

Kosten- und Prozessoptimierung im Lebenszyklus von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden

T. Weiß, C. Moser,
D. Venus, R. Höfler,
A. Knotzer, A. M. Fulterer,
T. Hatt, M. Ploß,
T. Roßkopf

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

39/2019

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

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

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/>

Kosten- und Prozessoptimierung im Lebenszyklus von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden

DI Tobias Weiß, DI Christoph Moser, DI David Venus,
Regina Höfler, BSc, DI Armin Knotzer, Dr Anna Maria Fulterer
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

DI (FH) Dr. Tobias Hatt M.Eng., DI Arch. Martin Ploß,
Thomas Roßkopf M.Sc,
Energieinstitut Vorarlberg

Dipl.-Ing. Jens Glögger, Dipl.-Ing. Klara Meier
ATP-sustain GmbH

Gleisdorf, März 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und 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 von allen betroffenen Bereichen 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 innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1.	Executive Summary	11
1	Ausgangslage	13
1.1	Stand der Technik	13
1.1.	Problemstellung	14
1.2.	Innovationsgehalt	15
2	Prozessoptimierung von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden	17
2.1	Prozessqualität	17
2.2	Akteursbezogene Abhängigkeiten und Korrelationen	19
2.3	Prozessabläufe für die Realisierung von Null- und Plusenergiegebäuden	22
3	Energetisch -wirtschaftliche Optimierung von Gebäuden	25
3.1	Betrachtungsperspektiven, –zeiträume und betrachtete Kosten	25
3.2	Zusatznutzen/ Co-Benefits	26
3.3	Vorgehensweise bei der Optimierung	29
4	Annahmen und Randbedingungen	31
4.1	Kostenermittlung, Errichtungskosten, Zinssätze	31
4.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	32
4.3	Energiepreise und Steigerungen	34
4.4	Wartungskosten	35
4.5	Ersatzinvestition für Erneuerung	35
4.6	Energiebedarfsberechnungen	36
4.7	Sensitivitätsuntersuchungen	37
5	Untersuchte Beispielgebäude	38
5.1	Überblick der sieben Beispielgebäude	39
5.1.1	Mehrfamilienhaus Wolfurt 15 Wohneinheiten	40
5.1.2	Mehrfamilienhaus Langenegg 6 Wohnungen	40
5.1.3	Mehrfamilienhaus Feldkirch 18+1 Wohneinheiten	41
5.1.4	Sanierung e80^3 Wohnhausanlage Kapfenberg	41
5.1.5	+ERS Mehrfamilienhaus Plusenergieverbund Reininghaus	42
5.1.6	Bürogebäude AEE INTEC	42
5.1.7	Sanierung Neue Mittelschule Rainbach	43
5.2	Kurzdarstellung von drei variierten Parametern	43

6	Ergebnisse.....	44
6.1	Interaktive Webauswertung.....	44
6.2	Ergebnisse der CO ₂ Emissionen.....	47
6.3	Ergebnisse der Errichtungskosten.....	48
6.4	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	51
6.5	Sensitivität der Ergebnisse auf die Randbedingungen.....	54
6.6	Einfluss eines Parameters am Beispiel der Hüllqualität.....	55
6.7	Ergebnisse der Variantenstudie.....	58
6.8	Vorgelagerte Kosten.....	91
6.9	Nachgelagerten Kosten.....	99
7	Schlussfolgerung und Ausblick.....	101
8	Verzeichnisse.....	104
8.1	Abbildungsverzeichnis.....	104
8.2	Tabellenverzeichnis.....	109
8.3	Literaturverzeichnis.....	112
8.4	Abkürzungsverzeichnis.....	114
8.5	Acknowledgement.....	114
	Anhang.....	115
	Anhang I: Übersicht aller untersuchten Varianten.....	115
	Anhang II: Berücksichtigung von PV-Erträgen.....	146
	Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom.....	148
	Anhang IV: Datenbank von Kosteneinsparungspotentialen.....	151
	Anhang V: Berechnungsergebnisse der untersuchten Gebäude.....	160
	Mehrfamilienhaus Wolfurt.....	160
	Mehrfamilienhaus Langenegg.....	165
	Mehrfamilienhaus Feldkirch.....	171
	Sanierung e80 ³ Wohnhausanlage Kapfenberg.....	177
	+ERS Mehrfamilienhaus Plusenergieverbund Reininghaus.....	182
	Bürogebäude AEE INTEC.....	186
	Sanierung Neue Mittelschule Rainbach.....	191

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Wie Forschungs- und Demonstrationsprojekte zeigen, können schon heute Gebäude im nahe Null- und Plusenergiestandard errichtet oder saniert werden, die auch in der Praxis äußerst niedrige Energiebedarfe und CO₂-Emissionen erreichen und zusätzlich gebäudenah erneuerbare Energien nutzen, die wirtschaftlich zu betreiben sind. Die breite Markteinführung derartiger Gebäude schreitet jedoch bislang sehr zögerlich voran, da planungsbegleitende Methoden und Prozesse zur kostenoptimalen Integration von Effizienzmaßnahmen und erneuerbaren Energien noch nicht ausreichend beschrieben und damit noch nicht üblich sind. Als Folge wird - in vielen ungenügend geplanten Gebäuden durchaus zu Recht - kritisiert, der reale Energieverbrauch hocheffizienter Gebäude liege über dem vorausgerechneten Bedarf und hohe Effizienzstandards seien zu teuer und unwirtschaftlich.

Inhalte und Zielsetzungen

Ziel des Berichts ist es, den Planungs- und Baubeteiligten ein geeignetes methodisches Vorgehen zu beschreiben, das eine durchgängige energetisch-wirtschaftliche Optimierung von hocheffizienten Gebäuden in allen Planungsphasen ermöglicht.

Methodische Vorgehensweise

In dem vorliegenden Endbericht werden sieben Beispielgebäude untersucht und anhand einer Variantenstudie optimiert. Hierbei werden für jedes Gebäude viele Parameter wie Hüllqualität, Wärmeerzeuger oder PV-Anlage variiert und miteinander kombiniert. Aus der Vielzahl der daraus entstehenden tausenden Varianten können dann die Ergebnisse abgeleitet werden.

Ergebnisse

Die Mehrkosten von Maßnahmen für Niedrigst- und Plusenergiegebäuden sind so gering, dass hocheffiziente Gebäude im Lebenszyklus die niedrigsten Kosten verursachen. Mit der nun vorliegenden Untersuchung von sieben Beispielgebäuden mit verschiedenen Nutzungsformen, sowie Neubau und Sanierung, können diese Ergebnisse bestätigt werden. Energieeffizienzmaßnahmen haben nur einen geringen prozentualen Einfluss auf die Errichtungskosten, können aber um ein Vielfaches an CO₂ Emissionen einsparen. Über die Nutzungsphase gesehen sind diese Effizienzmaßnahmen dann meist kostenneutral oder sogar wirtschaftlich. Im Einzelnen kann folgendes zusammengefasst werden:

- Das Energieniveau hat einen geringen Einfluss auf die Bauwerks- und Errichtungskosten. Die Energieeffizienz ist somit kein wesentlicher Kostentreiber am Bau.
- Die baulichen Mehrkosten energieeffizienter Varianten werden im Lebenszyklus auch ohne Förderung bei den meisten Technologien kompensiert.
- Die Kostenoptima des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen liegen im Bereich von Passivhäusern. Passivhaushülle und hocheffiziente Fenster sind auch ohne Förderung meist wirtschaftlich. Dies ergibt sich auch aus den langen Lebensdauern dieser Komponenten im Vergleich zur Haustechnik.

- Die Kostenoptima der CO₂-Emissionen sind sehr flach ausgeprägt. Niedrige Emissionen und Energiebedarfe können deshalb, solange die Hülle sehr effizient ist, mit unterschiedlichen Energiekonzepten erreicht werden. Dies bedeutet einen gestalterischen und konzeptionellen Freiraum.
- Es wird gezeigt, dass Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit keine entgegengesetzten Strategien sind, sondern sich sehr gut ergänzen können. Die Variantenauswahl nach Lebenszykluskosten ist daher sinnvoll und sollte verstärkt als Entscheidungs- oder Förderkriterium herangezogen werden.
- interaktiver online verfügbarer Planungskatalog (<http://kopro.aee-data.at/>)

Abstract

Starting point/Motivation

As research and demonstration projects prove, it is possible to realize cost optimal nearly-zero and plus-energy buildings. While realized buildings have clearly shown that nearly-zero energy targets can be achieved using existing technologies and practices, most experts agree that a broad scale shift towards nearly-zero energy buildings require significant adjustments to prevailing processes and methods in a buildings lifecycle. The widespread market uptake is expanding very slowly, since methods and processes for the cost-effective integration of efficiency measures and renewable energies are lacking. A broad scale shift towards nearly-zero energy buildings requires additional methodical approaches and processes trough all stages of the project life cycle.

Contents and Objectives

The project focuses on proven and new approaches for the cost reduction of nearly zero energy buildings enabling a continuous energetic-economic optimization of highly efficient buildings in all planning phases.

Methods

The main goal is to identify the extra-costs for nZEBs and to promote innovative approaches taking into account the cost-effectiveness for all the Stakeholders. Based on realized zero and plus energy buildings relevant cost parameters are collected and quantified and will result in benchmarks and idealized processes. The goal was to develop a continuous methodological approach with the aim of an improved cost efficiency which will be applicable to the all phases of a buildings life cycle.

Results

The additional costs of measures for nearly zero and plus energy buildings are so insignificant that highly efficient buildings cause the lowest costs in their life cycle. This statement can now be confirmed with the present study of seven example buildings with different forms of use, as well as new construction and renovation. Energy efficiency measures have only a small percentage influence on construction costs, but can save many times more CO₂ emissions. Seen over the utilization phase, these efficiency measures are then usually cost-neutral or even economical. The following can be summarized:

- The energy level has a small influence on the building and construction costs. Energy efficiency is therefore not a major cost driver in construction.
- The additional structural costs of energy-efficient variants are compensated in the life cycle of most technologies even without subsidies.

- The cost optimum of primary energy demand and CO₂ emissions is in the range of passive houses. Passive house envelopes and highly efficient windows are usually economical even without subsidies. This is also due to the long lifetimes of these components compared to building services.
- The cost optimum of CO₂ emissions is very flat. Low emissions and energy requirements can therefore be achieved with different energy concepts as long as the building envelope is very efficient. This means creative and conceptual flexibility.
- It is shown that energy efficiency and economic efficiency are not opposing strategies, but can complement each other very well. The selection of variants according to life cycle costs is therefore sensible and should increasingly be used as a decision-making or funding criterion.
- Interactive planning catalogue available online (<http://kopro.aee-data.at/>)

1. Executive Summary

Forschungs- und Demonstrationsprojekte zeigen, dass schon heute Gebäude im nahe Null- und Plusenergiestandard errichtet oder saniert werden können, die auch in der Praxis äußerst niedrige Energiebedarfe und CO₂-Emissionen erreichen und wirtschaftlich zu betreiben sind. Deshalb besteht die Motivation zur Betrachtung und Bewertung von Projekten nicht nur nach energetischen Merkmalen, sondern auch nach Lebenszykluskosten. Die breite Markteinführung derartiger Gebäude schreitet jedoch bislang sehr zögerlich voran, da planungsbegleitende Methoden und Prozesse zur kostenoptimalen Integration von Effizienzmaßnahmen und erneuerbaren Energien noch nicht ausreichend beschrieben und damit noch nicht üblich sind. Als Folge wird - in vielen ungenügend geplanten Gebäuden durchaus zu Recht - kritisiert, dass der reale Energieverbrauch hocheffizienter Gebäude über dem vorausgerechneten Bedarf liege und dass hohe Effizienzstandards teuer und unwirtschaftlich seien.

Die Beschreibung geeigneter Methoden zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung hoch-effizienter Gebäude in allen Planungsphasen und die Bereitstellung von Kennwerten zu Energieeffizienz, Kosten und Wirtschaftlichkeit sind daher eine Voraussetzung für die breite Markteinführung. Teile dieser Methoden wurden im nationalen Forschungsprojekt KoPro LZK+, welches im Rahmen des Programms Stadt der Zukunft im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert wurde, erarbeitet.

Bei der energetisch -wirtschaftlichen Optimierung von Gebäuden gibt es verschiedene Interessen der AkteurInnen und daraus abgeleitet auch unterschiedliche Betrachtungsperspektiven, Betrachtungszeiträume und Zielgrößen. Es gibt MieterInnen/NutzerInnen, ImmobilienmaklerInnen, BauunternehmerInnen, PlanerInnen, HausverwalterInnen, InvestorInnen, BesitzerInnen und auch die Gesellschaft welche mit dem Gebäude direkt oder indirekt zu tun haben. Damit möglichst viele Belange berücksichtigt werden, wird vorgeschlagen folgende Größen zu optimieren:

- Lebenszykluskosten (LZK) zur ganzheitlichen Betrachtung.
- Energetischer Standard vor allem auch im Hinblick auf die Umweltauswirkungen.
- Investitionskosten zusätzlich als Entscheidungshilfe heranziehen.

In dem vorliegenden Endbericht werden sieben Beispielgebäude untersucht und anhand einer Variantenstudie optimiert. Hierbei werden für jedes Gebäude viele Parameter wie Hüllqualität, Wärmeerzeuger oder PV-Anlage variiert und miteinander kombiniert. Aus der Vielzahl der daraus entstehenden tausenden Varianten können dann die Ergebnisse abgeleitet werden. Bei dieser Brute-force Optimierungsmethode werden alle Lösungen betrachtet. Sie bietet also den Vorteil, dass statistische Auswertungen gemacht und zum Beispiel Verteilungen abgeleitet werden können. Ein großer Nachteil ist die entstehende, sehr große Anzahl an Varianten (mehrere Tausende), welche nur noch automatisiert berechnet werden können. Dies geschieht mit einem im Projekt weiterentwickelten VBA Makro. Nach dem festlegen der Randbedingungen wie Nutzerverhalten, Zinssätze, zu beachtender Kostengruppen, Energiepreise, Wartungskosten oder Lebensdauern werden der Energiebedarf, CO₂ Emissionen, Errichtungskosten und Lebenszykluskosten für jede Variante berechnet und gegenübergestellt.

Anhand der Ergebnisse, bestätigt sich die Aussage: Energieeffizienz ist wirtschaftlich! Die Mehrkosten von Maßnahmen für Niedrigst- und Plusenergiegebäuden sind so gering, dass hocheffiziente Gebäude

im Lebenszyklus die niedrigsten Kosten verursachen. Mit der nun vorliegenden Untersuchung von sieben Beispielgebäuden mit verschiedenen Nutzungsformen, sowie Neubau und Sanierung, können diese Ergebnisse bestätigt werden. Energieeffizienzmaßnahmen haben nur einen geringen prozentualen Einfluss auf die Errichtungskosten, können aber um ein Vielfaches an CO₂ Emissionen einsparen. Über die Nutzungsphase gesehen sind diese Effizienzmaßnahmen dann meist kostenneutral oder sogar wirtschaftlich. Im Einzelnen kann folgendes zusammengefasst werden:

- Das Energieniveau hat einen geringen Einfluss auf die Bauwerks- und Errichtungskosten. Die Energieeffizienz ist somit kein wesentlicher Kostentreiber am Bau.
- Die baulichen Mehrkosten energieeffizienter Varianten werden im Lebenszyklus auch ohne Förderung bei den meisten Technologien kompensiert.
- Die Kostenoptima des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen liegen im Bereich von Passivhäusern. Passivhaushülle und hocheffiziente Fenster sind auch ohne Förderung meist wirtschaftlich. Dies ergibt sich auch aus den langen Lebensdauern dieser Komponenten im Vergleich zur Haustechnik.
- Die Kostenoptima der CO₂-Emissionen sind sehr flach ausgeprägt. Niedrige Emissionen und Energiebedarfe können deshalb, solange die Hülle sehr effizient ist, mit unterschiedlichen Energiekonzepten erreicht werden. Dies bedeutet einen gestalterischen und konzeptionellen Freiraum.
- Es wird gezeigt, dass Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit keine entgegengesetzten Strategien sind, sondern sich sehr gut ergänzen können. Die Variantenauswahl nach Lebenszykluskosten ist daher sinnvoll und sollte verstärkt als Entscheidungs- oder Förderkriterium herangezogen werden.
- Die Kosten innerhalb der einzelnen Lebenszyklusphasen der neu gebauten Gebäude bewegen sich zwischen $\pm 10\%$. Die beiden Sanierungsprojekte weisen eine etwas höhere Bandbreite auf. Abweichungen von $\pm 18\%$ wurden bei den Untersuchungen festgestellt.
- Zum Einfluss der untersuchten Maßnahmen auf den Kapitalwert lässt sich keine allgemeine Aussage treffen. Einzig zeigt sich durchgängig, dass eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung den Kapitalwert gegenüber der Fensterlüftung zum Teil deutlich erhöht. Die weitere Untersuchung des Einflusses der Maßnahmen auf Primärenergie und CO₂ Emissionen hat gezeigt, dass die Hüllqualität sehr deutlich den Primärenergiebedarf und der Wärmeerzeuger die CO₂ Emissionen beeinflussen. Einfluss auf beide Indikatoren zeigt sich auch bei der Solarthermie, hier speziell im Vergleich dazu, wenn keine solarthermische Anlage berücksichtigt wird. Die Auswirkungen der anderen untersuchten Maßnahmen sind nicht durchgängig und erlauben daher keine allgemein gültige Aussage.
- Für die betrachteten Energieeffizienzmaßnahmen sind die untersuchten Indikatoren nicht sehr sensitiv. Am ehesten sind es der Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen. Die Finanzierungskosten und der Barwert sind eher unempfindlich (mit Ausnahme der Fertigteilvariante beim Mehrfamilienhaus e80^{^3}). Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Energieeffizienzmaßnahmen reagieren die ausgewählten Indikatoren aber empfindlich auf Energieversorgungstechnologien. So sind beispielsweise die bilanzierten CO₂-Emissionen sehr empfindlich gegenüber der gewählten Wärmeversorgung.

1 Ausgangslage

1.1 Stand der Technik

Die energetische Qualität von Neubauten und Sanierungen konnte in den vergangenen 30-40 Jahren stetig verbessert werden. Seit einigen Jahren werden die zur Erreichung der internationalen, europäischen und nationalen Klimaschutzziele notwendigen weiteren Verschärfungen der Mindestanforderungen und der durchschnittlichen Gebäudequalität zunehmend kritisch diskutiert. Hauptkritikpunkte sind zum einen die reale energetische Performance der Gebäude („performance gap“, „rebound-Effekt“), sowie zum anderen die aus Sicht der Kritiker zu hohen Mehrkosten und die mangelnde Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Gebäude mit hohen Anteilen regenerativer Energien. Die anhaltende Diskussion hat in den vergangenen Jahren dazu geführt, dass:

- sich die Entwicklung zu Klimaschutzkonformen Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität in Österreich wie in anderen EU-Staaten verlangsamt hat.
- die durchschnittliche Qualität von Neubauten und Sanierungen in den vergangenen drei bis fünf Jahren stagniert (u.a. Auswertung Energieausweiszentrale Vorarlberg).
- Null- und Plusenergiekonzepte aufgrund überschätzter Investitions-Mehrkosten und Zweifeln an der Performance in vielen Projekten nicht verfolgt oder umgesetzt werden.

Im Fokus der Forschung der vergangenen Jahre standen vielfach die (Weiter)Entwicklung technischer Konzepte, das Monitoring der energetischen Performance und der thermischen Behaglichkeit.

Weit weniger Projektberichte sind zum Thema Kosten und Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Gebäude sowie zum methodischen Vorgehen bei der durchgängigen energetisch-wirtschaftlichen Optimierung in allen Planungsphasen vorhanden.

So gibt es etwa in Österreich keine allgemein verfügbare Baukostendatenbank ähnlich der BKI Baukostendatenbank in Deutschland und die Abfolge und das Ineinandergreifen der Behandlung des Themas der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung in den verschiedenen Planungsphasen ist nicht ausgearbeitet. Während sich einige Projekte mit dem Thema der Kosten und Wirtschaftlichkeit auf Gebäude- und Komponentenebene beschäftigten, sind Projekte zu Kosten- und Wirtschaftlichkeitsaspekten in den vorgelagerten Planungsphasen sehr selten.

Ein Mangel an Wissen unter Entscheidungsträgern im Stadtplanungs- und Bauplanungsprozess ist hier ein wesentlicher Faktor. Ohne ausreichende Kenntnisse der Entscheidungsträger werden sehr oft suboptimale Entscheidungen getroffen und verfügbare Potentiale nicht genutzt. Mögliche Kosteneinsparungspotentiale in der Planung und Errichtung zukünftiger Gebäudestandards, werden oft aufgrund der spärlichen Verfügbarkeit von belastbaren Daten zu Lebenszykluskosten und der unsicheren tatsächlichen Performance von innovativen Technologien und der sich daraus ergebenden Unsicherheiten oftmals nicht erhoben.

Der endgültige Entschluss zur Realisierung von Null- und Plusenergiegebäuden wird in vielen Fällen von Immobilienentwicklern ergriffen, deren Entscheidungen häufig auf einer reinen finanziellen Motivation auf Basis der Errichtungskosten beruhen. Jedoch sind wirtschaftliche Machbarkeitsstudien und finanzielle Informationen ein wichtiges Thema während des gesamten Prozesses. Das Wissen um Lebenszykluskosten hat jedoch derzeit keine hohe Priorität im übergeordneten Planungsprozess, zum

Teil, weil es unklar ist, wessen Aufgabe es ist solche Informationen zu liefern. Allerdings fehlt eine umfassende Zusammenstellung und Übersicht über relevante Entscheidungen und Maßnahmen in Bezug auf die Kostenstruktur, die verwendeten Werkzeuge und beteiligten AkteurInnen in chronologischer Reihenfolge im Gesamtprozess.

In der Regel werden die Schritte in Richtung Null- und Plusenergie nicht konsequent durchgehend vom Flächenwidmungsplan, über das städtebauliche Konzept bis hin zur Gebäudeplanung, der Errichtung und den Betrieb dieser Gebäude umgesetzt. Die Entscheidung Richtung Null- oder Plusenergie und die damit notwendigen Maßnahmen werden meist erst in einer späten Phase der Gebäudeplanung getroffen und haben damit wesentliche Auswirkungen auf die Bauwerks- und Errichtungskosten (Bauträger).

Auch die Anforderungen an Gebäude haben sich in den letzten Jahrzehnten vor allem in Bezug auf Energieeffizienz, Energieversorgung, Komfort und Wirtschaftlichkeit im Betrieb stark verändert, wodurch die Planung bzw. Errichtung von Bauwerken zu einer immer komplexeren Aufgabe wurde. Die fachlich reibungslose Zusammenarbeit zwischen ArchitektInnen, FachplanerInnen und ausführenden Firmen verschiedener Disziplinen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die Projekt-Beteiligten sollten schon an einem sehr frühen Punkt im Errichtungsprozess mögliche problematische Entwicklungen erkennen und Planungs-, Ausführungs- oder Nutzungsentscheidungen entsprechend anpassen, damit eine maßgebliche Performanceoptimierung erreicht wird.

In dieser frühen Planungsphase stehen Bauherr und Architekt vor der Entscheidung, das architektonische Konzept, die Art und Qualität die Hülle und die technische Ausstattung des Gebäudes zu definieren. Oftmals wird primär die Höhe der Baukosten als bestimmender Faktor herangezogen, während die laufenden Betriebskosten keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Dies liegt häufig daran, dass der Fokus der Kostenbetrachtungen nur auf einer Akteurin/ einem Akteur liegt, in der Regel auf dem Bauherrn/ der Baufrau. Vorgelagerte Prozesse und Kosten, wie z.B. jene der Stadtplanung oder Flächenwidmung werden erfahrungsgemäß nicht betrachtet. Auch Prozesse und somit Kosten, welche nach Fertigstellung des Gebäudes auftreten, wie z.B. Nutzung durch MieterInnen/ EigentümerInnen, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten bzw. auch Sanierung oder Abbruch des Gebäudes fließen kaum in die Kostenbetrachtungen zu Beginn der Entscheidungsphase in die Überlegungen mit ein.

Die Möglichkeit diesem Umstand entgegen zu treten, wäre durch die Berücksichtigung der Lebenszykluskosten über die ganze Lebensdauer des Gebäudes gegeben. In diesem Fall würden zumindest auch die nachgelagerten Prozesse und Kosten, wie Wartung, Betrieb und Ersatzinvestitionen eingeschlossen werden. Oft werden Null- und Plusenergiekonzepte aufgrund leicht höherer Investitionskosten und Unsicherheiten über die tatsächliche Performance (Kosten, Energie, Behaglichkeit) dieser Gebäude wieder verworfen.

1.1. Problemstellung

Obwohl leistungsfähige Technologien für Null- und Plusenergiegebäude auf dem Markt verfügbar sind, bremsen viele Faktoren deren breite Implementierung. Kosten- und Bauzeitüberschreitung von Null- und Plusenergiegebäuden aufgrund unklarer Anforderungen, unklarer Prozesse und das fehlende Wissen über diese Technologien sind derzeit immer noch die Regel in der Bauwirtschaft. Hier schlummern enorme Potenziale bezüglich der Prozessabläufe und der Zusammenarbeit zwischen

Stadt- und RaumplanernInnen, Kommunen, EnergieversorgerInnen, InvestorInnen & BauträgerInnen, Baufirmen, GebäudenutzerInnen, FacilitymanagerInnen sowie Sanierungs-, Abbruch- und Entsorgungsunternehmen. Alle beteiligten AkteurInnen wiederholen bei der Konzeption und Realisierung von Nullenergiegebäuden nahezu die gleichen Tätigkeiten ohne einen koordinierten und standardisierten Prozess. Das bedeutet neben Kosten für Technologien vor allem aber zusätzliche Kosten im Planungs- und Errichtungsprozess. Die dadurch resultierenden hohen Kosten werden daher meist erst unmittelbar im Rahmen der Ausführung sichtbar und sind dann entsprechend aufwändig abzufangen. Dieses Informationsdefizit erschwert einen planbaren Projektablauf, verursacht Probleme von Beginn an und stört nachhaltig einen für alle Beteiligten erfolgreichen Projektverlauf. Bisherige Arbeiten auf diesem Gebiet bilden entweder nur Teilbereiche ab oder sind nicht ausreichend mit belastbaren Daten von bereits realisierten Gebäuden verankert, um realitätsbezogen umgesetzt zu werden.

1.2. Innovationsgehalt

Im Projekt wurde ein durchgängiger Prozess zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung von Null- und Plusenergiegebäuden über den gesamten Gebäudelebenszyklus entwickelt (*Kapitel 2*), für die planungsbegleitenden AkteurInnen aufbereitet und online zur Verfügung gestellt (www.aee-data/kopro.html). Neben der Beschreibung des durchgängigen Planungsprozesses werden wichtige Kostenkenngrößen und Einsparpotenziale in einer Datenbank verfügbar gemacht (*siehe Anhang IV/ Anhang V*).

Eine Effizienzsteigerung ist realistisch schon allein dann zu erwarten, wenn es gelingt, bisher aus reinen Unklarheiten über Technologien, Geschäftsmodelle und Musterprozesse entstehende Reibungsverluste und die hierbei unnötigen oder wirkungslosen Ressourcenaufwendungen zu vermeiden.

Folgende Kernthesen liegen der vorliegenden Publikation zugrunde:

- *Die Schwierigkeiten bei der Realisierung von Null- und Plusenergiegebäuden sind zwar auch in der technisch-wirtschaftlichen Sphäre begründet, jedoch vielmehr in einer ungenügenden Prozessgestaltung.*
 - *Die kostenoptimale Einbindung von Effizienzmaßnahmen sowie Erneuerbarer Energien über das gesamte Planungsstadium bieten die Möglichkeiten zur Kostenreduktion in unterschiedlichen Dimensionen und für meist unterschiedliche Interessensgruppen.*
 - *Die Ausnutzung und die Abstimmung sämtlicher Potentiale und Prozesse die im Zuge einer solchen übergeordneten Planung entstehen, führen zur möglichen Ausnutzung des maximalen Potentials zur Kostenoptimalität für NZEBs.*
-

Alle Ergebnisse des Projekts sind interaktiv unter <http://kopro.aee-data.at/> abrufbar.

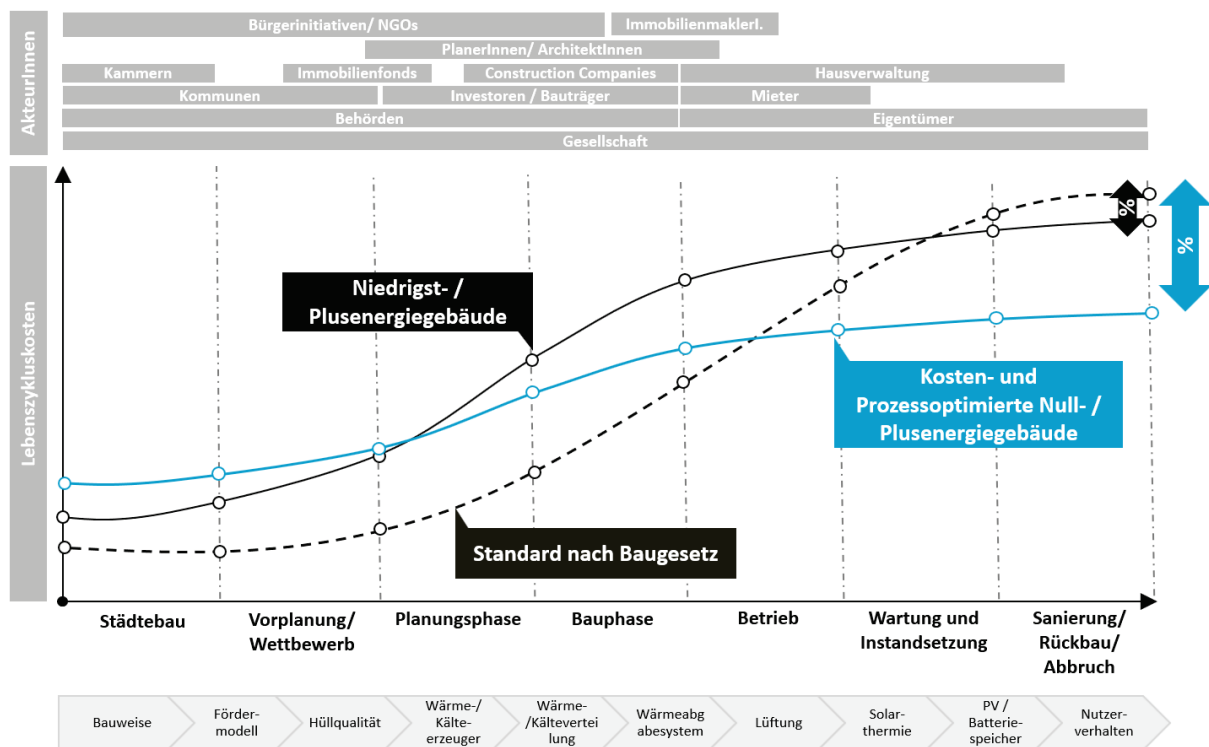


Abbildung 1: Kosteneinsparungs- bzw. Kosteneffizienzmöglichkeiten im Gesamtprozess (Quelle: AEE INTEC)

Das Ziel bei der Realisierung von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden besteht darin, bestehende wirtschaftliche und technische Lücken im Bau- und Planungsprozess zu schließen, um das Ziel des Kostenoptimums für alle Beteiligten zu erreichen. Übergeordnetes Ziel ist dabei eine WIN-WIN-WIN Situation für alle beteiligten AkteurlInnen:

Von der Gesellschaft über die Stadtplanung, EnergieversorgerInnen, InvestorInnen, BauträgerInnen, WohnbauträgerInnen, Baufirmen, GebäudenutzerInnen, Eigentümer/MieterInnen, Facility ManagerInnen und Entsorgungsunternehmen. Alle diese StakeholderInnen haben eine unterschiedliche Vorstellung von „Kosten- und Prozessoptimierung im Lebenszyklus von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden“. Diesen Prozess für alle StakeholderInnen auf unterschiedlichen Dimensionen auf Basis einer belastbaren Lebenszykluskostendatenbank zu optimieren ist notwendig, damit Plus- und Nullenergiekonzepte nicht in einem sehr späten Stadium aufgrund zu hoher Errichtungskosten wieder verworfen werden. Die Verbesserung der Informationsverfügbarkeit hilft die einzelnen Prozesse zu beschleunigen, was einerseits eine deutliche Kostenreduzierung aufgrund der Verringerung des Aufwands für die Datenerhebung und die Voranalyse ermöglicht. Auf der anderen Seite wird durch die Einführung leistungsorientierter KPIs (Key Performance Indikatoren) die tatsächliche Qualität des neuen Gebäudes sichergestellt, welches wiederum die Verbreitung von Null- und Plusenergiegebäude und eine stärkere Marktdurchdringung fördert.

