (<i>aqualibre.at LEISTUNGSVERMÖGEN</i> , o. J.), unten	146
Abbildung 6-24: Leistung zu Fließgeschwindigkeit Stromboje 3 (Knöbl, 2011)	147
Abbildung 6-25: Potenzialstudie des Grundwassers (Geoconsult Wien ZT GmbH)	148
Abbildung 6-26: Führung des rückläufigen Brunnenwassers.....	149
Abbildung 6-27: Schematische Darstellung der 0. Variante (WW FW).....	150
Abbildung 6-28: Schematische Darstellung der 1. Variante (FW)	151
Abbildung 6-29: Schematische Darstellung der 2. Variante (Hybrid)	152
Abbildung 6-30: Schematische Darstellung der 3. Variante (WP dezentral)	153
Abbildung 6-31: Schematische Darstellung der 4. Variante (Energiering+WP)	154

Abbildung 6-32: Varianten „Anergie“- oder Niedertemperatur-Quartiersnetz oder dezentral (Käferhaus)	155
Abbildung 6-33: Schematische Darstellung der 5. Variante (Energiering+FW).....	156
Abbildung 6-34: Oben: PV-Potentialflächen Werft Korneuburg, unterschieden nach primärer (dunkel) und sekundärer (hell) Belegungsflächen; Unten: erwartete Sonneneinstrahlung pro Jahr (kWh/m ² a)	159
Abbildung 6-35: Blockrandbebauung der Geblergasse/Hernalser Gürtel/Ottakringer Straße/Veronikagasse in 1160 Wien (links), unsanierte Geblergasse 11 (rechts).....	160
Abbildung 6-36: Schemenhafte Darstellung des Energiekonzepts Geblergasse 11 (Rückkühler und Gas-Brennwertkessel nicht abgebildet).....	162
Abbildung 6-37: solare Einstrahlung Geblergasse 11 (Dachbelegung nach Realprojekt).....	162
Abbildung 6-38: Geblergasse Variante PV290 PVT-Kollektoren, Südausrichtung (links), Hofansicht der ausgeführten Variante (rechts, Foto: Lisi Zeininger)	164
Abbildung 6-39: Geblergasse Variante PV410 optimiert, PV-Module Hof- und Hauptgebäude.....	164
Abbildung 6-40: Geblergasse Variante PV410 optimiert Ost-West, Draufsicht	165
Abbildung 6-41: Lageplan Gebäude Sonnendorf Schwoich – Reihenhäuser und Flexhäuser.....	166
Abbildung 6-42: Visualisierung Gebäude Sonnendorf Schwoich	166
Abbildung 6-43: PV Sonnendorf Schwoich – Bestandsvariante	168
Abbildung 6-44: PV Sonnendorf Schwoich – optimierte Variante	169
Abbildung 6-45: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste	170
Abbildung 6-46: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten.....	171
Abbildung 6-47: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung.	172
Abbildung 6-48: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019.....	172
Abbildung 6-49: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste	173
Abbildung 6-50: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten.....	174
Abbildung 6-51: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung	175
Abbildung 6-52: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019.....	175

Abbildung 6-53: GWP total Betriebsenergie, Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse, ausgewählte energetische Varianten.....	177
Abbildung 6-54: GWP total Mobilität, Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse, ausgewählte energetische Varianten.....	177
Abbildung 6-55: GWP total Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal	178
Abbildung 6-56: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste	179
Abbildung 6-57: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten	180
Abbildung 6-58: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung.	181
Abbildung 6-59: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019. (Bilder nebeneinander).....	181
Abbildung 6-60: GWP total Errichtung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit konventionellen Baustoffen	183
Abbildung 6-61: GWP total Errichtung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen.....	183
Abbildung 6-62: GWP total Errichtung und Instandsetzung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit konventionellen Baustoffen	184
Abbildung 6-63: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Errichtung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit konventionellen Baustoffen	185
Abbildung 6-64: Versäuerungspotenzial (AP) Errichtung, Werft Korneuburg, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen	185
Abbildung 6-65: GWP total Betriebsenergie, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten	186
Abbildung 6-66: GWP total Mobilität, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten.....	187
Abbildung 6-67: GWP total Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Werft Korneuburg, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal	188
Abbildung 6-68: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Betriebsenergie, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten	189
Abbildung 6-69: Primärenergiebedarf als Energieträger (PEE) Betriebsenergie, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten	189
Abbildung 6-70: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Mobilität, Werft Korneuburg, ausgewählte energetische Varianten	190

Abbildung 6-71: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Werft Korneuburg, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal.....	191
Abbildung 6-72: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste	191
Abbildung 6-73: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten	192
Abbildung 6-74: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung.	193
Abbildung 6-75: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019.....	194
Abbildung 6-76: Thermischer Energiebedarf inkl. Verteilverluste	195
Abbildung 6-77: Gesamt-Endenergiebedarf und -deckung Systemgrenze PEQ-Alpha oben und PEQ-Beta unten.....	196
Abbildung 6-78: Primärenergiesaldo gesamt, Alpha alle Energiedienstleistungen Gebäude inkl. Betriebsstrom, Beta auch inkl. individueller motorisierter Mobilität. Monatliche Bilanzierung, unterschiedliche Skalierung.	197
Abbildung 6-79: Treibhausgassaldo auf Monatsbasis, Konversionsfaktoren OIB 2019.....	197
Abbildung 6-80: GWP total Errichtung, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte Varianten mit konventionellen Baustoffen	198
Abbildung 6-81: GWP total Errichtung, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen.....	199
Abbildung 6-82: Primärenergiebedarf als Energieträger (PEE) Errichtung, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen.....	200
Abbildung 6-83: Versäuerungspotenzial (AP) Errichtung, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte Varianten mit ökologisch optimierten Baustoffen	200
Abbildung 6-84: GWP total Betriebsenergie, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte energetische Varianten.....	201
Abbildung 6-85: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) Betriebsenergie, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte energetische Varianten	202
Abbildung 6-86: GWP total Mobilität, Sonnendorf Schwoich, ausgewählte energetische Varianten	203
Abbildung 6-87: GWP total Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Sonnendorf Schwoich, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal	203
Abbildung 6-88: Primärenergiebedarf als Energieträger (PEE) Errichtung, Gebäudebetrieb und Mobilität, Sonnendorf Schwoich, Variante Modal Split optimiert, 100 % E-Cars, PV maximal	204

Abbildung 6-89: Vergleich der Bauwerkskosten der Ausgangsvarianten (Best) mit den Varianten Passivhausdämmung und maximale PV-Belegung - Quartiere Werft(W), Mühlgrund(M) und Schwoich(S)	206
Abbildung 6-90: Vergleich Bauwerkskosten ($\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$) Bauteil nach Effizienz der Hülle (Dämmstärken) – Werft, Mühlgrund und Schwoich	207
Abbildung 6-91: Bauwerkskosten und Kosten für Wartung und Wiederbeschaffung sowie Restwert detailliert - Gegenüberstellung 30 und 50 Jahre Betrachtungszeitraum für die Ausgangsvarianten (Best) Werft, Mühlgrund und Schwoich	208
Abbildung 6-92: komprimierte Darstellung: Bauwerks- und Wiederbeschaffung abzüglich Restwert + Wartung - Gegenüberstellung 30 und 50 Jahre Betrachtungszeitraum für die Ausgangsvarianten (Best) Werft, Mühlgrund und Schwoich	208
Abbildung 6-93: Entwicklungsszenarien Energiepreise Flucco+ (Szenario 1 = Ausgangsvariante)	210
Abbildung 6-94: Indizes Energiepreisentwicklungs-Szenarien 1-3 Flucco+	211
Abbildung 6-95: Energiekosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - kumuliert 50 Jahre - Varianten Mobilitätsverhalten	213
Abbildung 6-96: Energiekosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - kumuliert 50 Jahre - Varianten DSM Warmwasser	214
Abbildung 6-97: Lebenszykluskosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher Dämmung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	216
Abbildung 6-98: kumulierte Gesamtkosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher Dämmung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	216
Abbildung 6-99: Lebenszykluskosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Heizsystem (Fernwärme/Wärmepumpe) - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich	218
Abbildung 6-100: kumulierte Gesamtkosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichen Heizsystemen - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	218
Abbildung 6-101: Lebenszykluskosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Heizsystem - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	219
Abbildung 6-102: Lebenszykluskosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher PV-Ausstattung - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich	220
Abbildung 6-103: kumulierte Gesamtkosten in $\text{€}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher PV-Ausstattung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	220

Abbildung 6-104: Lebenszykluskosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher PV-Ausstattung - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich	221
Abbildung 6-105: kumulierte Gesamtkosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher PV-Ausstattung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	221
Abbildung 6-106: Lebenszykluskosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Anteil E-Mobilität - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich	222
Abbildung 6-107: kumulierte Gesamtkosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem E-Mobilitätsanteil - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	222
Abbildung 6-108: kumulierte Gesamtkosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem E-Mobilitätsanteil - Werft, Mühlgrund und Schwoich...	223
Abbildung 6-109: Lebenszykluskosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Batteriespeicher - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	224
Abbildung 6-110: kumulierte Gesamtkosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher E-Speicherung (Batterie) - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	224
Abbildung 6-111: kumulierte Gesamtkosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher E-Speicherung (Batterie) - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich	225
Abbildung 6-112: kumulierte Gesamtkosten Energiepreisszenarien 1,2 und 3 in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher E-Speicherung (Batterie) - Beton Standard - Werft, Mühlgrund und Schwoich	225
Abbildung 6-113: Variante OIB-massiv mit dem Signal Windprognosefehler 2020 saisonal – Anteil an netzdienlichem Laden an Gesamtladebedarf (links) und Heizwärme-/Kühlenergiebedarf (rechts)...	228
Abbildung 6-114: Variante OIB-massiv mit dem Signal Windprognosefehler 2020 saisonal, Heizsaison – Netzbilanz (NB).....	229
Abbildung 6-115: Varianten des Baustandards und der Bauweise, 2 K Temperaturband, Signal Windprognosefehler 2020 saisonal, Heizsaison – Netzbilanz (NB)	230
Abbildung 6-116: Varianten des Baustandards und der Bauweise, Signal Windprognosefehler 2020 saisonal, Heiz-/Kühlsaison – Netzbilanz (NB)	231
Abbildung 6-117: Vergleich der Anwendung annualer/originaler und saisonaler Signale mit Beispiel der Residuallast 2019, Baustandard OIB.....	231

Abbildung 6-118: Signalzeiträume (Signal- und Nicht-Signal) im Median; Winderzeugung, Windprognosefehler und Residuallast für das Jahr 2020 mit saisonalem CutOff.....	232
Abbildung 6-119: OIB/PH massiv, 2 K Temperaturband, saisonale Signale, 2020	233
Abbildung 6-120: OIB massiv, 2 K Temperaturband, Windproduktion 2018, 2019, 2020.....	234
Abbildung 6-121: Komfortauswertung Jahr 1.9.2016 bis 31.8.2017, Schwere Bauweise mit Bauteilaktivierung.....	235
Abbildung 6-122: Einsparung CO _{2,eq} Emissionen durch Energieflexibilität, thermischer Komfort Niedrigstenergiegebäude 1.9.2016 bis 31.8.2017	235
Abbildung 6-123: Einsparung CO _{2,eq} Emissionen durch Energieflexibilität, thermischer Komfort Niedrigstenergiegebäude 2019	236
Abbildung 6-124: Einsparung CO _{2,eq} Emissionen durch Energieflexibilität, thermischer Komfort Niedrigstenergiegebäude 2020	236
Abbildung 6-125: Einsparung CO _{2,eq} Emissionen durch Energieflexibilität, thermischer Komfort Niedrigstenergiegebäude 2021	237
Abbildung 6-126: Überblick Einsparungen bei Einhaltung Komfortgrenze Schweizer Klasse II.....	237
Abbildung 6-127: Beispiele für schwere Bauweise Bestandgebäude.....	238
Abbildung 6-128: Einsparung CO ₂ Heizen und Kühlen und thermischer Komfort für den mittleren Wärmeschutzstandard.....	238
Abbildung 6-129: CO ₂ -Emissionen Warmwasserbedarf in Abhängigkeit von absoluter Höhe und Energieflexibilität.....	239
Abbildung 6-130: CO ₂ -Emissionen Betriebsstrom, bzw. Haushaltsstrom inkl. Allgemestrom in Abhängigkeit von absoluter Höhe und Energieflexibilität	239
Abbildung 6-131: Substituierte CO _{2,eq} -Emissionen durch den erzeugten PV-Strom am Gebäude.....	240
Abbildung 6-132: Bestandsgebäude gesamter Betriebsstrom mit durchschnittlichem Warmwasser- und Betriebsstrombedarf, negative Kennwerte Substitution in Stromnetz	240
Abbildung 6-133: Niedrigstenergiegebäude gesamter Betriebsstrom mit durchschnittlichem Warmwasser- und Betriebsstrombedarf, negative Kennwerte Substitution in Stromnetz	241
Abbildung 6-134: Bestandsgebäude gesamter Betriebsstrom mit 50 % Warmwasser- und Betriebsstrombedarf, negative Kennwerte Substitution in Stromnetz	241
Abbildung 6-135: Niedrigstenergiegebäude gesamter Betriebsstrom mit 50 % Warmwasser- und Betriebsstrombedarf, negative Kennwerte Substitution in Stromnetz	241
Abbildung 10-1: Lineare Residuallastsignale 2015	279
Abbildung 10-2: Lineare Residuallastsignale 2016	280
Abbildung 10-3: Lineare Residuallastsignale 2017	281

Abbildung 10-4: Lineare Residuallastsignale 2018	282
Abbildung 10-5: Lineare Residuallastsignale 2019	283
Abbildung 10-6: Joint recurrence plot von MausTrenk und Neuhof III für die Jahre 2015-2019, wobei kein signifikante joint recurrence vorliegt	284
Abbildung 10-7: Bauwerkskosten in €/m ² NGF Roh- und Ausbau, Haustechnik allgemein und Energieproduktion (PV) + Mehrkosten Ökovariante sowie jeweiliger Anteil an den gesamten Bauwerkskosten in Prozent: Werft, Mühlgrund und Schwoich	298
Abbildung 10-8: Überblick Summen von Bauwerks- Wiederbeschaffungskosten und Restwerten sowie Wartungskosten in €/m ² NGF bei 30 und 50 Jahren Betrachtungszeitraum – Werft, Mühlgrund und Schwoich	299
Abbildung 10-9: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m ² NGF gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick alle Varianten	300
Abbildung 10-10: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m ² NGF gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick Varianten Gebäudehülle	301
Abbildung 10-11: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m ² NGF gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick Varianten Heizsystem	302
Abbildung 10-12:	303
Abbildung 10-13: Energiekosten in €/m ² NGF - kumuliert 50 Jahre - Varianten E-Mobilität.....	304
Abbildung 10-14:	305
Abbildung 10-15: Lebenszykluskosten in €/m ² NGF - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre – Überblick alle Varianten - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	306
Abbildung 10-16: Überblick kumulierte Gesamtkosten in €/m ² NGF - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - alle Varianten Werft, Mühlgrund und Schwoich.....	307
Abbildung 10-17: Vergleich der Übersichten: Bauwerkskosten, kumulierte Kosten für Bauwerk, Wiederbeschaffung, Restwerte und Wartung, Lebenszykluskosten, kumulierte Gesamtkosten pro m ² NGF	308