2 Prozessoptimierung von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden

Die Komplexität im Planungsprozess nimmt kontinuierlich zu. Die Potentiale der Einflussnahme auf Energieoptimierung, Komfort und Kosteneffizienz als die wesentlichsten Merkmale nachhaltiger Gebäudeplanung liegen in den frühen Planungsphasen. Bereits in der Bedarfsplanung müssen Voraussetzungen geschaffen werden, um das Anforderungsprofil mit vollständigem Bauprogramm und eindeutigen Projektzielen zu definieren. Zu häufig scheitern erfolgversprechende Gebäudekonzepte daran, dass Projektbeteiligten die vielfältigen Wechselwirkungen ganzheitlicher Planungszusammenhänge nicht ausreichend bekannt sind. Um dieses Risiko von vornherein zu minimieren, sind solche Hindernisse frühzeitig zu identifizieren. Es ist notwendig, unter allen AkteurInnen von Anbeginn an ein gemeinsames Planungsverständnis für energieeffizientes und nachhaltiges Bauen herzustellen. Um den Start in ein neues Planungsprojekt optimal gestalten zu können, müssen fachliche Qualifikationen und Rollenverständnisse geklärt sowie Aufgaben und Funktionen für den Planungsprozess vollständig erfasst und zugeordnet werden.

2.1 Prozessqualität

Die Prozessqualität ist abhängig von der Projektorganisation und den bereitgestellten Informationen über Projektziele und Rahmenbedingungen. Aufbau, Ablauf und die Steuerung des Bauprojekts sind wesentliche Bausteine der Planungsprozessqualität, die sich aus dem klassischen Projektmanagement ableiten lassen. Es ist die Aufgabe des Bauherrn als Projektmanager ein Projektteam zusammenzustellen, welches den Anforderungen seiner Projektziele in jeder Leistungsphase gerecht werden kann. Es obliegt zudem dem Auftraggeber, das Maß der Auslagerung von Verantwortung und Entscheidungsmacht zu bestimmen und sie auf andere AkteurInnen zu übertragen. Zur Aufstellung eines Projektteams gehört neben der Darstellung der fachlichen Kompetenzen auch die Regulation der Schnittstellen und Kommunikationswege, um die Problematik der Koordination und Kooperation zu vermeiden (Sommer, 2016).

Die Zusammenstellung von Projektbeteiligten sowie die Definition von Zuständigkeiten, Entscheidungsebenen, die Regulation der Schnittstellenfunktionen und die Darstellung der fachlichen Kompetenzen entsprechend der komplexen Anforderungen legen die personellen Grundstrukturen für die Bewältigung der lebenszyklusorientierten Bauaufgabe fest (vgl. IG-Lebenszyklus, 2014).

Das Ziel „Niedrigst- bis hin zu Nullenergie“ muss bereits in einem sehr frühen Stadium des Projekts definiert werden. Für PlanerInnen bedeutet dies, dass er die zukünftige Energiebilanz eines Gebäudes oder eines Gebäudeverbandes in jeder Planungsphase kennen muss. Die Frage wie viel Energie für den Betrieb eines Bauwerks benötigt wird und woher diese kommt ist daher von großer Bedeutung. Im Mittelpunkt steht die Substitution des Einsatzes fossiler Energie, die durch die Nutzung der vor Ort erzeugten, erneuerbaren Energie (z. B. Solarthermie, PV) erreicht werden kann (siehe Abbildung 2). Man spricht in diesem Fall von einer sogenannten Nullenergiebilanz. Diese primärenergetische Bilanz ist im Idealfall über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes zu berechnen. Ob das jeweilige Nullenergie-Projekt tatsächlich auch in der Praxis erfolgreich ist, lässt sich jedoch erst nach mehreren Jahren Nutzungsdauer, und nicht nur anhand detaillierter Berechnungen in der Planungsphase feststellen. Durch den stark reduzierten Heizwärme- und Kühlbedarfs nimmt bei Nullenergiegebäuden der Haushaltsstrom sehr oft den größten Anteil am Gesamtenergiebedarf ein. Auf Grund des unterschiedlichen Nutzerverhaltens zeigen sich hier aber große Unterschiede zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und den berechneten Werten.

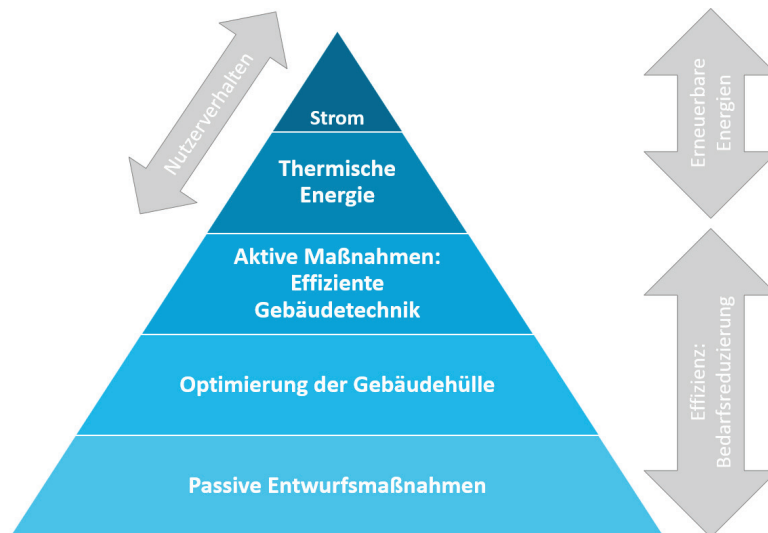


Abbildung 2: Maßnahmen zur Zielerreichung von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden in Anlehnung an (SHC Task 40, 2015)

Nur eine simultane und umfassend interdisziplinäre Bearbeitung kann Abhängigkeiten zwischen Funktion, Form und Energie aufdecken und somit auch die vielfältigen Kostenauswirkungen von Maßnahmen identifizieren, bewerten und abwägen. Dies betrifft insbesondere die durch die Lebenszykluskostenberechnung nicht erfassbaren finanziellen Konsequenzen architektonischer Entscheidungen auf die Energiekosten. Aber auch die erweiterte Betrachtung der Umweltwirkungen bedarf entsprechender Experten und eine enge Zusammenarbeit, um zeitnah Varianten bewerten und vergleichen zu können. Die enge und iterative Zusammenarbeit reduziert zudem Informationsverluste sowie Planungskollisionen und verhindert dadurch zeit- und kostenintensive Planungsschleifen (vgl. BNB, BN 5.1.2 Planung, 2015). Fachexperten der Nachhaltigkeit sichern die Bearbeitung der geforderten Qualitäten bei Planung und Ausführung, insbesondere derjenigen, die vorab nicht quantitativ definierbar sind. Zusätzlich bedarf es der Absicherung von Planungsabläufen mithilfe von Vorgaben zu Terminen, Austauschmedien und operativen Hilfsmitteln. Mit Hilfe dieser kann die zielführende Lösungsentwicklung mittels Variantenmethodik und Kontrollverfahren gefestigt werden: Variantenentwicklung, vergleichende Lebenszyklusbewertung und ein stetiger Soll-Ist-Abgleich der Lösungsvorschläge mit den baulichen Zieldefinitionen dienen als Verfahren zur Qualitätssicherung, die durch Angaben zu Prioritäten und Daten- bzw. Informationsgrundlagen für die Lebenszyklusberechnung zum wirkungsvollen Steuerungsinstrument der Bedarfsplanung wird.

Die Qualität der Weitergabe und Aktualisierung von Informationen im gesamten Erstellungsprozess werden umso relevanter, je komplexer die Aufgabe und Planungsorganisation ist, denn in mangelhafter und fehlerhafter Informationsverfügbarkeit liegt die Quelle für Fehlplanungen und Terminüberschreitungen. Daher ist auch die Festlegung von Kommunikationswegen und -medien für die Reduzierung des Daten- und Zeitverlusts von hoher Bedeutung, da reibungslose und transparente Kommunikation der Schlüssel zur effizienten Planung ist. Diese muss über den gesamten Erstellungsprozess aufrechterhalten werden, da spätere Entscheidungen auf Basis sämtlicher Informationen voriger Entscheidungen und Abhängigkeiten getroffen werden müssen.

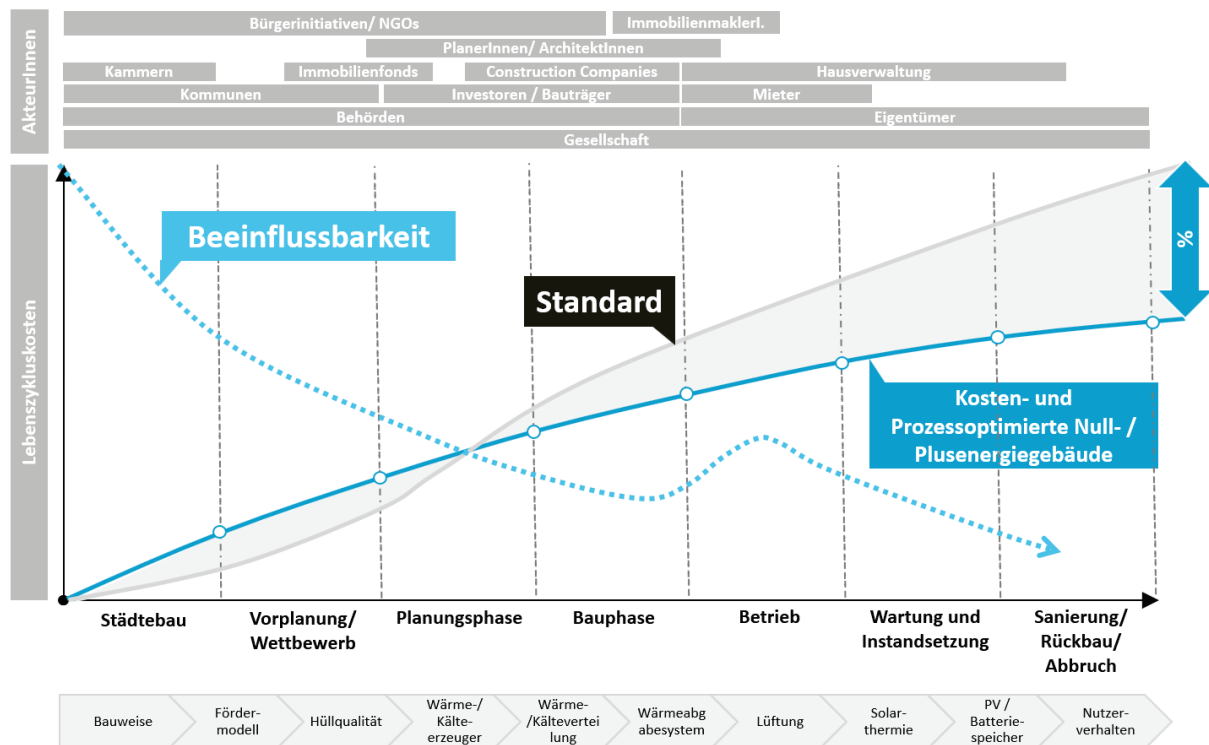


Abbildung 3: Maßnahmen zur Zielerreichung von Null- und Plusenergiegebäuden in Anlehnung an (Achammer, 2015)

2.2 Akteursbezogene Abhängigkeiten und Korrelationen

Integrale Planung ist die Voraussetzung um die Zielsetzungen für lebenszyklusorientierte Null- und Plusenergiegebäude erfüllt werden können. Dazu arbeiten Architekten und Ingenieure simultan und teamorientiert an der jeweils besten innovativen Lösung und kontrollieren deren qualitätsgerechte bauliche Umsetzung.

In der Matrix in Abbildung 5 werden die Korrelationen zwischen den Technologien bewertet. Dabei werden die einzelnen Aufgaben den beteiligten AkteurlInnen und die entsprechende Kompetenz in Form einer zweidimensionalen Matrix zugeordnet. Das dargestellte Funktionendiagramm verknüpft die einzelnen planungsrelevanten Parameter mit den beteiligten AkteurlInnen und berücksichtigt Wechselwirkungen einzelner Parameter untereinander. Zum besseren Verständnis wird die Methode der Korrelationsanalyse in Abbildung 4 erklärt. Sie setzt sich aus folgenden vier Punkte zusammen:

1. Parameter/ Technologie: Nutzung, Gebäudehülle, Wärmeversorgung, etc.
2. Akteur: Hauptverantwortlicher Akteur für die jeweilige Technologie/ Parameter
3. Spezifikation: Beschreibung des Parameters
4. Relevante Korrelationen von Zusammenhängen zwischen Gebäudehülle – Energiebedarf, Nutzung – Tageslichtversorgung, Lüftung – Kühlung, etc.

Parametern

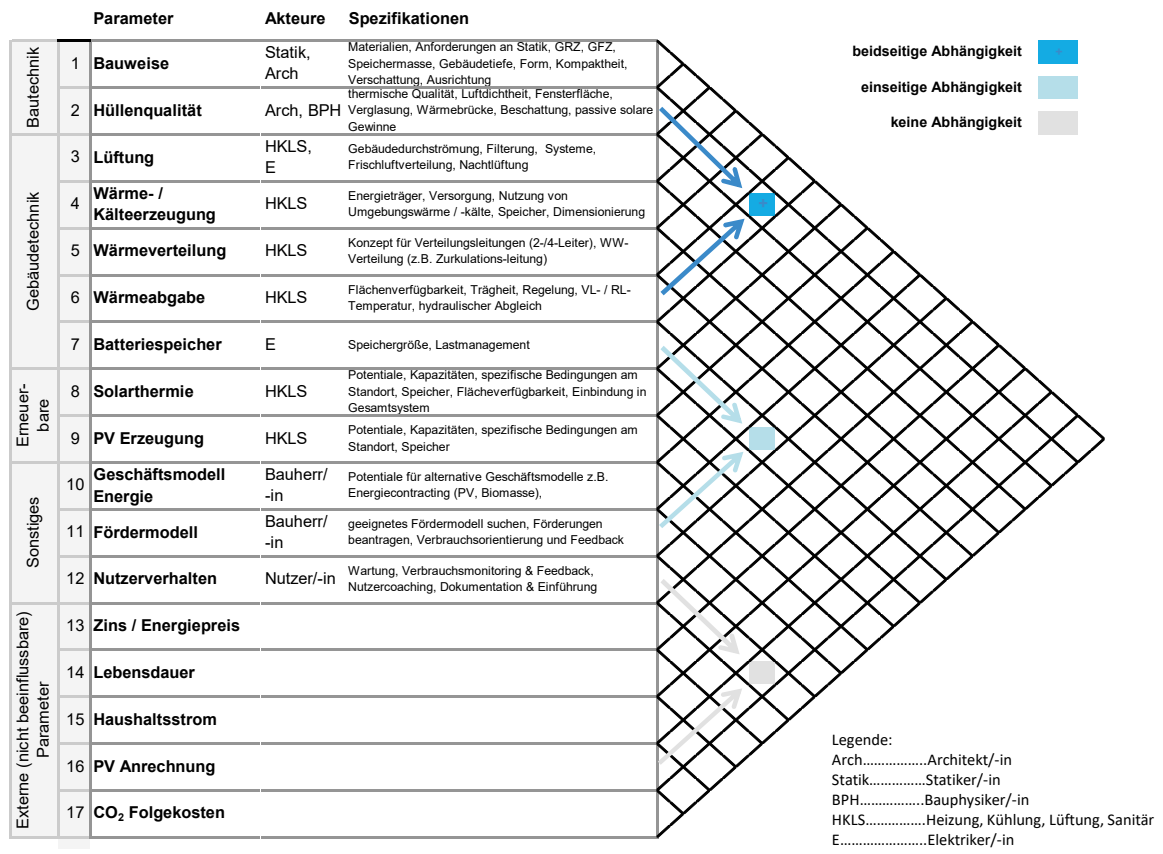


Abbildung 4: Erklärung der Funktionsweise der Korrelationsmatrix in Anlehnung an (Löhnert, 2015) – Beeinflussung von Gebäudeparametern und AkteurlInnen untereinander

Die Abbildung zeigt die Wechselwirkung einzelner Technologien zueinander und bildet die Grundlage zur Verbesserung des transdisziplinären Verständnisses zu energie- und kostenorientierten Zusammenhängen auf Seiten aller am Projekt beteiligten AkteurlInnen: BauherrInnen, ArchitektInnen, FachplanerInnen, NutzerInnen, Facility ManagerInnen und andere. Erst durch die klare grafische Darstellung der Abhängigkeiten dieser einzelnen Parameter wird deutlich, welche Wechselwirkungen unter den einzelnen Technologien und AkteurlInnen bestehen.

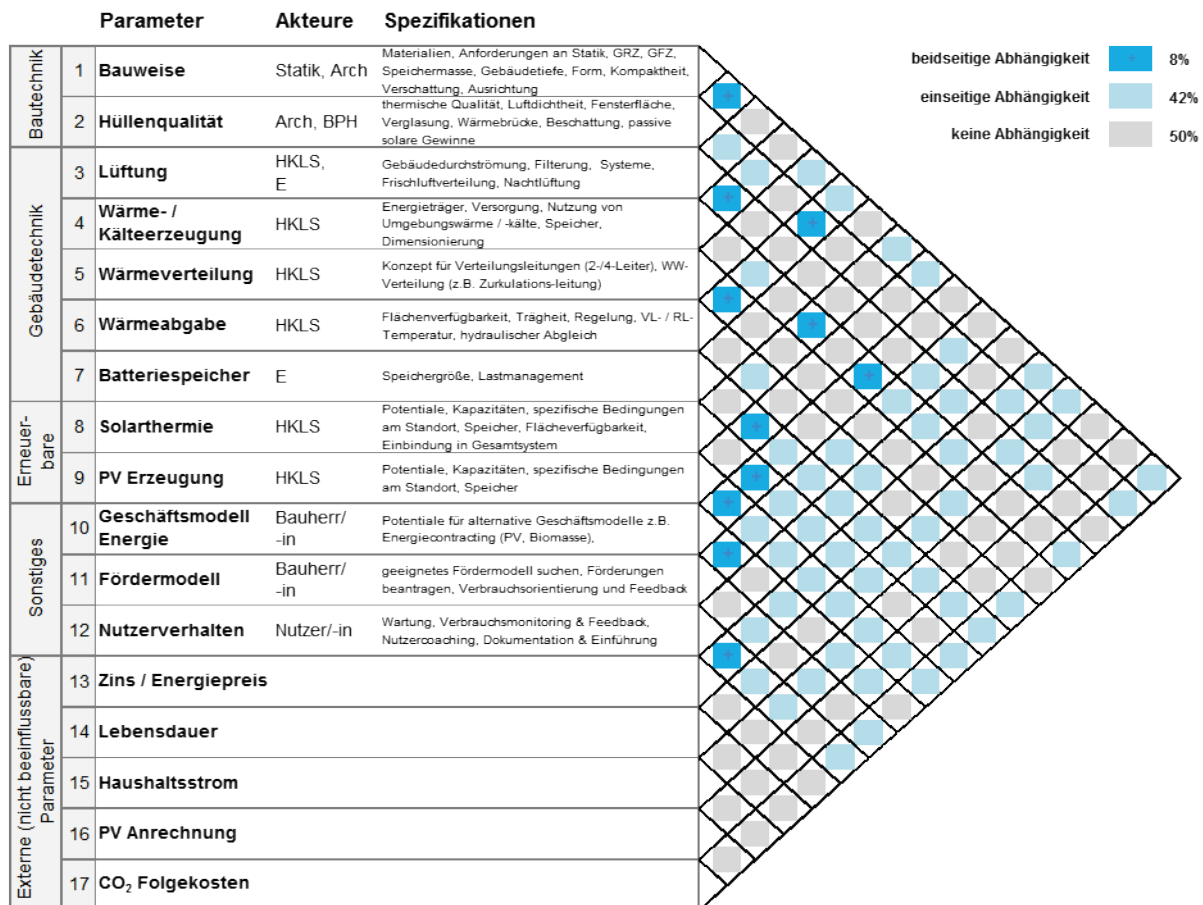
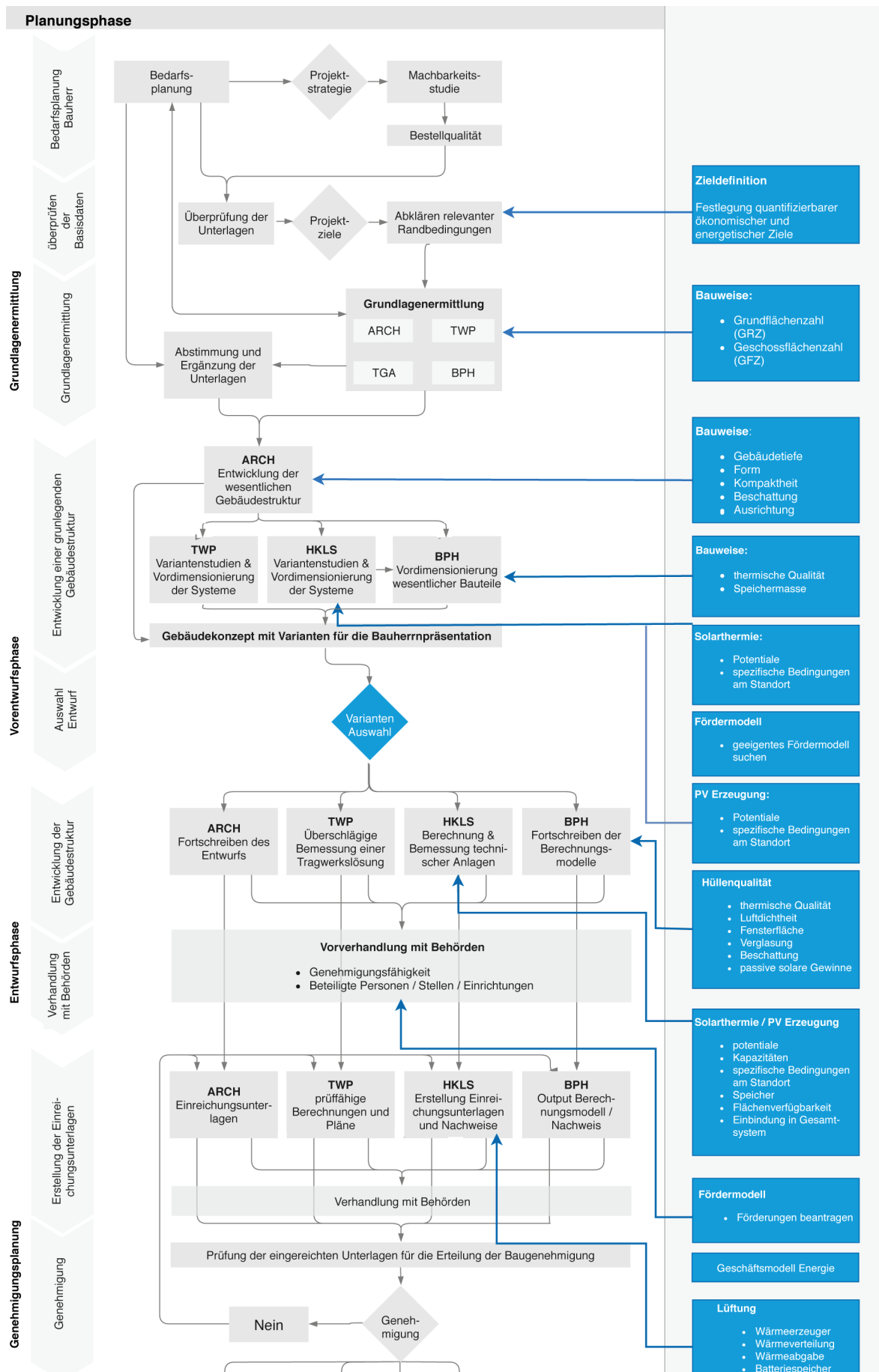


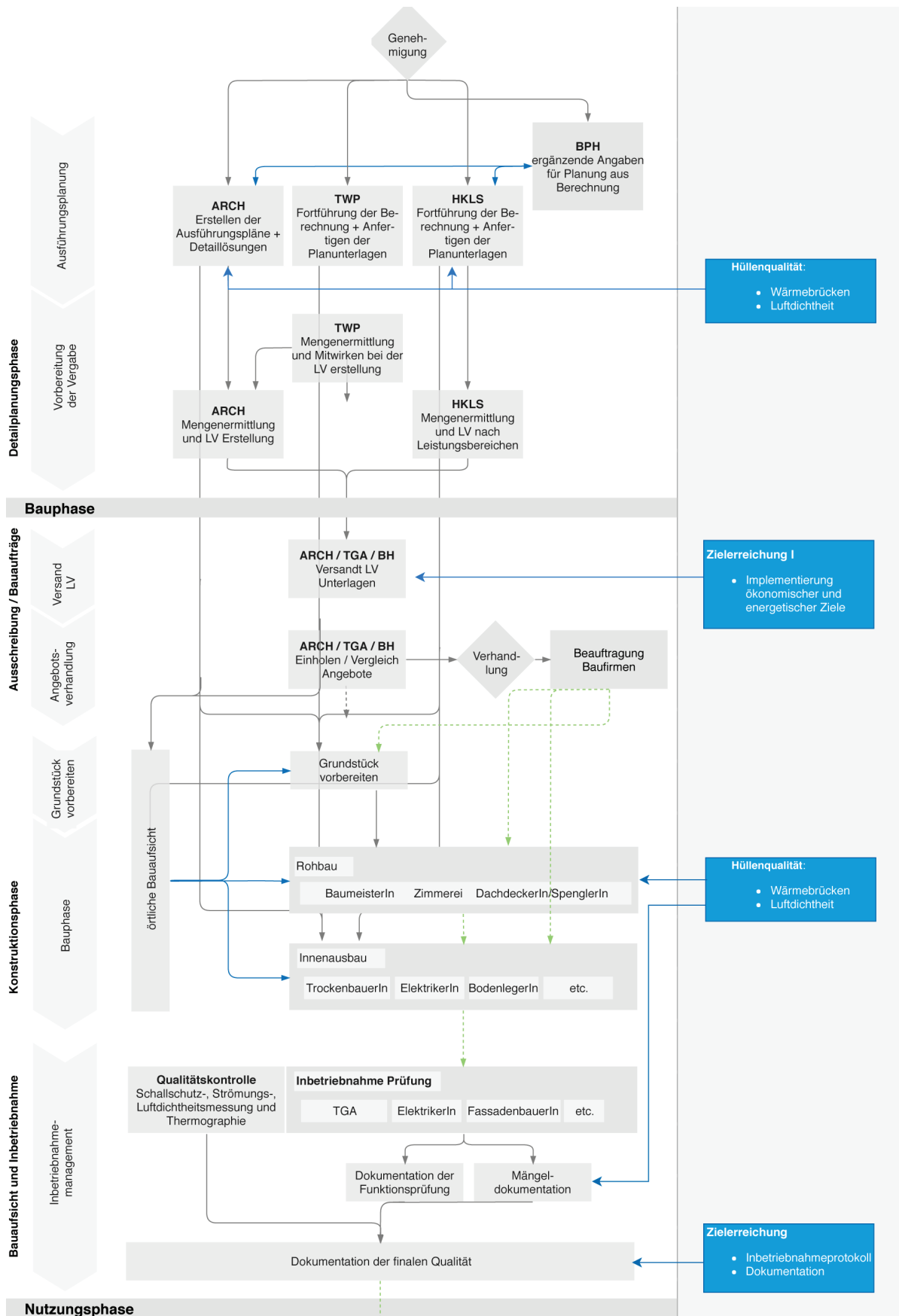
Abbildung 5: Korrelationsmatrix in Anlehnung an (Löhnert, 2015) – Beeinflussung von Gebäudeparametern der KoPro LZK + Varianten und den AkteurInnen untereinander

Werden die Wechselwirkungen einzelner Parameter frühzeitig erkannt, können die jeweiligen AkteurInnen auf die Zusammenhänge reagieren und durch Absprachen eine Kostenreduktion erwirken. Diese positiven Auswirkungen ergeben sich beispielsweise, wenn die Hüllenqualität mit der Wärmeabgabe abgestimmt wird, da oftmals eine Überdimensionierung der Heizungsanlage erfolgt und somit nicht wirtschaftlich betrieben werden kann. Erfolgt jedoch frühzeitig eine Abstimmung zwischen den zuständigen AkteurInnen, können in diesem Bereich Optimierungen vorgenommen werden. Somit ist deutlich zu sehen, dass diese beiden Parameter in einer Wechselbeziehung zueinanderstehen und sich folglich gegenseitig beeinflussen. Eine einseitige Abhängigkeit hingegen wird beispielsweise zwischen einer Solarthermieanlage und dem Nutzerverhalten deutlich. So hat zwar die Anlage keinen direkten Einfluss auf das Nutzerverhalten, umgekehrt ist es jedoch wichtig, ausgehend vom Nutzerverhalten die Anlage richtig zu dimensionieren.

In den folgenden Kapiteln wird ein grober Rahmen zur Sicherstellung der Prozessqualität für Null- und Plusenergiegebäude skizziert. Hierbei werden die wichtigsten technischen Maßnahmen/ Parameter, die erforderlich sind, um die Erreichung der energie- und kostenbezogenen Ziele durch einen nachvollziehbaren Planungs-, Entwurfs-, Bau- und Betriebsprozess sicherzustellen, in einer sinnvollen zeitlichen Abfolge beschrieben.

2.3 Prozessabläufe für die Realisierung von Null- und Plusenergiegebäuden





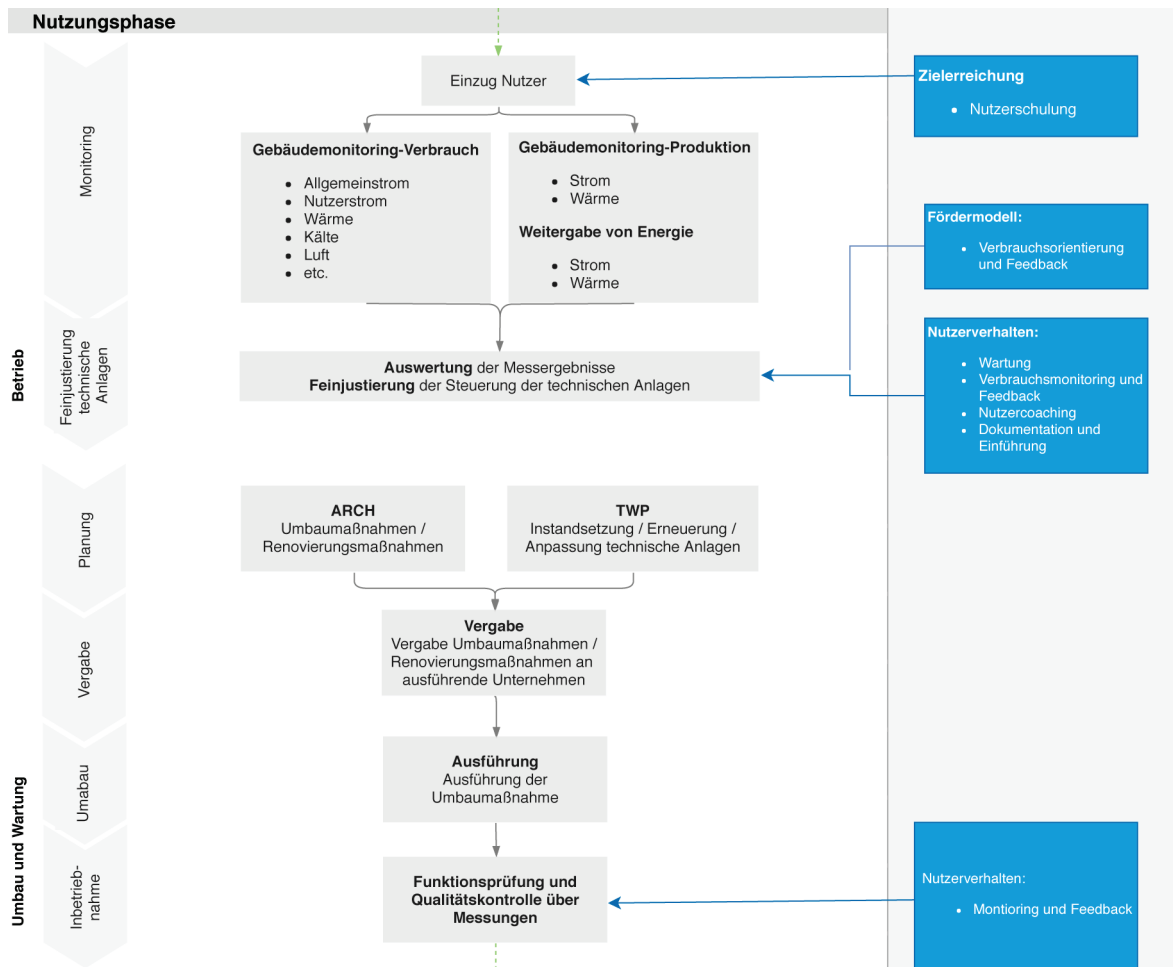


Abbildung 6: Musterprozessablauf und Einbindung energierelevanter Maßnahmen im Lebenszyklus von Niedrig- und Plusenergiegebäuden in Kooperation mit dem EU- H2020 Projekt CRAVEzero (Meier, 2019)

Dieser, in Abbildung 6 grau dargestellter Prozessablauf stellt einen standardisierten / typischen Ablauf des Lebenszyklus von Niedrig- und Plusenergiegebäuden dar. In Blau gehalten wurden die einzelnen Parameter, welche bereits in den vorherigen Kapiteln erläutert wurden, zeitlich zugeordnet, um aufzuzeigen wann welcher Arbeitsschritt abgeschlossen sein sollte. Zudem sollten zu Beginn eines solchen Bauprojektes Ziele definiert werden, welche ökonomisch und energetisch quantifizierbar sind. Außerdem sollte immer wieder geprüft werden, ob die gesetzten Ziele bereits erreicht wurden oder ob noch ein Optimierungsbedarf besteht. So sollte beispielsweise zu Beginn der Nutzungsphase eine Nutzerschulung erfolgen, um auf die Einflüsse des jeweiligen Nutzerverhaltens aufmerksam zu machen und um dahingehend zu sensibilisieren. Dieses Vorgehen wird als eines der Ziele angesehen, welche die Lebensdauer eines einzelnen Elementes und in weiterer Folge des ganzen Gebäudes nachhaltig verlängern soll.