Tabelle 4-1: Untersuchungsobjekte sowie durchgeführte Erhebungen und Anzahl der Proband:innen	22
Tabelle 4-2: Liste der verwendeten Messsensoren mit Abkürzungen, gemessenen Parametern, Herstellern, Stückzahlen und Modellbezeichnungen (Brandstätter, 2022)	27
Tabelle 4-3: Regulatorische Maßnahmen	39
Tabelle 4-4: Maßnahmen für Bauträger bzw. Vertrieb	39
Tabelle 4-5: Anforderungen und Einflussfaktoren auf Seite der Konsument:innen	40
Tabelle 4-6: Korrelationen zwischen thermischem Empfinden und Körperzuordnungen	43
Tabelle 4-7: Korrelationen zwischen thermischem Empfinden und Herzratenvariabilität	44
Tabelle 4-8: Test der Prognosegenauigkeit der verschiedenen Behaglichkeitsmodelle: PMVFangerCalcMet1.2 (ÖNORM EN ISO 7730), pmv-hr (mit dynamischer Bestimmung der metabolischen Rate aus der Herzfrequenz) und das kombinierte Behaglichkeitsmodell von Schweiker ATHB _{PMV}	45
Tabelle 4-9: Korrelationen zwischen thermischer Behaglichkeit und unterschiedlichen Indikatoren ..	46
Tabelle 4-10: Korrelationen zwischen thermischer Behaglichkeit und Herzratenvariabilität	47
Tabelle 4-11: Korrelationen der verschiedenen Behaglichkeitsmodelle: PMVFangerCalcMet1.2 (ÖNORM EN ISO 7730), pmv-hr (mit dynamischer Bestimmung der metabolischen Rate aus der Herzfrequenz) und das kombinierte Behaglichkeitsmodell von Schweiker ATHB _{PMV}	47
Tabelle 4-12: Clothing-Faktoren und thermisches Wohlbefinden bzw. Empfinden (Fanger)	49
Tabelle 4-13: Metabolische Rate (über die Herzrate berechnet) und thermisches Empfinden (Fanger)	50
Tabelle 4-14: Vier der untersuchten Wohngebäude inkl. Zeitraum der Untersuchungen und Standort	53
Tabelle 4-15: Deskriptive Statistik Winter MGG22 für die beiden EN 7730 – Modelle PMV_box_calc (PMV berechnet aus den direkten Eingabedaten der Versuchspersonen in das umidus-Messgerät) und PMV_box_met (gleich wie PMV_box_calc, allerdings mit met = 1,2) sowie dem ATHBPMV-Modell von Schweiker	61
Tabelle 4-16: Korrelation und Signifikanz im Winterfall in der Versuchs-Wohnung der MGG22 für die beiden EN 7730 – Modelle PMV_box_calc (PMV berechnet aus den direkten Eingabedaten der Versuchspersonen in das umidus-Messgerät) und PMV_box_met (gleich wie PMV_box_calc, allerdings mit met = 1,2) sowie dem ATHBPMV-Modell von Schweiker und physiologischen Herzratenparametern	62
Tabelle 4-17: Deskriptive Statistik Sommer MGG22 für die beiden EN 7730 – Modelle PMV_box_calc (PMV berechnet aus den direkten Eingabedaten der Versuchspersonen in das umidus-Messgerät) und	

PMV_box_met (gleich wie PMV_box_calc, allerdings mit met = 1,2) und dem ATHBPMV-Modell von Schweiker	62
Tabelle 4-18: Korrelation und Signifikanz im Sommerfall in der Versuchs-Wohnung der MGG22 für die beiden EN 7730 – Modelle PMV_box_calc (PMV berechnet aus den direkten Eingabedaten der Versuchspersonen in das umidus-Messgerät) und PMV_box_met (gleich wie PMV_box_calc, allerdings mit met = 1,2) und dem ATHBPMV-Modell von Schweiker und physiologischen Herzratenparametern.	62
Tabelle 5-1: Bewertungs-Indikatoren der Netzdienstlichkeits-Signale.....	66
Tabelle 5-2: Szenarien.....	69
Tabelle 5-3: Zielgrößen der Erneuerbaren Erzeugung	70
Tabelle 5-4: Verfügbare Ausgangsdaten historischer Stromerzeugung und -Verbräuche in Österreich	71
Tabelle 5-5: Energieträger und deren Konversionsfaktoren-Bezeichnungen	74
Tabelle 5-6: Art der Residuallast-Signalbildung. Was wird berücksichtigt?	74
Tabelle 5-7: Parameter der dynamischen Zeitreihentransformation.....	75
Tabelle 5-8: Szenario Beschreibung.....	92
Tabelle 5-9: Cut-Off-Verhältnisse je Gebäudevariante	101
Tabelle 5-10: Vergleich der untersuchten Signale.....	102
Tabelle 6-1: Spezifisch wirksame Wärmespeicherkapazität	109
Tabelle 6-2: Wetterdaten-Parameter	109
Tabelle 6-3: Abbildung THG Budgets für Österreich 2022 aus (Steininge,r 2022)	115
Tabelle 6-4: Ableitung von Grenzwerten für den CO _{2,eq} Ausstoß pro m ² Wohnnutzfläche	116
Tabelle 6-5: Grenzwerte der CO _{2,eq} Emissionen.....	116
Tabelle 6-6: Status der Quartiere	117
Tabelle 6-7: Realprojekte	117
Tabelle 6-8: Varianten – Wärmeschutz und Lüftung	118
Tabelle 6-9: Varianten – Bauweise Neubau und Sanierung.....	118
Tabelle 6-10: Varianten – Wärmeabgabe	119
Tabelle 6-11: Varianten – Wärmeverteilung.....	120
Tabelle 6-12: Varianten – Thermische Energieversorgung	120
Tabelle 6-13: Varianten – PV	120
Tabelle 6-14: Varianten – Speicher.....	121

Tabelle 6-15: Varianten – Mobilität.....	121
Tabelle 6-16: Energetische Bewertung – Parameter Nutzenergiebedarfe	122
Tabelle 6-17: Energetische Bewertung – Parameter Endenergiebedarfe.....	122
Tabelle 6-18: Energetische Bewertung – Parameter Endenergiedeckung und Überschüsse	122
Tabelle 6-19: Energetische Bewertung – Parameter Primärenergiebilanz	123
Tabelle 6-20: Gewählte Umweltparameter für die ökologische Bewertung	124
Tabelle 6-21: Pauschalwerte Umweltindikatoren für Haustechnik.....	125
Tabelle 6-22: Übersicht der in den wirtschaftlichen Betrachtungen berücksichtigten Kosten nach ÖNORM	127
Tabelle 6-23: Übersicht der in Flucco+ angesetzten Nutzungsdauern, Wartungs- und Entsorgungskosten Roh- und Ausbau.....	128
Tabelle 6-24: Übersicht der in Flucco+ angesetzten Nutzungsdauern, Wartungs- und Entsorgungskosten Technik.....	129
Tabelle 6-25: Flexibilitätsparameter.....	130
Tabelle 6-26: Qualitäten (U-Werte, g-Wert) der Gebäudehülle.....	133
Tabelle 6-27: Heiz- und Kühlsaison für OIB- und PH-Variante	134
Tabelle 6-28: Kompaktdaten EFH Aichinger.....	137
Tabelle 6-29: PV EFH Aichinger – Variantenzusammenfassung	138
Tabelle 6-30: Kompaktdaten MFH MGG22	141
Tabelle 6-31: Quartierswerte Werft Korneuburg (Stand UVP-Antrag Werft Korneuburg, Oktober 2022)	143
Tabelle 6-32: Pro und Contra der 0. Variante (WW FW)	150
Tabelle 6-33: Pro und Contra der 1. Variante (FW)	151
Tabelle 6-34: Pro und Contra der 2. Variante (Hybrid)	152
Tabelle 6-35: Pro und Contra der 3. Variante (WP dezentral)	153
Tabelle 6-36: Pro und Contra der 4. Variante (Energiering+WP)	154
Tabelle 6-37: Pro und Contra der 5. Variante (Energiering+FW).....	156
Tabelle 6-38: Varianten im Vergleich, Werft Korneuburg	156
Tabelle 6-39: PV Geblergasse – Variantenzusammenfassung.....	163
Tabelle 6-40: PV Sonnendorf Schwoich – Variantenzusammenfassung.....	167

Tabelle 6-41: Kennwerte im Vergleich zu den betrachteten Quartieren. PEQmin bezieht sich auf PEQ-Alpha einerseits und bezüglich Bedarf auf WDNBPost, bzw. Bestand andererseits. Siehe im Detail unten	169
Tabelle 6-42: Varianten Mehrfamilienhaus Mühlgrundgasse (Details siehe 6.1.5)	176
Tabelle 6-43: Varianten Werft Korneuburg (Details siehe 6.1.5)	186
Tabelle 6-44: Varianten Sonnendorf Schwoich (Details siehe siehe 6.1.5).....	201
Tabelle 6-45: Vergleich der Bauwerkskosten Flucco+: Unterschiede zwischen den Quartieren anhand der Varianten ohne PV und Best in Prozent der Kosten Werft - und den Varianten innerhalb der Quartiere (in Prozent der Ausgangsvariante Best)	205
Tabelle 6-46: Überblick über Auswirkungen der Energiepreisszenarien auf Varianten im Verhältnis zur Ausgangsvariante in Prozent	212
Tabelle 6-47: Überblick über Auswirkungen der Energiepreisszenarien auf Varianten in absoluten Zahlen (Differenz Energiebedarf Ausgangsvariante / Vergleichsvariante in €/m ² _{NGF}).....	212
Tabelle 6-48: Energiekosten in €/m ² _{NGF} - kumuliert 50 Jahre - Varianten Mobilitätsverhalten	213
Tabelle 6-49: Energiekosten in €/m ² _{NGF} - kumuliert 50 Jahre – Varianten DSM Warmwasser	214
Tabelle 6-50: Lebenszykluskosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre: Vergleich der Varianten mit unterschiedlicher Dämmung – Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	217
Tabelle 6-51: kumulierte Gesamtkosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlicher Dämmung - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	217
Tabelle 6-52: kumulierte Gesamtkosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichen Heizsystemen - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	219
Tabelle 6-53: kumulierte Gesamtkosten - Varianten Heizungssysteme - Vergleich mit Energiepreis-Entwicklungsszenarien 1, 2 und 3.....	219
Tabelle 6-54: Lebenszykluskosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Anteil E-Mobilität (Standard und optimiert)- Werft, Mühlgrund und Schwoich	223
Tabelle 6-55: Lebenszykluskosten in €/m ² _{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - Vergleich Varianten mit unterschiedlichem Batteriespeicher - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich	225
Tabelle 6-56: Variantentabelle zur Anwendung der Flexibilitätssignale.....	227
Tabelle 10-1: Beispiel für die Beschreibung der Daten, welche im Rahmen des Projekts verwendet, werden	273

Tabelle 10-2: Beispiel für die Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert, werden	273
Tabelle 10-3: Beispiel für die Beschreibung der Metadaten im Projekt	274
Tabelle 10-4: Datenverfügbarkeit und Datensätze nach Zeitraum	276
Tabelle 10-5: Allgemeine und quartiersspezifische Input-Parameter der Quartiersmodellierung	285
Tabelle 10-6: Bauteilaufbauten, Variante Massivbau/Beton	293
Tabelle 10-7: Bauteilaufbauten, Variante Massivbau/Ziegel	294
Tabelle 10-8: Bauteilaufbauten, Variante Holzmassivbau	295
Tabelle 10-9: Bauteilaufbauten, Variante Leichtbau	296
Tabelle 10-10: Bauteilaufbauten, Variante Hybridbau	297
Tabelle 10-11: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m^2_{NGF} gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick Varianten Gebäudehülle	301
Tabelle 10-12: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m^2_{NGF} gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick Varianten Heizsystem	302
Tabelle 10-13: Energiekosten in €/ m^2_{NGF} - kumuliert 50 Jahre - Varianten E-Mobilität	304

Literaturverzeichnis

- Aqualibre.at | LEISTUNGSVERMÖGEN |. (o. J.). Abgerufen 15. Jänner 2024, von <http://www.aqualibre.at/DE/hauptmenue/leistungsvermoegen/leistungsvermoegen.html>
- Aqualibre.at | STROM-BOJE 3 |. (o. J.). Abgerufen 15. Jänner 2024, von <http://www.aqualibre.at/DE/hauptmenue/strom-boje-3/strom-boje-3.html>
- Brandstätter, F. (2022). *Thermischer Komfort in energieflexiblen Wohngebäuden—Ergebnisse aus einem experimentellen Studiensetup*. Fachhochschule Technikum Wien.
- De Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and buildings*, 34(6), 549–561. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1)
- Die Bauteilaktivierung als Baustein für die Stadt der Zukunft – BMK INFOTHEK. (o. J.). Abgerufen 15. Jänner 2024, von <https://infothek.bmk.gv.at/bauteilaktivierung-wegweiser-zum-nachhaltigen-bauen/>
- DIN EN 16798-1:2022-03, *Energetische Bewertung von Gebäuden_ - Lüftung von Gebäuden_ - Teil_1: Eingangparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik_ - Modul M1-6; Deutsche Fassung EN_16798-1:2019*. (o. J.). Beuth Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31030/3327351>
- DIN EN ISO 7730:2006-05, *Ergonomie der thermischen Umgebung_ - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO_7730:2005); Deutsche Fassung EN_ISO_7730:2005*. (o. J.). Beuth Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31030/9720035>
- DIN EN ISO 10551:2020-02, *Ergonomie des Umgebungsklimas_ - Subjektive Bewertungsskalen für die Beurteilung der physikalischen Umgebung (ISO_10551:2019); Deutsche Fassung EN_ISO_10551:2019*. (o. J.). Beuth Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31030/3054760>
- Energieeinsparung und Wärmeschutz* (OIB Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden OIB-330.6-026/19). (2019). <https://www.isolierverband.at/oib.html>
- Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19722700268>
- Friembichler, F., Handler, S., Kreč, K., & Kuster, H. (2016). *Energiespeicher Beton-Thermische Bauteilaktivierung. Planungsleitfaden*. Wien: Bundesministerium für Verkehr (09/2016; Berichte aus Energie- und Umweltforschung).
- Hensen, J. J. (1991). *On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system*. <https://doi.org/10.6100/IR353263>
- Hergovich, L. X. (2020). *Wohnkomfort- und Bedürfnisanalyse im energieflexiblen Stadtquartier* [Masterthese]. Fachhochschule Technikum Wien.

- Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (2004). Do People Like to Feel "Neutral"? Response to the ASHRAE Scale of Subjective Warmth in Relation to Thermal Preference, Indoor and Outdoor Temperature. *ASHRAE Transactions*, 110(2).
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00012505&AN=15565156&h=ORlep%2F%2FBPhP4SWYo9c4VLs%2FOT9xIJ0td%2BEANcDvI ZZIFaaW6YHaAgBdqIgbjGAL%2BrSQYL8uMO9h%2FPC0mC55vtw%3D%3D&crl=c>
- IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. (2019). *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 und des Globalen Erwärmungspotenzials für Bauteile und Gebäude* (5). IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie.
<https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekoindex-oi3>
- Informationen—ALTE WERFT. NEUE IDEEN. (o. J.). Stadtgemeinde Korneuburg. Abgerufen 15. Jänner 2024, von http://www.sefko.at/SEFKO_Home/Projektentwicklung-Werft
- Kommen um zu bleiben—Im Wohnquartier MGG22 auf Sommerfrische—VCÖ Vorbildhafte Mobilitätsprojekte. (o. J.). Abgerufen 15. Jänner 2024, von <https://mobilitaetsprojekte.vcoe.at/kommen-um-zu-bleiben-im-wohnquartier-mgg-auf-sommerfrische--2022>
- Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 und des Globalen Erwärmungspotenzials für Bauteile und Gebäude. Version 5.0* (5). (2019). Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH.
https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/OI-Berechnungsleitfaden_V5_Sept2023.pdf
- Mair am Tinkhof, O., Strasser, H., Prinz, T., Herbst, S., Schuster, M., Tomschy, R., Figl, H., Fellner, M., Ploß, M., & Roßkopf, T. (2017). *Richt- und Zielwerte für Siedlungen zur integralen Bewertung der Klimaverträglichkeit von Gebäuden und Mobilitätsinfrastruktur in Neubausiedlungen* (39/2017; Berichte aus Energie- und Umweltforschung). BMVIT.
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/kennwerte-siedlungsbewertung-fuer-errichtung-betrieb-und-mobilitaet-in-klimavertraeglichen-siedlungen.php>
- Mair am Tinkhof 2022: O. Mair am Tinkhof, P. Schöfmann, T. Zelger, D. Sengl, J. Leibold, S. Schneider, L. Hackl, P. Holzer: *Zukunftsquartier Österreich, Entwicklung von qualitätsgesicherten Plus-Energie-Quartierskonzepten*. BMK Wien 2022
- Mlinaric, I. (2020). *NutzerInnenakzeptanz und Bereitschaft zur Verhaltensänderung in einem energetisch sanierten Wohngebäude* [Masterthese]. Fachhochschule Technikum Wien.
- Nicol, F., & Humphreys, M. (2010). Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. *Building and environment*, 45(1), 11–17.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.12.013>
- Nicol, F., Rijal, H. B., & Roaf, S. (Hrsg.). (2022a). *Routledge handbook of resilient thermal comfort*. Routledge.
- Nicol, F., Rijal, H. B., & Roaf, S. (2022b). *Routledge Handbook of Resilient Thermal Comfort* (1. Aufl.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003244929>

Passivhaus Institut. (2023, November 24).
https://passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm

Sammito, S., Thielmann, B., Seibt, R., Klussmann, A., Weippert, M., & Böckelmann, I. (2014). Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. *AWMF online Das Portal der wissenschaftlichen Medizin*, 2, 042.
https://register.awmf.org/assets/guidelines/002-042l_S2k_Nutzung-Herzschlagfrequenz-Herzfrequenzvariabilitaet-Arbeitsmedizin-Arbeitswissenschaft_2022-03_1.pdf

Schöfmann, P., Zelger, T., Bartlmä, N., Schneider, S., Leibold, J., Bell, D. (2019). *Zukunftsquartier: Weg zum Plus-Energie-Quartier in Wien*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien

Schöfmann, P., Forstinger V., Zelger, T., Schneider, S., Leibold, J., Bell, D., Schindler M., Mlinaric I., Hackl L., Wimmer F., Holzer P., Weißböck L. (2022). *Zukunftsquartier 2.0: Replizierbare, thermisch und elektrisch netzdienliche Konzeption von (Plus-Energie)Quartieren im dichten urbanen Kontext*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien

Schweiker, M. (2022a). Combining adaptive and heat balance models for thermal sensation prediction: A new approach towards a theory and data-driven adaptive thermal heat balance model. *Indoor Air*, 32(3). <https://doi.org/10.1111/ina.13018>

Schweiker, M. (2022b). Combining adaptive and heat balance models for thermal sensation prediction: A new approach towards a theory and data-driven adaptive thermal heat balance model. *Indoor Air*, 32(3). <https://doi.org/10.1111/ina.13018>

Schweiker, M., & Wagner, A. (2015). A framework for an adaptive thermal heat balance model (ATHB). *Building and Environment*, 94, 252–262. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.018>

Spaun, S., Kuster, H., Kuster, A., Lindenthal, J., Lechner, R., & Dankl, C. (2020). *Monitoringprojekt „Gebäude als Speicher“*. *Einfamilienhaus H.(Wind) und Einfamilienhaus F.(Solar)* (Berichte aus Energie- und Umweltforschung) [13/2019]. Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.
https://zement.at/downloads/downloads_2019/monitoringprojekt_stadt_der_zukunft_schrift_enreihe-2019-13.pdf

Spritpreise Österreich – ARBÖ Website. (2023). <https://www.arboe.at/leistungen/spritpreis-und-e-tankstellenfinder/spritpreise-oesterreich>

Steininger K., T. Schinko, H. Rieder, H. Kromp-Kolb, S. Kienberger, G. Kirchengast, C. Michl, I. Schwarzl, S. Lambert. *1,5° C: Wieviel Treibhausgase dürfen wir noch emittieren? Hintergrundpapier zu globalen und nationalen Treibhausgasbudgets*. Wien: CCCA 2022

Stutzka, C. (2022, November 20). Mit Wind und Beton gegen den Klimawandel – jetzt auch im sozialen Wohnbau. *Vereinigung der österreichischen Zementindustrie*. https://www.mgg22.at/wp-content/uploads/Presse201807_PI-MGG22_kombiniert.pdf

- Sutter, C, Hatt, T., Figl, H., & Huemer-Kals, V. (2018). *Häuser für Energie und RessourcenEffiziente Siedlungen* (9/2018; Berichte aus Energie- und Umweltforschung). BMVIT. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/heroes-haeuser-fuer-energie-und-ressourceneffiziente-siedlungen.php>
- Tarifkalkulator—Tarifrechner*. (o. J.). E-Control. Abgerufen 15. Jänner 2024, von <https://www.e-control.at/tarifkalkulator>
- Tarvainen, M., Lipponen, J., Niskanen, J., & Ranta-Aho, P. (2021). *Kubios HRV Software: User's Guide*. Kubios Oy.
- Wagner, C. (2020). *Thermischer Wohnkomfort bei verstärkter Nutzung von Windkraftspitzen in der Beheizung und Temperierung von Wohngebäuden – Stakeholder Analyse und Expert/innensicht* [Masterthese]. Fachhochschule Technikum Wien.
- Watzak-Helmer, M., & Cervený, M. (2019). *„Überschussstrom“ heizt und kühlt energieflexible Neubauwohnungen. Mühlgrundgasse / Fahngasse, 1220 Wien*. klimaktiv.
- Winter, M. (2022). *Thermische Messdaten und subjektive Wahrnehmungen auf Basis von Fassadenprüfboxexperimenten* [Masterthese]. Fachhochschule Technikum Wien.
- Zechmeister, M. (2020). *Zielgruppenanalyse für den Erwerb energieflexibler Gebäude* [Masterthese]. Fachhochschule Technikum Wien.
- Zelger, J. (2023). *Das GABEK®-Prozessmodell in 30 Schritten. Online Handbuch für WinRelan Lizenznehmer*. www.GABEK.com
- Zeller, B. (2020). *Subjektives Komfortempfinden von BewohnerInnen energieflexibler Einfamilienhäuser* [Masterthese]. Fachhochschule Technikum Wien.

Abkürzungsverzeichnis

ATHB	Adaptives Wärmebilanzmodell
BGF	Bruttogrundfläche
BTA	Bauteilaktivierung
CLO	Bekleidungsfaktor (Clothing-Faktor)
DMP	Data Management Plan
DSM	Demand-Side-Management
E-	Elektro-
EE	Erneuerbare Energiequellen
EFH	Einfamilienhaus
FW	Fernwärme
HRV	Herzratenvariabilität
JAZ	Jahresarbeitszahl
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Lebenszyklusanalyse
LCC	Lebenszykluskostenanalyse
MET	Stoffwechselrate
MFH	Mehrfamilienhaus
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NA	Netzadversität
NB	Netzbilanz
ND	Netzdienlichkeit
NGF	Nettogrundfläche
PE	Primärenergie
PEQ	Plusenergiequartier
PH	Passivhaus
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
PV	Photovoltaik
RES	Residuallast
WP	Wärmepumpe

WPS	Wind-Peak-Shaving
WRG	Wärmerückgewinnung
WW	Warmwasser

10 Anhang

10.1 Data Management Plan (DMP)

Sofern Sie in Ihrem Projekt Daten erheben, verarbeiten, analysieren oder generieren, ist die Erstellung eines Data Management Plans notwendig. Der DMP muss die Forschungsdaten erfassen und den Umgang mit diesen Daten auf Basis der „FAIR“-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) regeln. Unter anderem ist festzulegen, inwieweit die Daten für Dritte zugänglich gemacht werden (Speicherort, Lizenzen, Speicherdauer, allfällige Sperrfristen etc.), und zu begründen, warum einzelne Datensätze nicht oder nur mit Einschränkungen geteilt werden. Kosten für das Datenmanagement sind förderfähig.

Ein DMP besteht aus vier Kapiteln:

1: Datenerstellung und Dokumentation

Welche externen und/oder intern im Projektkonsortium vorhandene Daten (z.B. aus Vorprojekten) werden im gegenständlichen Projekt verwendet? Bitte beschreiben Sie diese (Datensatz, Datentyp, Datenquelle, Link etc.) zum Beispiel anhand der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 10-1: Beispiel für die Beschreibung der Daten, welche im Rahmen des Projekts verwendet, werden

Beschreibung	Typ	Art	Quelle	Zugang	Link
Gesamtenergiebilanz Österreich	Numerisch	Historische Zeitreihen (historische Daten)	Statistik Austria	öffentlich	https://pic.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html
...

Welche Daten werden im gegenständlichen Projekt generiert? Bitte beschreiben Sie diese (Beschreibung, Datentyp, Art der Daten etc.) zum Beispiel anhand der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 10-2: Beispiel für die Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert, werden

ID	Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
z.B.: PROG	z.B.: Prognose Energieverbrauch, CO ₂ -Emissionen	z.B.: Numerisch / Text / Code etc.	z.B.: Zukünftige Zeitreihen (generierte Daten)	Projektpartner xy	Öffentlich (inkl. Link) / nicht öffentlich
...

Wie werden diese generiert bzw. welche Daten werden wiederverwendet? Wie erfolgt die Dokumentation der Daten? Welche Metadaten sind notwendig, um die Daten zu beschreiben? Die nachfolgende Tabelle kann als Beispiel für die Beschreibung der Metadaten herangezogen werden.

Tabelle 10-3: Beispiel für die Beschreibung der Metadaten im Projekt

Attribut	Beschreibung
ID	Eindeutige Bezeichnung des Datensatzes
Titel	Name/Titel des Datensatzes
Zusammenfassung	Zusammenfassung der Inhalte des Datensatzes
Kurzbezeichnung	Kurzbezeichnung
Einheit	Einheit der Daten
Zeitintervall	Zeitintervall der Daten
Zeitraum und Referenzjahr	Zeitraum, für den die Daten berechnet wurden, und entsprechendes Referenzjahr
Institution	Kontakt (Website) der Institution, welche die Daten kompiliert/generiert
Kontakt	E-Mail-Adresse des Hauptverantwortlichen für die Daten
Mitwirkende und Rolle	Name der Person, die einen Beitrag zu den generierten Daten leistet, sowie die jeweilige Rolle
Methodik	Kurze Beschreibung der zur Kompilierung/Generierung der Daten verwendeten Methodik
Datenvervollständigung	Beschreibung des Ansatzes zur Vervollständigung fehlender Daten
Quelldaten	Alle relevanten Quellen, die zur Kompilierung oder Generierung der Daten verwendet wurden
Kommentar	Verschiedene Informationen zu den Daten/Methoden, die zur Ableitung des Datensatzes verwendet wurden
Erstellungsdatum	Datum der Datenerstellung (JJJJ-MM-TT)
Datentyp	Art der Daten
Versionsstand	Version der Daten und ihr Status für die Verwendung

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Unterliegen die Daten Persönlichkeits- oder Urheberrechten? Müssen andere rechtliche Verträge berücksichtigt werden? Müssen Daten eventuell modifiziert werden (z.B. durch Anonymisierung), bevor sie geteilt werden können?

3: Datenspeicherung und -erhalt

Wie und wo werden Daten gespeichert? Wie häufig finden Backups statt und wer ist dafür zuständig?

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Wie und wo werden die Daten geteilt? Wer hat Zugriff und wie werden sensible Daten geschützt?

Folgende Opt-Out-Gründe können angegeben werden:

1. Unvereinbarkeit mit dem Schutz der Ergebnisse
2. Geheimhaltung/Sicherheitsgründe
3. Datenschutzgründe
4. Unvereinbarkeit mit dem Hauptziel des Projekts
5. Im Projekt werden keine Daten erzeugt/gesammelt
6. Sonstige legitime Gründe

10.2 Datenanalyse

10.2.1 Electricity Maps Datensatz Homogenisierung

Die Homogenisierung der Datensätze ist unter folgendem Link abrufbar:
www.github.co/simonschaluppe/fluccoplus/fluccoplus/Electricity Maps.py

Tabelle 10-4: Datenverfügbarkeit und Datensätze nach Zeitraum

Zeitraum	Anzahl Datensätze	Datenverfügbarkeit
2015 – 2019		'carbon_intensity_avg', 'power_consumption_battery_discharge_avg', 'power_consumption_biomass_avg', 'power_consumption_coal_avg', 'power_consumption_gas_avg', 'power_consumption_geothermal_avg', 'power_consumption_hydro_avg', 'power_consumption_hydro_discharge_avg', 'power_consumption_nuclear_avg', 'power_consumption_oil_avg', 'power_consumption_solar_avg', 'power_consumption_unknown_avg', 'power_consumption_wind_avg', 'total_consumption_avg', 'total_export_avg', 'total_import_avg',
2015 – 2017	11 Zeitreihen: Relativer Anteil der Energieträger an der Stromerzeugung	power_origin_percent_biomass_avg power_origin_percent_coal_avg power_origin_percent_gas_avg power_origin_percent_geothermal_avg power_origin_percent_hydro_avg power_origin_percent_hydro_discharge_avg power_origin_percent_nuclear_avg power_origin_percent_oil_avg power_origin_percent_solar_avg power_origin_percent_unknown_avg power_origin_percent_wind_avg
2018 – 2019	3 Zeitreihen: CO ₂ Intensität	['carbon_intensity_discharge_avg', 'carbon_intensity_import_avg', 'carbon_intensity_production_avg',

12 Zeitreihen: CO₂-
Herkunft nach
Energieträgern

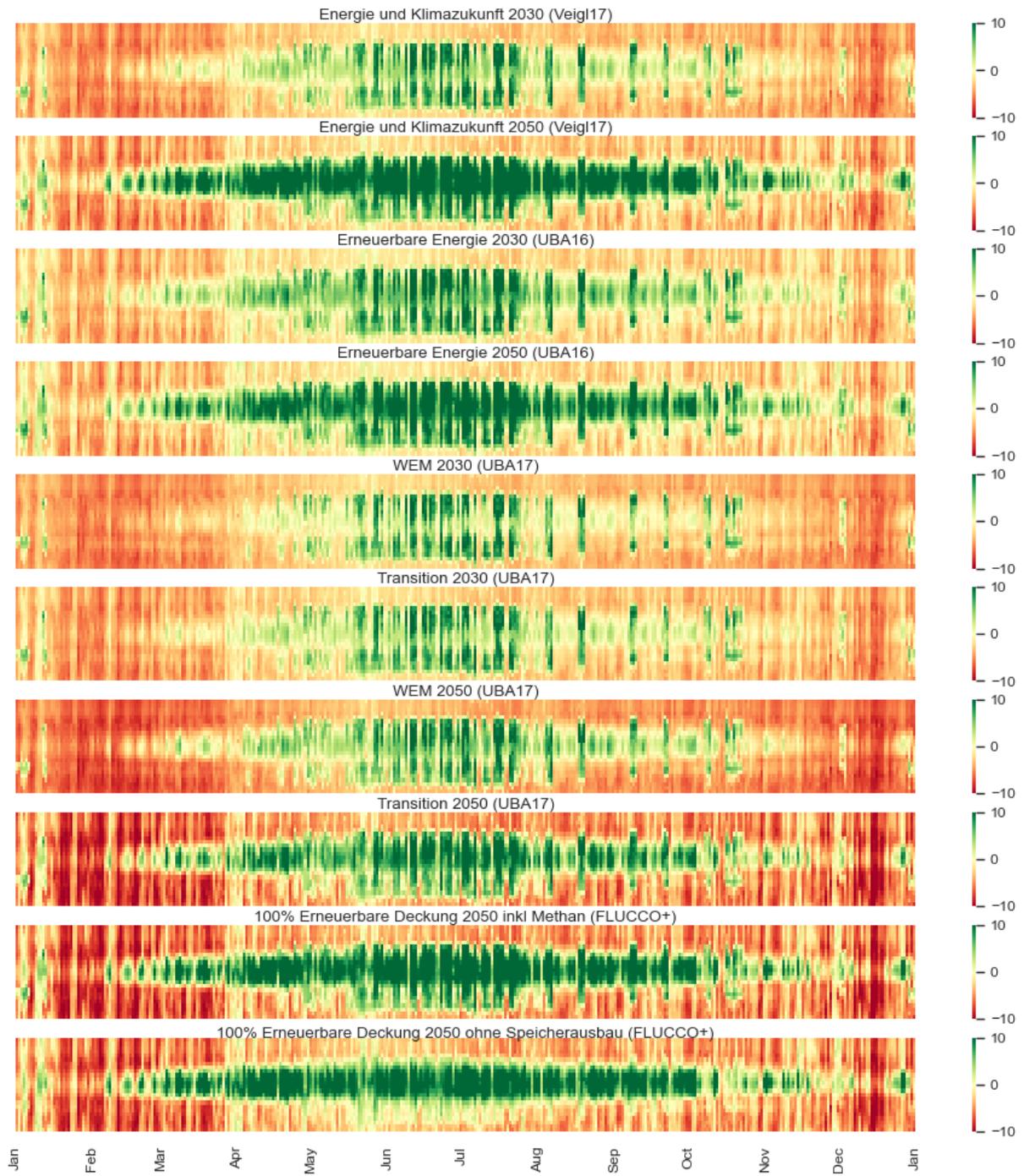
'carbon_origin_percent_battery_discharge_avg',
'carbon_origin_percent_biomass_avg',
'carbon_origin_percent_coal_avg',
'carbon_origin_percent_gas_avg',
'carbon_origin_percent_geothermal_avg',
'carbon_origin_percent_hydro_avg',
'carbon_origin_percent_hydro_discharge_avg',
'carbon_origin_percent_nuclear_avg',
'carbon_origin_percent_oil_avg',
'carbon_origin_percent_solar_avg',
'carbon_origin_percent_unknown_avg',
'carbon_origin_percent_wind_avg',
'carbon_rate_avg',
'latest_forecasted_consumption_avg',
'latest_forecasted_dewpoint_avg',
'latest_forecasted_power_net_import_CH_avg',
'latest_forecasted_power_net_import_CZ_avg',
'latest_forecasted_power_net_import_DE_avg',
'latest_forecasted_power_net_import_HU_avg',
'latest_forecasted_power_net_import_IT-NO_avg',
'latest_forecasted_power_net_import_SI_avg',
'latest_forecasted_precipitation_avg',
'latest_forecasted_price_avg',
'latest_forecasted_production_avg',
'latest_forecasted_production_solar_avg',
'latest_forecasted_production_wind_avg',
'latest_forecasted_solar_avg',
'latest_forecasted_temperature_avg',
'latest_forecasted_wind_x_avg',
'latest_forecasted_wind_y_avg',
'power_consumption_battery_discharge_avg',
'power_consumption_biomass_avg',
'power_consumption_coal_avg',
'power_consumption_gas_avg',
'power_consumption_geothermal_avg',
'power_consumption_hydro_avg',
'power_consumption_hydro_discharge_avg',
'power_consumption_nuclear_avg',
'power_consumption_oil_avg',

```
'power_consumption_solar_avg',  
'power_consumption_unknown_avg',  
'power_consumption_wind_avg',  
'power_net_discharge_battery_avg',  
'power_net_discharge_hydro_avg',  
'power_net_import_CH_avg',  
'power_net_import_CZ_avg',  
'power_net_import_DE_avg',  
'power_net_import_HU_avg',  
'power_net_import_IT-NO_avg',  
'power_net_import_SI_avg',  
'power_origin_percent_fossil_avg',  
'power_origin_percent_renewable_avg',  
'power_production_biomass_avg',  
'power_production_coal_avg',  
'power_production_gas_avg',  
'power_production_geothermal_avg',  
'power_production_hydro_avg',  
'power_production_nuclear_avg',  
'power_production_oil_avg',  
'power_production_solar_avg',  
'power_production_unknown_avg',  
'power_production_wind_avg',  
'total_discharge_avg',  
'total_storage_avg']
```