3 Energetisch -wirtschaftliche Optimierung von Gebäuden

3.1 Betrachtungsperspektiven, –zeiträume und betrachtete Kosten

Bei der Planung, dem Bau und der Nutzung einer Immobilie gibt es verschiedene Interessen der AkteurInnen und daraus abgeleitet auch unterschiedliche Betrachtungsperspektiven, Betrachtungszeiträume und Zielgrößen. Es gibt Mieter/NutzerInnen, ImmobilienmaklerInnen, BauunternehmerInnen, PlanerInnen, HausverwalterInnen, InvestorInnen, BesitzerInnen und auch die Gesellschaft welche mit dem Gebäude direkt oder indirekt zu tun haben. Diese AkteurInnen betrachten, wie in Abbildung 7 dargestellt ist, ein Gebäude über einen bestimmten Zeitraum. Während den Mieter vor allem die Nutzungsphase interessiert, werden sich PlanerInnen normalerweise eher nur bis zur Fertigstellung mit dem Gebäude befassen. Wird eine Immobilie selbst finanziert und genutzt ist meist der gesamte Lebenszyklus bis zu einer Umnutzung von Interesse. Dies können dann je nach Ansatz zwischen etwa 25 Jahren nach Abbezahlung des Bankkredites, bis zu 50 Jahren unter vermehrter Berücksichtigung der Nutzung sein. Für die Gesellschaft zählt meist die gesamte Lebensdauer des Gebäudes inklusive dessen Abbruch und Entsorgung.

Bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung oder einer Lebenszykluskostenanalyse muss also im Vorfeld mit den Beteiligten der Betrachtungszeitraum festgelegt werden. Für die meisten Betrachtungen des Gesamtgebäudes haben sich zwischen 25 bis 50 Jahren als sinnvoll erwiesen. Werden nur einzelne technische Komponenten betrachtet, können auch deren typische Lebensdauern als Betrachtungszeitraum angesetzt werden. Sobald der Betrachtungszeitraum kürzer ist als die Lebensdauer, können für den verbleibenden Wert noch Restwerte in der Berechnung angesetzt werden.

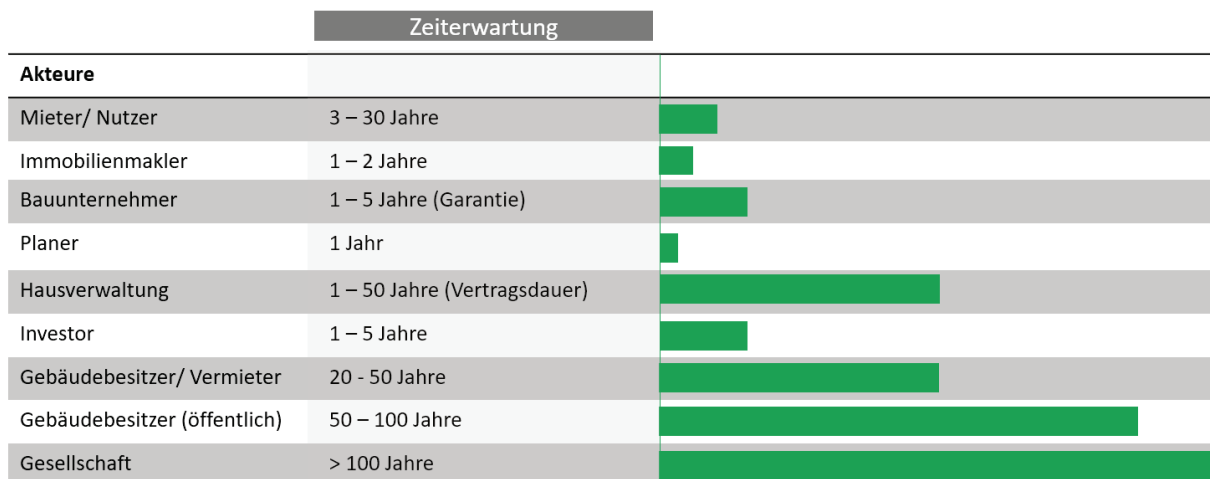


Abbildung 7: Unterschiedliche Betrachtungszeiträume je nach Betrachtungsperspektive (Darstellung: AEE INTEC).

Analog zum Betrachtungszeitraum variieren auch die verschiedenen Ziel- oder Optimierungskriterien je nach Blickwinkel des Betrachters. In Abbildung 8 sind die Kriterien Kosten und Energie je nach Interessen des Akteurs dargestellt. Der Mieter ist neben niedrigen Mietkosten vor allem auch an niedrigen Betriebskosten interessiert und somit an einem energetisch guten Standard, damit er oder sie z.B. niedrige Heizkosten hat. Der Bauunternehmer ist meist bemüht, seine Baukosten niedrig zu halten. Bei eigengenutzten Immobilien sind beide Kostenkomponenten von Bedeutung, die

Anfangsinvestition wie auch die laufenden Kosten. Für die Gesellschaft sind die Gesamtkosten und auch die Umweltauswirkungen wie CO₂ Emissionen von Bedeutung.

	Optimierungskriterium	
	Kosten	Energie
Akteure		
Mieter/ Nutzer	Mietkosten, Betriebskosten	Endenergiebedarf
Immobilienmakler	Marktpreis	Energieausweis (gesetzl. Bestimmungen)
Bauunternehmer	Bauwerkskosten	
Planer	Planungskosten, Bauwerkskosten	Energieausweis (gesetzl. Bestimmungen)
Hausverwaltung	Wartungskosten, Sanierungskosten	Endenergiebedarf
Investor	Investitionskosten	
Gebäudebesitzer/ Vermieter	Finanzierungskosten	Endenergiebedarf
Gebäudebesitzer (öffentlich)	Kapitalwert	Primärenergie, Endenergie, CO ₂
Gesellschaft	Lebenszykluskosten, Klimaschutz	Primärenergie, CO ₂

Abbildung 8: Unterschiedliche Optimierungskriterien je nach Betrachterperspektive (Darstellung: AEE INTEC in Anlehnung an (Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude; Berechnungsmethoden und Benchmarks für Wohnbau und Immobilienwirtschaft, 2017)).

Zusammenfassung der Optimierungskriterien

- Es kann nach mehreren Zielgrößen optimiert werden. Diese unterscheiden sich auch nach Perspektive des Betrachters.
- Betrachtungszeitraum 30-50 Jahre
- Damit möglichst viele Belange berücksichtigt werden, wird vorgeschlagen folgende Größen zu optimieren:
 - Lebenszykluskosten (LZK) zur ganzheitlichen Betrachtung
 - Energetischer Standard vor allem auch im Hinblick auf die Umweltauswirkungen. Bei Varianten mit ähnlichen LZK, die Variante mit dem besten energetischen Standard auswählen, damit z.B. die Klimaschutzziele erreicht werden können.
 - Investitionskosten zusätzlich als Entscheidungshilfe heranziehen. Ein Stichwort hierzu ist die Leistbarkeit.

3.2 Zusatznutzen/ Co-Benefits

Außer den Optimierungskriterien und damit den monetär direkt beurteilbaren Nutzen gibt es noch für die einzelnen AkteurlInnen unterschiedliche Nutzen und Zusatznutzen, welche oft nicht direkt monetär beurteilt werden können und somit in der Lebenszykluskostenanalyse auch nicht aufscheinen. Ein Teil dieser Nutzen und Zusatznutzen sind in Abbildung 9 dargestellt. Es geht hierbei um Aspekte wie Vermarktbarkeit, Vermietbarkeit, Wertentwicklung, Komfort aber auch um Image, Klimaschutz oder auch regionale Ziele wie die Energieautonomie. Diese Nutzen und Zusatznutzen sind nach Möglichkeit

bei der Entscheidungsfindung mit heranzuziehen. Oft können diese Zusatzkriterien die Hauptkriterien überlagern. Ein Beispiel hierzu ist der Einsatz einer Luftwärmepumpe in einer sehr lärmsensiblen Umgebung. Die Luftwärmepumpe kann energetisch und kostenmäßig relativ gut abschneiden, auch in den Lebenszykluskosten, kann aber zu Problemen wegen verstärkter Lärmbelastung auf dem Grundstück und den Nachbargrundstücken führen.

	Nutzen					Zusatznutzen						
	Vermarktbarkeit	Vermietbarkeit	Wertentwicklung	Mieteinnahmen	Komfort	Dauerhaftigkeit	Arch. Qualität	Image	Energieeinsparung	Nutzerzufriedenheit	Klimaschutz	Energieautonomie
Akteure												
Mieter/ Nutzer		<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Immobilienmakler	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Bauunternehmer						<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Planer		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Hausverwaltung		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Investor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Gebäudebesitzer/ Vermieter	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Gebäudebesitzer (öffentlich)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gesellschaft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 9: Unterschiedliche Nutzen je nach Betrachtungsperspektive (eigene Darstellung in Anlehnung an Lützkendorf, 2017).

Zur Wertentwicklung, bzw. Wertsteigerung schreibt (Thomas Lützkendorf und Andreas Enseling 2017) „Seriöse Wirtschaftlichkeitsanalysen berücksichtigen am Ende des Betrachtungszeitraums den Restwert des Gebäudes bzw. Wertänderungen. Höhere Mieten wirken sich gemäß Ertragswertverfahren auf den Immobilienwert aus. Derartige Effekte können sich z.B. in höheren Verkaufserlösen für energetisch hochwertige Gebäude niederschlagen. Wertsteigerungen werden jedoch nur bei einem tatsächlichen Verkauf zahlungswirksam und ggf. zusätzliche Mieteinnahmen hängen vom betrachteten Standort und Markt ab.“

Energieeffiziente Gebäudekonzepte bieten oft einen höheren Wohn- oder Nutzerkomfort und eine höhere thermische Behaglichkeit. Auch die Lebensdauer der Gebäudehülle oder die Restnutzungsdauer des Gebäudes kann sich durch diese Maßnahmen verlängern. Auch das Risiko für Tauwasser- oder Schimmel wird reduziert. Dies stellt für Nutzer und Eigentümer einen nicht unerheblichen Zusatznutzen dar, jedoch ist dieser nicht ohne weiteres zu quantifizieren oder in Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu monetarisieren. Dieser Zusatznutzen kann sich jedoch indirekt in der Werthaltigkeit der Immobilie ausdrücken. Für private oder Institutionelle Eigentümer, die eine Immobilie selbst nutzen, können gerade die Aspekte des Zusatznutzens, beispielsweise thermischer Komfort oder Zufriedenheit und Leistungsfähigkeit von Mitarbeitern, entscheidend für eine Investitionsentscheidung sein. In dem EU-Forschungsprojekt RentalCal (RentalCal Consortium 2018) wurde von 2015-2018 ein Tool entwickelt, mit dem diese Effekte zum Teil mitberücksichtigt werden können.

Zum Thema Leerstand schreiben (Kai Mörmann und Thomas Lützkendorf 2018): „Falls vor der Sanierung ein hoher Leerstand herrschte, kann ein Vermieter durch eine energetische Sanierung eventuell auch dessen Reduktion erreichen, wenn aufgrund besseren Wärmeschutzes die Nebenkosten sinken, der thermischer Komfort verbessert wird und die Wohnbedingungen gesünder werden. Das durch Leerstandsreduktion und Mieterhöhungen gesteigerte Einkommen kann, je nach Marktsituation und Bewertungsmethode, zusammen mit einer längeren Lebensdauer von Bauteilen und diversen reduzierten Risiken, zum Gebäudewert und dessen Wertstabilität beitragen.“

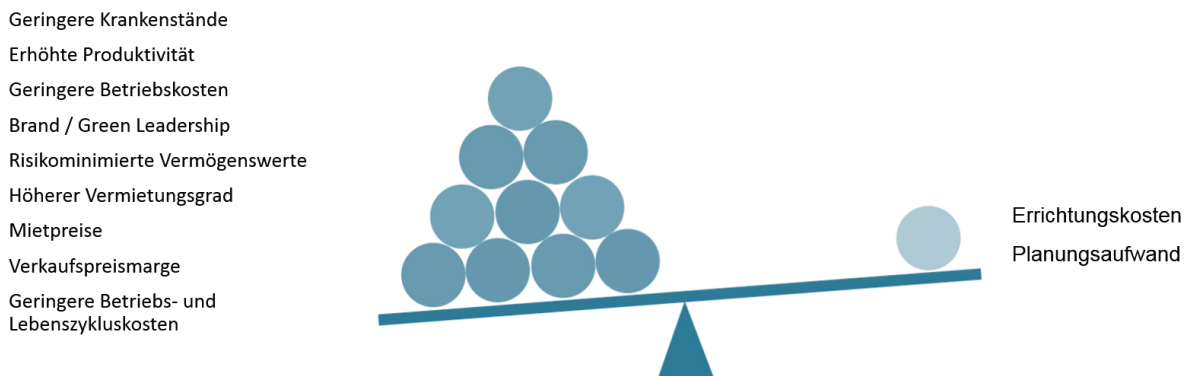


Abbildung 10: Co-benefits von Null- und Plusenergiegebäuden in Anlehnung an (Berggren, Wall and Togerö, 2017)

Außer den Optimierungskriterien und damit den monetär direkt beurteilbaren Nutzen gibt es noch für die einzelnen AkteurInnen unterschiedlichen Nutzen und Zusatznutzen, welche oft nicht direkt monetär beurteilt werden können und somit in der Lebenszykluskostenanalyse auch nicht aufscheinen. Diese Nutzen und Zusatznutzen sind in Abbildung 9, sowie Abbildung 10 dargestellt. Es geht hierbei um Aspekte wie Vermarktbarkeit, Vermietbarkeit, Wertentwicklung, Komfort aber auch um Image, Klimaschutz oder auch regionale Ziele wie die Energieautonomie. Diese Nutzen und Zusatznutzen sind nach Möglichkeit bei der Entscheidungsfindung mit heranzuziehen. Oft können diese Zusatzkriterien die Hauptkriterien überlagern. In Abbildung 11 werden Co-Benefits in Anlehnung an (Bleyle et al., 2017) hinsichtlich deren wirtschaftlicher Relevanz und monetären Quantifizierbarkeit in vier Quadranten unterteilt.

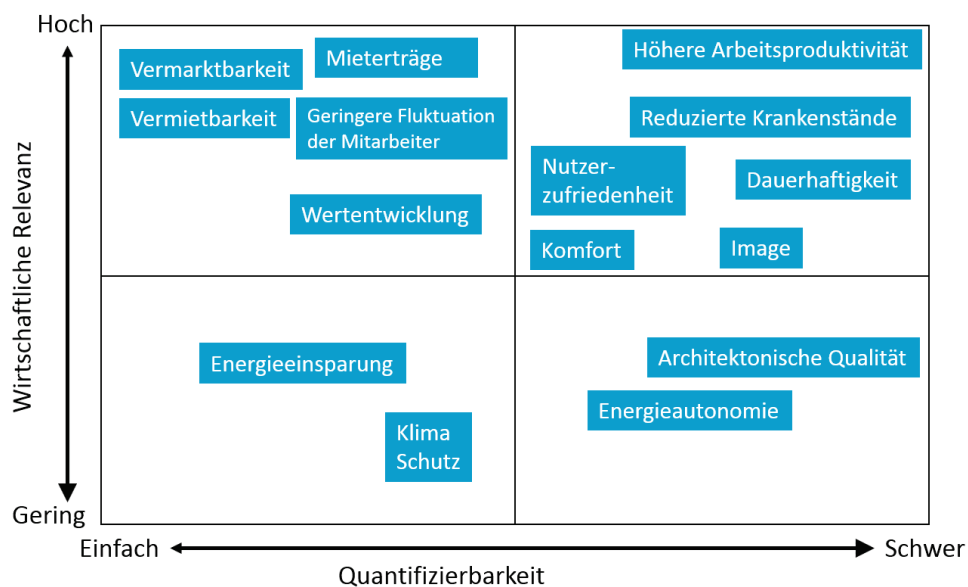


Abbildung 11: Wirtschaftliche Relevanz und Quantifizierbarkeit der Vorteile von Niedrigstenergiegebäuden in Anlehnung an (Bleyle et al., 2017)

3.3 Vorgehensweise bei der Optimierung

Beim klassischen Planungsablauf entwickeln Bauherren und Baufrauen, ArchitektInnen und FachplanerInnen ein Gebäude mit der zugehörigen Ausstattung und Haustechnik. Oftmals optimiert jeder in „seinem“ Bereich und so wird manchmal das Bauvorhaben als Ganzes aus den Augen verloren. Anstatt einer mechanischen Kühlung zur Gewährleistung des Sommerkomforts, die wiederum Energieverbrauch induziert, könnte der Fachplaner/die Fachplanerin oftmals gemeinsam mit z.B. dem Architekten über geeignete Fenstergrößen, Verschattungsmöglichkeiten oder natürliche Lüftungskonzepte nachdenken. Im klassischen Planungsablauf werden meist nur wenige Varianten betrachtet und oftmals nicht parallel geplant und analysiert, sondern bereits in einer frühen Phase verworfen. Somit kann es passieren, dass am Schluss ein Gebäude gebaut wird und bei der Nutzung stellt sich heraus, dass z.B. die Betriebskosten hoch sind.

Werden hingegen in der Planungsphase bereits mehrere Varianten realistisch miteinander verglichen, auch über die Lebenszykluskosten, so kann hier schon im Vorfeld eine fundierte Entscheidung getroffen werden.

Die Frage nach dem „was“ optimiere ich oder welches sind meine Zielgrößen wurde im vorherigen Kapitel dargestellt. Die nächste Frage die sich stellt ist, „wie“ optimiere ich?

- Herkömmliche Optimierung mittels manueller „Suche“ einiger Varianten (Abbildung 12 linke Grafik).
- Optimierung anhand von Algorithmen zur Extremwertsuche (Wetter, 2001).
- Brute-force-Methode mit der Untersuchung aller möglichen Lösungen (Zhang and Korolija, 2010) (Abbildung 12 rechte Grafik).

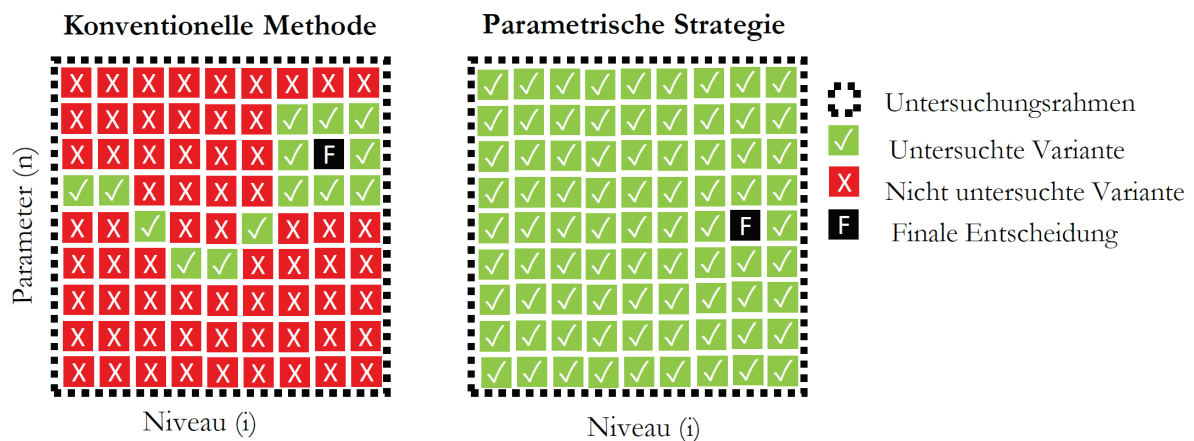


Abbildung 12: Optimierungsstrategien in der Gegenüberstellung (eigene Darstellung, aufbauend auf (Naboni et al., 2013)).

Der Vorteil der manuellen Suche der Optima liegt meist in der überschaubaren Anzahl an Varianten und damit dem nicht allzu hohen Aufwand. Der Nachteil liegt darin, wie in Abbildung 12 dargestellt ist, dass womöglich nur ein lokales Optimum gefunden wird und nicht die global beste Lösung.

Die Optimierung anhand einer Extremwertsuche bietet den Vorteil, dass die auf eine Zielgröße oder Kostenfunktion hin optimierte Variante je nach Optimierungsfunktion mehr oder weniger genau gefunden wird. Sie lässt aber keine Aussage zu Maxima, Minima oder statistischen Verteilungen der

Varianten zu. Zudem erschwert es den vorher beschriebenen Zusatznutzen zu betrachten, da sich dieser wie beschrieben oft nicht als harte Zielgröße z.B. monetär beschreiben lässt.

Bei der Brute-force Methode oder der Untersuchung aller möglichen Variantenkombinationen werden alle Lösungen betrachtet. Sie bietet also den Vorteil, dass statistische Auswertungen gemacht werden können, Verteilungen abgeleitet und auch für ausgewählte Varianten der Zusatznutzen betrachtet werden können. Ein großer Nachteil ist die schnell sehr große Anzahl an Varianten (mehrere Tausende), welche nur noch automatisiert berechnet werden können. Auch schränkt es die Berechnungsverfahren ein. Wird z.B. mit dynamischen Gebäudesimulationen optimiert, bei denen schon jede einzelne Simulation mehrere Stunden benötigt, ist es mit überschaubarem Rechenaufwand nicht möglich, tausende Varianten zu berechnen. Hier muss auf vereinfachte Verfahren zurückgegriffen werden, oder die Aufgabe auf ein Netzwerk von Rechnern verteilt werden. Hier wird oft auf cloudbasierte Lösungen zurückgegriffen, wie in den Studien von (Naboni *et al.*, 2013; Long *et al.*, 2014) beschrieben ist, oder es werden statistische Verfahren angewandt, bei denen nicht alle Varianten berechnet werden müssen.

Die grobe Vorgehensweise einer energetisch-wirtschaftlichen Optimierung ist nachfolgend beschrieben und schematisch in Abbildung 13 dargestellt:

- Entwurf, erste Voroptimierungen.
- Festlegen von Zielgrößen.
- Festlegen der zu variierenden Parameter und ihrer Niveaus z.B. Hüllqualität, Heizsystem, Fenstergröße, Fensterqualität.
- (Automatisierte) Energiebedarfsberechnungen nach Energieausweis, Passivhaus Projektierungspaket, dynamische Gebäudesimulation.
- Modulare Ausschreibung zur Kostenermittlung jeder variierten Komponente oder in einem Vorstadium eine Kostenschätzung.
- Berechnung der Lebenszykluskosten jeder Variante unter Berücksichtigung der Förderung, Wartung, Ersatzinvestitionen und des Restwerts.
- Auswertung und Ergebnisdarstellung.

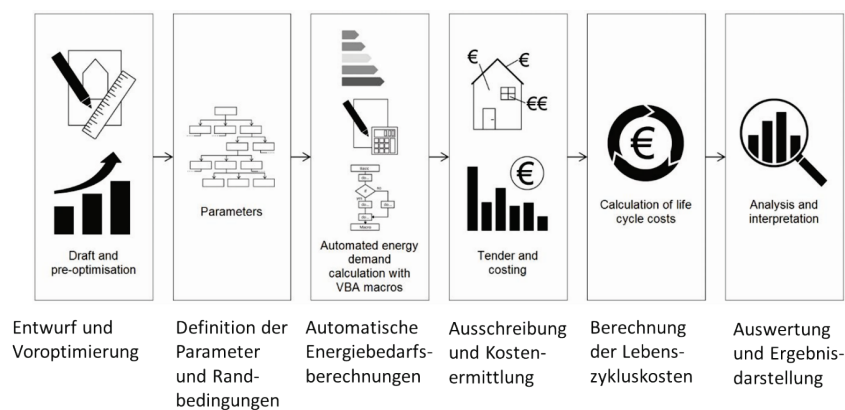


Abbildung 13: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zum Ermitteln der kostenoptimalen Lösung (eigene Darstellung).

Am Energieinstitut Vorarlberg (EIV) wurde im Rahmen des Projekts „KliNaWo“ eine Methode entwickelt, um die Lebenszykluskosten zigtausender Varianten ohne Förderung und mit unterschiedlichen Fördermodellen automatisiert zu berechnen. Im Projekt KoPro LZK+ wurde diese Methode gemeinsam mit AEE INTEC weiterentwickelt, verfeinert und vor allem anwenderfreundlicher gestaltet. Die automatisierte Berechnung für viele Varianten, welche in vorliegendem Bericht angewandt wurde:

- ist eine Weiterentwicklung der „KliNaWo“ Rechenmethode durch Energieinstitut Vorarlberg und AEE INTEC.
- reduziert den Zeitaufwand durch Nutzung bestehender Energiebedarfsberechnungen eines Gebäudes mit dem Passivhaus Projektierungspaket PHPP.
- berechnet die Lebenszykluskosten mit dem EIV Tool *econ calc (Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechner econ calc, 2017)*.
- automatisiert die Berechnung durch VBA-Makros in MS-Excel©.

Mit dieser Methode konnten für die sieben untersuchten Beispielgebäude über 200.000 verschiedene Varianten in einem überschaubaren Zeitaufwand berechnet werden. Für die 75.000 Varianten des MFH Feldkirch lag die reine Rechenzeit auf einem Standard Notebook bei etwa 20 Stunden. Somit können auch aufwändigere Untersuchungen über ein Wochenende berechnet werden, was die Handhabbarkeit wesentlich vereinfacht. Meist ist es auch so, dass ein Gebäude mehrmals berechnet werden muss, da oft erst bei der nachfolgenden Ergebnisauswertung Eingabefehler und fehlende Eingaben, welche durch die Kombinatorik der Parameter entstehen, erkannt werden können.

4 Annahmen und Randbedingungen

4.1 Kostenermittlung, Errichtungskosten, Zinssätze

Die Baukosten, bzw. die Errichtungskosten für die sieben Beispielgebäude wurden von den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Alle Gebäude sind bereits gebaut und zum Teil liegen die abgerechneten Kosten der jeweiligen Realisierungsvariante vor. Die Kosten für die im Bericht variierten Komponenten wurden von den Bauträgern oder von HaustechnikplanerInnen direkt zur Verfügung gestellt oder aus anderen Referenzprojekten abgeleitet. Die Kosten für die PV Anlagen wurden ausschließlich aus momentanen Marktpreisen abgeleitet, da hier in den letzten Jahren eine deutliche Kostenreduktion stattfand. Alle Kosten werden als **Nettokosten** angegeben.

Bei allen Projekten wurden die Grundstückskosten **nicht** mitberücksichtigt, da diese die Lebenszykluskostenanalyse stark verzerren können. Die Grundstückskosten hängen von anderen Faktoren ab, wie z.B. der Region oder der Lage und sind nicht an energetische Standards gekoppelt.

Da die Gebäude in einem Zeitraum zwischen 2013 und 2017 gebaut wurden, können die Kosten nicht direkt miteinander verglichen werden. Damit eine gewisse Vergleichbarkeit gegeben ist, wurden die Kosten für alle Beispielgebäude an das Jahr 2017 indexangepasst. Die Statistik Austria stellt Baukostenindex ('Baukostenindex', 2018) bzw. Baupreisindex ('Baupreisindex', 2018) dafür zur Verfügung.

Die **Baukosten**indizes beobachten die Entwicklung der Kosten, die den Bauunternehmern bei der Ausführung von Bauleistungen durch Veränderung der Kostengrundlagen (Material und Arbeit) entstehen. Der **Baupreisindex** gibt Auskunft über die Veränderung der tatsächlichen Preise, die der Bauherr für Bauarbeiten bezahlen muss und dient als Deflator zur Ermittlung der realen Veränderung von Bauproduktionswerten.

Da die Kosten im Projekt KoPro LZK+ eher aus Käufer oder Nutzersicht betrachtet werden, wurde der **Baupreisindex** verwendet. Die Indizes werden mit verschiedenen Bezugsjahren angegeben (2015, 2010, 2005, 2000, 1996...). Da einige Gebäude vor 2015 gebaut wurden wird der Index mit dem Bezugsjahr 2000 herangezogen. Es gibt die Unterscheidung in „Hochbau gesamt“, „Wohnhaus- und Siedlungsbau insgesamt“ sowie „Sonstiger Hochbau insgesamt“. Da die Unterschiede unter den Gruppen nicht groß sind, wird mit der Gruppe Hochbau gesamt für alle Beispielgebäude gerechnet.

Die sieben Beispielgebäude befinden sich real in unterschiedlichen Regionen. Es wurden keine Regionalfaktoren angewandt, da erstens der Hauptzweck nicht der Vergleich der Gebäude untereinander ist, sondern der Vergleich unterschiedlicher Varianten innerhalb eines Gebäudes und da zweitens solche Regionalfaktoren nicht in ausreichender Qualität, im speziellen für gebäudetechnische Maßnahmen vorliegen.

Der Zinssatz für den Bankzins wurde für die Kreditlaufzeit von 25 Jahren auf 3,0% nominal festgelegt, der derzeitige Zinssatz bei 10-jähriger Zinsbindung liegt bei etwa 1,8%. Die Inflationsrate wird mit 1,7% festgelegt. Der Kapital- oder Diskontzinssatz wird analog zum Bankzinssatz mit 3,0% nominal angesetzt.

4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In Wirtschaftlichkeits- oder Lebenszykluskostenbetrachtungen werden die Kosten eines Gebäudes ganzheitlich während der gesamten Lebensdauer, in einzelnen Lebensphasen oder für einen definierten Betrachtungszeitraum analysiert. Im Rahmen dieses Berichts wurden nicht die Kosten im gesamten Lebenszyklus (d.h. von Planung bis Abriss/Recycling) betrachtet, sondern nur die Kosten während verschiedener, vordefinierter Betrachtungszeiträume.

Diese Vorgehensweise ist bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, die primär dem Vergleich verschiedener energetischer Niveaus dienen, üblich. Die unterschiedlichen technischen Nutzungsdauern unterschiedlicher Komponenten werden berücksichtigt, die Frage der Kosten für Abriss und Recycling wird ausgeklammert. Angesichts der großen Unsicherheit bei der Prognose von Abriss- und Recyclingkosten am Ende der Lebensdauer des Gebäudes, d.h. in 50 bis 100 Jahren, überwiegen die Vorteile einer Vereinfachung der Betrachtung ohne Berücksichtigung der Abriss- und Recycling-Kosten. Die Berechnungen im Rahmen dieses Berichts sollten daher nicht als Lebenszykluskosten, sondern als Lebensphasenkosten bezeichnet werden.

Durch die Auswertung einzelner Parameter, in Bezug auf die Kosten, lassen sich auch Kostentreiber ermitteln. Es werden in Anlehnung an die ÖNORM B 1801-1 bis 4 (‘ÖNORM B 1801-1: Bauprojekt- und Objektmanagement Teil 1: Objekterrichtung’, 2009; ‘ÖNORM B 1801-2: Bauprojekt- und Objektmanagement Teil 2: Objekt-Folgekosten’, 2011; ‘ÖNORM B 1801-4: Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Gebäudelebenszykluskosten’, 2014) und die VDI 2067 Blatt 1 (‘VDI 2067 Blatt 1 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung’, 2012) folgende Kostenbestandteile berücksichtigt: Gesamtkosten (KG 1-9), Finanzierungskosten (inkl. Förderungen, falls vorhanden), Energiekosten inkl. Grundgebühren,

Ersatzinvestitionen, Wartungskosten, Instandsetzung und Restwerte. Bei den Energiekosten werden auch die Erlöse für die Netzeinspeisung des am Gebäude erzeugten Stroms aus erneuerbaren Quellen berücksichtigt (PV-Strom).

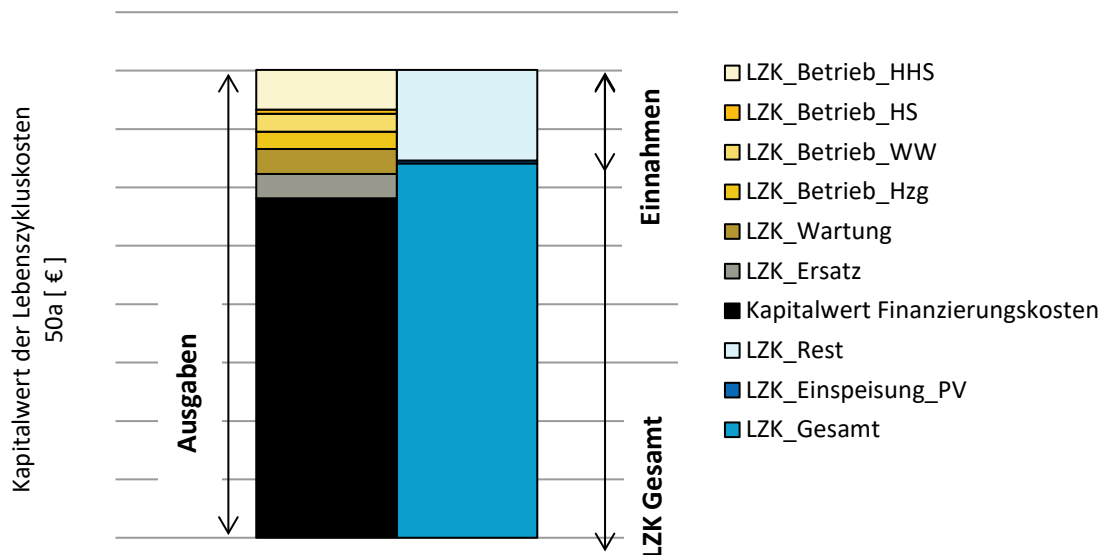


Abbildung 14: Prinzipielle Darstellung der Lebenszykluskosten¹ (eigene Darstellung).

Andere Folgekosten wie Verwaltung, Versicherung, Reinigung, Sicherheitsdienste, Gebäudedienste und auch der Abbruch werden nicht berücksichtigt. Bei den Wohngebäuden wird pauschal eine monatliche Betriebskostenpauschale von 1,50 €/m²_{WNF} zusätzlich zu den für jede Variante individuell ermittelten Energie- und Wartungskosten angesetzt. Für das Schulgebäude wird die Pauschale mit 1,60 € pro m²_{WNF} (ohne Reinigung) und 2,90 € pro m²_{WNF} (mit Reinigung) angesetzt, für das Büro mit 2,80 € pro m²_{WNF} (ohne Reinigung) und 4,00 € pro m²_{WNF} (mit Reinigung).

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht werden Kosten, die zu unterschiedlichen Zeiträumen anfallen anders bewertet. Deshalb werden alle berücksichtigten Kosten dynamisch als **Kapitalwerte** berechnet, d.h. auf einen Referenzzeitpunkt, meist den Gebäudebezug, bezogen.

Abbildung 14 zeigt eine prinzipielle Darstellung der Kapitalwerte über die betrachteten Lebensphasen für jene Kostenkomponenten, welche berücksichtigt werden. Die gestapelte Säule auf der linken Seite enthält in schwarz dargestellt den Kapitalwert der Finanzierung, welcher sich aus den Investitionskosten und den Kreditkosten unter Berücksichtigung der Förderung ergibt. Auf diesen aufgesetzt kommen die Kapitalwerte der Folgekosten wie Ersatzinvestition, Wartung, Heizung (Hzg), Warmwasser (WW), Hilfsstrom (HS) und Haushaltsstrom (HHS). Die rechte Säule beginnt dann von oben nach unten mit den „Gutschriften“ aus Restwert (Rest) und Einspeisevergütung aus PV-Erzeugung (Einspeisung_PV) sowie PV-Eigennutzung. Mieteinnahmen bleiben unberücksichtigt. Der nun verbleibende blaue Balken ist der Kapitalwert der Lebenszykluskosten (LZK_Gesamt) der betrachteten Variante. Anhand dieses Wertes können nun die Varianten untereinander verglichen und diejenige ausgewählt werden, welche die niedrigsten Lebenszykluskosten aufweisen.

Die Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgt mit dem Excel[®] Tool econ calc, welches am Energieinstitut Vorarlberg entwickelt wurde. Die Wirtschaftlichkeit wurde für die sieben Projekte

¹ Aus betriebswirtschaftlicher Sicht werden Ausgaben meist mit negativem Vorzeichen dargestellt und Einnahmen positiv. Da in vorliegender Studie fast nur die Kosten berücksichtigt werden, also ohne Mieteinnahmen, würden sich außer für den Restwert und die PV-Einspeisung durchwegs negative Werte ergeben. Zur leichteren Verständlichkeit werden die Werte positiv dargestellt.

generell **ohne Berücksichtigung von Fördermitteln** untersucht. Nur beim MFH Langenegg wurden zusätzlich auch Berechnungen mit einem vereinfachten synthetischen Fördermodell durchgeführt.

Der Kapitalwert wird in den Grafiken der Ergebnisauswertung auch als spezifischer Wert dargestellt, damit die Projekte untereinander vergleichbarer werden. Der spezifische Wert ist analog zu den Energiekennwerten auf die Energiebezugsfläche (EBF) nach PHPP bezogen. Diese ist meist ca. 10% größer als die Wohnnutzfläche, weil in der EBF beispielsweise auch die Erschließungsflächen zum Teil mitberücksichtigt werden. Durch die etwas größere Bezugsfläche verringern sich spezifischen Kosten. Dies gilt es beim Vergleich mit anderen Projekten zu berücksichtigen.

4.3 Energiepreise und Steigerungen

Es wird für jede Variante einzeln der Energiebedarf berechnet. Die Energiekennwerte werden getrennt für Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom, Haushaltsstrom und PV-Erzeugung ermittelt. Es wird dazu eine Standardnutzung mit 22°C Raumtemperatur und einem Warmwasserverbrauch von 30 L/Pers/d (bei 60°C) definiert. Der Haushaltsstrombedarf wird bei Standardnutzung für alle Varianten konstant mit 30 kWh/(m²_{EBFa}) angenommen. Anschließend werden anhand dieser Endenergiekennwerte und den zugehörigen Energiepreisen die jährlichen Energiekosten jeder Variante ermittelt. Mit diesen jährlichen Kosten werden dann, unter Berücksichtigung der Energiepreissteigerung, die Lebenszykluskosten der Energie berechnet. Die Energiepreise wurden mit dem Stand November 2017 ermittelt und im Einvernehmen mit den Projektpartnern festgesetzt. Sie sind in Tabelle 1 dargestellt. Für projektspezifische Angaben wie z.B. das Abrechnungsmodell der Fernwärme wurden bei den Anbietern konkrete Angebote eingeholt. Die Energiepreissteigerung wurde im Standardszenario für Strom und Gas mit 1,7% p.a. und für alle anderen Energieträger zur Wärmeerzeugung mit 2,0% p.a. angenommen. Sie entsprechen damit der Annahme für die allgemeine Inflationsrate, die mit 1,7% angenommen wurde diese in einer Sensitivitätsstudie um ± 1% variiert.

Tabelle 1: Energiepreise und Energiepreissteigerungen als Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung angegeben in Nettopreisen.

Energieträger	Nettopreise	Einheit	Preissteigerung [%]
Pellet	0,046	EUR/kWh	2,0
Fernwärme	0,069	EUR/kWh	2,0
Fernwärme Anschlussgebühr	25.000	EUR einmal	-
Gas Arbeitspreis	0,044	EUR/kWh	1,7
Gas Grundgebühr	76,2	EUR/a (WE)	3,0
Wärmepumpenstrom	0,096	EUR/kWh	1,7
Wärmepumpenstrom Grundgebühr	59,5	EUR/a (WE)	3,0
Haushaltsstrom	0,121	EUR/kWh	1,7
Haushaltsstrom Grundgebühr	102,2	EUR/a (WE)	3,0
PV Einspeisung	0,025	EUR/kWh	1,7

In Tabelle 1 sind die Energiepreise als Nettopreise angegeben um die Betriebskosten z.B. für gemeinnützige Bauträger zu ermitteln.

4.4 Wartungskosten

Damit nachfolgend die Lebenszykluskosten berechnet werden können, müssen alle relevanten Kosten während der Errichtung und des Betriebes berücksichtigt werden. Dies sind neben den Errichtungskosten und den Energiekosten auch die Wartungskosten und die Ersatzinvestitionen zur Erneuerung von Bauteilen oder haustechnischen Elementen. Die Wartungskosten und Wartungsintervalle für alle relevanten Bauteile wurden entweder anhand langjähriger realer Daten der Projektpartner ermittelt oder aus der VDI 2067 ('VDI 2067 Blatt 1 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung', 2012) übernommen. Die Wartungskosten für die MFH sind für Hausverwalter relevant, welche die Leistungen meist extern vergeben. Für den privaten Bauherrn, welcher diese Leistungen oft selbst durchführen kann, wie zum Beispiel den Filterwechsel der Lüftungsanlage, können sich durchaus niedrigere Wartungskosten ergeben.

In Tabelle 2 sind zusammenfassend für die wichtigen Bauteile die Wartungsintervalle und die Wartungskosten dargestellt. Bei den Holz-Alu Fenstern müssen z.B. nach 25 Jahren die Dichtungen getauscht und Beschläge eingestellt werden. Dies ergibt alle 25 Jahre Kosten in Höhe von 5 € pro m² Wohnnutzfläche. Bei den Wärmequellen hat die Fernwärme die niedrigsten Wartungskosten von 0,36 €/m²_{WNF} pro Jahr, während sich die höchsten auf 2,40 €/m²_{WNF} pro Jahr bei der Pelletheizung belaufen.

Bei den Lüftungsanlagen (Abluft und WRG) wurde nach Angaben aus langjährigen realer Daten eines Projektpartners eine Reinigung des Rohrnetzes in einem Intervall von sieben Jahren vorgesehen.

Tabelle 2: Zusammenfassung der wichtigsten Wartungskosten und Intervalle.

Position	Tätigkeit	Intervall	heutige Kosten (netto)	Einheit
Lüftungsanlage WRG	Austausch Ventilatoren + Steuerung (für 18 WE)	15 a	7.500,00	€ pauschal
	Filterwechsel, Brandschutzklappen inspizieren	jährlich	0,72	€/m ² _{WNF} a
	Verteilnetz reinigen	7 a	7,00	€/m ² _{WNF}
Lüftungsanlage Abluft	Austausch Abluftventilatoren (2 Stück pro WE)	15 a	150,00	€/Stück
	Zuluftöffnungen und Filter reinigen	jährlich	0,36	€/m ² _{WNF} a
	Verteilnetz reinigen	7 a	5,00	€/m ² _{WNF}
Fernwärme-Übergabestation Gas-Brennwertkessel	Wartung	jährlich	0,36	€/m ² _{WNF} a
	Wartung	jährlich	0,60	€/m ² _{WNF} a
	Kaminreinigung	jährlich	0,24	€/m ² _{WNF} a
Pellet Kessel	Wartung	jährlich	1,20	€/m ² _{WNF} a
	Kaminreinigung	jährlich	1,20	€/m ² _{WNF} a
Erdreich-Wärmepumpe Thermische Kollektoren	Wartung	jährlich	0,94	€/m ² _{WNF} a
	Wartung	jährlich	0,24	€/m ² _{WNF} a
PV-Anlage	Wartung	jährlich	1,0% von Invest	€/a

4.5 Ersatzinvestition für Erneuerung

Eine Ersatzinvestition für die Erneuerung ist immer dann notwendig, wenn die technische Lebensdauer einer Position niedriger ist, als der Betrachtungszeitraum. Dies bedeutet, wenn man ein Gebäude über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren betrachtet und es eine Position mit nur 25 Jahren technischer

Lebensdauer gibt, muss diese Position während des Betrachtungszeitraums einmal erneuert werden. Hat diese Position nur eine Lebensdauer von 20 Jahren, muss sie zweimal erneuert werden, hat aber nach Ablauf der 50 Jahre Betrachtungszeitraum noch einen Restwert.

Als Höhe der Ersatzinvestition werden die momentanen Kosten angenommen, da diese den momentanen Marktpreis widerspiegeln. In Tabelle 3 sind die im Rahmen des Projektes mit den Beteiligten abgestimmten technischen Lebensdauern aufgelistet. Diese kommen aus den Erfahrungen der Beteiligten oder der VDI 2067.

Tabelle 3: Technische Lebensdauer ausgewählter Positionen

Position	techn. Lebensdauer	Position	techn. Lebensdauer
Außenwand Ziegel	100	Pellet Lager und Förderung	50
Außenwand Holzrahmenbau	100	Erdreich-WP (Sonden)	50
Flachdach Konstruktion STB	100	Pufferspeicher	50
Flachdach Konstruktion Holz	100	Wärmeverteilnetz	50
Kellerdecke / Decke über TG	100	Heizkörper/ Fußbodenheizung	50
Innenwände STB und Leichtbau	100	Fenster Holz behandelt	35
Zwischendecken STB/ Holz	100	Flachdach Abdichtung	30
Innenputz	80	PV-Module	30
hinterlüftete Schalung Nadelholz	70	Sonnenschutz außenliegend	25
abgehängte Decke	60	thermische Solarkollektoren	25
WDVS	50	Frischwasserstation	25
Außenputz Ziegel monolithisch	50	Fernwärme Übergabestation	20
Innenverkleidung Gipskarton	50	Gas-Brennwertkessel	20
Fenster Holz-Alu	50	Erdreich-Wärmepumpe	20
Flachdach Dämmung	50	Luft-Wärmepumpe	18
Lüftungsanlage WRG mit Verteilung	50	Pellet-Kessel	17,5
Lüftungsanlage Abluft mit Verteilung	50	PV Wechselrichter	15

4.6 Energiebedarfsberechnungen

Die Berechnungen werden mit dem Passivhausprojektierungspaket PHPP durchgeführt und nicht nach der OIB RL-6 (2015) (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015), da das PHPP durch Vergleiche mit den Ergebnissen dynamischer Gebäudesimulationen und durch den Vergleich von Berechnungsergebnissen mit realen Verbrauchsdaten validiert ist und realistischere Verbrauchsprognosen ermöglicht. Als Bezugsfläche wird die Energiebezugsfläche nach PHPP und nicht die BGF nach OIB RL-6 (2015) herangezogen. Die Energiebezugsfläche nach PHPP liegt meist um etwa 30 bis 40 % unter der BGF nach OIB RL 6 (2015). Dies ist später auch bei der Ergebnisauswertung zu berücksichtigen. Die Nutzungsbedingungen wie Innenraumtemperatur, Warmwasserbedarf oder Lüftungsverhalten weichen ebenfalls von den Standardrandbedingungen nach PHPP, je nach variiertem Nutzerverhalten, ab. Die Primärenergie- und CO₂ Konversionsfaktoren werden aus der OIB RL-6 (2015) übernommen.

Aufgrund der obengenannten Annahmen und Rechenmethoden sind die Ergebnisse nicht mit denen aus Energieausweisen oder den gesetzlichen Anforderungen vergleichbar.

Aus zahlreichen Forschungsprojekten ist bekannt, dass die Raumlufttemperatur in hocheffizienten Gebäuden meist deutlich über 20°C liegt und dass der flächenspezifische Warmwasserbedarf im verdichteten Wohnbau aufgrund der vergleichsweise dichten Belegung höher, als die Norm-Annahmen, ist. Daher wurde für jede Gebäudevariante als Standardnutzung eine Energiebedarfsberechnung erstellt, in der die Raumlufttemperatur mit 22°C und der Warmwasserbedarf mit 30L/Pers/d angenommen wurden.

Diese Verbrauchsprognoseberechnungen wurden dann zur Abschätzung der Energiekosten verwendet. Eine Berechnung so vieler Varianten ist mit einem Standard-PC nur möglich, wenn die Berechnung pro Variante nur wenige Sekunden dauert. Dies wird im vorliegenden Modell durch die Verwendung des MS-Excel© basierten PHPPs gewährleistet, welches Energiebilanzen berechnet. Die Berechnungen wurden durch ein VBA-Makro automatisiert, indem die Eingabewerte jeder Variante aus einer Variantentabelle in das PHPP und dann die Ergebnisse aus dem PHPP wieder zurück in die Variantentabelle geschrieben werden. Somit war es möglich, dass z.B. die 75.000 Varianten des MFH Feldkirch in nur etwa 20 Stunden reine Rechenzeit über ein Wochenende berechnet werden konnten. Dynamische Gebäudesimulationsprogramme, mit denen solche Studien oft durchgeführt werden, benötigen je nach Komplexität des Modells mehrere Stunden pro Variante. Somit ist es auf einem Standard-PC nicht möglich, in einem angemessenen Zeitrahmen, tausende Varianten zu vergleichen.

4.7 Sensitivitätsuntersuchungen

Das Ergebnis einer Lebenszykluskostenbetrachtung hängt von den gewählten Eingangsparametern ab und kann dadurch variieren. Um diesen Einfluss, bzw. die Variation abbilden zu können, werden anhand einiger Parameter Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt. Diese Parameter sind das Nutzerverhalten, der Betrachtungszeitraum und unterschiedliche Energiepreissteigerungen, bzw. die Veränderung der Energiepreissteigerung gegenüber dem Zinsniveau.

In Tabelle 4 ist die Variation des **Nutzerverhaltens** abgebildet. Es wird zwischen einem idealen, einem standard- und einem ineffizienten Nutzerverhalten unterschieden und berücksichtigt Innenraumtemperatur, Warmwasserverbrauch, Verschattung der Fenster und Lüftungsverhalten.

Tabelle 4: Parameter des definierten, unterschiedlichen Nutzerverhaltens.

Nutzerverhalten	Raumtemperatur Heizfall	Warmwasser bedarf (60°C)	Verschattung zusätzlich im Winter durch Fehlnutzung Raffstore	Zusätzliche Fensterlüftung im Winter (Fehlnutzung)
Ideal	21°C	25 L/Pers/d	+ 0%	+0,00 1/h
Standard	22°C	30 L/Pers/d	+10%	+0,05 1/h
Ineffizient	23°C	35 L/Pers/d	+20%	+0,10 1/h

Der **Betrachtungszeitraum** wird in zwei Niveaus untersucht und zwar für die gemeinnützigen Bauvereinigungen mit 50 Jahren, dies entspricht deren üblichem Finanzierungshorizont. Für private Bauträger wurde der Betrachtungszeitraum auf 30 Jahre festgelegt, dies entspricht in etwa der Höchstlaufzeit der Wohnbauförderungskredite von 35 Jahren.

Die unterschiedlichen **Energiepreissteigerungen**, bzw. die Veränderung der Energiepreissteigerung gegenüber dem Zinsniveau werden mit $\pm 1\%$ auf die Steigerungen aus Tabelle 1 angesetzt. Diese Variation wird sowohl auf die Arbeitspreise sowie auch auf die Grundpreise angewandt.

5 Untersuchte Beispielgebäude

Im Projekt KoPro LZK+ wurden sieben Beispielgebäude untersucht. Für diese werden für die unterschiedlichsten Varianten sowohl die energetischen Eigenschaften wie auch die Kosten betrachtet. Bei den Kosten werden die Errichtungskosten verglichen aber auch die Kosten über die unterschiedlichen Nutzungsphasen eines Gebäudes wie Betriebskosten, Wartungskosten oder auch Ersatzinvestitionen für die Erneuerung einzelner Komponenten.

Die Beispielgebäude wurden so ausgewählt, dass sie einen begrenzten Querschnitt über verschiedene Nutzungen und Neubau sowie Sanierung widerspiegeln. Es sind Wohngebäude, ein Bürogebäude und eine Schule unter den Gebäuden vertreten. Der Fokus liegt aber auf Wohngebäuden mit mehreren Wohneinheiten. Ein- und Zweifamilienhäuser sind nicht vertreten.

Die Gebäude sind alle bereits fertiggestellt und bewohnt, bis auf das MFH Wolfurt welches sich Ende 2018 noch in der Bauphase befand. Die Gebäude wurden auch deshalb ausgewählt, weil sie von AEE INTEC oder dem Energieinstitut Vorarlberg meist im Rahmen von Forschungsprojekten begleitet wurden. Somit sind detaillierte Informationen zu den Gebäuden vorhanden. Von allen Gebäuden gab es schon PHPP Energiebedarfsberechnungen, außerdem sind Pläne vorhanden und es gibt Informationen zu den Kosten für die Errichtung der Gebäude. Diese Informationen sind von Projekt zu Projekt in unterschiedlicher Tiefe vorhanden. Für das MFH Feldkirch wurden z.B. im Projekt KliNaWo die Kostendaten sehr detailliert erhoben und auch für die unterschiedlichen Varianten erfasst. Die Gebäude sind im Einzelnen:

- 3 Neubauten von MFH untersucht vom Energieinstitut Vorarlberg
- 1 Sanierung MFH untersucht von AEE INTEC
- 1 Bürogebäude untersucht von AEE INTEC
- 1 Sanierung Schule untersucht von AEE INTEC
- 1 MFH im Siedlungsverbund untersucht von AEE INTEC

Von den 7 Gebäuden wurden in Summe 216.000 Varianten energetisch so wie auch wirtschaftlich betrachtet.

Die Untersuchung der Gebäude wurde im Nachhinein durchgeführt, d.h. die energetisch-wirtschaftliche Optimierung vor der Bauphase war nicht Teil des Projektes. Somit müssen die gebauten Varianten der Gebäude nicht zwingend dem optimierten Gebäude entsprechen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da in der Kürze der Projektlaufzeit keine sieben realen, in der Planungsphase befindlichen, Gebäude betreut werden können. Es kann aber an den Beispielen aufgezeigt werden, wo die Potenziale und Gemeinsamkeiten der Projekte liegen, bzw. was die Hebel und Einflussgrößen sind. In zukünftigen Bauprojekten soll die gezeigte Methode aber sehr wohl in den Planungsprozess eingebettet werden.

5.1 Überblick der sieben Beispielgebäude

Nachfolgende Tabelle 5 zeigt einen Überblick über die sieben untersuchten Beispielgebäude und darin untersuchten Varianten.

Tabelle 5: Grobe Beschreibung der untersuchten sieben Beispielgebäude und der untersuchten Varianten.

	MFH Wolfurt	MFH Langenegg	MFH Feldkirch	Sanierung MFH	MFH +ERS	Büro AEE	Sanierung Schule
Nutzung	Wohnen	Wohnen	Wohnen	Wohnen	Misch-nutzung	Büro	Schule
BGF [m ²]	1.495	589	1.822	2.845	1.450	1.283	3.243
EBF [m ²]	1.212	432	1.421	2.091	1.025	822	2.580
WNF/NF [m ²]	1.112	399	1.263	2.091	907	810	2.433
Fertigstellung	2019	2013	2017	2014	2015	2012	2013
Nutzeinheiten/WE	15	6	18+1	32	16	28	VS+HS
Bei allen Beispielprojekten untersuchte Parameter							
Hüllqualität	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lüftung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Wärmeerzeuger	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Solarthermie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PV Erzeugung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zins/Energiepreis	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Betrachtungszeitraum	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bei ausgewählten Beispielprojekten untersuchte Parameter							
Nutzerverhalten	✓	X	X	✓	✓	✓	✓
Wärmeverteilung	✓	✓	✓	X	X	X	X
Wärmeabgabe	X	X	✓	X	X	X	X
Bauweise	X	X	✓	✓	X	X	X
Haushaltsstrom	✓	X	X	X	X	X	X
PV Anrechnung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Batteriespeicher	X	✓	X	X	X	✓	X
Tarifmodell Strom	X	✓	X	X	X	✓	✓
Fördermodell	X	✓	X	X	X	X	X
CO ₂ Folgekosten	X	X	X	X	✓	X	X
Anzahl untersuchter Varianten							
Varianten	53.000	49.000	75.000	7.300	13.800	24.300	4.600

Sämtliche Varianten/ Parameter und Grundannahmen werden in **Anhang I** detailliert beschreiben.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die sieben Beispielgebäude kurz beschrieben.

5.1.1 Mehrfamilienhaus Wolfurt 15 Wohneinheiten

Es werden 2 Baukörper geplant und gebaut. Ziel war es, die Wärmeverteilung, vor allem vom Brauchwarmwasser, genauer zu untersuchen und auch messtechnisch zu begleiten. Momentan, im März 2019, befinden sich beide Baukörper im Bauzustand². Im Rahmen des Projekts KoPro LZK+ wurde Haus B (Massivbauweise, E+3 Geschosse) untersucht.



Abbildung 15: Mehrfamilienhaus Wolfurt mit 15 Wohnungen (Quelle: Energieinstitut Vorarlberg).

5.1.2 Mehrfamilienhaus Langenegg 6 Wohnungen

MFH mit 6 Wohneinheiten (Eigentumswohnungen), zertifiziertes Passivhaus Plus, mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Sole-Wärmepumpe, 52m² Fassadenkollektoren, 5,2 kW_{peak} PV-Anlage. Erstes Mehrfamilienhaus, das die klimaaktiv Deklarationsstufe Gold+ in der Deklarationsstufe Nutzung erreicht. In dieser Deklarationsstufe wird die energetische Qualität nicht anhand der Energiebedarfsberechnungen, sondern nach realem Energieverbrauch bewertet. Messwert Energieverbrauch Heizung + WW: 9 kWh/m²_{EBFa}. Endenergieverbrauch Hilfsstrom 3,6 kWh/m²_{EBFa}. Baukosten entsprechen Kostengrenze WBF für gemeinnützige Bauvereinigungen³.



Abbildung 16: Mehrfamilienhaus Langenegg mit 6 Wohnungen (Quelle: Günter Morscher).

² Zusatzinfos unter: https://www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum_themenband-6/.

³ Zusatzinfos zum Beispielprojekt unter: https://www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum_themenband-4/

5.1.3 Mehrfamilienhaus Feldkirch 18+1 Wohneinheiten

MFH mit 18 Wohneinheiten und Gemeinschaftsraum (gemeinnütziger Wohnbau). Fertigstellung Herbst 2017. Passivhaushülle, Abluftanlage, Sole-Wärmepumpe, 102m² Solarthermie. Forschungsprojekt mit modularer Ausschreibung und Energiebedarfsberechnungen, Auswahl Realisierungsvariante nach LZK. Für das Projekt KoPro LZK+ wurden die geometrischen Daten des Baukörpers und die indexierten Kostendaten aus dem Projekt KliNaWo verwendet, aber es wurden andere Annahmen und Randbedingungen herangezogen. Deshalb sind die Ergebnisse nicht mit denen aus KliNaWo identisch⁴.



Abbildung 17: Mehrfamilienhaus Feldkirch mit 19 Wohnungen (Quelle: Energieinstitut Vorarlberg).

5.1.4 Sanierung e80^3 Wohnhausanlage Kapfenberg

Mit der Sanierung der Wohnhausanlage „Johann-Böhm-Straße 34/36“ in Kapfenberg wurde erstmals in Österreich ein bestehendes Mehrfamilienhaus aus den 1960-er Jahren in ein Plus-Energie-Gebäude umgewandelt. Die Sanierung erfolgte mit eigens entwickelten vorgefertigten Fassaden- und Haustechnikmodulen. Durch die Energieerzeugung vor Ort über solarthermische Kollektoren und Photovoltaikmodule, sowie durch die Anbindung an die bestehenden Strom- und Wärmenetze konnte das Ziel „Plus-Energie“ erreicht werden.



Abbildung 18: Sanierung Wohnhausanlage e80^3 (Quelle: AEE INTEC).

⁴ Zusatzinfos zum Beispielprojekt unter: https://www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum_themenband-5/

5.1.5 +ERS Mehrfamilienhaus Plusenergieverbund Reininghaus

Das Projekt „+ERS - Plusenergieverbund Reininghaus Süd“ ist integrativer Bestandteil des Haus der Zukunft Plus Leitprojektes „Energy City Graz-Reininghaus (ECR)“ und folgt den Vorgaben des übergeordneten städtebaulichen Rahmenplanes. Das Projekt gliedert sich in zwei Bauteile: Bauteil 1 besteht aus einem an der Peter-Rosegger-Straße vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex mit Wohnnutzung in den Obergeschossen, Bauteil 2 liegt abgeschirmt durch den vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex im südlichen Teil der Liegenschaft und besteht aus 12 kompakten Punkthäusern mit 162 Wohneinheiten. Im nationalen Forschungsprojekt KoPro LZK+ erfolgte die detaillierte Betrachtung eines der 12 kompakten Punkthäuser aus Bauteil 2. Sämtliche Ergebnisse in Kapitel 6.7.5 beziehen sich nur auf dieses eine Gebäude.



Abbildung 19: Plusenergieverbund Reininghaus (Quelle: Martin Grabner).

5.1.6 Bürogebäude AEE INTEC

Im Rahmen des Projekts „Solare –Niedrigenergie Fertigteilhäuser“ wurden in Gleisdorf in Kooperation von Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, HOLZ BAU WEIZ und dem Architekturbüro Reinberg sechs Niedrigenergie-Reihenhäuser und ein Bürobau errichtet. Neben Energie- und Kostenoptimierung bildete die Entwicklung eines innovativen und ökologischen Holzbaukonzeptes einen wesentlichen Schwerpunkt des Projektes. Durch eine speziell für diesen Haustyp entwickelte Wandkonstruktion mit hohem Wärmedämmstandard, sowie durch thermische Zonierung und kontrollierte Be- und Entlüftung über Erdreichwärmetauscher konnte der Heizenergiebedarf dieser Gebäude deutlich reduziert werden. Eine thermische Solaranlage und eine Photovoltaikanlage sorgen für die Energieerzeugung vor Ort.



Abbildung 20: Bürogebäude AEE INTEC (Quelle: AEE INTEC / Gernot Muhr).

5.1.7 Sanierung Neue Mittelschule Rainbach

Die Schule wurde 1972 errichtet und im Jahr 2013 saniert. Das vorwiegende energetische Sanierungsziel war die Erreichung eines Null-/Plusenergie-Gebäudes nach der Sanierung. Dieses Ziel sollte mit Hilfe von vorgefertigten Holzfassadenelementen und einer Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energiequellen erreicht werden. Zusätzlich sollte eine Verbesserung der Innenraumluftqualität erzielt werden⁵.



Abbildung 21: Sanierte NMS Rainbach (archevolution – Arch. Albert B. Böhm und Arch. Ingrid Domenig-Meisinger).

5.2 Kurzdarstellung von drei variierten Parametern

Bei den unterschiedlichen Beispielprojekten werden verschiedene Parameter variiert. Einige Parameter werden bei allen Beispielen variiert, andere Parameter hingegen nur bei ausgewählten Beispielen, um deren prinzipiellen Einfluss zu zeigen. Diese Parameter sind in Abbildung 22 dargestellt. Die detaillierte Beschreibung aller einzelnen Parameter kann im „Anhang I“ des Berichts nachgelesen werden. Nachfolgend werden die drei Parameter Hüllqualität, Wärmeerzeuger und Vor-Ort Erzeugung beschrieben. Diese werden bei allen Projekten variiert.

- **Hüllqualität:** Unter der Hüllqualität wird die energetische Qualität der Gebäudehülle verstanden. Darunter fallen die Außenbauteile wie Wand, Dach, Boden und die Fenster. Diese wurde in zwei Niveaus angenommen. Zum einen eine Hülle mit der die gesetzlichen Mindestanforderungen, wie z.B. der Bautechnikverordnung (BTV) (93. Verordnung der Landesregierung über die technischen Erfordernisse von Bauwerken (Bautechnikverordnung – BTV) 2017, 2016), erfüllt werden. Zum anderen eine Hüllqualität die in etwa den Standard für ein Passivhaus erfüllt, in den Diagrammen mit PH bezeichnet. Bei den Sanierungen sind die gesetzlichen Mindestanforderungen (BTV) weniger hoch als beim Neubau.
- **Wärmeerzeuger:** Es werden bei allen Gebäuden immer eine Wärmepumpenvariante betrachtet, meist unterschieden in zwei Wärmequellen, Erdreich und Luft. Bei allen

⁵ Zusatzinfos zum Beispielprojekt unter: <http://www.energiestar.at/energie-star-2014/verleihung-2014.html>

Gebäuden, außer beim MFH +ERS wird als Referenzvariante ein Gasbrennwertkessel analysiert. Bei manchen Gebäuden werden außerdem ein Anschluss an ein Nahwärmenetz oder eine Variante mit Pellet Kessel betrachtet.

- **Erzeugung erneuerbarer Energie vor Ort:** Es wird ebenfalls bei allen Gebäuden die Erzeugung erneuerbaren Stromes vor Ort untersucht. Diese erfolgt immer mit PV-Anlagen am Gebäude, mit Ausnahme des MFH +ERS. Hier wird ein Quartiersverbund betrachtet. Meist werden verschieden große PV-Anlagen mit unterschiedlichen Nutzungsszenarien wie Eigennutzung des Stromes betrachtet.

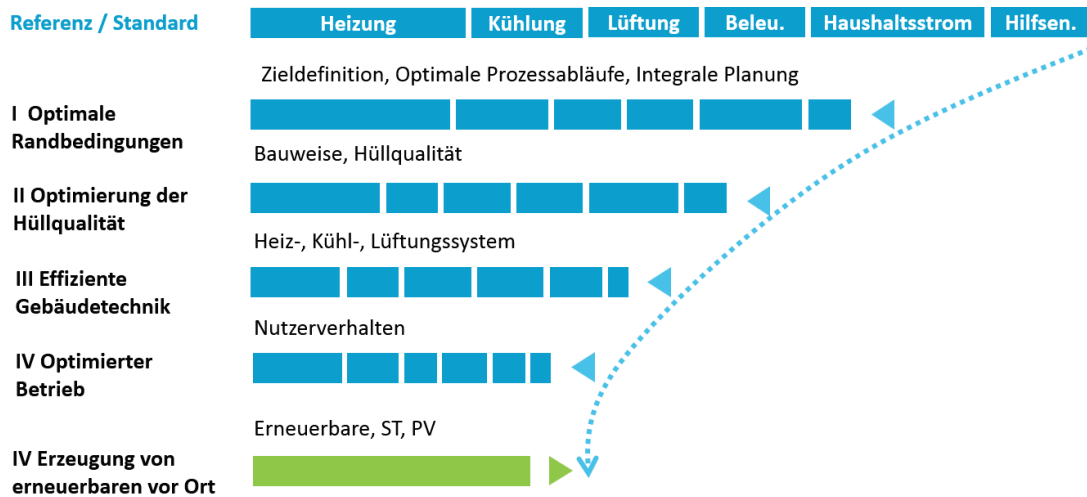


Abbildung 22: Optimierungsprozess und variierte Parameter lt. Tabelle 5

Sämtliche Varianten/ Parameter und Grundannahmen werden in **Anhang I** detailliert beschreiben.