10.2.2 Lineare Residuallastsignale

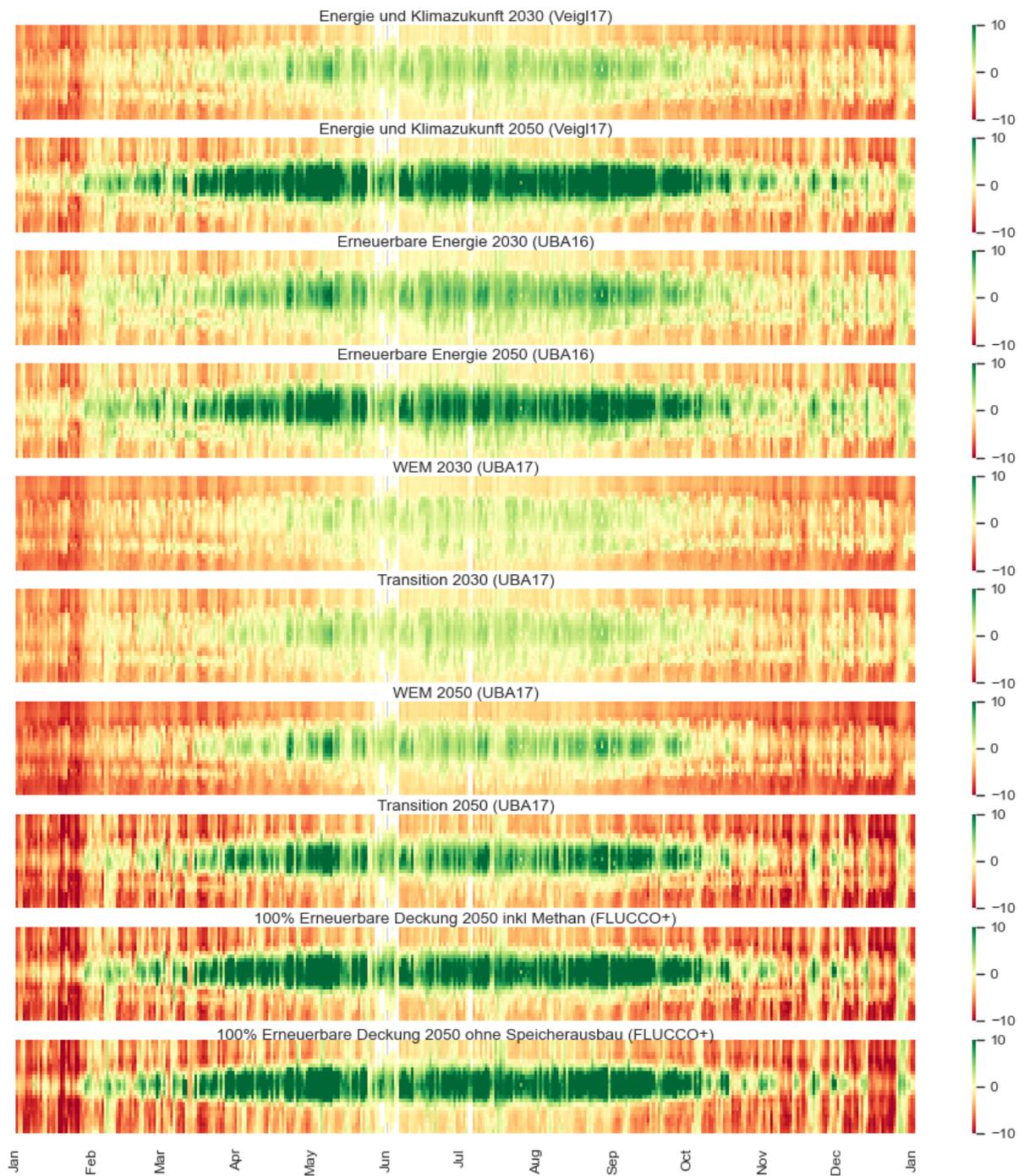
10.2.2.1 2015

Abbildung 10-1: Lineare Residuallastsignale 2015



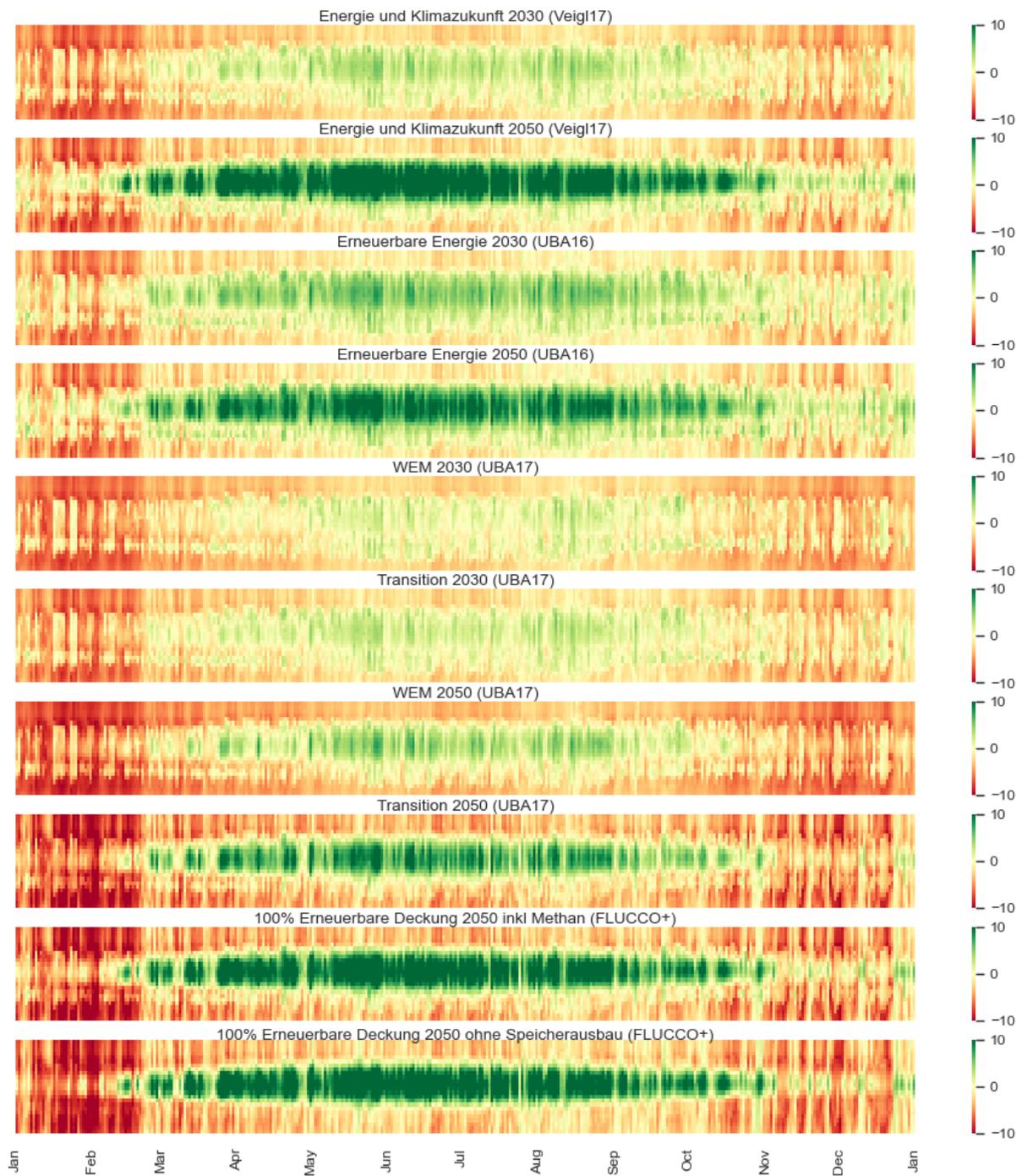
10.2.2.2 2016

Abbildung 10-2: Lineare Residuallastsignale 2016



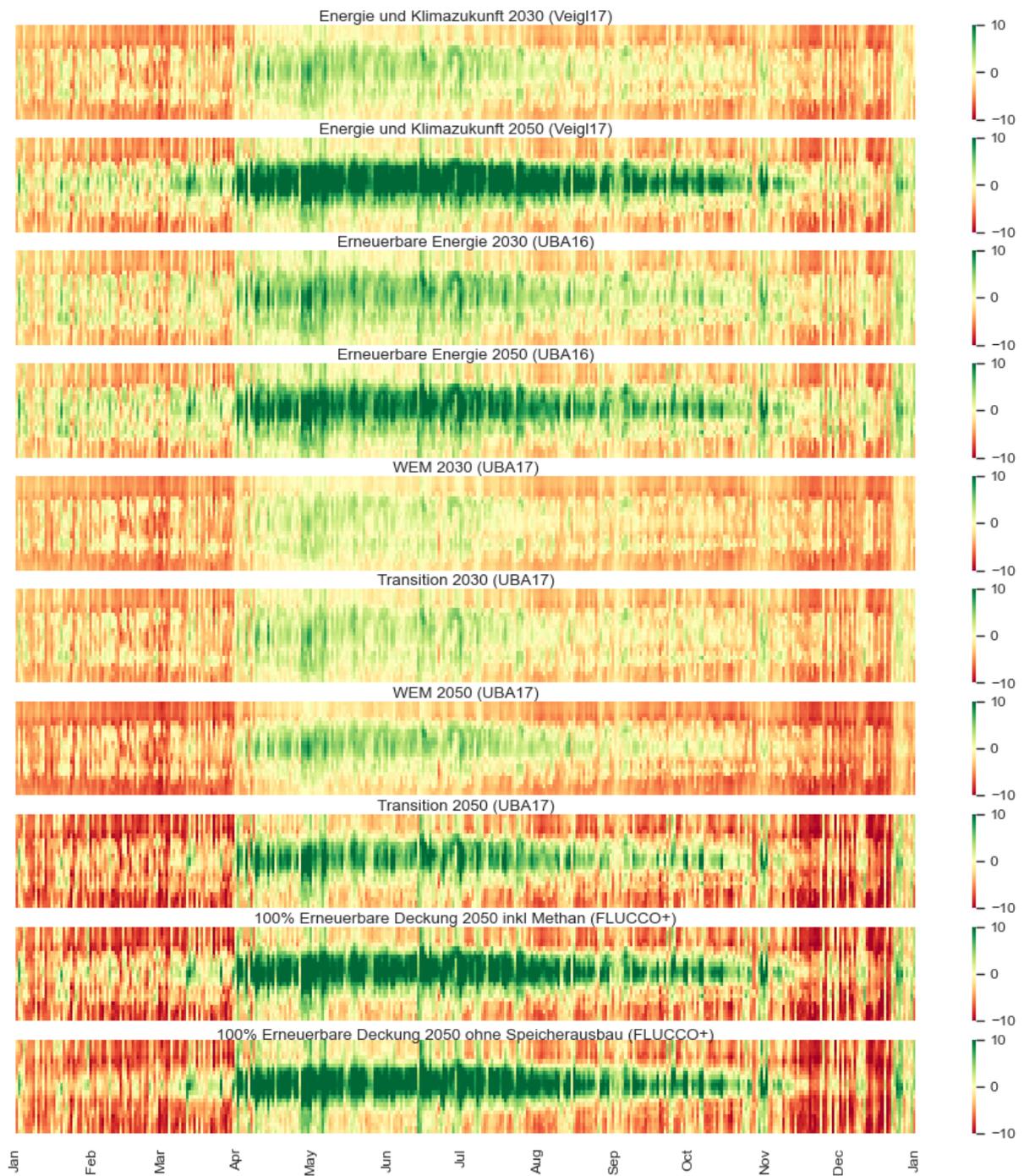
10.2.2.3 2017

Abbildung 10-3: Lineare Residuallastsignale 2017



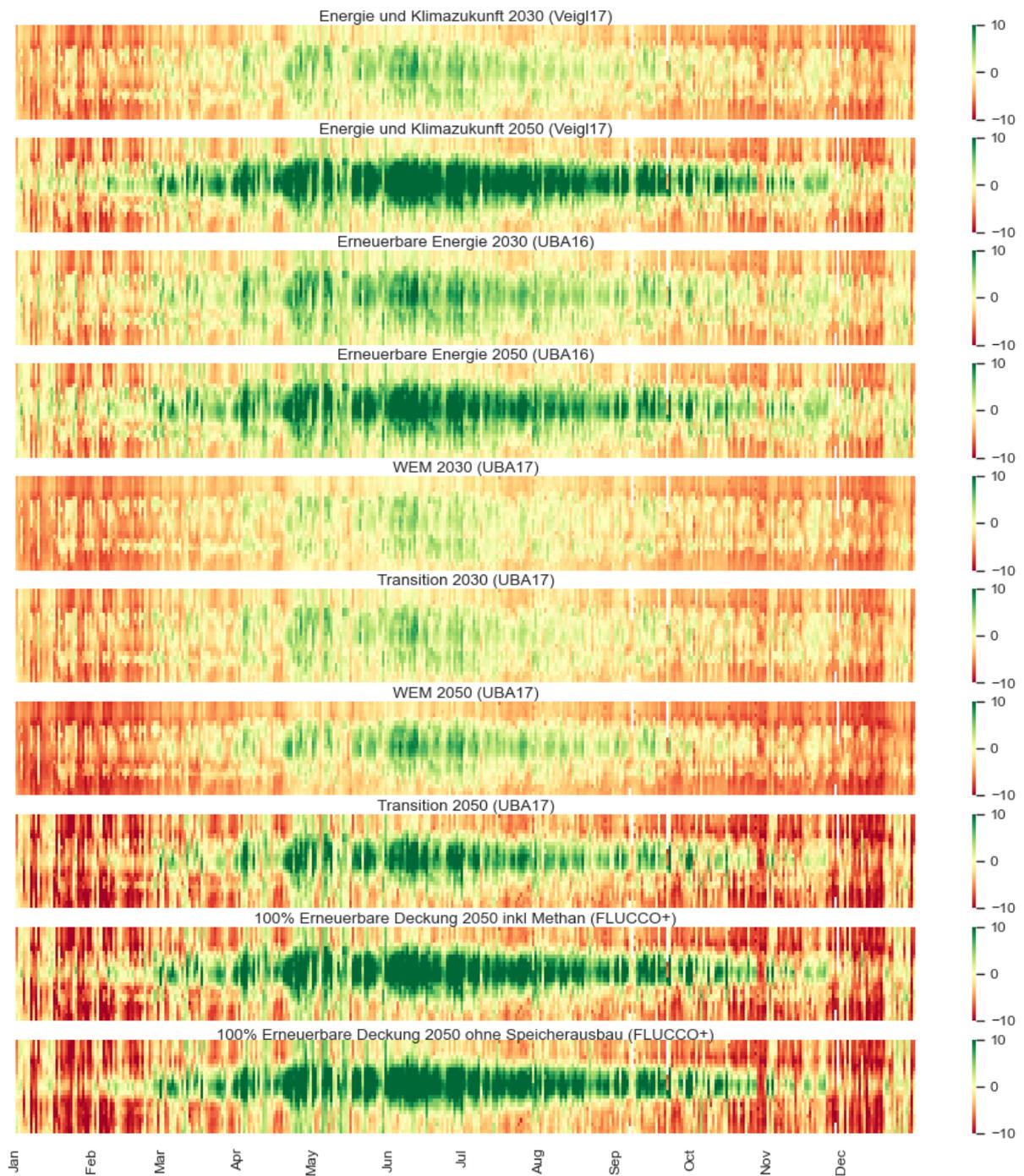
10.2.2.4 2018

Abbildung 10-4: Lineare Residuallastsignale 2018



10.2.2.5 2019

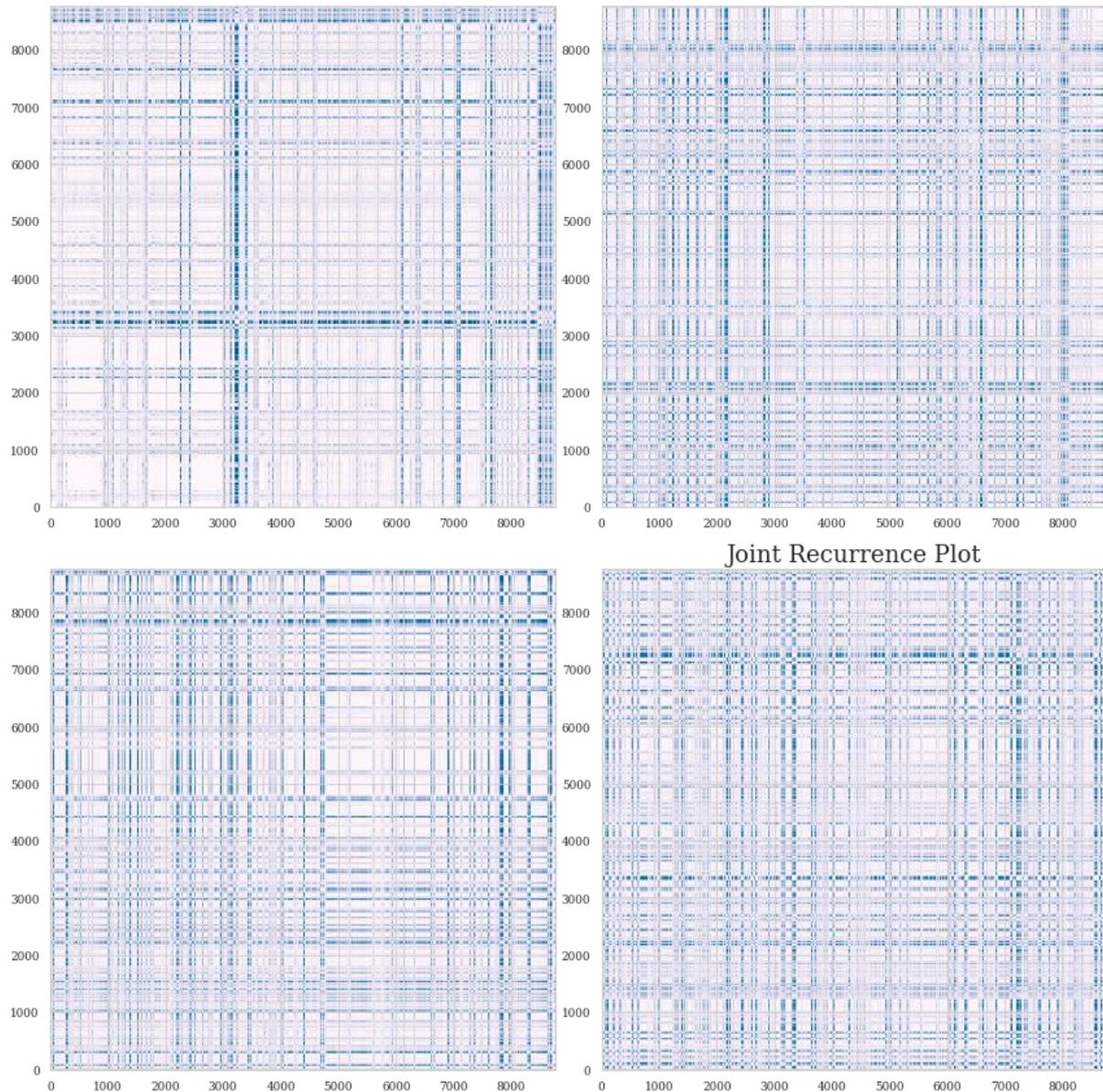
Abbildung 10-5: Lineare Residuallastsignale 2019



10.2.2.6 Windkraft Joint recurrence Plots

Joint recurrence Plots der Anlagen Maustrenk und Neuhof III jeweils auf der X- und Y-Achse für die Jahre 2015 – 2019 dargestellt.

Abbildung 10-6: Joint recurrence plot von MausTrenk und Neuhof III für die Jahre 2015-2019, wobei kein signifikante joint recurrence vorliegt



10.3 Variantentabellen der Simulationen

Tabelle 10-5: Allgemeine und quartiersspezifische Input-Parameter der Quartiersmodellierung

Domäne	Parameter	Einheit
Bauphysik	Wärmebrückenzuschlag	-
	Durchschn. Raumhöhe für die Berechnung des Lüftungsvolumen	W/K
Haustechnik		
Heizen	Raumtemp. Minimum	°C
	Raumtemp. Maximum	°C
	Wirkungsgrad Heizen (Verteilungsverluste)	-
	Leistung Wärmepumpe	W/m ² _{NGF}
	JAZ Wärmepumpe Wohnen	-
	JAZ Wärmepumpe Büro & Gewerbe	-
	JAZ Wärmepumpe Handel	-
	JAZ Wärmepumpe Bildung	-
	Wirkungsgrad Fernwärme	-
Kühlen	Wirkungsgrad Erdgas	-
	Raumtemp. Minimum	°C
	Raumtemp. Maximum	°C
	Wirkungsgrad Kühlung (Verteilungsverluste)	-
	Leistung Wärmepumpe	W/m ² _{NGF}
	SEER Kühlung	-
	JAZ Wärmepumpe Wohnen	-
	JAZ Wärmepumpe Büro & Gewerbe	-
	JAZ Wärmepumpe Handel	-
	JAZ Wärmepumpe Bildung	-
Warmwasser	Temperatur Minimum	°C
	Temperatur Maximum	°C

	Wirkungsgrad (Verteilungsverluste)	-
	Wasserspeicher	l/Person*Tag
	Leistung Wärmepumpe	W/m ² _{NGF}
	Wirkungsgrad Aufheizen	-
	JAZ Wärmepumpe Wohnen	-
	JAZ Wärmepumpe Büro & Gewerbe	-
	JAZ Wärmepumpe Handel	-
	JAZ Wärmepumpe Bildung	-
Hilfsstrom	Hilfsstromanteil bei Wärmepumpensystem	-
	Hilfsstromanteil Fernwärme	-
Lüftung	Wirkungsgrad Wärmerückgewinnung	-
	Wirkungsgrad Kälterückgewinnung	-
	Wirkungsgrad Übergangszeit	-
<i>Demand Side Management</i>		
Netzdienlichkeit	Freigabesignal Wind-Peak-Shaving	-
	Maximale Ladeleistung	W/m ² _{NGF}
WW Nachheizung mittels E-Patrone	Temperatur Maximum	°C
	Wirkungsgrad	-
	Anschlussleistung	W/l
E-Mobilität (als Speicher)	Batteriekapazität je Fahrzeug	kWh
	Verluste Batterie	SOC/h
	Minimaler Ladezustand der erreicht werden soll	-
	Wirkungsgrad Ladung	-
	Anteil Elektroautos	%

	Energieverbrauch	kWh/km
Batteriespeicher	Kapazität Batterie	Wh/m ² _{NGF}
	Verluste Batterie	1/h
	Maximale Lade-/Entladeleistung	W/m ² _{NGF}
	Wirkungsgrad Ladung	-
	Wirkungsgrad Entladung	-
Solare Gewinne		
	Fensterfläche brutto Nord	m ²
	Fensterfläche brutto Ost	m ²
	Fensterfläche brutto Süd	m ²
	Fensterfläche brutto West	m ²
	Fensterfläche brutto horizontal	m ²
	g-Wert Nord	-
	g-Wert Ost	-
	g-Wert Süd	-
	g-Wert West	-
	g-Wert Horizontal	-
	Abminderungsfaktor solare Einstrahlung Heizen Nord	-
	Abminderungsfaktor solare Einstrahlung Heizen Ost	-
	Abminderungsfaktor solare Einstrahlung Heizen Süd	-
	Abminderungsfaktor solare Einstrahlung Heizen West	-
	Abminderungsfaktor solare Einstrahlung Heizen Horizontal	-
	Verhältnis Abminderung Kühlung/Heizung Nord	-
	Verhältnis Abminderung Kühlung/Heizung Ost	-

	Verhältnis Abminderung Kühlung/Heizung Süd	-
	Verhältnis Abminderung Kühlung/Heizung West	-
	Verhältnis Abminderung Kühlung/Heizung Horizontal	-

Kategorie	Parameter		EFH Aichinger	MGG22	Werft Korneuburg	Sonnendorf Schwoich	Geblergasse
Gebäude	Wohnbau NGF	m ² _{NGF}	140,0	11913,3	94542,4	6910,0	1149,8
Gebäude	Büro NGF	m ² _{NGF}	0,0	0,0	22016,0	0,0	0,0
Gebäude	Schule NGF	m ² _{NGF}	0,0	0,0	4136,8	0,0	0,0
Gebäude	Kiga NGF	m ² _{NGF}	0,0	0,0	6816,8	0,0	0,0
Gebäude	Handel NGF	m ² _{NGF}	0,0	0,0	9944,8	0,0	0,0
Gebäude	Summe NGF	m ² _{NGF}	140,0	11913,3	137456,8	6910,0	1149,8
Gebäude	Anteil NonFood an Handel	-	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
Gebäude	Bauteilfläche Außenwand (exkl. Fenster)	m ²	189,2	8554,1	84031,5	5609,4	562,3
Gebäude	Bauteilfläche Fenster	m ²	31,3	2645,7	36013,5	1512,6	269,2
Gebäude	Bauteilfläche Dach	m ²	87,5	4536,4	52393,4	4919,3	215,9
Gebäude	Bauteilfläche Decke gegen Erdreich / Keller	m ²	87,5	5007,2	52393,4	6963,4	348,9
Gebäude	Fensterfläche Nord	m ²	1,4	504,2	9003,4	549,6	54,7
Gebäude	Fensterfläche Ost	m ²	8,9	665,9	9003,4	242,6	64,4
Gebäude	Fensterfläche Süd	m ²	12,2	732,5	9003,4	411,9	69,4
Gebäude	Fensterfläche West	m ²	8,7	733,2	9003,4	296,0	3,3

Gebäude	Fensterfläche horizontal	m ²	0,0	9,9	0,0	0,0	0,0
Gebäude	U-Wert Außenwand (exkl. Fenster)	W/m ² K	0,099	0,154	0,237	0,159	0,252
Gebäude	U-Wert Fenster	W/m ² K	0,724	0,756	0,961	0,830	1,178
Gebäude	U-Wert Dach	W/m ² K	0,076	0,130	0,189	0,116	0,155
Gebäude	U-Wert Decke gegen Erdreich / Keller	W/m ² K	0,089	0,244	0,177	0,233	0,319
Gebäude	g-Wert Fenster	-	0,51	0,51	0,50	0,51	0,66
Gebäude	Spezifisch Wirksame Wärmekapazität	Wh/m ² K	180,0	204,0	204,0	204,0	135,0
Gebäude	Personendichte Wohnen	m ² NF/Per	36,2	36,2	36,2	36,2	36,2
Gebäude	Personendichte Büro	m ² NF/Per	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Gebäude	Personendichte Ausbildung	m ² NF/Per	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Gebäude	Personendichte Handel	m ² NF/Per	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Heizung	Raumtemp. Minimum	°C	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
Heizung	Raumemp. Maximum	°C	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Heizung	Verteilungsverluste Heizen	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Heizung	Leistung Wärmepumpe	W/m ²	33,0	30,0	26,2	10,5	30,0
Heizung	JAZ Wärmepumpe	-	4,3	4,0	5,0	4,0	4,0

Kühlung	Raumtemp. Minimum	°C	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Kühlung	Raumtemp. Maximum	°C	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Kühlung	Verteilungsverluste Kühlung	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Kühlung	Leistung Wärmepumpe	W/m ²	33,0	50,0	25,4	50,0	50,0
Kühlung	JAZ Wärmepumpe	-	20,0	20,0	8,0	4,8	20,0
Warmwasser	Temperatur Minimum	°C	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Warmwasser	Verteilungsverluste	-	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Warmwasser	Warmwasserspeicher	l/Per*d	50	50	50	50	50
Warmwasser	Leistung Wärmepumpe	W/m ²	33,0	15,9	5,5	15,9	15,9
Warmwasser	JAZ Wärmepumpe	-	3,2	3,0	3,0	3,0	4,0
Mobilität	Regionstyp	-	11	93	11	23	92
Wetter	Wetterdaten	-	9,0	Wien Hohe Warte	Wien Hohe Warte	5,0	Wien Hohe Warte
Grundstück	Grundstücksgröße	m ²	745,0	9608,8	105167,0	9246,0	702,0

10.3.1 Mobilitätsregionen

Regionstyp	Zuordnung Jahres mobilität Wohnen	Zuordnung Jahres mobilität Büro	Zuordnung Jahres mobilität Ausbildung	Zuordnung Jahres mobilität Handel	Verkehrs- leistung Zu Fuß (pro Person)	Verkehrs- leistung Fahrrad (pro Person)	Verkehrs- leistung Moped (pro Person)	Verkehrs- leistung PKW- LenkerIn (pro Person)	Verkehrs- leistung PKW- MitfahrerIn (pro Person)	Verkehrs- leistung Stadt/ Regional- bus (pro Person)	Verkehrs- leistung Straßen- bahn/U- Bahn (pro Person)	Verkehrs- leistung Eisenbahn (pro Person)	Verkehrs- leistung Reisebus (pro Person)
11	0,51	0,19	0,02	0,28	310	383	225	5.527	2.666	379	232	1.366	176
23	0,47	0,22	0,03	0,27	211	188	65	7.846	2.734	566	200	940	173
92	0,48	0,18	0,04	0,3	339	114	78	3.414	1.803	326	2.031	1.394	33
93	0,50	0,17	0,03	0,29	235	116	146	4.291	2.035	165	1.978	1.463	67
11 optimiert	0,51	0,19	0,02	0,28	437	576	186	4.564	2.202	580	355	2.093	270
23 optimiert	0,47	0,22	0,03	0,27	302	460	56	6.731	2.345	913	323	1.515	279
92 optimiert	0,48	0,18	0,04	0,3	423	195	59	2.578	1.361	424	2.638	1.811	42
93 optimiert	0,50	0,17	0,03	0,29	287	206	125	3.679	1.745	200	2.398	1.774	81

10.3.2 Aufbauten je Bauweise

Tabelle 10-6: Bauteilaufbauten, Variante Massivbau/Beton

Bauteil	Aufbau Standardvariante	Aufbau Ökovariante
Außenwand	Stahlbetonwand mit Wärmedämmverbundsystem verputzt, Dämmstoff EPS	Stahlbetonwand mit Wärmedämmverbundsystem verputzt, Dämmstoff Kork
Dach	Stahlbeton-Flachdach als Warmdach, Dämmstoff EPS	Stahlbeton-Flachdach als Warmdach, Dämmstoff Kork
Terrasse	Stahlbeton-Flachdach mit Terrassenaufbau, Dämmstoff Vakuum-Dämmplatte	Stahlbeton-Flachdach mit Terrassenaufbau, Dämmstoff Vakuum-Dämmplatte
Außendecken	Stahlbetondecke über Außenluft, Distanzboden, Dämmstoff EPS	Stahlbetondecke über Außenluft, Distanzboden, Dämmstoff Mineralschaumplatte
Geschoßdecken	Stahlbeton-Geschoßdecke, Nassestrich, Dämmstoff EPS	Stahlbeton-Geschoßdecke, Nassestrich, Dämmstoff Perlite
Kellerdecken	Kellerdecke unterseitig gedämmt, Dämmstoff Glaswolle	Kellerdecke unterseitig gedämmt, Dämmstoff Schafwolle
Erdberührter Fußboden beheizt	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff XPS	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff Perlite
Erdberührter Fußboden Keller/TG	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet
Erdberührte Wand beheizt	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS
Erdberührte Wand Keller/TG	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)
Innenwände (tragend)	Stahlbeton-Trennwand, Dämmstoff Glaswolle, Kalkzementputz	Stahlbeton-Trennwand, Dämmstoff Schafwolle, Lehmputz
Innenwände (nicht tragend)	Ständer-Scheidewand, Dämmstoff Glaswolle	Ständer-Scheidewand, Dämmstoff Schafwolle
Fenster	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Alu-Rahmen Fichte	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Rahmen Fichte