6 Ergebnisse

6.1 Interaktive Webauswertung

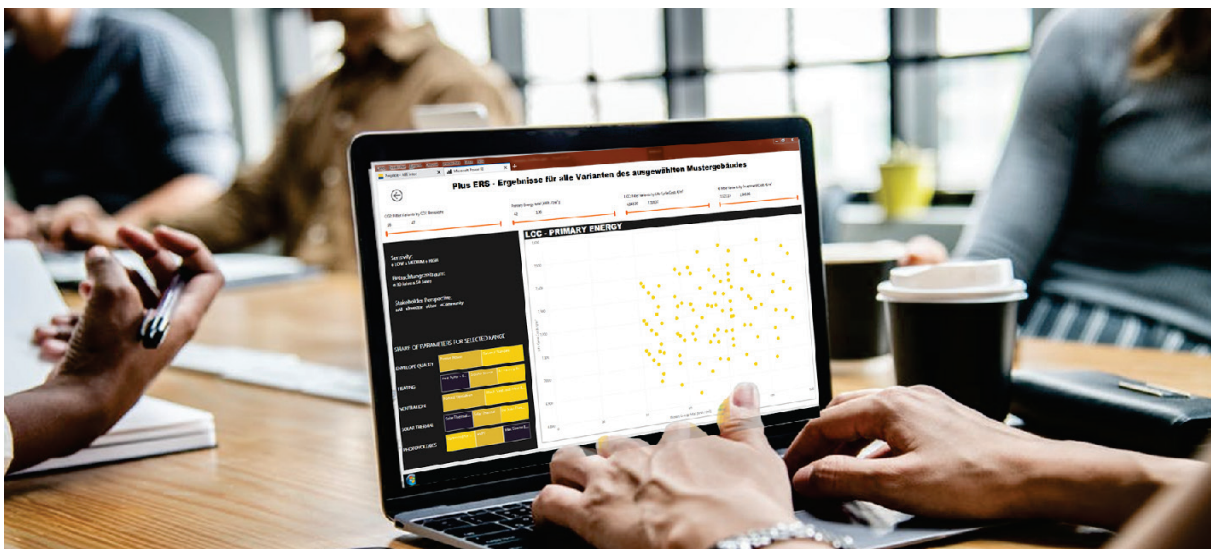


Abbildung 23: Interaktive Webauswertung und Ergebnisdarstellung (Quelle: AEE INTEC).

Alle Ergebnisse aus dem Projekt fließen in einen interaktiven web-basierten-Leitfaden für Null- und Plusenergiegebäude, der es ermöglicht, sämtliche Varianten individuell auszuwerten. Dadurch können bereits in einer frühen Projektphase mittels der Beispielgebäude Abschätzungen zu Kosten- und Energiereduktionspotentialen analysiert werden. Der web-basierte Leitfaden ist unter folgender Website aufrufbar: <http://kopro.aee-data.at/>

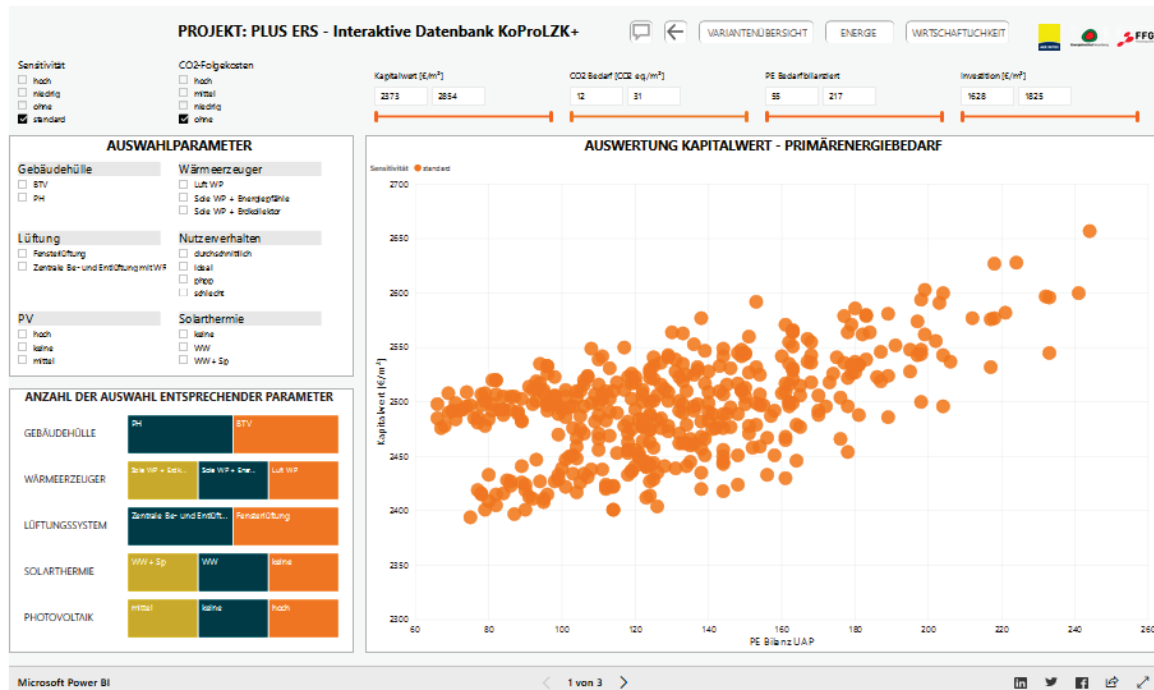


Abbildung 24: Übersicht - Webauswertung und Ergebnisdarstellung (Quelle: AEE INTEC).

Benutzung des interaktiven web-basierten Leitfadens

Innerhalb des web-basierten Leitfadens werden die sieben Fallstudien auf jeweils drei interaktiven “Dashboards” dargestellt. Abbildung 24 zeigt die Variantenübersicht der Fallstudie +ERS. Die Visualisierung bereitet die Ergebnisse der einzelnen Fallstudien graphisch auf und erlaubt die Einschränkung der angezeigten Ergebnisse hinsichtlich ihres Kapitalwertes, die bilanzierten CO₂-Emissionen, der bilanzierten Primärenergie und der Investitionskosten. Zusätzlich kann der Nutzer die Ergebnisse durch die Einschränkung auf bestimmte Technologien sowie Randbedingungen weiter filtern. Das spielerische Hinzufügen und Abwählen von bestimmten Kombinationen erlaubt das Erkennen von Zusammenhängen und die Bewertung des Einflusses auf den Lebenszyklus. Durch das Navigieren auf die weiteren Seiten (Pfeile im unteren und oberen Bereich der Seite) können die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Energie und der Wirtschaftlichkeit weiter analysiert werden. Weiters ist es möglich die Ergebnisse im Vollbildmodus anzuzeigen und über Social Media zu teilen.

Benutzung der Filter

Die unterschiedlichen Auswahlfelder (im linken Bereich der Seite), erlauben die Filterung der Ergebnisse und erlauben eine stufenweise Verfeinerung der gewünschten Optimierung (Abbildung 25). Beim Starten der jeweiligen Fallstudie sind keine Filter (Auswahlfelder) aktiv. Durch die Auswahl des ersten Auswahlfeldes, werden nur mehr Varianten angezeigt, welche der Auswahl entsprechen. Durch die weitere Einschränkung des Kapitalwertes, der bilanzierten CO₂ Emissionen, der bilanzierten

Primärenergie und die Investitionskosten durch Schieberegler (im oberen Bereich der Seite) können die Ergebnisse noch weiter eingeschränkt werden. Im linken unteren Bereich werden die jeweiligen Auswahlparameter angezeigt, welche die zuvor getroffenen Einschränkungen erfüllen. Wenn zuvor nur ein Heizsystem ausgewählt wurde, so wird bei der Auswahl der Parameter unter Wärmeerzeuger nur mehr dieser dargestellt.

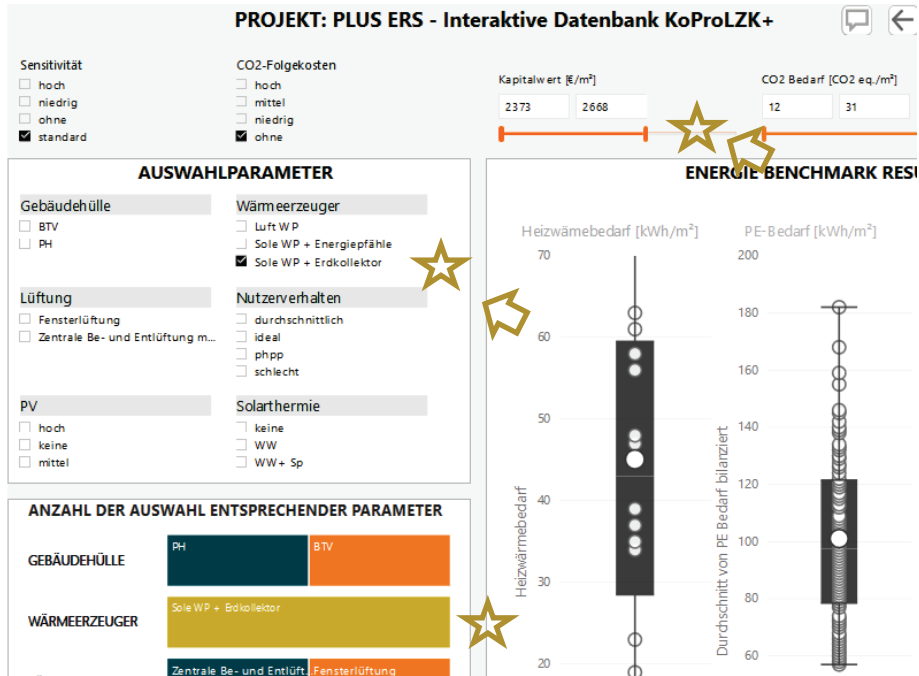


Abbildung 25: Filter, Schieberegler und Auswahl der Parameter

Hervorhebung von Ergebnissen

Die Auswahlparameter einzelner Varianten können durch das gezielte platieren des Mauszeigers über der gewünschten Variante angezeigt werden (Abbildung 26).

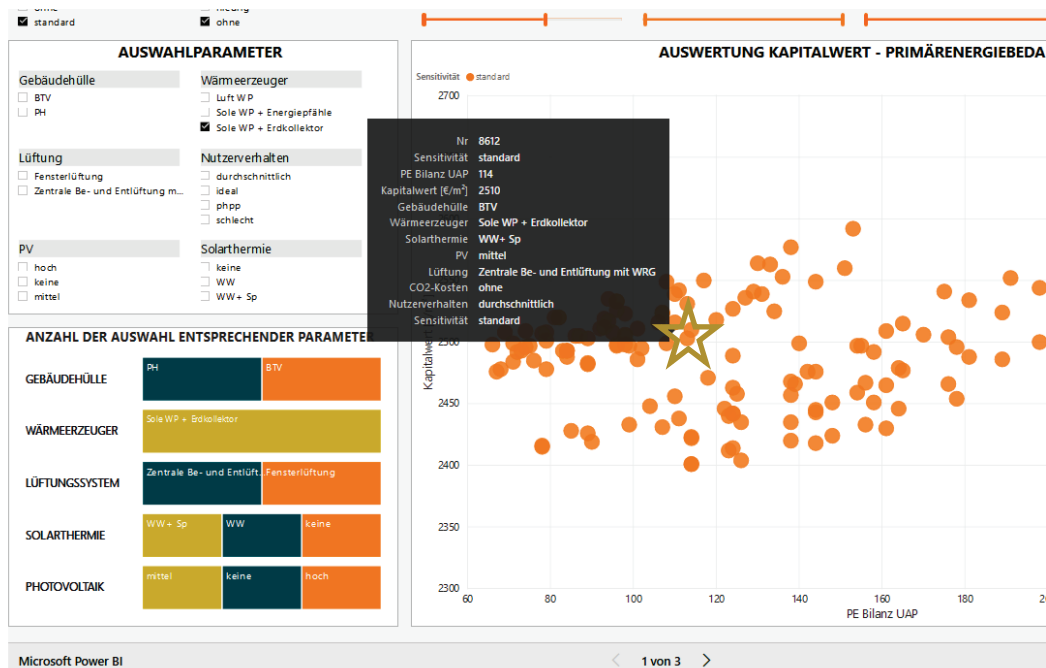


Abbildung 26: Hervorhebung der Parameter der Variante

Bei einer Mehrfachselektion von Ergebnissen (die weiteren Ergebnisse werden heller angezeigt) wird die Anzahl direkt in der Auswahl angepasst und farblich stärker dargestellt. Im Beispiel der Abbildung 27 wurden nur Varianten mit der Gebäudehülle Passivhaus ausgewählt.

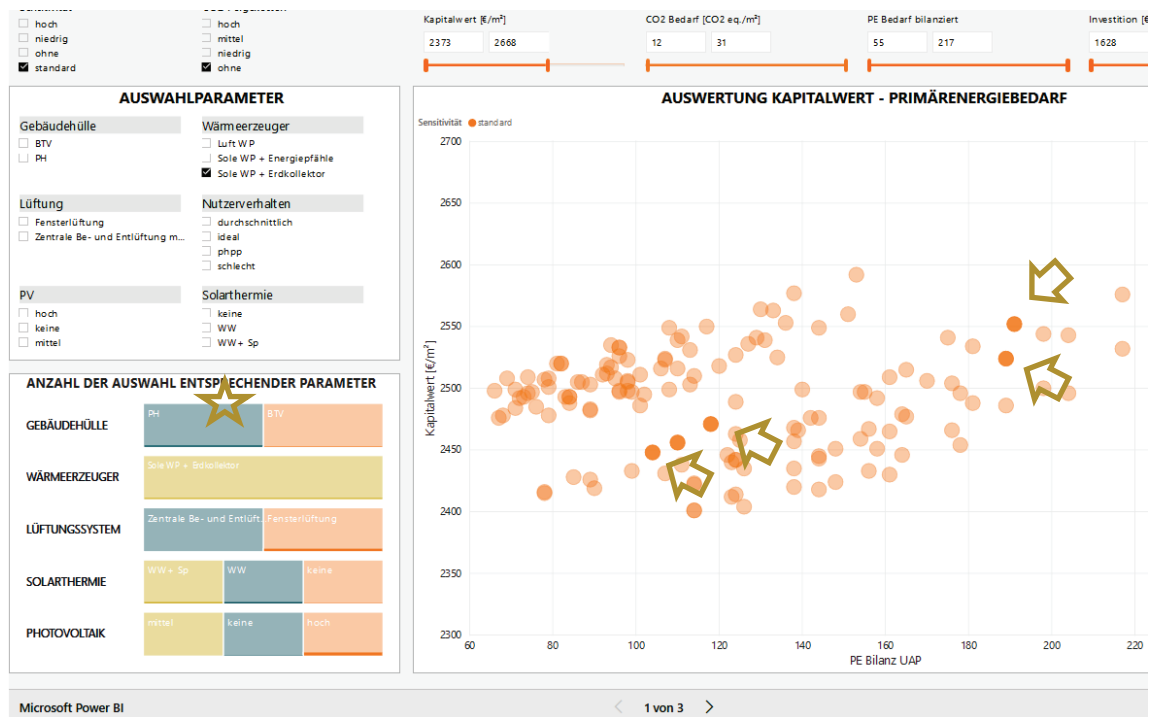


Abbildung 27: Multiple Auswahl von Varianten

6.2 Ergebnisse der CO₂ Emissionen

Für die Beispiele wurden mit den verschiedenen Randbedingungen wie vorher beschrieben die CO₂ Emissionen der unterschiedlichen Varianten berechnet. Durch die Variation der Parameter und der Randbedingungen ergibt sich für jedes Beispiel eine Streuung der Ergebnisse, in diesem Fall der CO₂ Emissionen. Die Streuung reicht von der bestmöglichen Variantenkombination mit den günstigsten Randbedingungen zur schlechtmöglichsten Variantenkombination mit den ungünstigsten Randbedingungen. Die Variation der Randbedingungen wird in Kapitel 4.7 beschrieben. Diese Randbedingungen sind das Nutzerverhalten, der Betrachtungszeitraum und unterschiedliche Energiepreissteigerungen, bzw. die Veränderung der Energiepreissteigerung gegenüber dem Zinsniveau. Bezüglich der jährlichen CO₂ Emissionen hat von den Randbedingungen nur das Nutzerverhalten einen Einfluss.

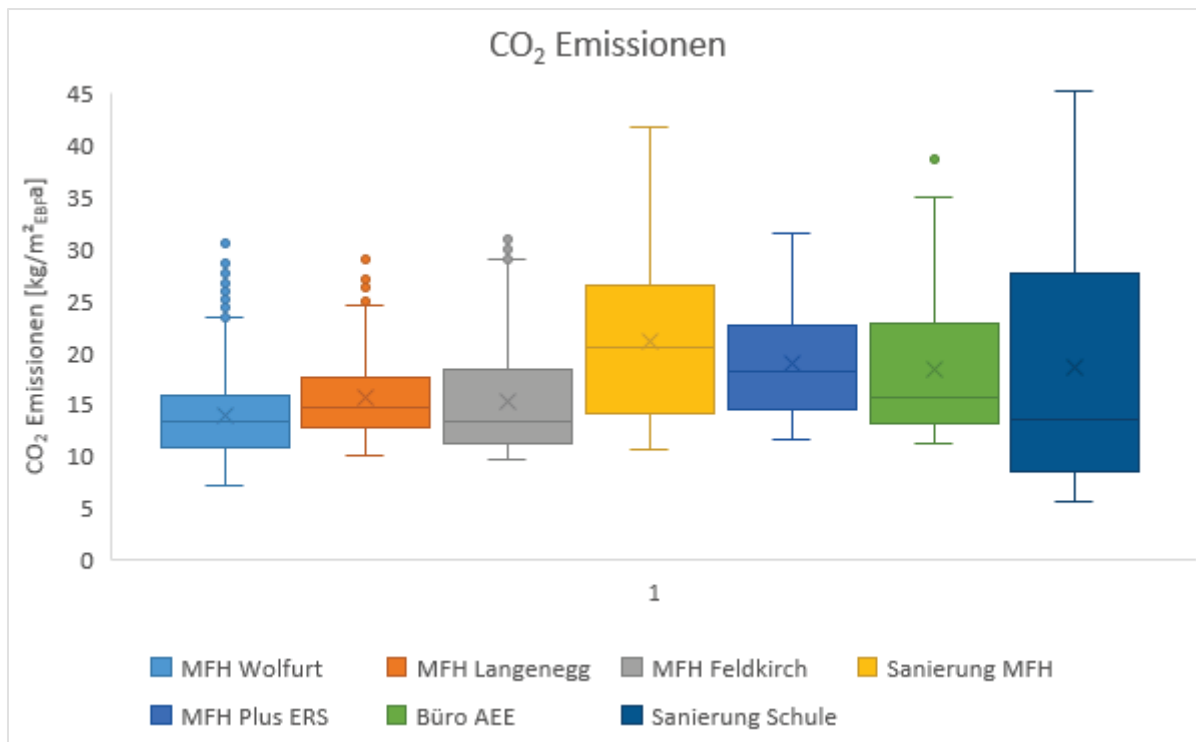


Abbildung 28: CO₂ Emissionen der verschiedenen Varianten aller Beispiele dargestellt als box-plot⁶ mit Streuung und Verteilung (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ Keine CO₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).

Anmerkung zur Höhe der CO₂-Emissionen und deren Interpretation. Wie bereits beschrieben können die dargestellten Werte der CO₂-Emissionen nicht mit den Ergebnissen von Energieausweisberechnungen verglichen werden, da sie zum einen mit anderen Rechenalgorithmen, also PHPP statt OIB RL-6 (2015) und zum andern mit abweichenden Randbedingungen (Raumlufttemperatur, Warmwasserbedarf, Haushaltsstrombedarf, Betriebsstrombedarf...) berechnet wurden. Die CO₂ Konversionsfaktoren der OIB RL-6 (2015) wurden übernommen und Emissionen wurden unter Berücksichtigung der Wärme- und Stromanwendungen inklusive Haushalts- bzw. Betriebsstrom berechnet.

In Abbildung 28 werden die CO₂ Emissionen der verschiedenen Varianten aller sieben Beispielgebäude dargestellt. Man erkennt, dass zwischen Minimalwert und Maximalwert bei den einzelnen Beispielen ein Faktor von 2,7 (MFH Plus ERS) bis 8,2 (Sanierung Schule) vorhanden ist. Die größte Streuung tritt bei den Sanierungsfällen auf, da hier die baurechtlichen Mindestanforderungen niedriger sind als im Neubau. Die bestmöglichen Qualitäten wie z.B. EnerPHit Sanierungen reichen aber von der Qualität fast an die von sehr guten Neubauten heran. Deshalb ist bei den Sanierungen der Unterschied am größten.

6.3 Ergebnisse der Errichtungskosten

Die Errichtungskosten (Kostengruppen 1-9 nach ÖNORM B 1801-1) wurden für alle Varianten ausgewertet. Bei den Errichtungskosten hängt die Streuung nicht von den Randbedingungen ab, da

⁶ Der Boxplot ist eine graphische Darstellung zur Charakterisierung der Verteilung stetiger Merkmale beruhend auf den empirischen Quartilen (25% Werten). Der Interquartilsabstand wird als Kasten (engl.: box) dargestellt, von dem aus Linien bis zum Minimum bzw. Maximum gezogen werden. Der Median wird im Kasten durch eine Linie beschrieben. Optional ist noch die Lage des arithmetischen Mittelwerts durch ein x gekennzeichnet. Die Ausreißer werden als Punkte dargestellt.

hier keine der variierten Randbedingungen wie das Nutzerverhalten, der Betrachtungszeitraum und unterschiedliche Energiepreissteigerungen einen Einfluss haben. Bei den Errichtungskosten hängt die Streuung ausschließlich von den unterschiedlichen betrachteten Varianten der Haustechnik und der Komponenten wie der Hüllqualität ab.

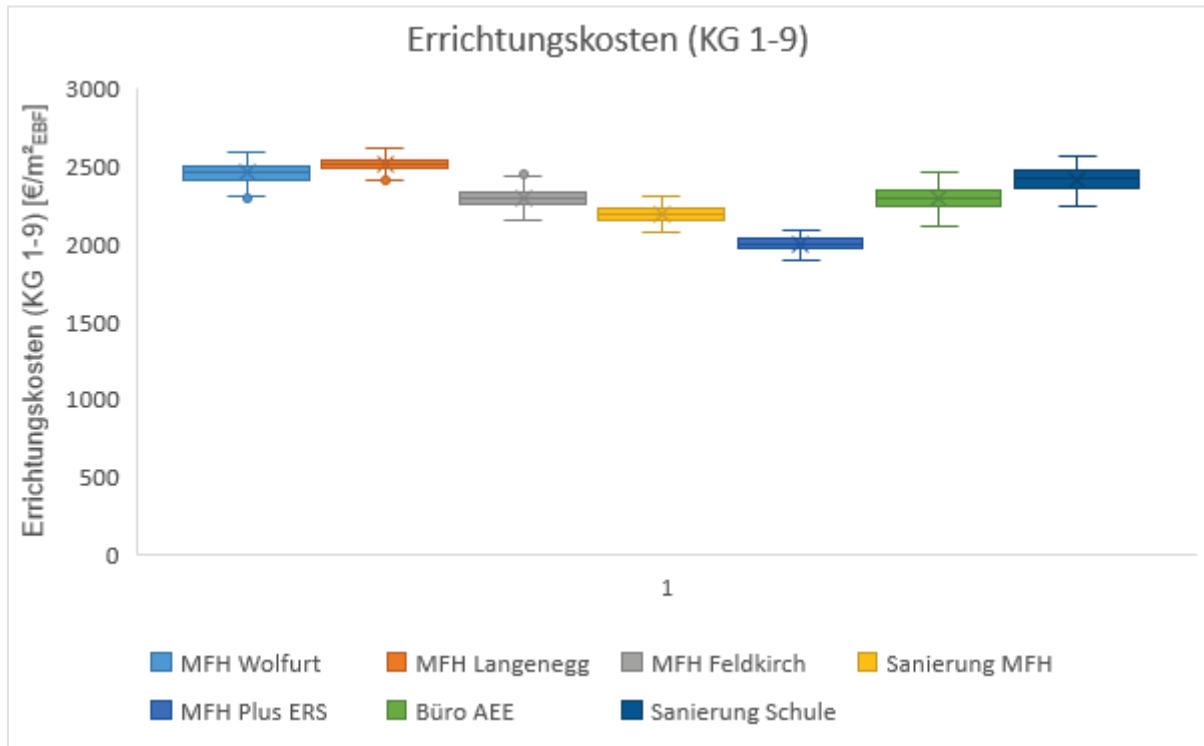


Abbildung 29: Errichtungskosten (KG 1-9) der verschiedenen Varianten aller Beispiele dargestellt als box-plot mit Streuung und Verteilung.

In Abbildung 29 sind die Errichtungskosten (KG 1-9) der verschiedenen Varianten aller Beispiele dargestellt. Man erkennt in der Streuung, dass zwischen Minimalwert und Maximalwert bei den einzelnen Beispielen ein Faktor von 1,1 bis 1,2 vorhanden ist. Diese Streuung ist um ein Vielfaches geringer als die Streuung der CO₂ Emissionen.

Vereinfacht ausgedrückt beschreibt die Grafik, dass die Variation der energetischen Qualität der Gebäude keinen sehr großen Einfluss auf die Errichtungskosten hat. Betrachtet man den Bereich in dem sich 50% der Fälle eines Beispiels befindet, sieht man, dass diese Schwankung noch geringer wird. Die Projekte, sowohl Neubau als auch Sanierung, liegen von den Errichtungskosten in ähnlicher Größenordnung, nur das MFH Plus ERS liegt insgesamt etwas niedriger.

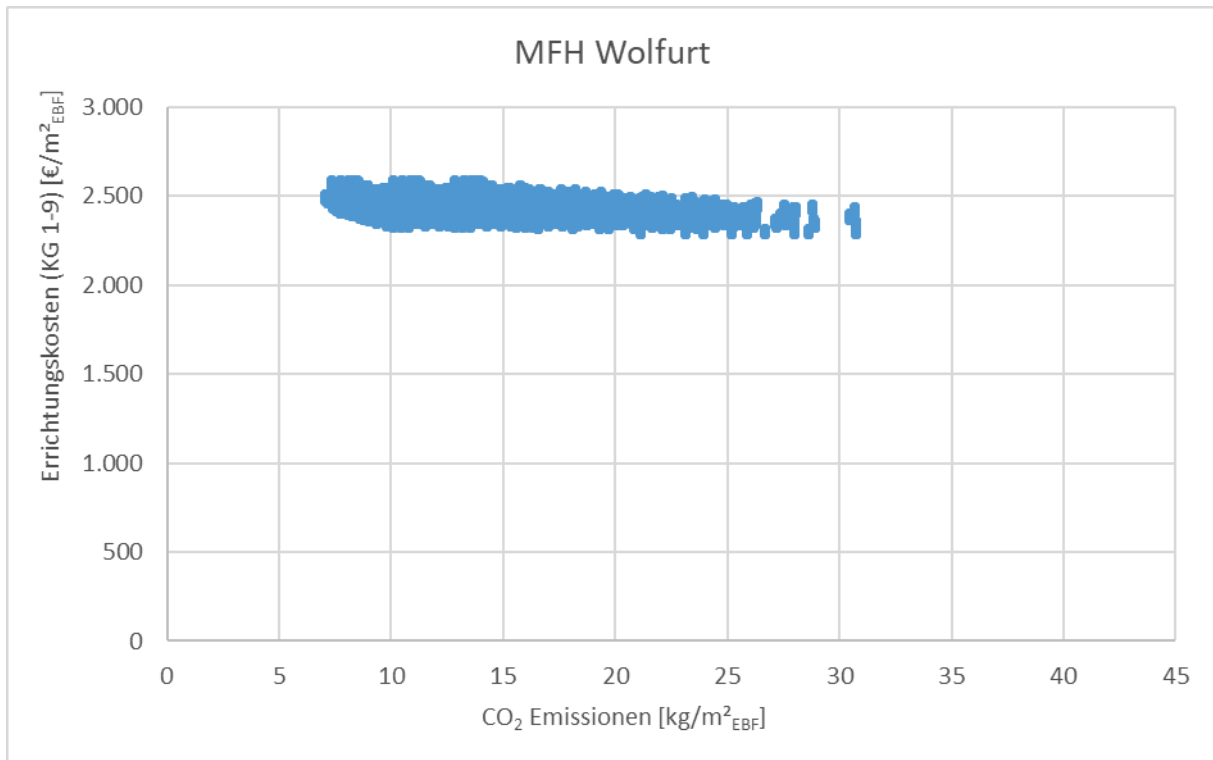


Abbildung 30: Errichtungskosten (KG 1-9) über den CO₂ Emissionen der Varianten für das MFH Wolfurt (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ Keine CO₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).

In Abbildung 30 werden beispielhaft für das Projekt MFH Wolfurt die Errichtungskosten über den CO₂ Emissionen als Punktwolke dargestellt. In der Punktwolke sind die Streuungen der unterschiedlichen Varianten mit abgebildet. Am Beispielprojekt erkennt man, wie vorher schon kurz beschrieben, dass die CO₂ Emissionen um den Faktor 4,3 differieren, während die Errichtungskosten nur um den Faktor 1,1 schwanken. Das bedeutet, dass man mit ähnlichen oder sogar gleichbleibenden Errichtungskosten um ein vielfaches weniger CO₂ Emissionen verursachen kann. Die Errichtungskosten steigen zwar mit abnehmenden CO₂ Emissionen tendenziell leicht an, aber die untere Umschließungskurve oder Pareto Front bleibt bis etwa 10 kg/m²a konstant. Man kann also mit denselben Errichtungskosten ein Gebäude mit 30 kg/m²a CO₂ Emissionen bauen, aber auch genauso gut eines mit nur 10 kg/m²a.

In der EU Gebäuderichtlinie von 2018 (*RICHTLINIE (EU) 2018/844 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES*, 2018, sec. 19) heißt es, dass „Bei neuen Gebäuden und Gebäuden, die einer größeren Renovierung unterzogen werden, sollten sich die Mitgliedsstaaten für hocheffiziente alternative Systeme einsetzen, sofern dies technisch, funktionell und wirtschaftlich realisierbar ist,...“. Wie man in Abbildung 30, aber auch für alle Beispiele in Abbildung 31 für die wirtschaftliche Realisierbarkeit sieht, kann man dieser Aufforderung gerecht werden, und die CO₂ Emissionen des Gebäudeparks drastisch senken. In Abbildung 31 sind für alle sieben Beispiele die Errichtungskosten über den CO₂ Emissionen als Punktwolken dargestellt. Es ergibt sich prinzipiell dasselbe Bild wie für das Projekt MFH Wolfurt. Die untere Umschließungskurve oder Pareto Front der Beispiele verläuft meist von 40 kg/m²a bis 10 kg/m²a mit relativ konstanten Errichtungskosten und steigt dann leicht an. Manche Projekte haben eine etwas größere Streuung als andere, aber die Tendenzen sind ähnlich.

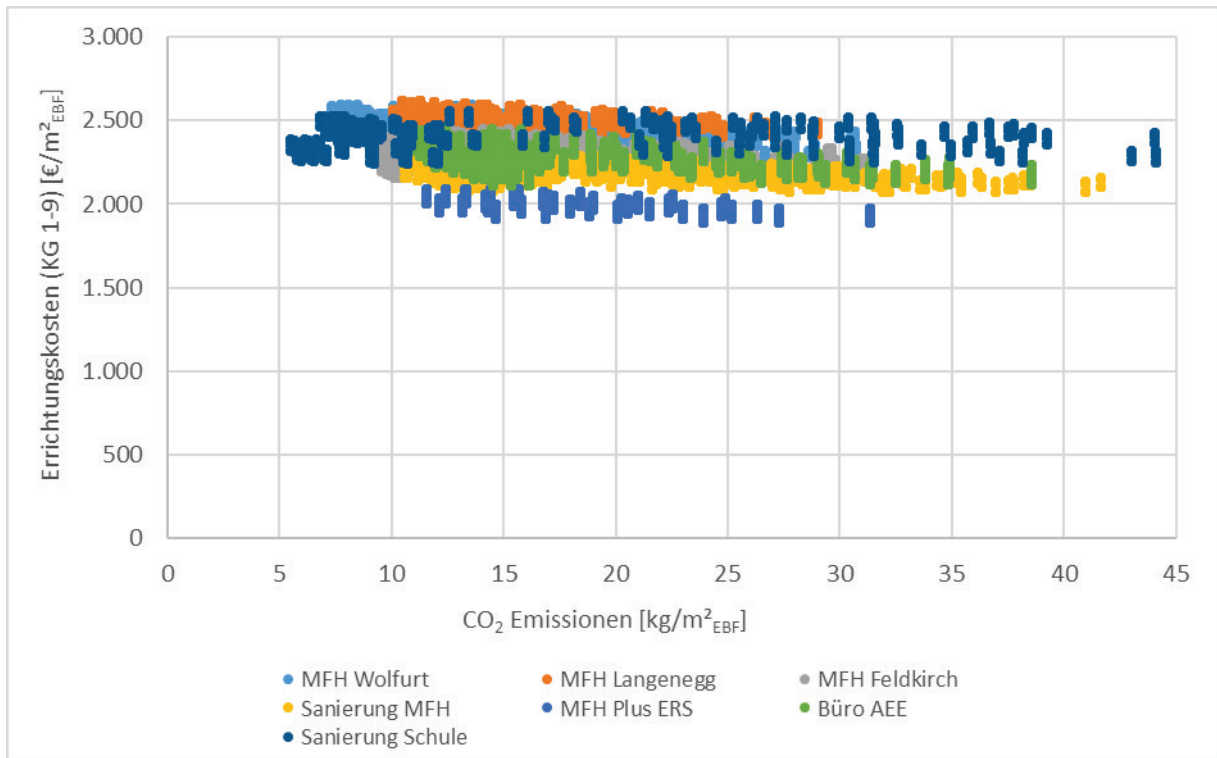


Abbildung 31: Errichtungskosten (KG 1-9) über den CO₂ Emissionen der Varianten für alle sieben Beispielgebäude (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ keine CO₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).

6.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

In Abbildung 32 ist der Kapitalwert der verschiedenen Varianten aller Beispiele in Form eines box-plot Diagrammes mit Streuungen und Verteilung dargestellt. Man erkennt in der Streuung, dass zwischen Minimalwert und Maximalwert bei den einzelnen Beispielen ein Faktor von 1,5 bis 1,7 vorhanden ist. Die größte Bandbreite der Streuung ergibt sich durch die Variation der Randbedingung Betrachtungszeitraum zwischen 30 und 50 Jahren. Der Kapitalwert der Lebensphasen erhöht sich bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, da bei diesem 20 Jahre zusätzlicher Betrieb mit Energiekosten, Wartungskosten und Reparaturen berücksichtigt werden. Bei den Lebenszykluskosten hängt die Streuung stärker von den Randbedingungen ab, da hier alle der variierten Randbedingungen wie das Nutzerverhalten, der Betrachtungszeitraum und unterschiedliche Energiepreissteigerungen einen Einfluss haben. Die Streuung ist geringer als bei den CO₂ Emissionen.

Die Lebenszykluskosten für die Schule und das Bürogebäude liegen höher als in den Wohngebäuden, da hier wie in Kapitel 4.2 beschrieben eine höhere Betriebskostenpauschale angenommen wurde.

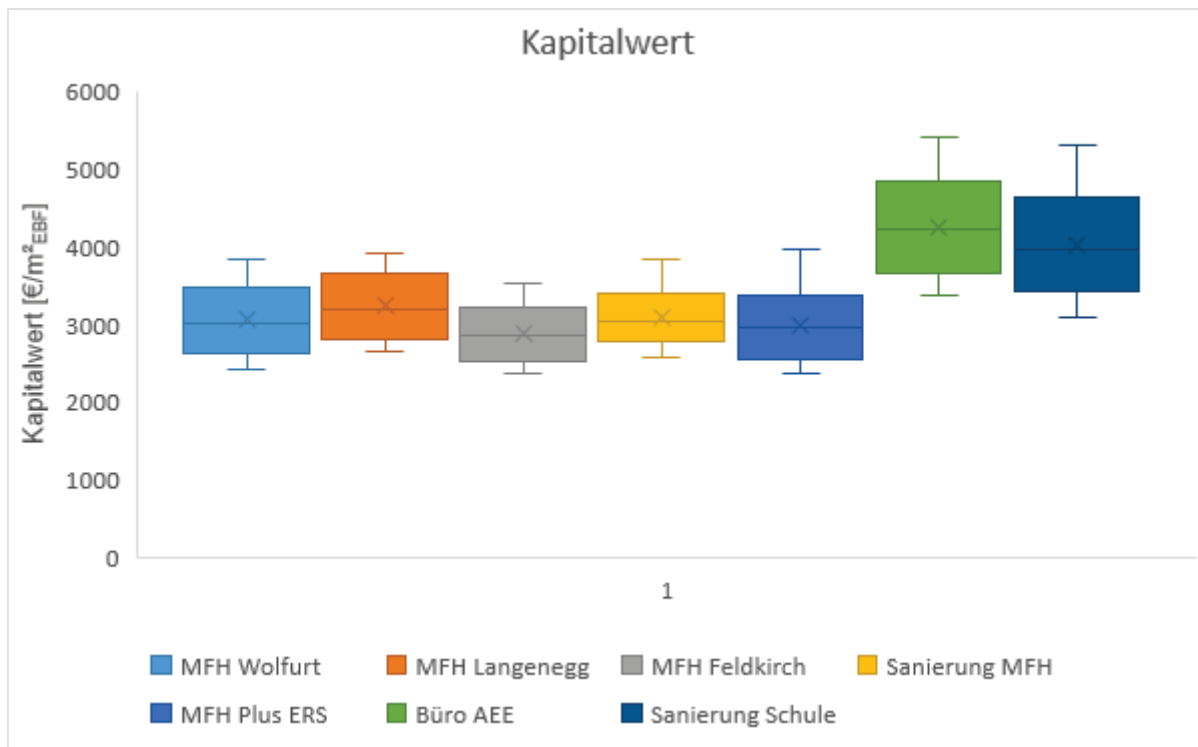


Abbildung 32: Kapitalwert der verschiedenen Varianten aller Beispiele dargestellt als box-plot mit Streuung und Verteilung.

In Abbildung 33 werden beispielhaft für das Projekt MFH Wolfurt die Kapitalwerte über den CO₂ Emissionen als Punktwolke dargestellt. In der Punktwolke sind die Streuungen der unterschiedlichen Varianten mit abgebildet. Am Beispielprojekt erkennt man, wie vorher schon kurz beschrieben, dass die CO₂ Emissionen um den Faktor 4,3 differieren. Die Kapitalwerte sind augenscheinlich in zwei Gruppen aufgeteilt. Die untere Gruppe stellt die Varianten mit dem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren dar, während die obere den mit 50 Jahren zeigt. Während durch die gemeinsame Darstellung der Betrachtungszeiträume in Abbildung 32 eine größere Streuung entsteht, sieht man in Abbildung 33 und Abbildung 34, dass bei der Festlegung eines konkreten Betrachtungszeitraumes, je nach Perspektive des Betrachters 30 oder 50 Jahre, die Streuung deutlich auf den Faktor 1,1 bis 1,2 verringert wird. Das bedeutet, dass man mit ähnlichen oder sogar sinkenden Lebenszykluskosten um ein vielfaches weniger CO₂ Emissionen verursachen kann. Die Lebenszykluskosten fallen mit abnehmenden CO₂ Emissionen sogar tendenziell leicht, auch die untere Umschließungskurve oder Pareto Front fällt bis etwa 10 kg/m²a ganz leicht. Man kann also mit denselben Lebenszykluskosten ein Gebäude mit CO₂ Emissionen von 30 kg/m²a bauen, aber auch genauso gut eines mit nur 10 kg/m²a.

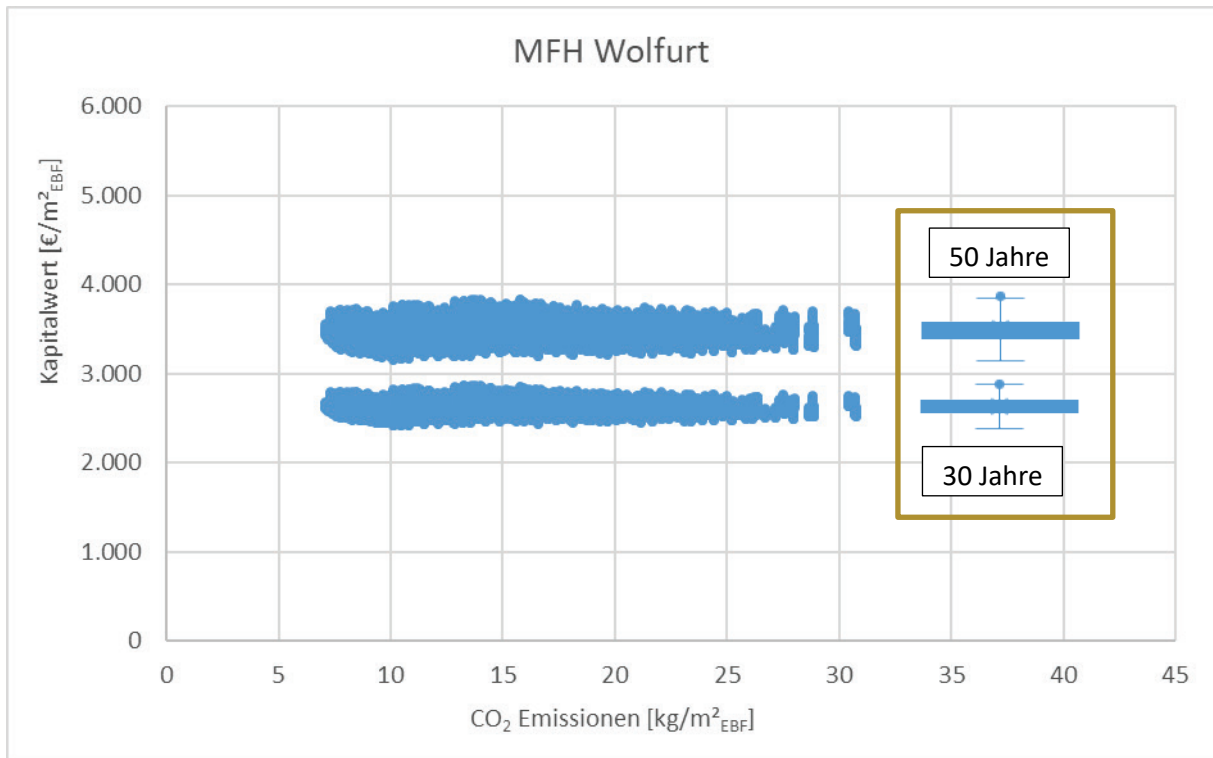


Abbildung 33: Kapitalwert der Lebenszykluskosten über den CO₂ Emissionen der Varianten für das MFH Wolfurt. Zwei Punktwolken, eine für 30 Jahre Betrachtungszeitraum, die andere für 50 Jahre. (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ Ohne Berücksichtigung von Förderung / keine CO₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).

Wie in Abbildung 33 für das Projekt Wolfurt dargestellt, sind in Abbildung 34 die Punktwolken vom Kapitalwert über den CO₂ Emissionen für alle sieben Beispielgebäude dargestellt. Auch hier sieht man, dass pro Projekt (unterschiedliche Farben) die Punktwolke in zwei Bereiche aufgeteilt ist. Die unteren Punktwolken beschreiben die Varianten mit dem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren und die oberen Punktwolken die Varianten mit dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Man sieht, dass die Wahl des Betrachtungszeitraumes rein optisch keinen signifikanten Einfluss auf die Verteilung der Varianten hat. Die Tendenz, dass ein sehr großer Hebel bei der Einsparung der CO₂ Emissionen besteht, ohne dass die Kosten wesentlich erhöht werden, stellt sich bei beiden Betrachtungszeiträumen gleich dar. Die Streuung der Varianten im Kapitalwert nimmt von 30 Jahren zu 50 Jahren Betrachtungszeitraum zu. Je länger der Betrachtungszeitraum gewählt wird, desto besser schneiden energetisch hochwertige Lösungen mit höheren Erstinvestitionskosten ab, da ihre niedrigeren Verbrauchskosten auch über einen längeren Zeitraum nicht ins Gewicht fallen. Energetisch schlechte Varianten haben höhere Verbrauchskosten und diese summieren sich bei 50 Jahren Betrachtungszeitraum länger auf. Somit schneiden diese Varianten schlechter ab und die Streuung zwischen guten und schlechten Lösungen nimmt zu.

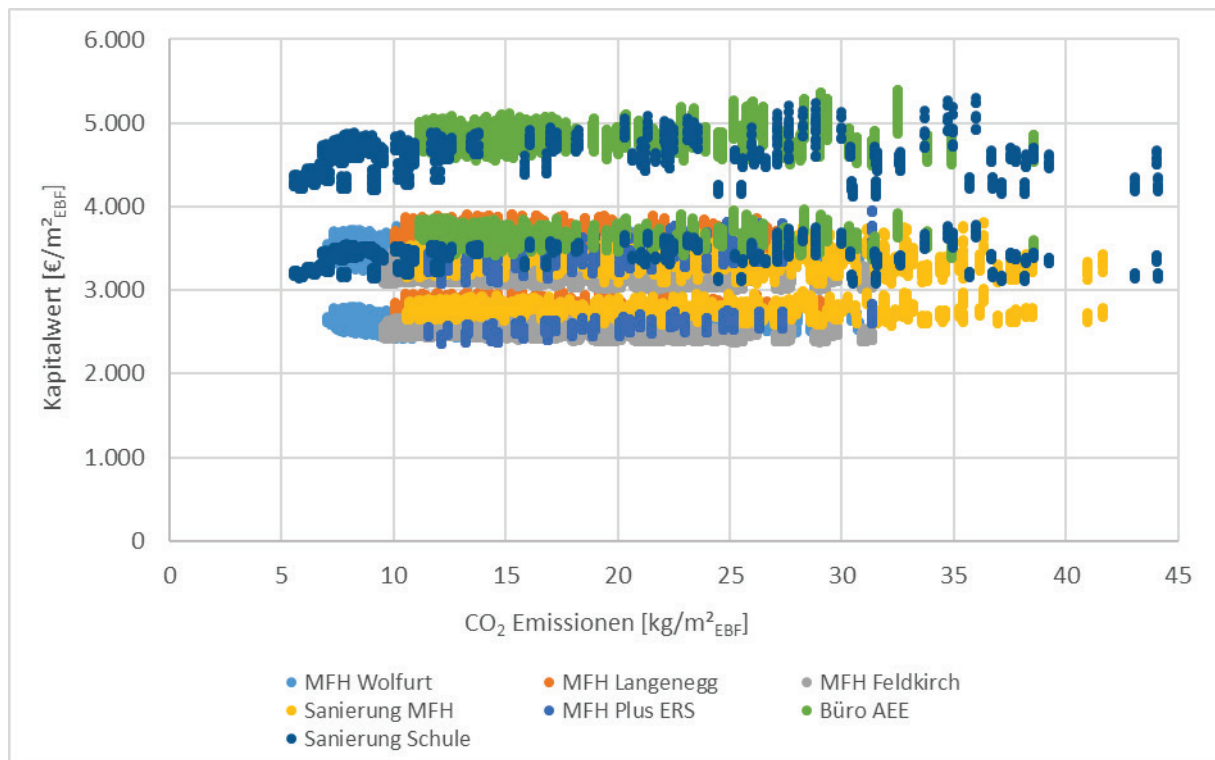


Abbildung 34: Kapitalwert der Lebenszykluskosten über den CO₂ Emissionen der Varianten für alle sieben Beispielgebäude (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ Ohne Berücksichtigung von Förderung / keine CO₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).

6.5 Sensitivität der Ergebnisse auf die Randbedingungen

Die Sensitivität der Ergebnisse auf die gewählten Randbedingungen beschreibt, inwieweit die Ergebnisse auf Änderungen der Randbedingungen reagieren. Das Ergebnis einer Lebenszykluskostenbetrachtung hängt von den gewählten Eingangsparametern ab und kann dadurch variieren. Um diesen Einfluss, bzw. die Variation abbilden zu können, werden anhand einiger Parameter Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt. Diese Parameter sind das Nutzerverhalten, der Betrachtungszeitraum und unterschiedliche Energiepreissteigerungen, bzw. die Veränderung der Energiepreissteigerung gegenüber dem Zinsniveau.

Die Änderung der Randbedingung des Betrachtungszeitraumes wurde schon im vorigen Kapitel beschrieben. Je länger der Betrachtungszeitraum gewählt wird, desto besser schneiden tendenziell energetisch höherwertige Varianten ab. An der Gesamtaussage der Ergebnisse ändert sich aber nichts Wesentliches.

In Abbildung 35 wird am Beispiel des Projektes MFH Wolfurt der Einfluss des Nutzerverhaltens auf die CO₂ Emissionen bzw. auf den Kapitalwert gezeigt. Die Variation des Nutzerverhaltens wird in Kapitel 4.7 beschrieben. In der Abbildung sieht man, ähnlich wie beim Betrachtungszeitraum, dass sich bei den CO₂ Emissionen bei den sehr effizienten Lösungen auch bei ineffizienterem Nutzerverhalten nicht viel ändert. Bei den energetisch schlechteren Lösungen mit hohen CO₂ Emissionen wirkt sich das Nutzerverhalten aber durchaus aus. Aus Klimaschutzsicht bedeutet dies, dass energetisch hochwertige Gebäude eine robuste Lösung auch im Hinblick auf das Nutzerverhalten und unterschiedliche

Komfortansprüche sind. Wirtschaftlich gesehen hat das Nutzerverhalten bei dem betrachteten Beispiel keinen wesentlichen Einfluss. Für die Sensibilität der Randbedingung Nutzerverhalten bedeutet dies, dass sich an den Ergebnissen auch bei variiertem Nutzerverhalten nichts Wesentliches ändert.

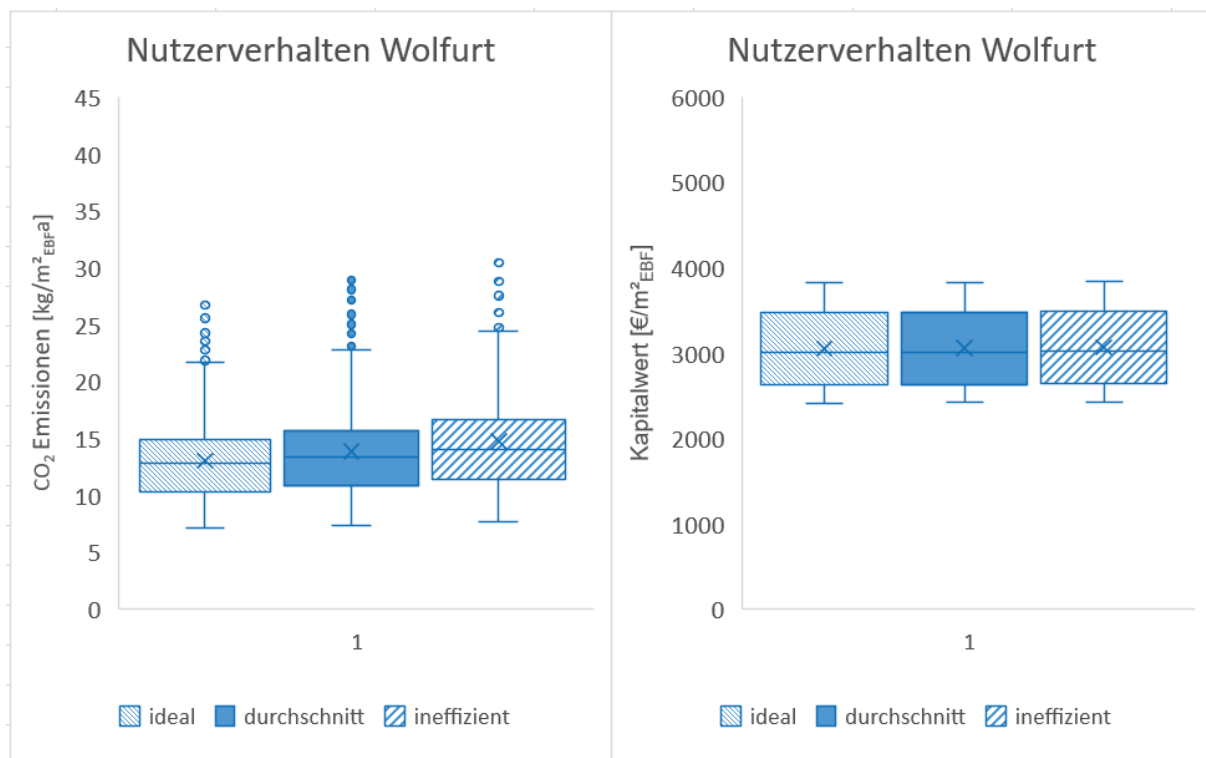


Abbildung 35: Einfluss des Nutzerverhaltens am Beispiel MFH Wolfurt auf die CO₂ Emissionen und den Kapitalwert.

Ähnliches wie für die Randbedingungen Betrachtungszeitraum und Nutzerverhalten trifft auch für die Randbedingung Energiepreissteigerungen, bzw. die Veränderung der Energiepreissteigerung gegenüber dem Zinsniveau zu. Diese Veränderung betrifft von den Ergebniskennwerten nur den Kapitalwert über den Lebenszyklus, da dieser von den Energiepreisen abhängt. Die Errichtungskosten und die CO₂ Emissionen hängen nicht direkt von der Energiepreissteigerung ab. Wirtschaftlich gesehen hat die untersuchte Variation der Energiepreise bei dem betrachteten Beispiel keinen wesentlichen Einfluss. Für die Sensibilität der Randbedingung Energiepreissteigerung bedeutet dies, dass sich an den Ergebnissen auch bei variierten Energiepreissteigerungen nichts Wesentliches ändert. Dies trifft natürlich nur für die untersuchte Spannweite von $\pm 1\%$ zu. Steigen die Energiepreise stärker, oder von den unterschiedlichen Energieträgern unterschiedlich an, kann dies natürlich zu einer Verschiebung führen.

6.6 Einfluss eines Parameters am Beispiel der Hüllqualität

Nachfolgend wird beispielhaft der Einfluss eines einzelnen Parameters untersucht. Bei der Beschreibung der einzelnen Projekte in Kapitel 5 ist bei den untersuchten Parametern bei allen Gebäuden die Hüllqualität variiert worden. Unter der Hüllqualität wird in dieser Studie die energetische Qualität der Gebäudehülle verstanden. Darunter fallen die Außenbauteile wie Wand, Dach, Boden und die Fenster. Diese wurde in zwei Niveaus angenommen. Zum einen eine Hülle mit der die gesetzlichen Mindestanforderungen, wie z.B. der Bautechnikverordnung (BTV) (93. Verordnung der Landesregierung über die technischen Erfordernisse von Bauwerken (Bautechnikverordnung – BTV) 2017, 2016), erfüllt werden, in den Diagrammen mit BTV bezeichnet. Zum anderen eine

Hüllqualität die in etwa den Standard für ein Passivhaus erfüllt, in den Diagrammen mit PH bezeichnet. Bei den Sanierungen sind die gesetzlichen Mindestanforderungen (BTV) weniger hoch als beim Neubau.

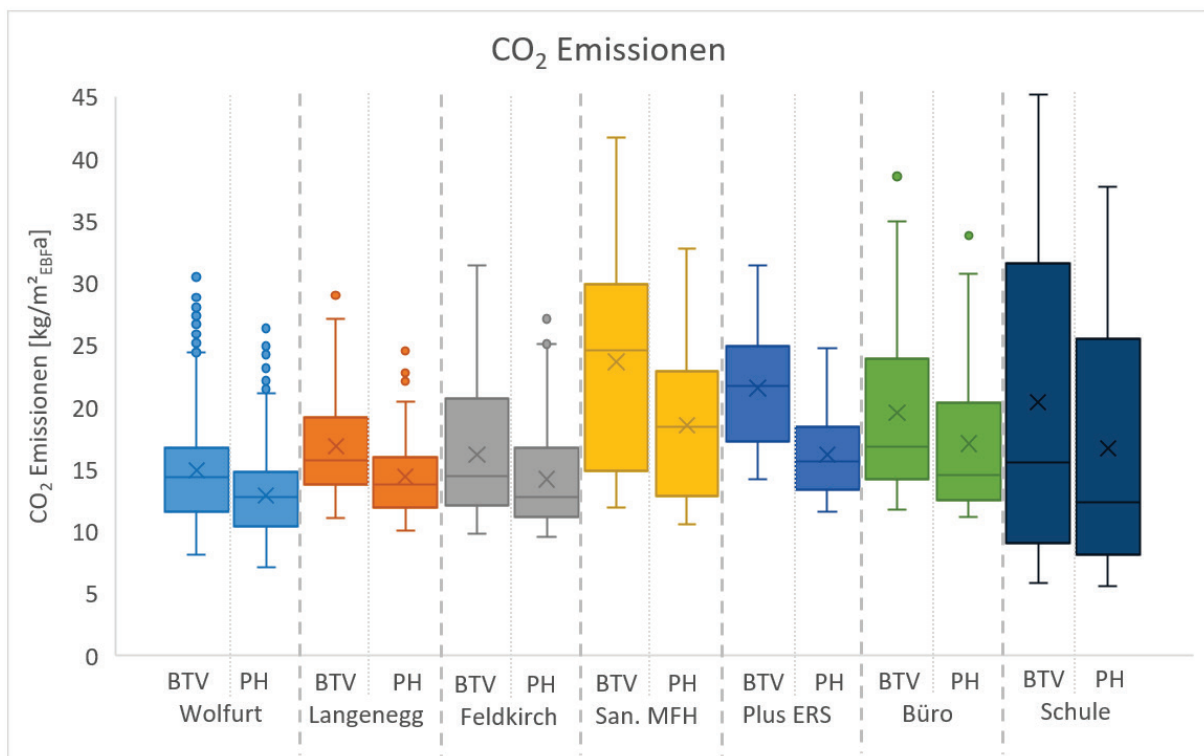


Abbildung 36: Einfluss der Hüllqualität auf die CO₂ Emissionen bei den sieben untersuchten Beispielgebäuden.

In Abbildung 36 wird der Einfluss der Hüllqualität auf die CO₂ Emissionen bei den sieben untersuchten Beispielgebäuden dargestellt. Die BTV Hülle liegt bei allen Gebäuden in den Emissionen über denen der PH Hülle. Auffallend ist, dass bei den Varianten mit den niedrigsten Emissionen der Unterschied kleiner wird und bei den Varianten mit den höchsten Emissionen der Unterschied stark vergrößert wird. Im Mittelwert liegen die Gebäude mit der PH Hülle aber ca. 2-5 kg/m²a unter denen mit der BTV Hülle. Bei den Sanierungen sind die Unterschiede bei den Maximalwerten bis zu 10 kg/m²a.

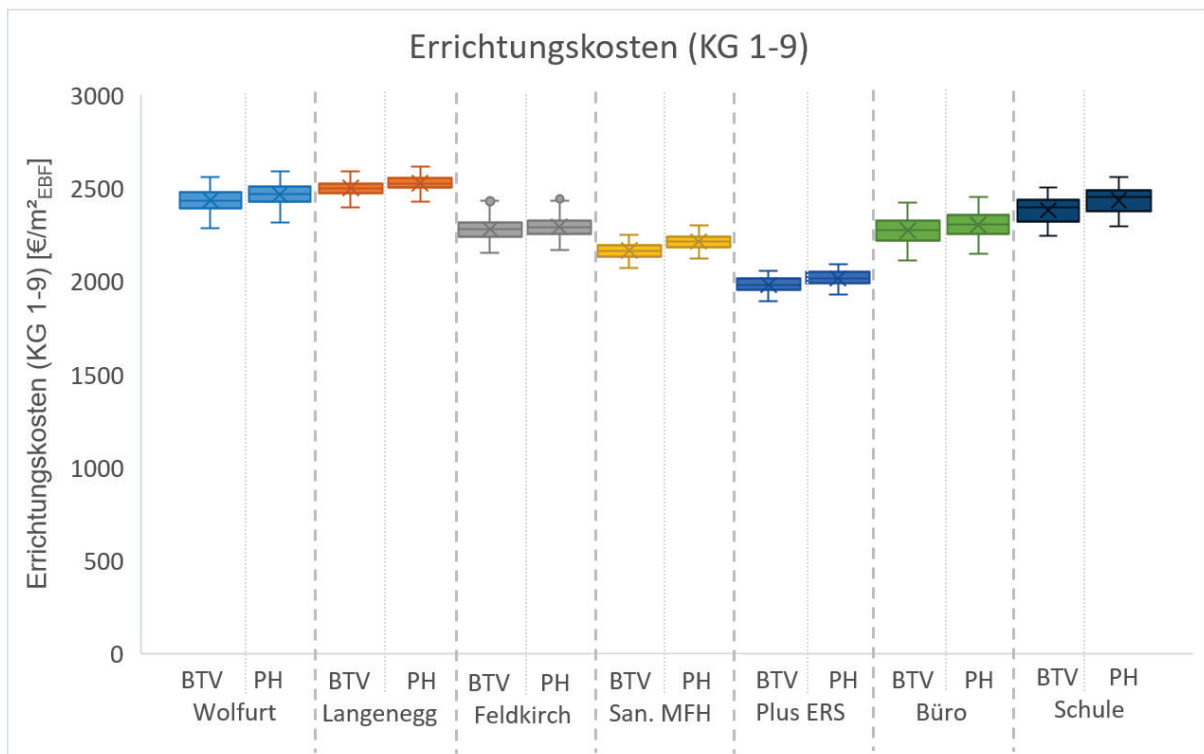


Abbildung 37: Einfluss der Hüllqualität auf die Errichtungskosten (KG 1-9) bei den sieben untersuchten Beispielgebäuden.

In Abbildung 37 ist der Einfluss der Hüllqualität auf die Errichtungskosten (KG 1-9) bei den sieben untersuchten Beispielgebäuden dargestellt. Augenscheinlich sind die Streuungen bei beiden Hüllqualitäten viel geringer als bei den CO₂ Emissionen und auch die Unterschiede zwischen den beiden Qualitäten sind nicht hoch. In Tabelle 6 sind die prozentualen Mehrkosten des Mittelwertes bei den Errichtungskosten (KG 1-9) einer Hülle in Passivhausqualität (Außenbauteile + Fenster) im Vergleich zu einer Hülle nach den gesetzlichen Mindestanforderungen dargestellt. Diese prozentualen Mehrkosten bewegen sich im Bereich von 1-2%, wobei es bei den Beispielen des Wohnungsneubaues eher 1% sind und bei den Sanierungen eher 2%.

Tabelle 6: Prozentuale Mehrkosten (Mittelwert) bei den Errichtungskosten (KG 1-9) einer Hülle in Passivhausqualität (Außenbauteile + Fenster) im Vergleich zu einer Hülle nach den gesetzlichen Mindestanforderungen

MFH Wolfurt	MFH Langenegg	MFH Feldkirch	Sanierung MFH	MFH Plus ERS	Büro AEE	Sanierung Schule
1,4%	1,1%	0,6%	2,3%	1,8%	1,4%	2,3%

Es zeigt sich also das gleiche Bild wie bei den vorhergehenden Auswertungen. Mit sehr geringen Mehrkosten von 1-2% der Errichtungskosten können deutliche CO₂ Einsparungen erreicht werden. Über den Lebenszyklus gleichen sich diese geringen Mehrkosten dann meist wieder aus.

6.7 Ergebnisse der Variantenstudie

Dieses Kapitel beinhaltet einen Auszug einiger Berechnungsergebnisse der Variantenstudien. Sämtliche Ergebnisse sind Anhang V zu entnehmen. Alle Ergebnisse beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren, Standard Sensibilität und sofern nicht anders angegeben ein durchschnittliches Nutzerverhalten.

6.7.1 Mehrfamilienhaus Wolfurt

6.7.1.1 Kostenkurve über den Lebenszyklus

Der Kapitalwert eines Gebäudes oder eines bestimmten parametrischen Modells ergibt sich aus den vorgelagerten Phasen und deren Kosten. In den Kostenkurven der einzelnen Gebäude wurden dazu folgende Kosten berücksichtigt:

- Planungskosten
- Finanzierungskosten
- Verbrauchskosten inkl. PV-Eigennutzung und PV-Einspeisung
- Betriebskosten
- Ersatzinvestition
- Restwert

Für die Ergebnisse in Abbildung 38 wurden die Sensibilität und das Nutzerverhalten auf Standard gesetzt. Die dargestellten Minimal-, Durchschnitts- und Maximalwerte aller untersuchten Varianten wurden im Folgenden dargestellt und zeigen die Bandbreite der Kosten in jeder Phase des Gebäudelebenszyklus. Der Rückgang des Kapitalwertes ist auf den Restwert des Gebäudes bzw. der Maßnahmen zurückzuführen, die nach der Reinvestition nicht das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben. Ihre Restwerte werden am Ende des Betrachtungszeitraums abgezogen. Die Prozentangaben stellen die Abweichung vom Durchschnitt dar.