Tabelle 10-7: Bauteilaufbauten, Variante Massivbau/Ziegel

Bauteil	Aufbau Standardvariante	Aufbau Ökovariante
Außenwand	Schwere Hochlochziegel-Außenwand, Spezial-WDVS, Dämmstoff EPS	Schwere Hochlochziegel-Außenwand, Spezial-WDVS, Dämmstoff Kork
Dach	Stahlbeton-Flachdach als Warmdach, Dämmstoff EPS	Stahlbeton-Flachdach als Warmdach, Dämmstoff Kork
Terrasse	Stahlbeton-Flachdach mit Terrassenaufbau, Dämmstoff Vakuum-Dämmplatte	Stahlbeton-Flachdach mit Terrassenaufbau, Dämmstoff Vakuum-Dämmplatte
Außendecken	Stahlbetondecke über Außenluft, Distanzboden, Dämmstoff EPS	Stahlbetondecke über Außenluft, Distanzboden, Dämmstoff Mineralschaumplatte
Geschoßdecken	Ziegel-Geschoßdecke ohne Aufbeton, Dämmstoff Glaswolle	Ziegel-Geschoßdecke ohne Aufbeton, Dämmstoff Holzfaser
Kellerdecken	Kellerdecke unterseitig gedämmt, Dämmstoff Glaswolle	Kellerdecke unterseitig gedämmt, Dämmstoff Schafwolle
Erdberührter Fußboden beheizt	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff XPS	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff Perlite
Erdberührter Fußboden Keller/TG	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet
Erdberührte Wand beheizt	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS
Erdberührte Wand Keller/TG	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)
Innenwände (tragend)	Schwere Hochlochziegel-Wohnungstrennwand, Dämmstoff Glaswolle, Kalkzementputz	Schwere Hochlochziegel-Wohnungstrennwand, Dämmstoff Schafwolle, Lehmputz
Innenwände (nicht tragend)	Vollziegel-Scheidewand, unverputzt	Vollziegel-Scheidewand, unverputzt
Fenster	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Alu-Rahmen Fichte	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Rahmen Fichte

Tabelle 10-8: Bauteilaufbauten, Variante Holzmassivbau

Bauteil	Aufbau Standardvariante	Aufbau Ökovariante
Außenwand	Brettsperrholz-Außenwand, WDVS, Dämmstoff Steinwolle	Brettsperrholz-Außenwand, WDVS, Dämmstoff Holzfaser
Dach	Brettsperrholz-Flachdach als Warmdach, Dämmstoff Steinwolle	Brettsperrholz-Flachdach als Warmdach, Dämmstoff Kork
Terrasse	Brettsperrholz-Flachdach mit Terrassenaufbau, Dämmstoff EPS	Brettsperrholz-Flachdach mit Terrassenaufbau, Dämmstoff EPS
Außendecken	Massivholzdecke über Außenluft, Nassestrich, Dämmstoff Glaswolle	Massivholzdecke über Außenluft, Nassestrich, Dämmstoff Hanf
Geschoßdecken	Brettsperrholz-Geschoßdecke, Nassestrich	Brettsperrholz-Geschoßdecke, Nassestrich
Kellerdecken	Brettsperrholz-Kellerdecke, unterseitig gedämmt	Brettsperrholz-Kellerdecke, unterseitig gedämmt
Erdberührter Fußboden beheizt	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff XPS	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff Perlite
Erdberührter Fußboden Keller/TG	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet
Erdberührte Wand beheizt	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS
Erdberührte Wand Keller/TG	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)
Innenwände (tragend)	Brettsperrholz-Innenwand tragend, Dämmstoff Steinwolle	Brettsperrholz-Innenwand tragend, Dämmstoff Schafwolle
Innenwände (nicht tragend)	Brettsperrholz-Scheidewand, nichttragend	Brettsperrholz-Scheidewand, nichttragend
Fenster	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Alu-Rahmen Fichte	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Rahmen Fichte

Tabelle 10-9: Bauteilaufbauten, Variante Leichtbau

Bauteil	Aufbau Standardvariante	Aufbau Ökovariante
Außenwand	Holzständer-Außenwand, hinterlüftet, Dämmstoff Glaswolle	Holzständer-Außenwand, hinterlüftet, Dämmstoff Hanf
Dach	Doppel-T-Träger-Flachdach, Dämmstoff Glaswolle	Doppel-T-Träger-Flachdach, Dämmstoff Zellulose
Terrasse	Leichtbau-Terrasse, hinterlüftet, Dämmstoff Steinwolle	Leichtbau-Terrasse, hinterlüftet, Dämmstoff Zellulose
Außendecken	Leichtbau-Decke über Außenluft, Nassestrich, Dämmstoff Glaswolle	Leichtbau-Decke über Außenluft, Nassestrich, Dämmstoff Hanf
Geschoßdecken	Leichtbau-Geschoßdecke, Nassestrich, Dämmstoff Glaswolle	Leichtbau-Geschoßdecke, Nassestrich, Dämmstoff Schafwolle
Kellerdecken	Leichtbau-Kellerdecke, Dämmstoff Glaswolle	Leichtbau-Kellerdecke, Dämmstoff Hanf
Erdberührter Fußboden beheizt	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff XPS	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff Perlite
Erdberührter Fußboden Keller/TG	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet
Erdberührte Wand beheizt	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS
Erdberührte Wand Keller/TG	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)
Innenwände (tragend)	Leichtbau-Wohnungstrennwand, tragend, Dämmstoff Glaswolle	Leichtbau-Wohnungstrennwand, tragend, Dämmstoff Zellulose
Innenwände (nicht tragend)	Ständer-Scheidewand, Dämmstoff Glaswolle	Ständer-Scheidewand, Dämmstoff Schafwolle
Fenster	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Alu-Rahmen Fichte	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Rahmen Fichte

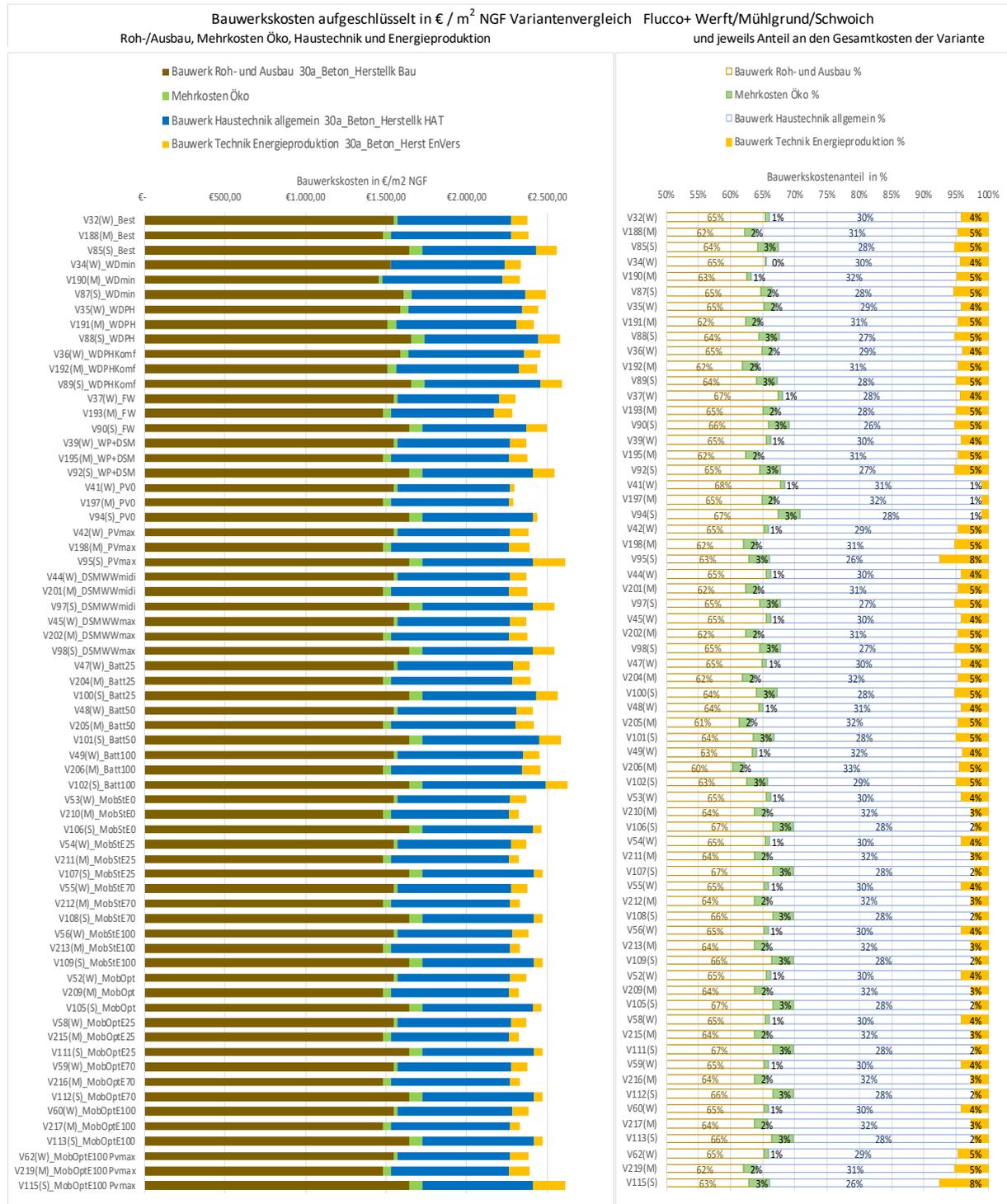
Tabelle 10-10: Bauteilaufbauten, Variante Hybridbau

Bauteil	Aufbau Standardvariante	Aufbau Ökovariante
Außenwand	Brettschichtholzständer-Außenwand, nicht hinterlüftet, Dämmstoff Steinwolle	Brettschichtholzständer-Außenwand, nicht hinterlüftet, Dämmstoff Hanf
Dach	Stahlbeton-Flachdach als Warmdach, Dämmstoff EPS	Stahlbeton-Flachdach als Warmdach, Dämmstoff Kork
Terrasse	Stahlbeton-Flachdach mit Terrassenaufbau, Dämmstoff Vakuum-Dämmplatte	Stahlbeton-Flachdach mit Terrassenaufbau, Dämmstoff Vakuum-Dämmplatte
Außendecken	Stahlbetondecke über Außenluft, Distanzboden, Dämmstoff EPS	Stahlbetondecke über Außenluft, Distanzboden, Dämmstoff Mineralschaumplatte
Geschoßdecken	Stahlbeton-Geschoßdecke, Nassestrich, Dämmstoff EPS	Stahlbeton-Geschoßdecke, Nassestrich, Dämmstoff Perlite
Kellerdecken	Kellerdecke unterseitig gedämmt, Dämmstoff Glaswolle	Kellerdecke unterseitig gedämmt, Dämmstoff Schafwolle
Erdberührter Fußboden beheizt	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff XPS	Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich, Dämmstoff Perlite
Erdberührter Fußboden Keller/TG	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet	Bodenplatte Stahlbeton 120 kg/m ³ WU Beton bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt), Beton geglättet
Erdberührte Wand beheizt	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS	Erdberührte Stahlbeton-Außenwand, Dämmstoff XPS
Erdberührte Wand Keller/TG	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)	Außenwand WU-Beton 120 kg/m ³ bei drückendem Wasser, weiße Wanne (ungedämmt)
Innenwände (tragend)	Stahlbetonstützen + Metallständer-Wohnungstrennwand, Dämmstoff Glaswolle	Stahlbetonstützen + Metallständer-Wohnungstrennwand, Dämmstoff Schafwolle
Innenwände (nicht tragend)	Ständer-Scheidewand, Dämmstoff Glaswolle	Ständer-Scheidewand, Dämmstoff Schafwolle
Fenster	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Alu-Rahmen Fichte	Verglasung: Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon Rahmen: Holz-Rahmen Fichte

10.4 Ergänzende Vergleiche ökonomische Betrachtung

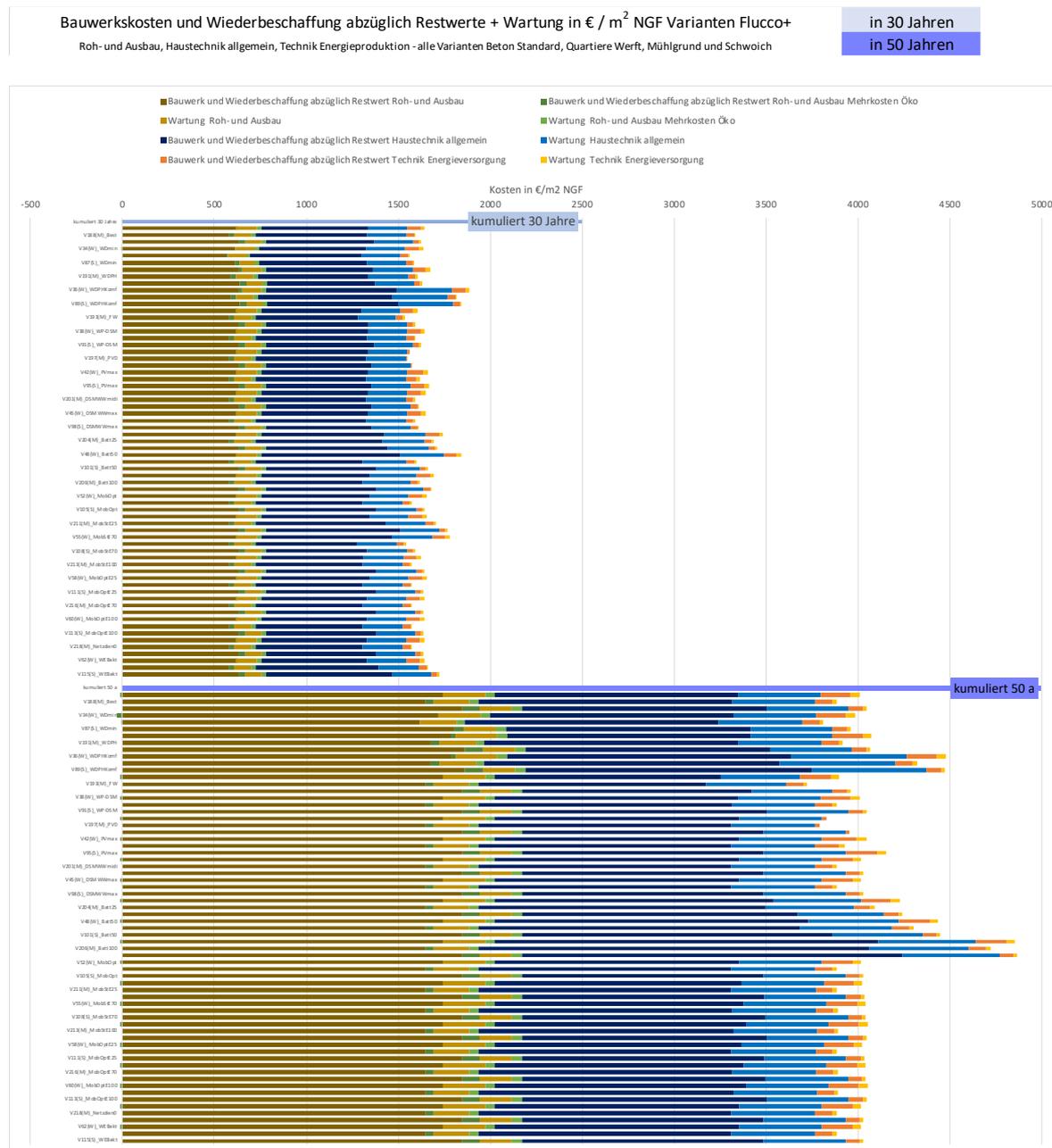
10.4.1 Bauwerkskosten Überblick

Abbildung 10-7: Bauwerkskosten in €/m²NGF Roh- und Ausbau, Haustechnik allgemein und Energieproduktion (PV) + Mehrkosten Ökovariante sowie jeweiliger Anteil an den gesamten Bauwerkskosten in Prozent: Werft, Mühlggrund und Schwoich



10.4.2 Überblick Summen Kosten Bauwerk, Wiederbeschaffung, Restwerte und Wartung

Abbildung 10-8: Überblick Summen von Bauwerks- Wiederbeschaffungskosten und Restwerten sowie Wartungskosten in €/m²_{NGF} bei 30 und 50 Jahren Betrachtungszeitraum – Werft, Mühlgrund und Schwoich



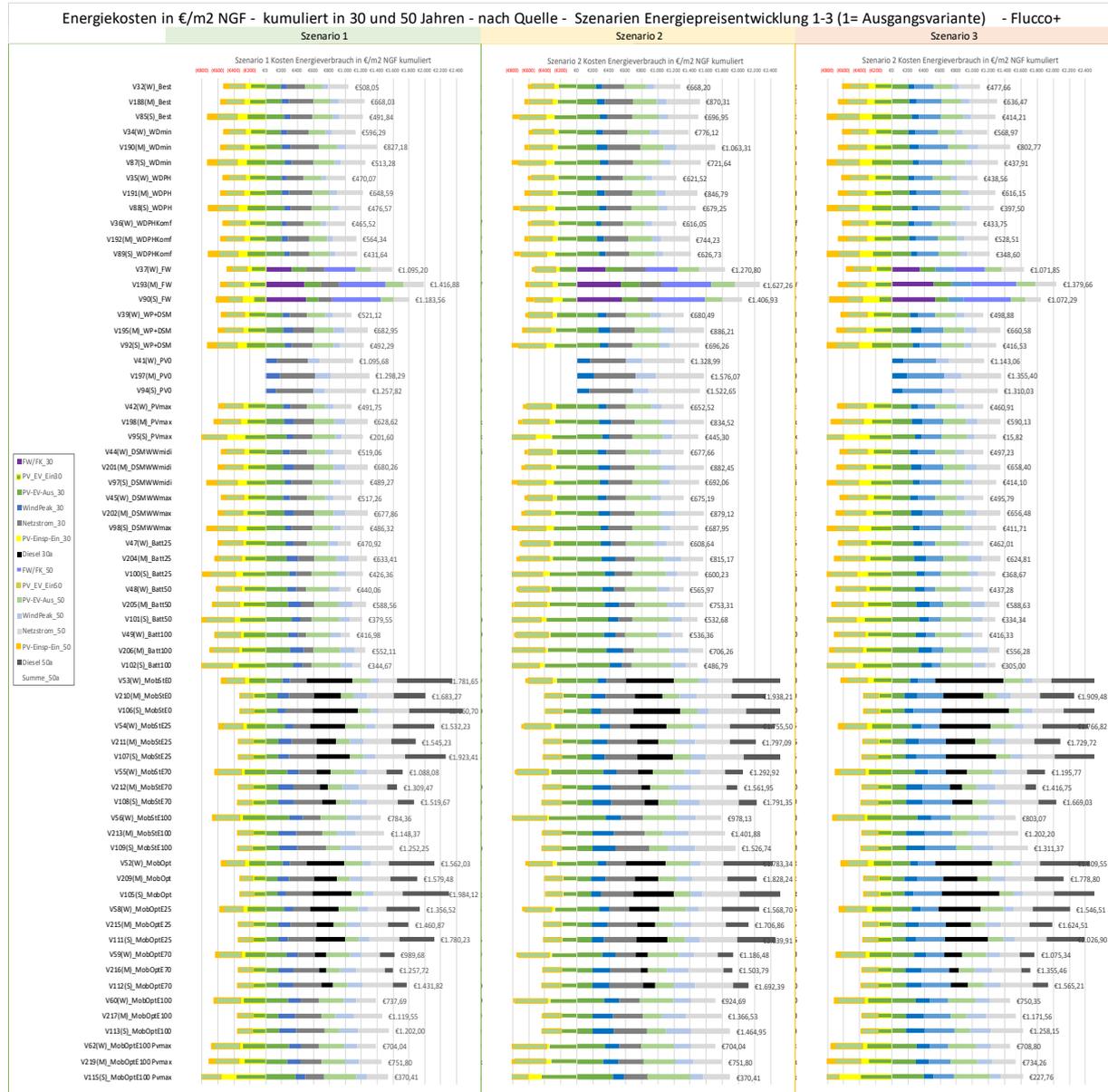
In der Übersicht zeigt sich, dass die kumulierten Kosten für Bauwerk, Wiederbeschaffung, Wartung abzüglich Restwert nach 50 Jahren mehr als doppelt so hoch sind, als nach 30 Jahren. Dies ist insbesondere auf die stark reduzierten Restwerte (0 bei Bauteilen mit Nutzungsdauern von 50 Jahren) zurückzuführen.

Die Spitzen (höchsten Kosten) liegen bei den Varianten im Passivhausstandard mit Komfortlüftung sowie bei den Varianten mit Batteriespeicherung.

10.4.3 Sensitivitätsanalyse Energiepreise – ergänzende Vergleiche

In der untenstehenden Übersicht sind die kumulierten Energiekosten für die Quartiere Werft, Mühlgrund und Schwoich in allen Varianten und in den 3 Szenarien zur Energiepreisentwicklung abgebildet.

Abbildung 10-9: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m²_{NGF} gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick alle Varianten



Die Verbrauchs-Spitzen zeigen sich hier bei den Varianten mit Fernwärmenutzung und jenen mit Mitbetrachtung der Mobilität.

Energiekosten Varianten Gebäudehülle:

Abbildung 10-10: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m²_{NGF} gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick Varianten Gebäudehülle

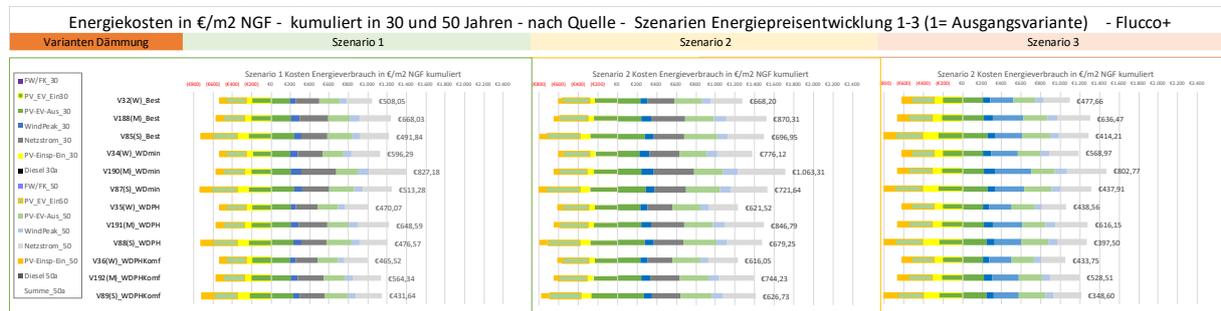


Tabelle 10-11: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m²_{NGF} gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick Varianten Gebäudehülle

Dämmung (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Dämmung (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Dämmung (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V32(W)_Best	508 €	668 €	478 €	V188(M)_Best	930 €	1.134 €	962 €	V85(S)_Best	914 €	1.115 €	945 €
V34(W)_WDmin	596 €	776 €	569 €	V190(M)_WDmin	1.091 €	1.330 €	1.130 €	V87(S)_WDmin	940 €	1.145 €	972 €
V35(W)_WDPH	470 €	622 €	439 €	V191(M)_WDPH	911 €	1.110 €	941 €	V88(S)_WDPH	896 €	1.093 €	926 €
V36(W)_WDPHKomf	466 €	616 €	434 €	V192(M)_WDPHKomf	826 €	1.008 €	853 €	V89(S)_WDPHKomf	843 €	1.029 €	871 €
VWDPH/V Wdmin	78,8%	80,1%	77,1%	VWDPH/V Wdmin	83,4%	83,5%	83,3%	VWDPH/V Wdmin	95,3%	95,4%	95,2%
VWDPH/V WDPHK.	101%	101%	101%	VWDPH/V WDPHK.	110%	110%	110%	VWDPH/V WDPHK.	106%	106%	106%
VVDPH/Best	93%	93%	92%	VVDPH/Best	98%	98%	98%	VVDPH/Best	98%	98%	98%

Dämmung (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Dämmung (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Dämmung (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V32(W)_Best	508 €	668 €	478 €	V188(M)_Best	668 €	870 €	636 €	V85(S)_Best	492 €	697 €	414 €
V34(W)_WDmin	596 €	776 €	569 €	V190(M)_WDmin	827 €	1.063 €	803 €	V87(S)_WDmin	513 €	722 €	438 €
V35(W)_WDPH	470 €	622 €	439 €	V191(M)_WDPH	649 €	847 €	616 €	V88(S)_WDPH	477 €	679 €	397 €
V36(W)_WDPHKomf	466 €	616 €	434 €	V192(M)_WDPHKomf	564 €	744 €	529 €	V89(S)_WDPHKomf	432 €	627 €	349 €
VWDPH/V Wdmin	78,8%	80,1%	77,1%	VWDPH/V Wdmin	78,4%	79,6%	76,8%	VWDPH/V Wdmin	92,8%	94,1%	90,8%
VWDPH/V WDPHK.	101%	101%	101%	VWDPH/V WDPHK.	115%	114%	117%	VWDPH/V WDPHK.	110%	108%	114%
VVDPH/Best	93%	93%	92%	VVDPH/Best	97%	97%	97%	VVDPH/Best	97%	97%	96%

Die Auswirkungen einer effizienten Gebäudehülle zeigen sich im Vergleich der Varianten WDmin und WDPH. Die möglichen Einsparungen liegen zwischen 9 % (Mühlgrund) 13 % (Werft und Schwoich) in Szenario 3. In Szenario 2 sind die Einsparungen um 2 % Punkte, in Szenario 2 um 3 % Punkte geringer.

- Mehrkosten für Energie Komfortlüftung liegt zwischen 1 % (Werft) bis zu 17 % (Mühlgrund)
- Der Vergleich der möglichen Einsparungen in der Variante WDPH und der Ausgangsvariante Best zeigt, dass diese bei Mühlgrund und Schwoich zu 97 % genutzt werden – in der Werft nur zu 93 %

Energiekosten - Varianten Heizsystem

Abbildung 10-11: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m²_{NGF} gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick Varianten Heizsystem

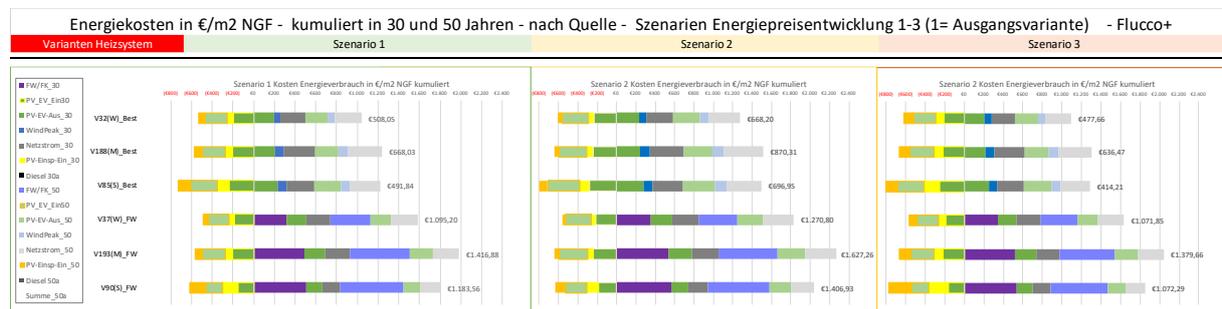


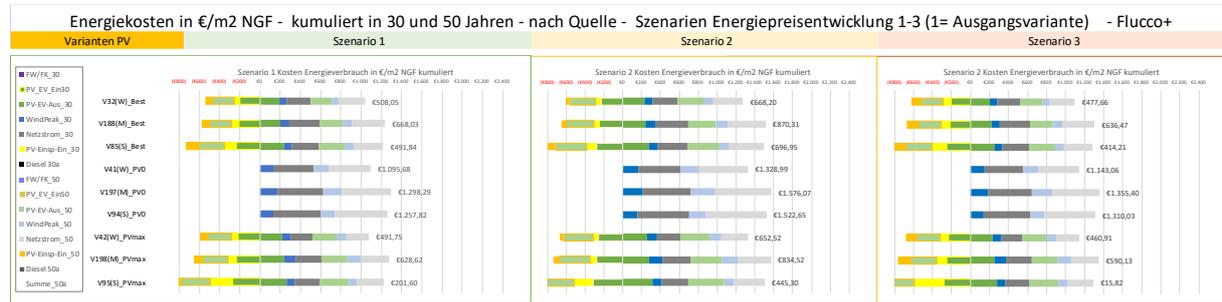
Tabelle 10-12: Auswirkung der 3 Szenarien Energiepreisentwicklung auf Energiekosten pro m²_{NGF} gesamt - kumuliert 30 und 50 Jahre, Überblick Varianten Heizsystem

Heizsysteme (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Heizsysteme (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Heizsysteme (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V32(W)_Best	508 €	668 €	478 €	V188(M)_Best	668 €	870 €	636 €	V85(S)_Best	492 €	697 €	414 €
V37(W)_FW	1.095 €	1.271 €	1.072 €	V193(M)_FW	1.417 €	1.627 €	1.380 €	V90(S)_FW	1.184 €	1.407 €	1.072 €
FW/Best	216%	190%	224%	FW/Best	212%	187%	217%	FW/Best	241%	202%	259%

Für die Varianten mit Fernwärmenutzung ist Szenario 2 die günstigste Entwicklung, gefolgt von Szenario 1. In Szenario 3 entstehen die größten Mehrkosten im Vergleich zu den Varianten mit Wärmepumpen. Aufgrund der hohen Ausstattung mit Photovoltaik ist die prozentuelle Erhöhung der Kosten durch Fernwärmenutzung in der Werft und am Mühlgrund deutlich größer als im Quartier Schwoich. In absoluten Zahlen sind die Kostenunterschiede ähnlich groß

Energiekosten - Varianten Photovoltaik

Abbildung 10-12:



PV (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	PV (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	PV (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V32(W)_Best	523 €	680 €	487 €	V188(M)_Best	949 €	1.147 €	973 €	V85(S)_Best	932 €	1.127 €	956 €
V41(W)_PV0	1.096 €	1.329 €	1.143 €	V197(M)_PV0	1.298 €	1.576 €	1.355 €	V94(S)_PV0	1.258 €	1.523 €	1.310 €
V42(W)_PVmax	492 €	653 €	461 €	V198(M)_PVmax	842 €	1.044 €	860 €	V95(S)_PVmax	598 €	796 €	553 €
V Pvmx/PV0	45%	49%	40%	V Pvmx/PV0	65%	66%	63%	V Pvmx/PV0	48%	52%	42%
V Pvmx/V Best	94%	96%	95%	V Pvmx/V Best	89%	91%	88%	V Pvmx/V Best	64%	71%	58%

PV (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	PV (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	PV (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V32(W)_Best	508 €	668 €	478 €	V188(M)_Best	668 €	870 €	636 €	V85(S)_Best	492 €	697 €	414 €
V41(W)_PV0	1.096 €	1.329 €	1.143 €	V197(M)_PV0	1.298 €	1.576 €	1.355 €	V94(S)_PV0	1.258 €	1.523 €	1.310 €
V42(W)_PVmax	492 €	653 €	461 €	V198(M)_PVmax	629 €	835 €	590 €	V95(S)_PVmax	202 €	445 €	16 €
V Pvmx/PV0	45%	49%	40%	V Pvmx/PV0	48%	53%	44%	V Pvmx/PV0	16%	29%	1%
V Pvmx/V Best	97%	98%	96%	V Pvmx/V Best	94%	96%	93%	V Pvmx/V Best	41%	64%	4%

Die Auswirkung der unterschiedlichen Energiepreis-Szenarien auf die Effizienz der PV-Belegung zeigt sich im Vergleich der Varianten PVmax mit PV0.