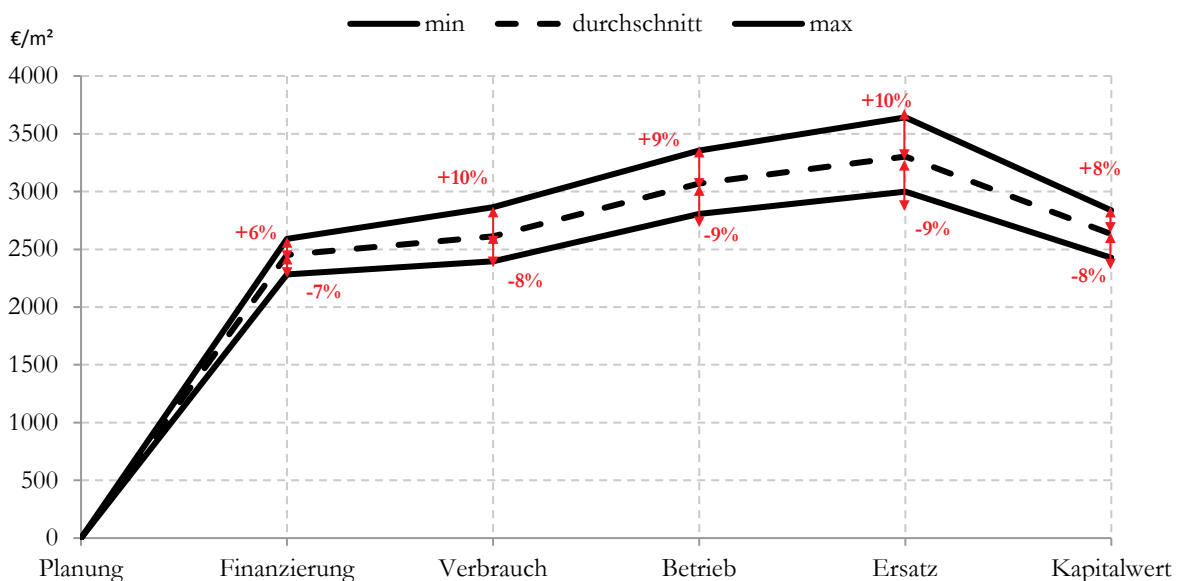


Abbildung 38: Kosteneffizienz des Mehrfamilienhauses Wolfurt über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind

6.7.1.2 Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

Nachfolgende Abbildung 39 zeigt die Gegenüberstellung des Kapitalwertes und der Primärenergie sowie der CO₂ Emissionen bei unterschiedlichen Hüllqualitäten. Untersucht wurden Gebäudehüllen entsprechend der Bautechnikverordnung und dem Passivhausstandard. Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass durch den Einsatz der Passivhaushülle Primärenergie und CO₂ Emissionen reduziert werden können, und dies bei gleichen oder nur leicht höheren Lebenszykluskosten.

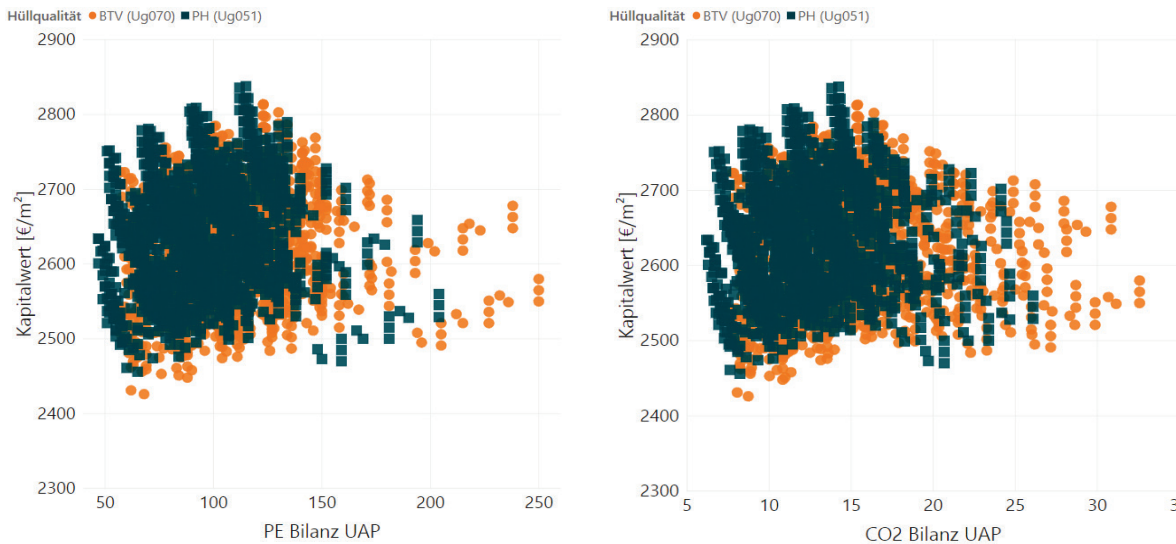


Abbildung 39: Untersuchung des Einflusses der Hüllqualität auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Wolfurt

In Abbildung 40 wurde der Einfluss unterschiedlicher Wärmeerzeuger auf Kapitalwert, Primärenergie und CO₂ Emissionen untersucht. Dabei zeigt sich, dass die direkt elektrische Wärmeversorgung die höchsten Primärenergie- und CO₂ Emissionswerte aufweist. Die Varianten mit Gas-Brennwert zeigen hier zwar eine Verbesserung, die Primärenergie- und CO₂ Emissionswerte liegen aber dennoch über den Wärmepumpenvarianten. Zwischen den einzelnen Wärmepumpenvarianten konnten keine großen Differenzen festgestellt werden, außer dass die Variante „Sole-WP“ höhere Kapitalwerte aufweist als die anderen Wärmepumpenvarianten.

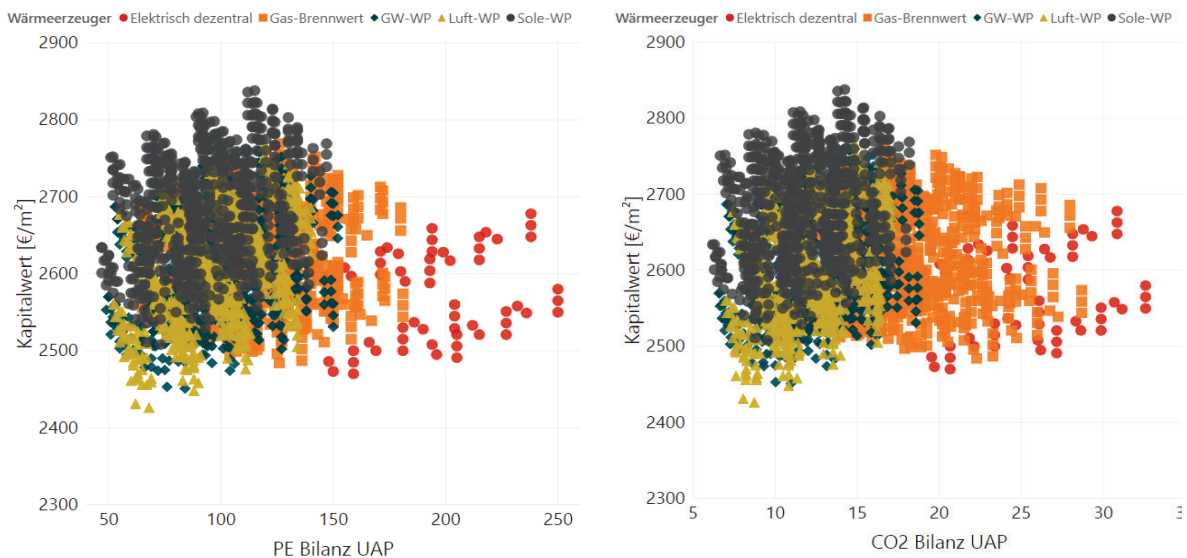


Abbildung 40: Untersuchung des Einflusses des Wärmeerzeugers auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Wolfurt

Die Analyse des Einflusses der Solarthermie auf die Ergebnisse in Abbildung 41 zeigt, dass eine solarthermische Anlage beim untersuchten Mehrfamilienhaus Wolfurt durchaus Sinn macht, da dadurch Primärenergie und CO₂ Emissionen reduziert werden können, die Lebenszykluskosten über 30 Jahre allerdings nur geringfügig steigen.

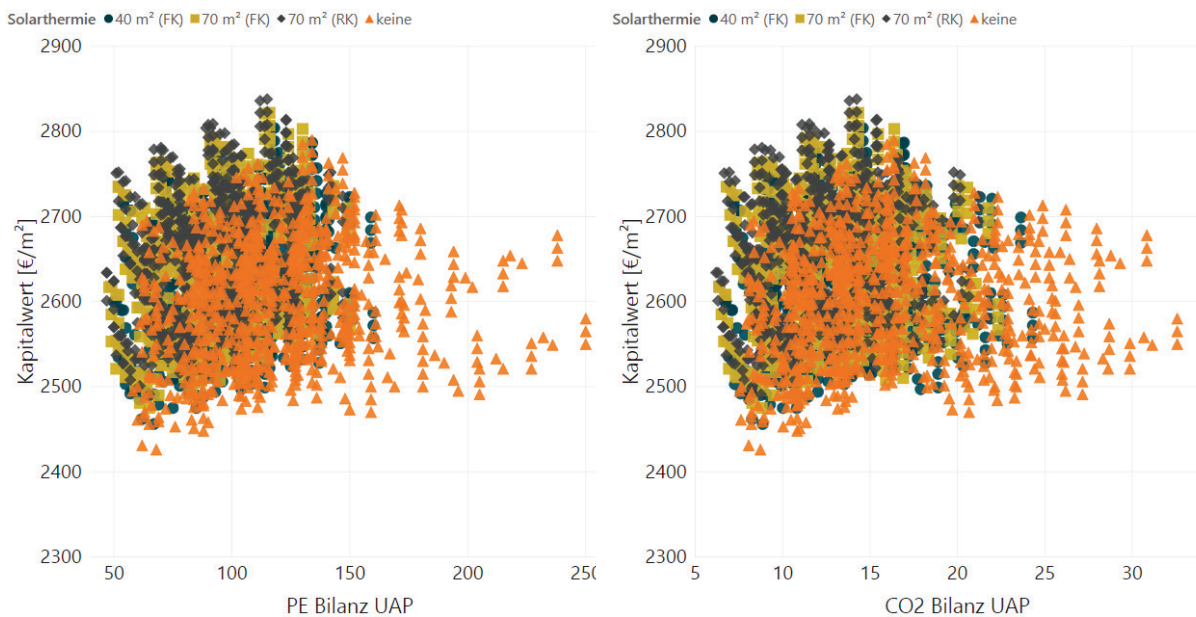


Abbildung 41: Untersuchung des Einflusses der Solarthermie auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Wolfurt

Neben der Untersuchung des Einflusses einzelner Technologien, wurden im nächsten Schritt auch verschiedene Technologiekombinationen untersucht, um den Einfluss auf Kapitalwert, CO₂ Emissionen und Primärenergiebilanz erneut zu testen. Die folgenden Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigen exemplarische Auswertungen verschiedener Technologieoptionen.

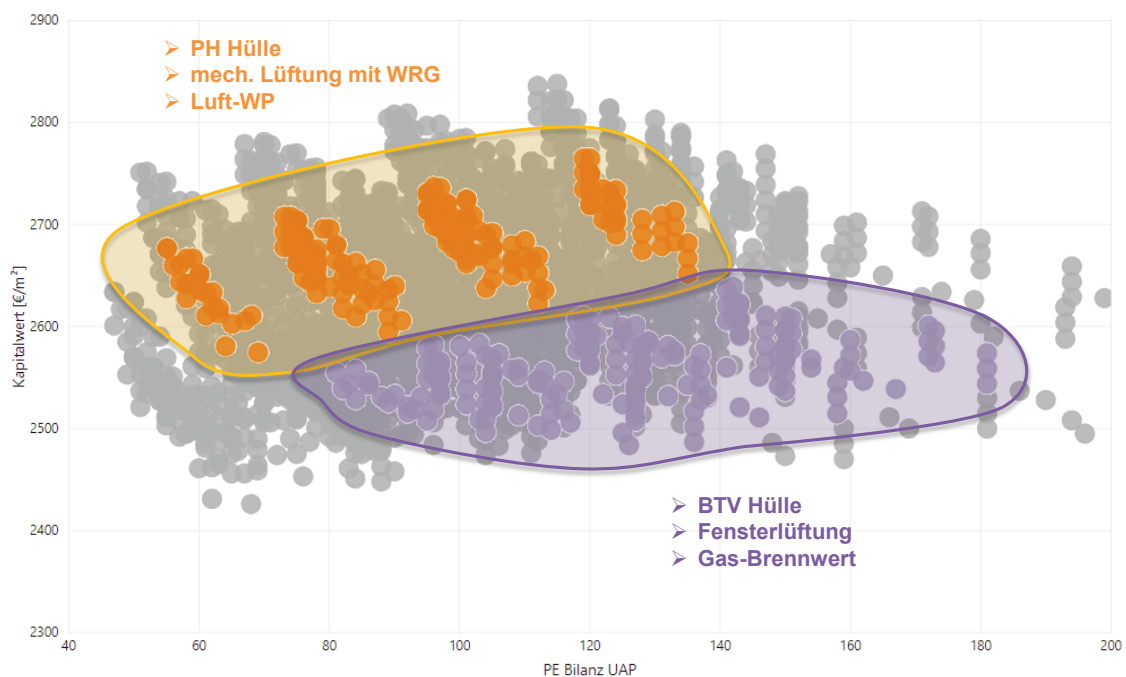


Abbildung 42: Analyse des Kapitalwerts bezogen auf die bilanzierten Primärenergiekennwerte von zwei ausgewählten, beispielhaften Technologiekombinationen beim Mehrfamilienhaus Wolfurt

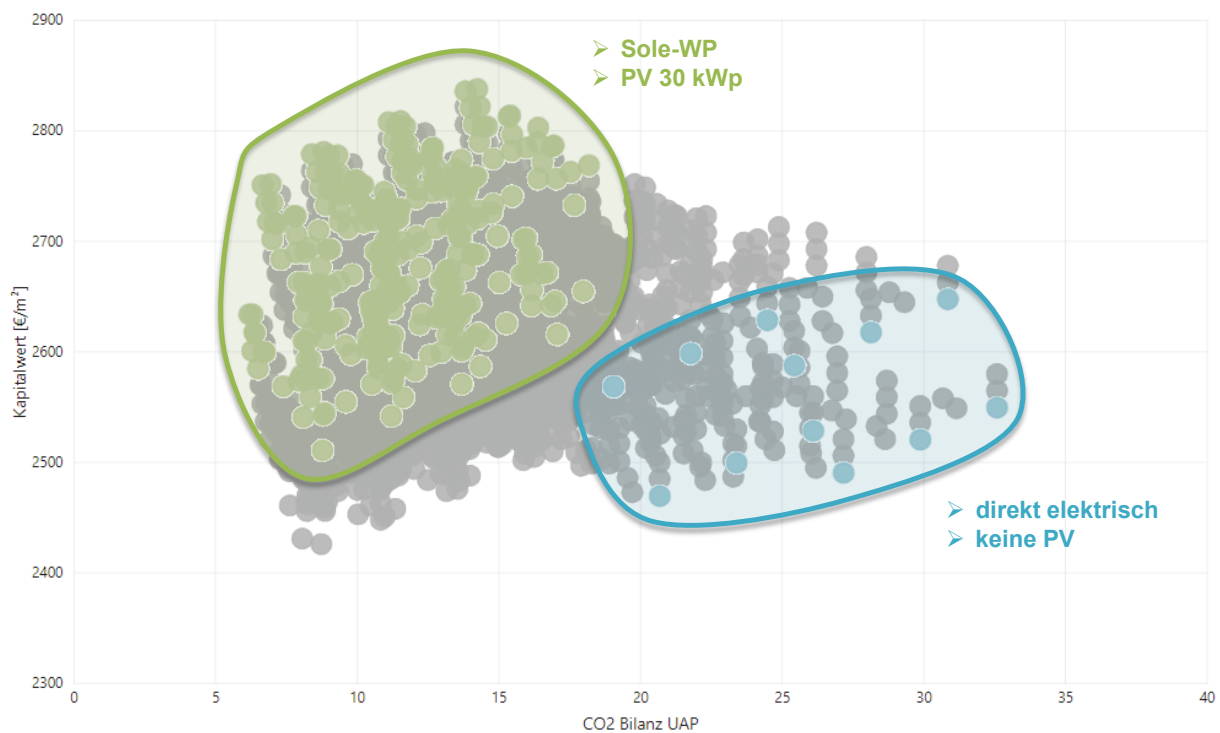


Abbildung 43: Analyse des Kapitalwerts bezogen auf die bilanzierten CO₂ Emissionen von zwei ausgewählten, beispielhaften Technologiekombinationen beim Mehrfamilienhaus Wolfurt

In einem weiteren Schritt wurden, um die Ergebnisse der Energieeffizienzberechnung und der Berechnung der Kosteneffizienz zu kombinieren, den Indikatoren Primärenergiebedarf, CO₂ Emissionen, Finanzierungskosten und Kapitalwert unterschiedliche Gewichtungen gegeben. So konnten jene Varianten bestimmt werden, die mit der vorgegebene Gewichtung die AnforderungenAnforderung am besten erfüllen.

Für das Mehrfamilienhaus Wolfurt wurden die ersten 100 Varianten ermittelt und als "Top 100" bezeichnet. Die Gewichtung der Indikatoren in diesem Beispiel ist (höhere Werte bedeuten höhere Bedeutung):

- Primärenergiebedarf: 3bilanzierte Primärenergie: 3
- bilanzierte CO₂ Emissionen: 5
- Kapitalwert: 5
- Finanzierungskosten: 3

Das Ergebnis der Berechnung ist in Abbildung 44 dargestellt. Für jede Technologie werden die 100 Varianten angegeben, die entsprechend der definierten Gewichtung die besten Ergebnisse erzielen.

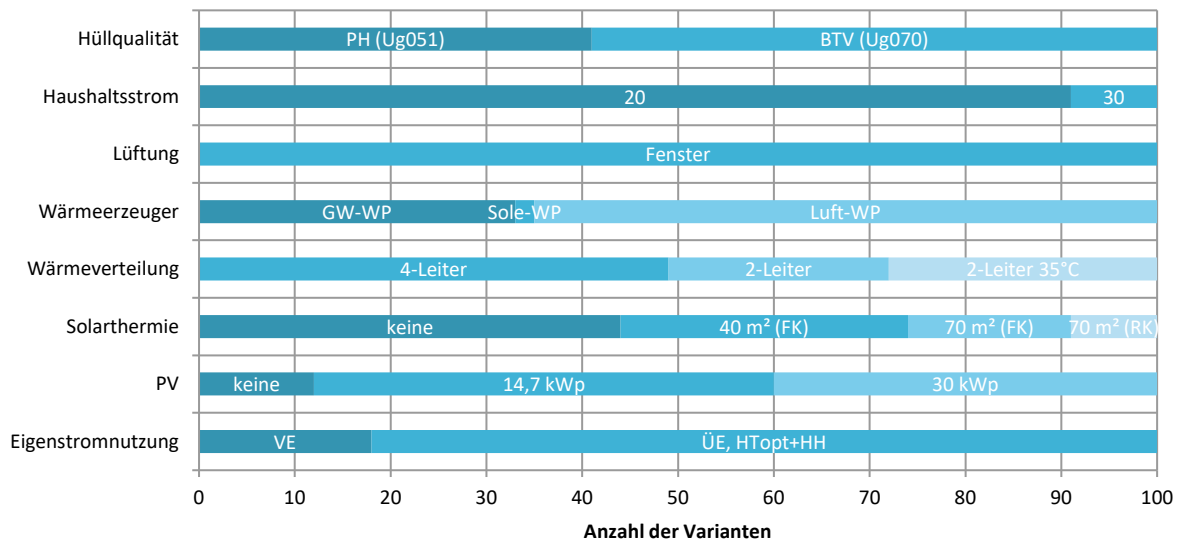


Abbildung 44: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus Wolfurt die besten Ergebnisse erzielen

6.7.1.3 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivität der einzelnen Technologien gegenüber den angegebenen Indikatoren "bilanzierte CO₂ Emissionen", "bilanzierte Primärenergie", "Finanzierungskosten" und "Kapitalwert" wurde untersucht. Zu diesem Zweck wurden Boxplots erstellt, die die Empfindlichkeit aller untersuchten Technologien auf die genannten Indikatoren zeigen. Darüber hinaus sind Mittelwerte und Standardabweichungen in den Tabellen unterhalb der Boxplots zusammengefasst.

Die Visualisierung der Ergebnisse ist in drei Teile gegliedert:

- Teil 1: Technologien, die als "Energieeffizienzmaßnahmen" oder "passive Maßnahmen" definiert werden können, wie z.B. Dämmung der Gebäudehülle, verbesserte U-Werte von Fenstern und Türen, verbesserte Luftdichtigkeit oder mechanische Belüftung.
- Teil 2: Technologien, die als Teil des "Energieversorgungssystems" als "aktive Maßnahmen", gezählt werden. Beispiele hierfür sind die Wärmeversorgung, Solarthermie oder PV-Anlage
- Teil 3: sonstige Maßnahmen, wie z.B. Einspeisemodelle für erzeugten PV Strom, o.Ä.

Abbildung 45 zeigt als Beispiel die Sensitivität der Energieeffizienzmaßnahmen auf die definierten Indikatoren, Tabelle 7 die dazugehörigen Medianwerte und Standardabweichungen. Die kompletten Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchung sind Anhang V zu entnehmen.

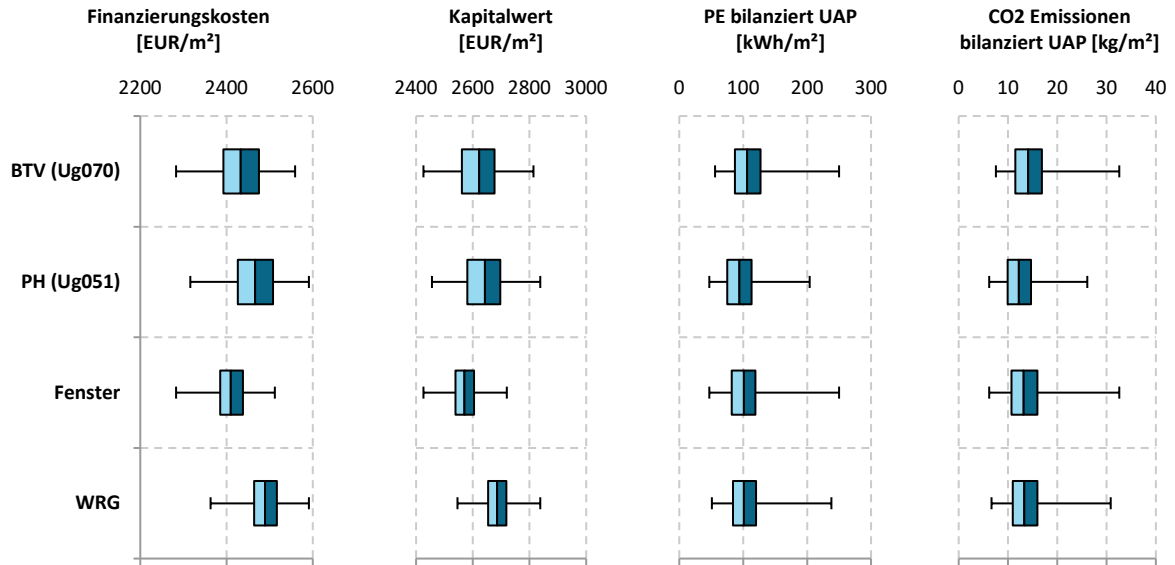


Abbildung 45 Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber den Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus Wolfurt

Tabelle 7: Medianwerte und Standardabweichungen der vier untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus Wolfurt

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
PH (UG051)	median	2466	2643	94	12
	Standardabweichung	54	74	25	4
BTV (UG070)	median	2433	2623	106	14
	Standardabweichung	54	74	29	4
WRG	median	2489	2686	101	13
	Standardabweichung	39	48	27	4
FENSTER	median	2410	2570	101	13
	Standardabweichung	39	48	29	4

6.7.1.4 Robustheit

Die Robustheit eines Gebäudes kann durch die Bewertung der definierten Indikatoren bei verschiedenem Nutzerverhalten getestet werden. Ein robustes Gebäude zeigt bei unterschiedlichen Nutzertypen weniger Schwankungen als ein weniger robustes Gebäude. Daher kann die Abweichung in den Ergebnissen als Maß für die Robustheit verwendet werden.

Die Analyse des Mehrfamilienhauses Wolfurt in Abbildung 46 zeigt ein sehr robustes Gebäude, da die Änderung des Nutzerverhaltens kaum Änderungen der untersuchten Indikatoren bewirkt. Leichte Veränderungen sind nur bei der bilanzierten Primärenergie und bei den bilanzierten CO₂ Emissionen erkennbar, jedoch nicht beim Kapitalwert.

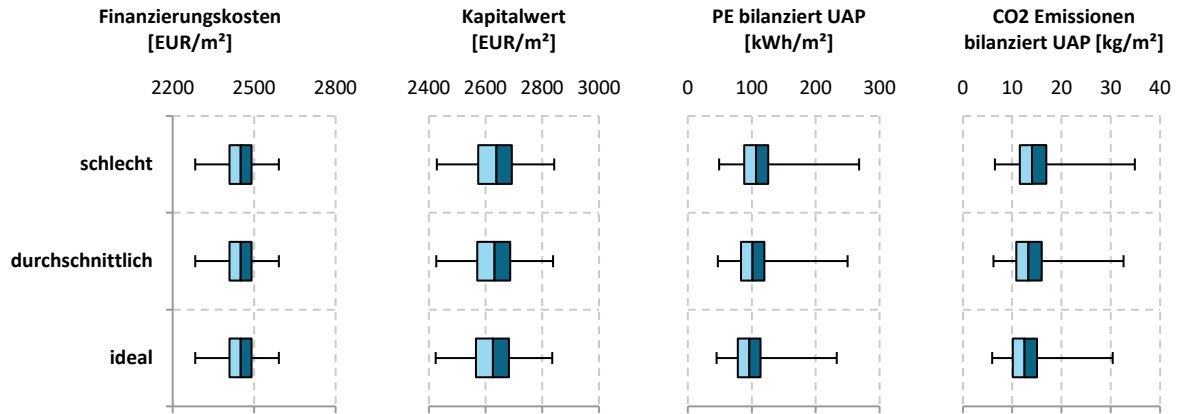


Abbildung 46: Überprüfung der Robustheit des Mehrfamilienhauses Wolfurt durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten

Tabelle 8: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten beim Mehrfamilienhaus Wolfurt

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
SCHLECHT	median	2450	2626	96	12
	Standardabweichung	56	74	26	4
DURCHSCHNITT	median	2450	2632	101	13
	Standardabweichung	56	75	28	4
IDEAL	median	2450	2638	107	14
	Standardabweichung	56	76	30	5

6.7.2 Mehrfamilienhaus Langenegg

6.7.2.1 Kostenkurve über den Lebenszyklus

Nachfolgende Abbildung 47 zeigt den Kostenverlauf des Mehrfamilienhauses Langenegg über den kompletten Lebenszyklus bei Standard Sensibilität und gleichbleibendem Nutzerverhalten.

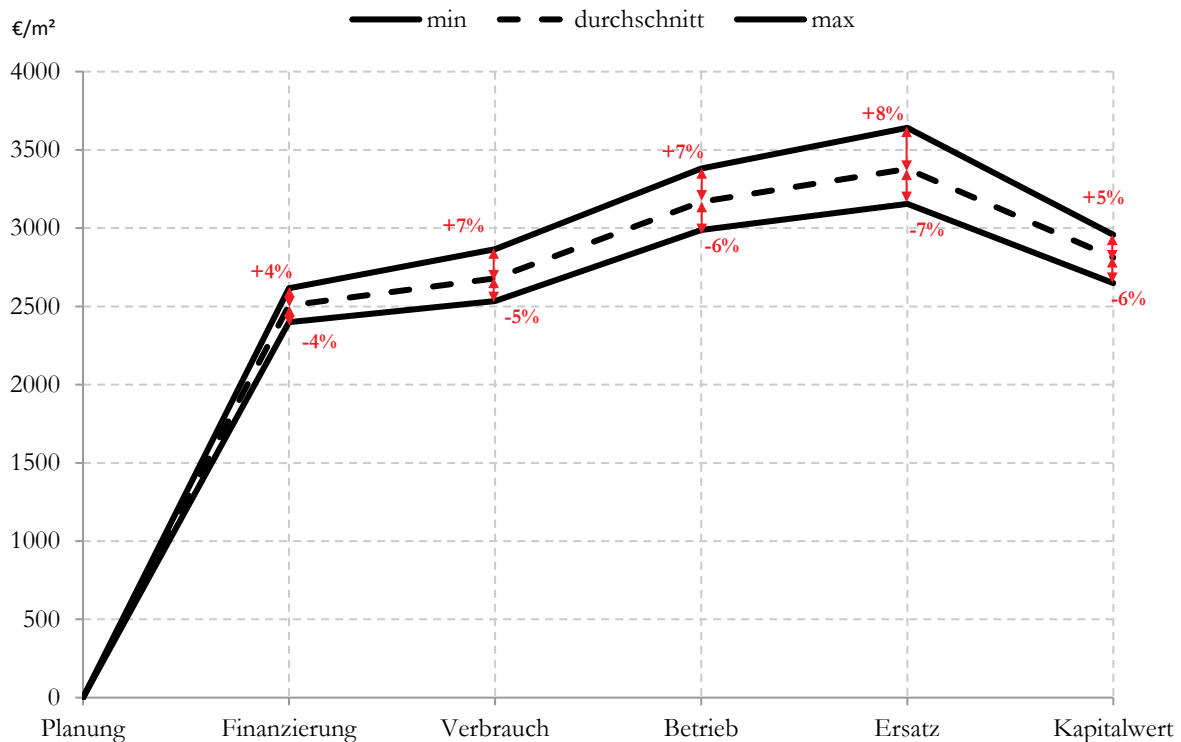


Abbildung 47: Kosteneffizienz des Mehrfamilienhauses Langenegg über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche (max) Werte angegeben sind

6.7.2.2 Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

Für das Mehrfamilienhaus Langenegg werden an dieser Stelle beispielhaft der Einfluss des Wärmeerzeugers (Abbildung 48) und der Wärmeverteilung (Abbildung 49) dargestellt. Alle anderen Ergebnisse der Variantenberechnung sind Anhang V zu entnehmen.

Die Wahl des Wärmeerzeugers hat einen deutlichen Einfluss auf Primärenergie und CO₂ Emissionen, jedoch kaum auf den Kapitalwert. Die höchsten Primärenergie- und CO₂ Emissionswerte werden dabei von der Variante Gas-Brennwert erreicht, die niedrigsten von der Sole-Wärmepumpe. Im Kapitalwert unterscheiden sich alle drei untersuchten Varianten kaum, wobei die Sole-WP auch hier die niedrigsten Werte erreicht.

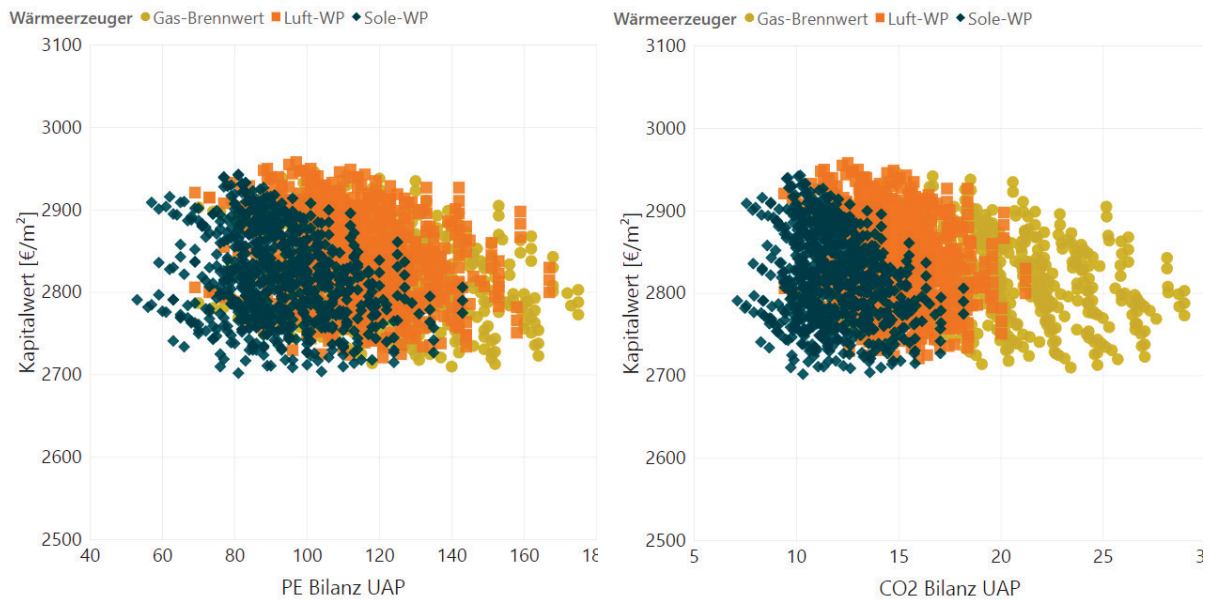


Abbildung 48: Untersuchung des Einflusses des Wärmeerzeugers auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Langenegg

Im Fall des Mehrfamilienhauses Langenegg wurde auch versucht zu testen, ob unterschiedliche Wärmeverteilungskonzepte in der entwickelten Berechnungs- und Bewertungsmethodik abgebildet werden können. Wie nachfolgende Abbildung 49 jedoch zeigt, sind die Unterschiede zwischen den beiden Variante sehr gering und zeigen sich am ehesten bei Primärenergie und CO₂ Emissionen, nicht jedoch beim Kapitalwert.