- In Szenario 1 liegen die möglichen Einsparungen bei 55 % (Werft), 52 % (Mühlgrund) bzw. 84 % (Schwoich).
- In Szenario 2 liegen die möglichen Einsparungen etwas niedriger bei 51 % (Werft), 47 % (Mühlgrund) bzw. 71 % (Schwoich).
- Die größten möglichen Einsparungen ergeben sich in Szenario 3 (Werft 60 %, Mühlgrund 56 %, Schwoich 99 %)

Der Vergleich zwischen PVmax und der Ausgangsvariante Best zeigt die Größenordnung der Umsetzung im jeweiligen Quartier: In der Werft werden rund 97 % der möglichen Einsparungen durch PV genutzt, am Mühlgrund rund 94 % und in Schwoich rd. 41 %

Energiekosten Varianten Elektromobilität

Abbildung 10-13: Energiekosten in €/m²_{NGF} - kumuliert 50 Jahre - Varianten E-Mobilität

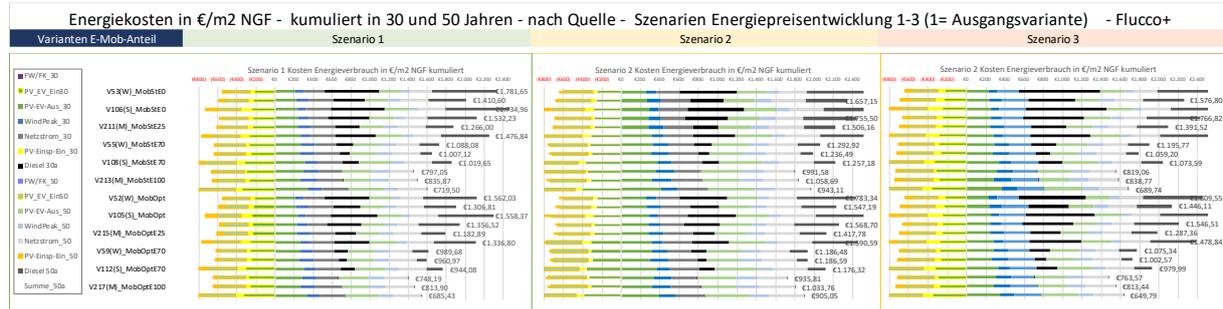


Tabelle 10-13: Energiekosten in €/m²_{NGF} - kumuliert 50 Jahre - Varianten E-Mobilität

MobStand.E-Anteil (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Mob opti/St100E (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Mob opti/St100E (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V53(W)_MobStE0	1.782 €	2.016 €	2.086 €	V210(M)_MobStE0	1.411 €	1.657 €	1.577 €	V106(S)_MobStE0	1.735 €	2.013 €	1.981 €
V54(W)_MobStE25	1.532 €	1.755 €	1.767 €	V211(M)_MobStE25	1.266 €	1.506 €	1.392 €	V107(S)_MobStE25	1.477 €	1.739 €	1.655 €
V55(W)_MobStE70	1.088 €	1.293 €	1.196 €	V212(M)_MobStE70	1.007 €	1.236 €	1.059 €	V108(S)_MobStE70	1.020 €	1.257 €	1.074 €
V56(W)_MobStE100	797 €	992 €	819 €	V213(M)_MobStE100	836 €	1.059 €	839 €	V109(S)_MobStE100	720 €	943 €	690 €
V52(W)_MobOpt	1.562 €	1.783 €	1.810 €	V209(M)_MobOpt	1.307 €	1.547 €	1.446 €	V105(S)_MobOpt	1.558 €	1.826 €	1.759 €
V59(W)_MobOptE70	990 €	1.186 €	1.075 €	V216(M)_MobOptE70	961 €	1.187 €	1.003 €	V112(S)_MobOptE70	944 €	1.176 €	980 €
V60(W)_MobOptE100	748 €	936 €	764 €	V217(M)_MobOptE100	814 €	1.034 €	813 €	V113(S)_MobOptE100	685 €	905 €	650 €
V62(W)_MobOptE100 Pvm	715 €	720 €	722 €	V219(M)_MobOptE100	757 €	760 €	741 €	V115(S)_MobOptE100	373 €	374 €	231 €
Mobst25/MobStE0	86%	87%	85%	Mobst25/MobStE0	90%	91%	88%	Mobst25/MobStE0	85%	86%	84%
Mobst70/MobStE0	61%	64%	57%	Mobst70/MobStE0	71%	75%	67%	Mobst70/MobStE0	59%	62%	54%
Mobst100/MobStE0	45%	49%	39%	Mobst100/MobStE0	59%	64%	53%	Mobst100/MobStE0	41%	47%	35%
MobOptE25/MobOptE0	87%	88%	85%	MobOptE25/MobOptE0	91%	92%	89%	MobOptE25/MobOptE0	86%	87%	84%
MobOptE70/MobOptE0	63%	67%	59%	MobOptE70/MobOptE0	74%	77%	69%	MobOptE70/MobOptE0	61%	64%	56%
MobOptE100/MobOptE0	48%	52%	42%	MobOptE100/MobOptE0	62%	67%	56%	MobOptE100/MobOptE0	44%	50%	37%
MobOptE100Pvm/MobOptE0	46%	40%	40%	MobOptE100Pvm/MobOptE0	58%	49%	51%	MobOptE100Pvm/MobOptE0	24%	20%	13%

Für den Bereich Elektromobilität fließen neben den Betriebskosten (Energie) die Kosten für Wallboxen in die Berechnungen ein. Diese liegen bei Investitionskosten von Euro berechnet wurden, zeigen sich die Auswirkung einer Elektrifizierung des Fuhrparks auf die Energiekosten im Vergleich der Varianten MobStE0-MobStE100 sowie in den Optimierten Varianten.

In den Standard-Varianten (ohne Optimierung des Mobilitätsverhaltens) liegt das Einsparungspotential durch E-Mobilität im Ausgangsszenario 1

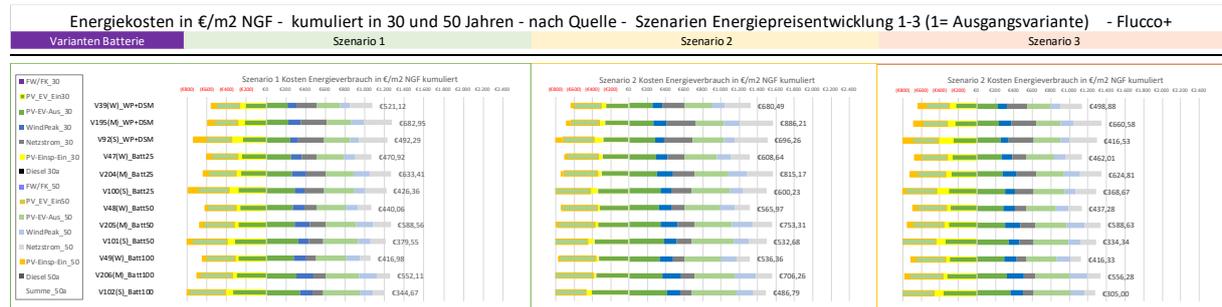
- in der Werft bei 14 % (25 % E-Mobilitätsanteil) bis 55 % (100 % E-Mobilitätsanteil),
- am Mühlgrund bei 10 % (25 % E-Mobilitätsanteil) bis 41 % (100 % E-Mobilitätsanteil) und
- in Schwoich bei 15 % (25 % E-Mobilitätsanteil) bis 59 % (100 % E-Mobilitätsanteil).

In den optimierten Varianten reduziert sich das Einsparungspotential um 1 bis 2 Prozentpunkte.

In Szenario 2 liegen die möglichen Einsparungen um rd. 1 % Punkt über – in Szenario 3 um rd. 1 % Punkt unter den Werten in Szenario 1.

Energiekosten - Varianten Batteriespeicher

Abbildung 10-14:



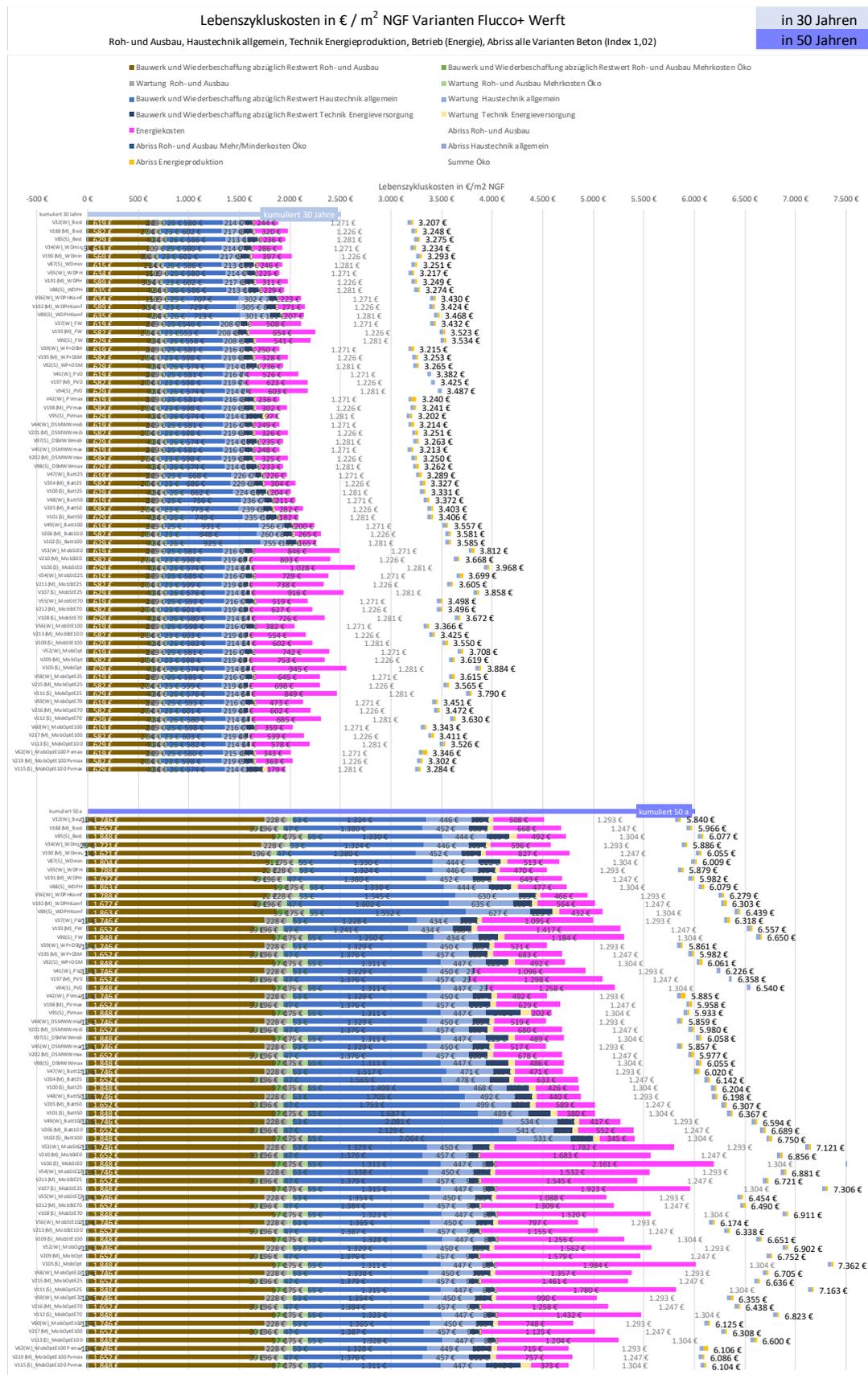
Batterie (W)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Batterie (M)	Szenario1	Szenario2	Szenario3	Batterie (S)	Szenario1	Szenario2	Szenario3
V39(W)_WP+DSM	521 €	668 €	478 €	V195(M)_WP+DSM	683 €	886 €	661 €	V92(S)_WP+DSM	492 €	696 €	417 €
V47(W)_Batt25	471 €	609 €	462 €	V204(M)_Batt25	633 €	815 €	625 €	V100(S)_Batt25	426 €	600 €	369 €
V48(W)_Batt50	440 €	566 €	437 €	V205(M)_Batt50	589 €	753 €	589 €	V101(S)_Batt50	380 €	533 €	334 €
V49(W)_Batt100	417 €	536 €	416 €	V206(M)_Batt100	552 €	706 €	556 €	V102(S)_Batt100	345 €	487 €	305 €
Batt25/WP+DSM	90%	91%	97%	Batt25/WP+DSM	93%	92%	95%	Batt25/WP+DSM	87%	86%	89%
Batt50/WP+DSM	84%	85%	92%	Batt50/WP+DSM	86%	85%	89%	Batt50/WP+DSM	77%	77%	80%
Batt100/WP+DSM	80%	80%	87%	Batt100/WP+DSM	81%	80%	84%	Batt100/WP+DSM	70%	70%	73%

Die Wirkung der Batteriespeicherung zeigt sich Im Vergleich der Varianten Batt25, Batt50, Batt100 mit den Varianten Wärmepumpe mit DSM, am deutlichsten sind die Unterschiede im Quartier Wert (vergleichsweise größte PV-Anlage) erkennbar

- In Szenario 1 und 2 reduzieren sich die Energiekosten annähernd gleich (10-20 % in der Werft, 7-19 % am Mühlgrund und 13-30 % in Schwoich).
- In Szenario 3 (höchste Einspeisevergütung) reduzieren sich die Einsparungen auf (3-13 % in der Werft, 5-16 % am Mühlgrund und 11-27 % in Schwoich).

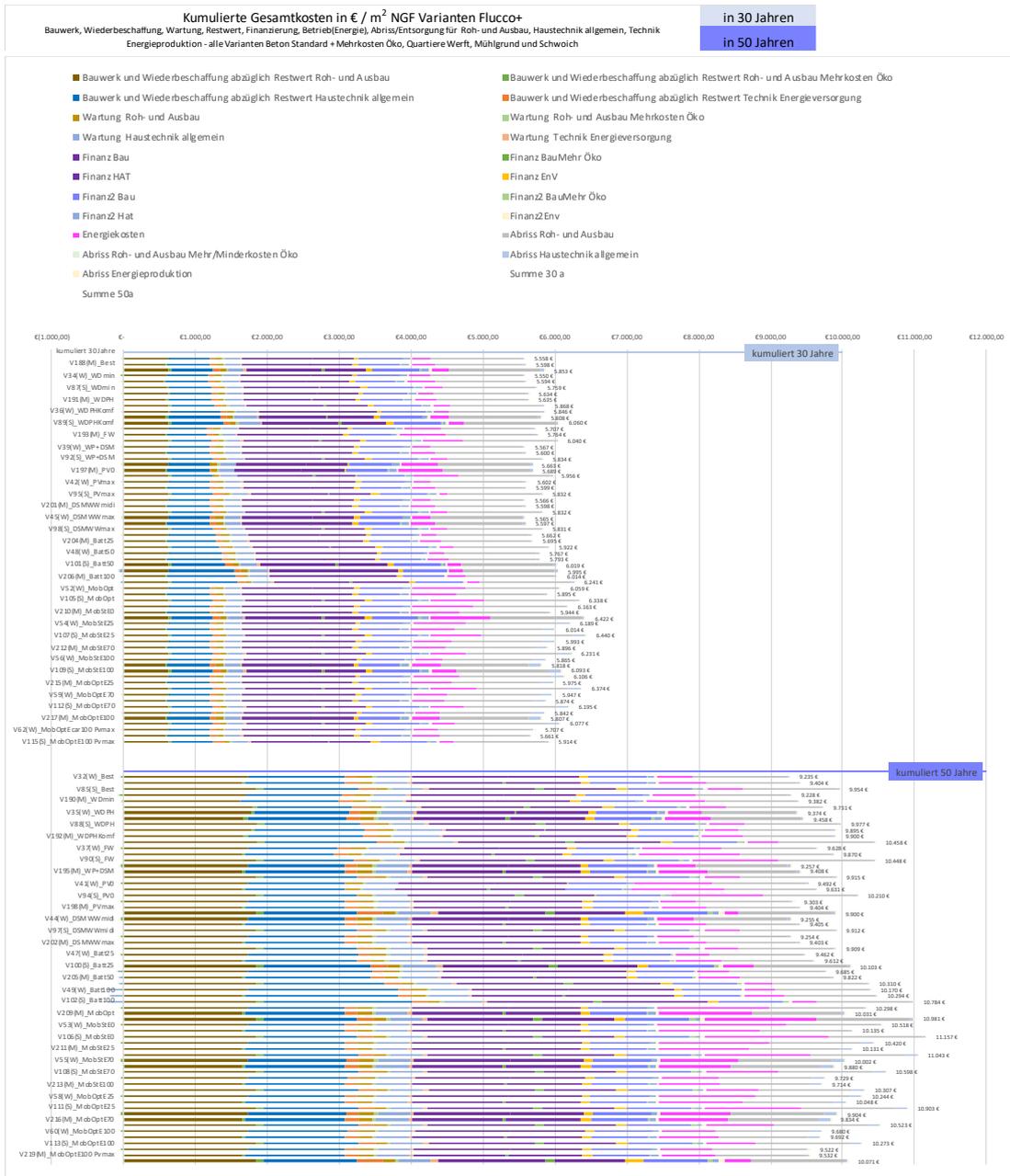
10.4.4 Lebenszykluskosten: Übersicht und ergänzende Vergleiche

Abbildung 10-15: Lebenszykluskosten in €/m² NGF - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre – Überblick alle Varianten - Beton Standard und Mehrkosten Öko - Werft, Mühlgrund und Schwoich



10.4.5 Kumulierte Gesamtkosten

Abbildung 10-16: Überblick kumulierte Gesamtkosten in €/m²_{NGF} - Betrachtungszeitraum 30 und 50 Jahre - alle Varianten Werft, Mühlgrund und Schwoich



10.4.6 Vergleich der Kostenarten im Überblick

Abbildung 10-17: Vergleich der Übersichten: Bauwerkskosten, kumulierte Kosten für Bauwerk, Wiederbeschaffung, Restwerte und Wartung, Lebenszykluskosten, kumulierte Gesamtkosten pro m²_{NGF}



Im Vergleich der Übersichten zeigen sich:

- Bauwerkskosten (max. € 2.500,-) gleichmäßig mit geringfügigen Spitzen (insbes. Mehrkosten Quartier Schwoich aufgrund weniger verdichteter Bauweise)
- kumulierten Kosten für Bauwerk, Wiederbeschaffung und Restwert sowie Wartung (max. € 5.000,-) zwei stärker ausgebildete Kostenspitzen bei den Varianten Passivhaus mit Komfortlüftung und Varianten Batteriespeicher.
- Lebenszykluskosten (max. € 7.500,-) eine Abflachung der Spitzen Passivhaus/Komfortlüftung und Batteriespeicher sowie weitere (Kosten)Spitzen bei den Mobilitätsvarianten.
- Kumulierte Gesamtkosten (max. € 11.200) wieder verstärkte regelmäßige Spitzen (bauliche Mehrkosten Schwoich) sowie Spitzen bei Fernwärme und Mobilitätsvarianten