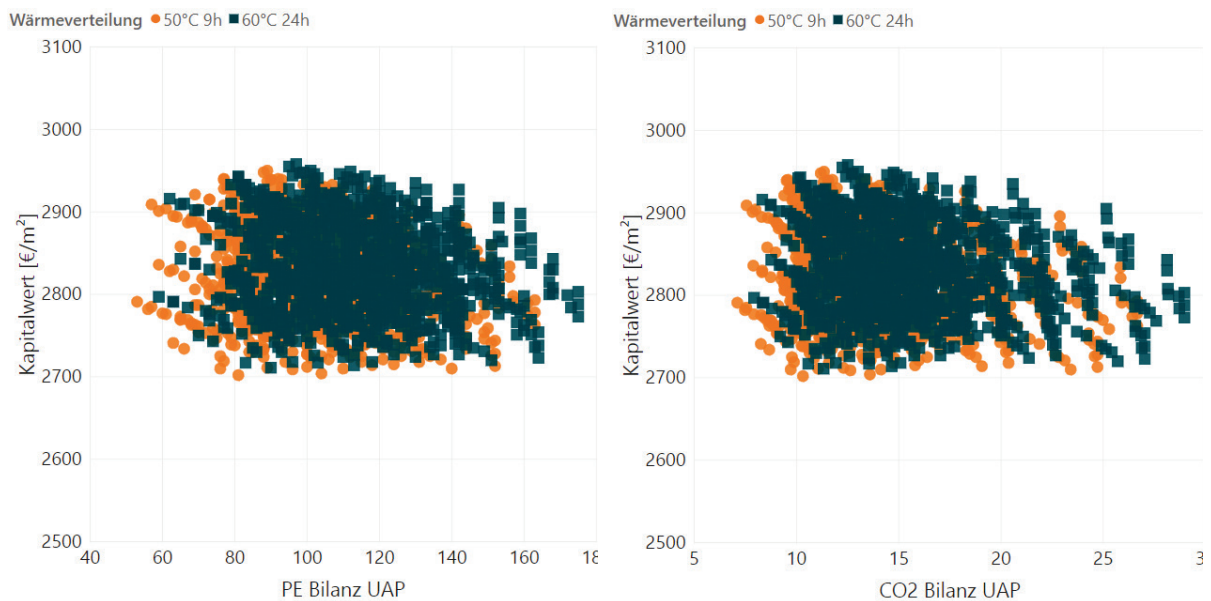


Abbildung 49: Untersuchung des Einflusses des Wärmeverteilung auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Langenegg

Für das Mehrfamilienhaus Langenegg wurden ebenso jene 100 Varianten ermittelt, die bei einer Gewichtung der Indikatoren (Primärenergie 3, CO₂ Emissionen 5, Kapitalwert 5 und Finanzierungskosten 4) den Anforderungen am besten entsprechen.

Die „Top 100“ Varianten des MFH Langenegg sind in der nachfolgenden Abbildung 50 ersichtlich.

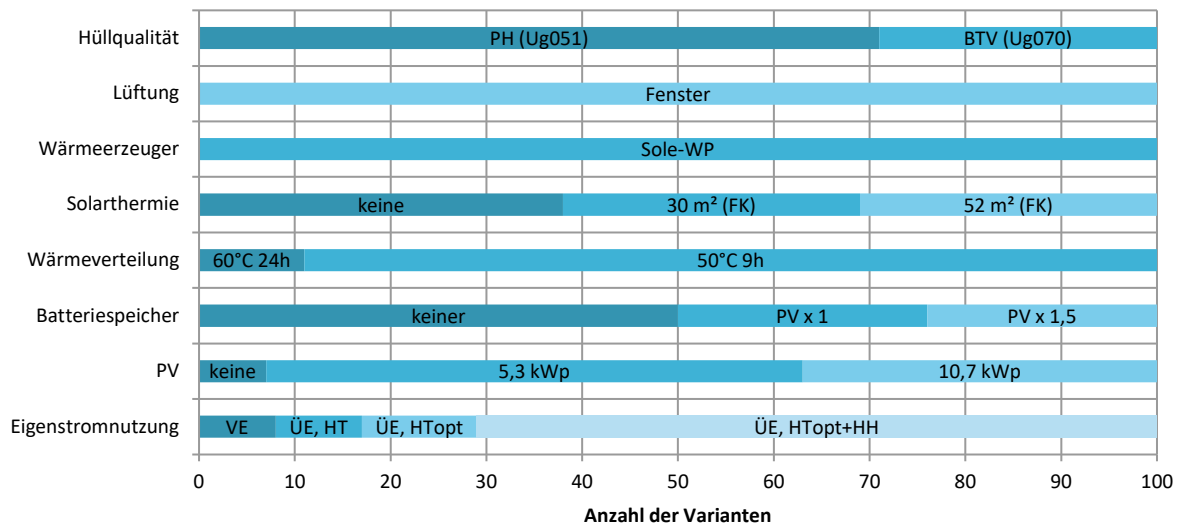


Abbildung 50: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus Langenegg die besten Ergebnisse erzielen

6.7.2.3 Sensitivitätsanalyse

An dieser Stelle erfolgt die Darstellung der Sensitivität von Finanzierungskosten, Kapitalwert, Primärenergie und CO₂ Emissionen bei den „aktiven Maßnahmen“, also jenen Maßnahmen die zum Energieversorgungssystem gezählt werden können. Zur Erinnerung, dies sind die Wärmeerzeugung (Luft-WP, Sole-WP und Gas-Brennwert), die solarthermische Anlage (keine, 30 m² Flachkollektoren und 52 m² Flachkollektoren), die Wärmeverteilung (50°C 9h und 60°C 24h), die Photovoltaikanlage (keine, 5,3 kWp und 10,7 kWp) und der elektrische Batteriespeicher. Abbildung 51 und Tabelle 9 zeigen die dazugehörigen Ergebnisse. Eine detaillierte Beschreibung der Parameter findet sich in Anhang I.

Die Analyse zeigt, dass es grundsätzlich geringe Schwankung gibt, vor allem bei den Finanzierungskosten und auch beim Kapitalwert. Bei den Indikatoren Primärenergie und CO₂ Emissionen sind die Schwankungen größer. Hier speziell beim Wärmeerzeuger, aber auch bei der Solarthermie und der Photovoltaikanlage.

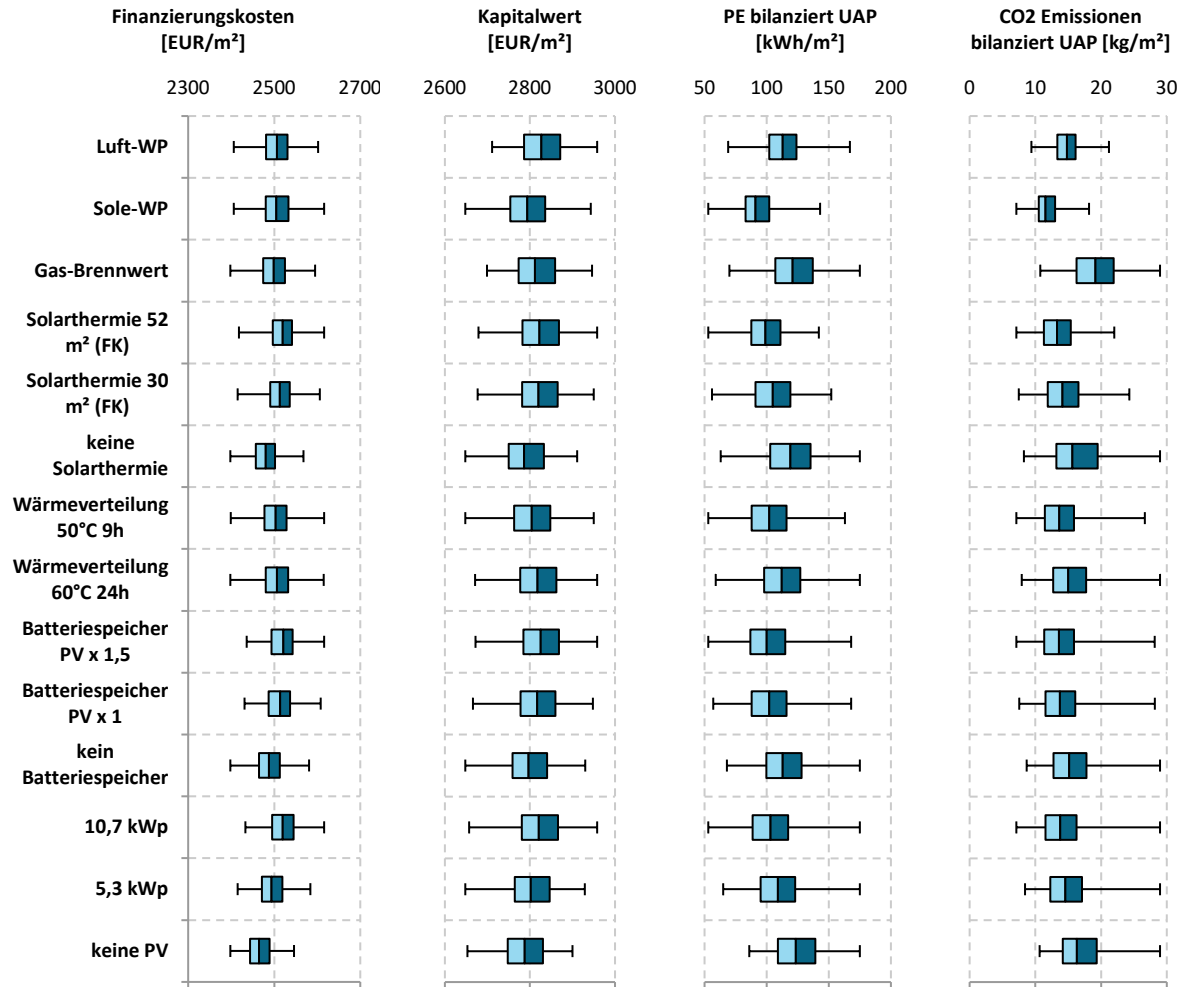


Abbildung 51: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber den „aktiven Maßnahmen“ beim Mehrfamilienhaus Langenegg

Tabelle 9: Medianwerte und Standardabweichungen der untersuchten „aktiven Maßnahmen“ beim Mehrfamilienhaus Langenegg

		Finanzierungs- kosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
LUFT-WP	median	2506	2827	113	15
	Standardabweichung	36	54	17	2
SOLE-WP	median	2505	2794	91	12
	Standardabweichung	38	56	15	2
GAS-BRENNWERT	median	2499	2812	121	19
	Standardabweichung	38	53	21	4
SOLARTHERMIE 52 M² (FK)	median	2520	2823	99	13
	Standardabweichung	34	55	17	3
SOLARTHERMIE 30 M² (FK)	median	2513	2820	105	14
	Standardabweichung	33	54	18	3
KEINE SOLARTHERMIE	median	2480	2786	119	16
	Standardabweichung	32	52	23	5

		Finanzierungs- kosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
WÄRMEVERTEILUNG 50°C 9H	median	2503	2804	102	14
	Standardabweichung	38	56	20	4
WÄRMEVERTEILUNG 60°C 24H	median	2506	2818	112	15
	Standardabweichung	37	55	21	4
BATTERIESPEICHER PV X 1,5	median	2521	2825	100	14
	Standardabweichung	36	55	20	4
BATTERIESPEICHER PV X 1	median	2514	2817	102	14
	Standardabweichung	35	55	20	4
KEIN BATTERIESPEICHER	median	2488	2797	113	15
	Standardabweichung	34	55	21	4
10,7 kWp	median	2520	2821	103	14
	Standardabweichung	35	56	21	4
5,3 kWp	median	2494	2802	109	15
	Standardabweichung	33	54	20	4
KEINE PV	median	2465	2788	124	16
	Standardabweichung	32	53	20	4

6.7.3 Mehrfamilienhaus Feldkirch

6.7.3.1 Kostenkurve über den Lebenszyklus

Für das Mehrfamilienhaus Feldkirch ergab die parametrische Berechnung jene Kostenkurve, die nachfolgend in Abbildung 52 dargestellt ist. Die Bandbreite der Kosten in den einzelnen Phasen des Gebäudes sind als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben, die Abweichung vom Durchschnitt zusätzlich als Prozentwert.

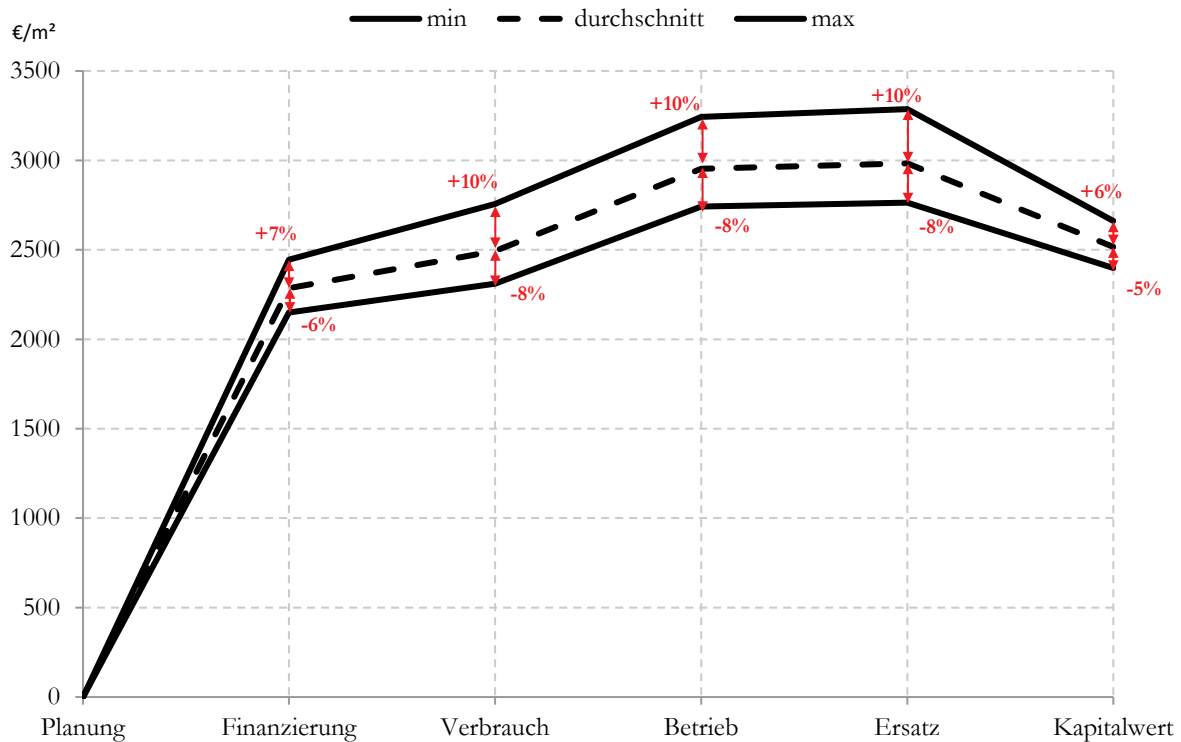


Abbildung 52: Kosteneffizienz des Mehrfamilienhauses Feldkirch über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind

6.7.3.2 Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

Abbildung 53 zeigt die Analyse des Einflusses der Gebäudekonstruktion auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz sowie die CO₂ Emissionsbilanz. Verglichen wurden dabei vier verschiedene Varianten, wobei sich hinsichtlich Primärenergie und CO₂ Emissionen keine Unterschiede zeigen. Auch sind die Unterschiede hinsichtlich des Kapitalwerts sehr gering, mit Ausnahme der Holzkonstruktion, welche deutlich höhere Lebenszykluskosten aufweist. Es werden hier jedoch nur die Primärenergie und die CO₂ Emissionen des Gebäudebetriebs dargestellt. Die „graue“ Energie für die Errichtung ist hier nicht mitbilanziert.

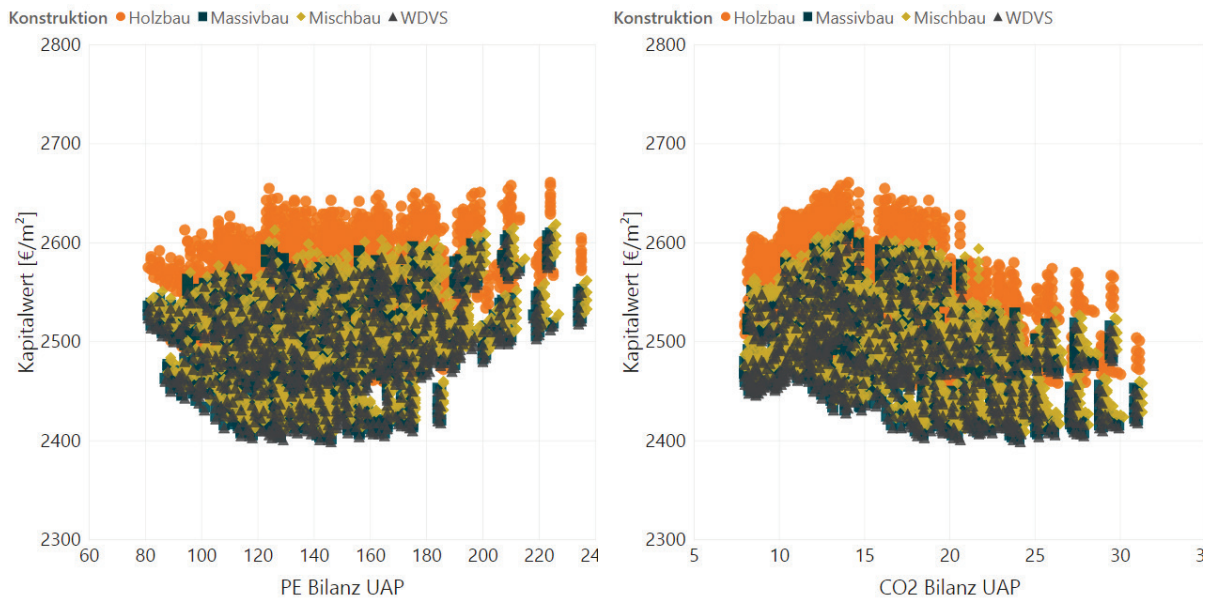


Abbildung 53: Untersuchung des Einflusses der Gebäudekonstruktion auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Feldkirch

Abbildung 54 zeigt die Analyse des Einflusses des Wärmeabgabesystems, wobei hier eine Fußbodenheizung mit Heizkörpern verglichen wurde. Bei der Auswertung konnten jedoch kaum Unterschiede festgestellt werden, was darauf schließen lässt, dass beide Wärmeabgabesysteme über einen Zeitraum von 30 Jahren, sowohl finanziell als auch energetisch, gleich zu bewerten sind.

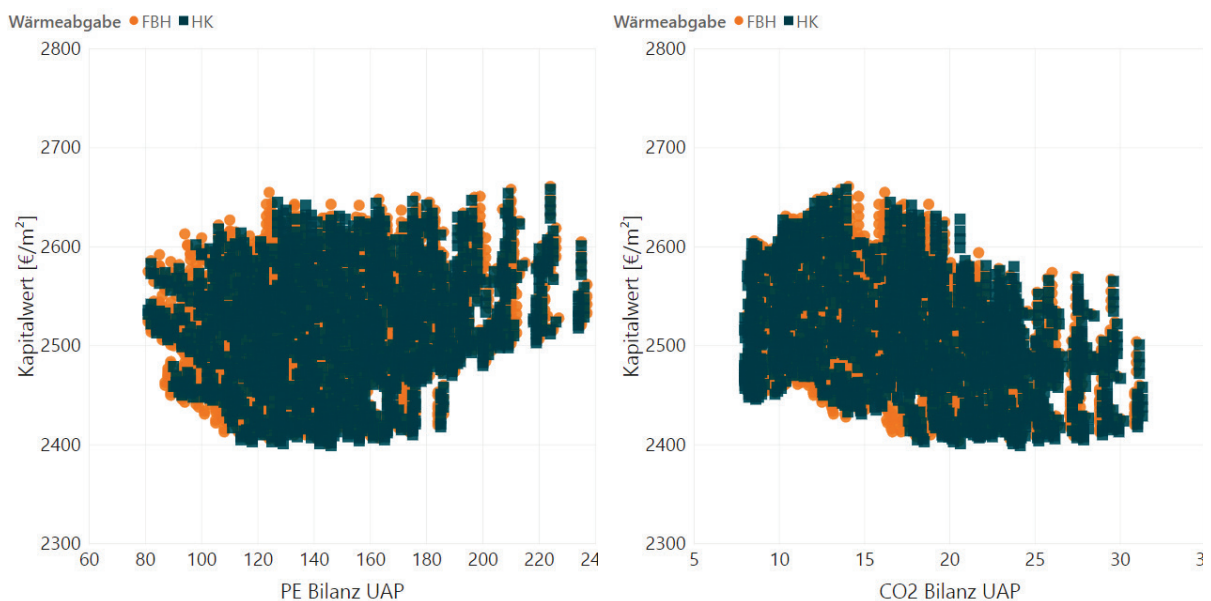


Abbildung 54: Untersuchung des Einflusses der Art der Wärmeabgabe auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Feldkirch

Bei einer Gewichtung der Indikatoren, die gleich durchgeführt wurde wie beim Mehrfamilienhaus Wolfurt und beim Mehrfamilienhaus Langenegg, ergeben sich auch für das Mehrfamilienhaus Feldkirch jene Varianten die den Anforderungen mit der gewählten Gewichtung am besten entsprechen. In Abbildung 55 wurden wiederum die 100 besten Varianten dargestellt.

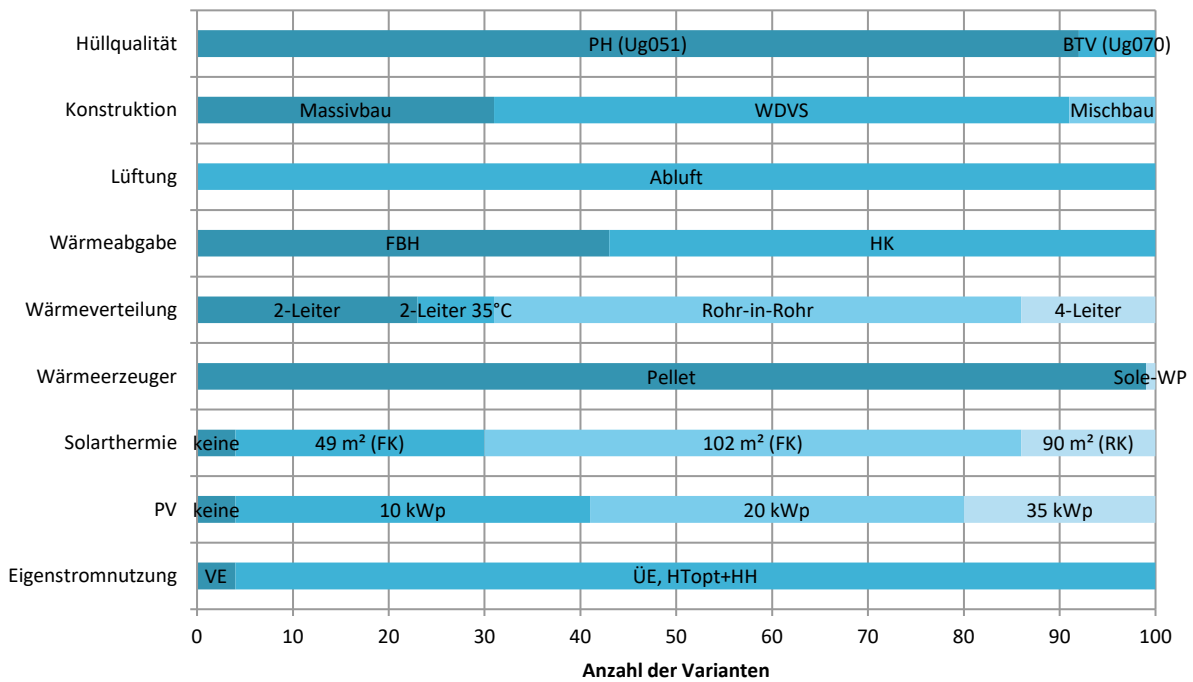


Abbildung 55: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus Feldkirch die besten Ergebnisse erzielen

6.7.3.3 Sensitivitätsanalyse

Bei der durchgeführten Sensitivitätsanalyse der passiven Maßnahmen in Abbildung 56 zeigten sich durchwegs ähnliche Ergebnisse. Die bereits in Abbildung 53 festgestellten höheren Kosten der Holzkonstruktion zeigen sich auch hier. Sowohl bei den Finanzierungskosten als auch beim Kapitalwert liegt der Mittelwert der Kosten beim Holzbau über den Vergleichswerten. Höhere mittlere Kosten können ebenso bei der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung festgestellt werden.

Die weiteren Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse beim Mehrfamilienhaus Feldkirch finden sich wie die die anderen Ergebnisse in Anhang V.

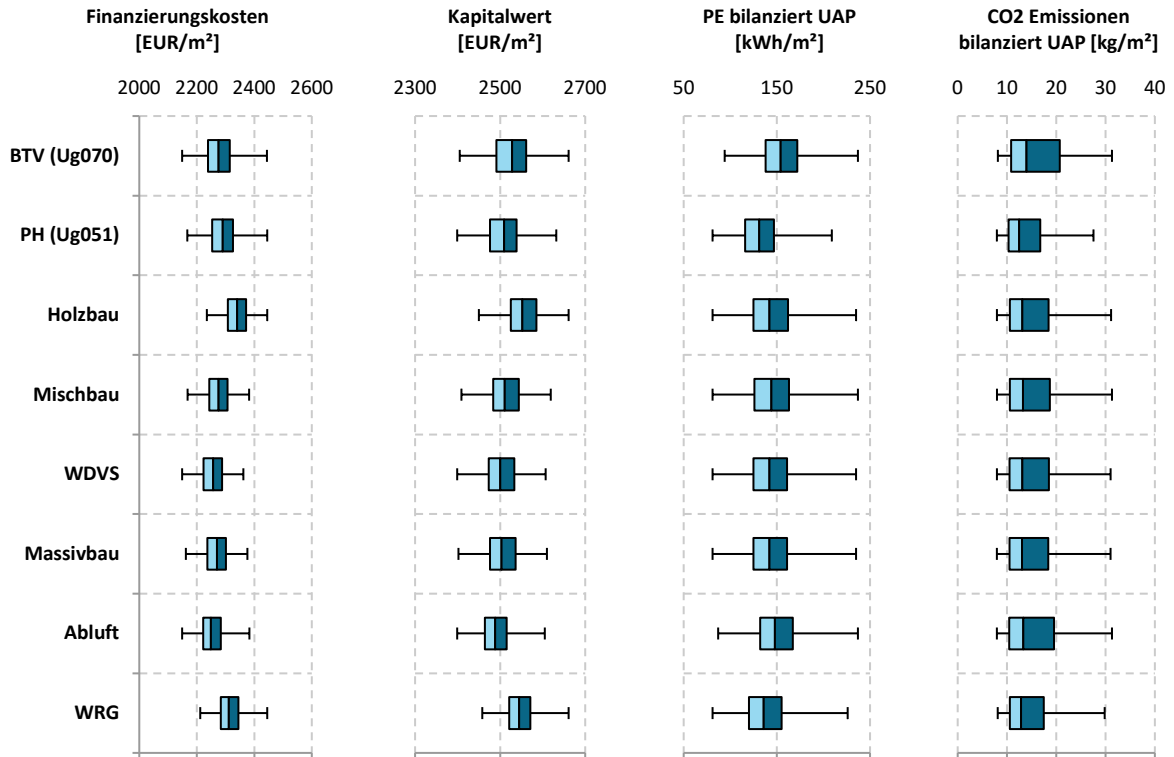


Abbildung 56: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber den Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus Feldkirch

Tabelle 10: Medianwerte und Standardabweichungen der untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus Feldkirch

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
BTV (Ug070)	median	2276	2528	154	14
	Standardabweichung	54	49	26	6
PH (Ug051)	median	2290	2509	131	12
	Standardabweichung	52	44	23	4
HOLZBAU	median	2340	2552	142	13
	Standardabweichung	42	43	27	5
MISCHBAU	median	2276	2511	144	13
	Standardabweichung	43	43	27	5
WDVS	median	2257	2500	142	13
	Standardabweichung	43	43	27	5
MASSIVBAU	median	2270	2503	142	13
	Standardabweichung	43	43	27	5
ABLUFT	median	2249	2488	148	13
	Standardabweichung	43	39	27	6
WRG	median	2311	2545	136	13
	Standardabweichung	43	37	26	5

6.7.4 Sanierung e80³ Wohnhausanlage Kapfenberg

6.7.4.1 Kostenkurve über den Lebenszyklus

Bei einem Standard Nutzerverhalten und einer Standard Sensibilität ergibt sich für das Mehrfamilienhaus e80³ in Kapfenberg folgender Kostenverlauf über den Lebenszyklus:

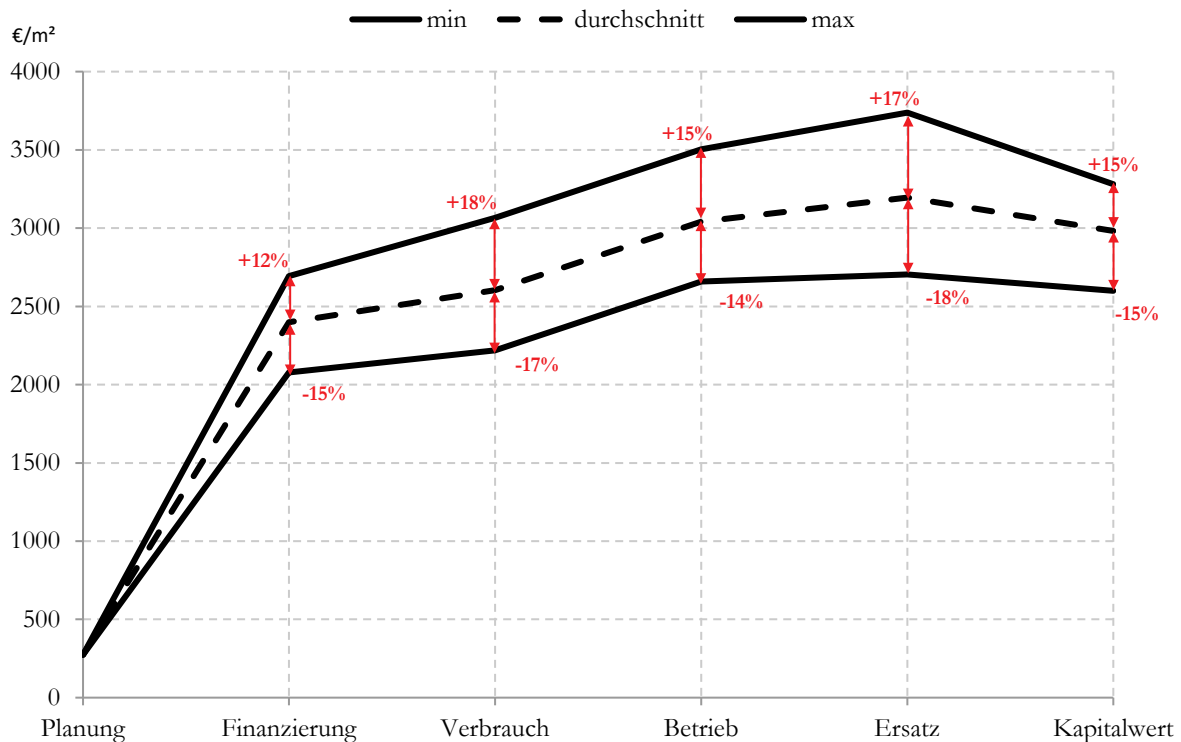


Abbildung 57: Kosteneffizienz der Mehrfamilienhaussanierung e80³ über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind

6.7.4.2 Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

Für die Wohnhausanlage e80³ in Kapfenberg werden an dieser Stelle die Ergebnisse der Analyse des Einflusses der Lüftung auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz und die CO₂ Bilanz dargestellt. Alle weiteren Ergebnisse finden sich in Anhang V.

Wie in Abbildung 58 sehr deutlich erkennbar, führt der Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zu höheren Lebenszykluskosten, bei gleichen oder geringfügig niedrigeren Primärenergie- und CO₂ Emissionswerten. Die geringsten Kosten werden durch die Fensterlüftung erzielt, das Abluftsystem liegt zwischen den beiden anderen Systemen.

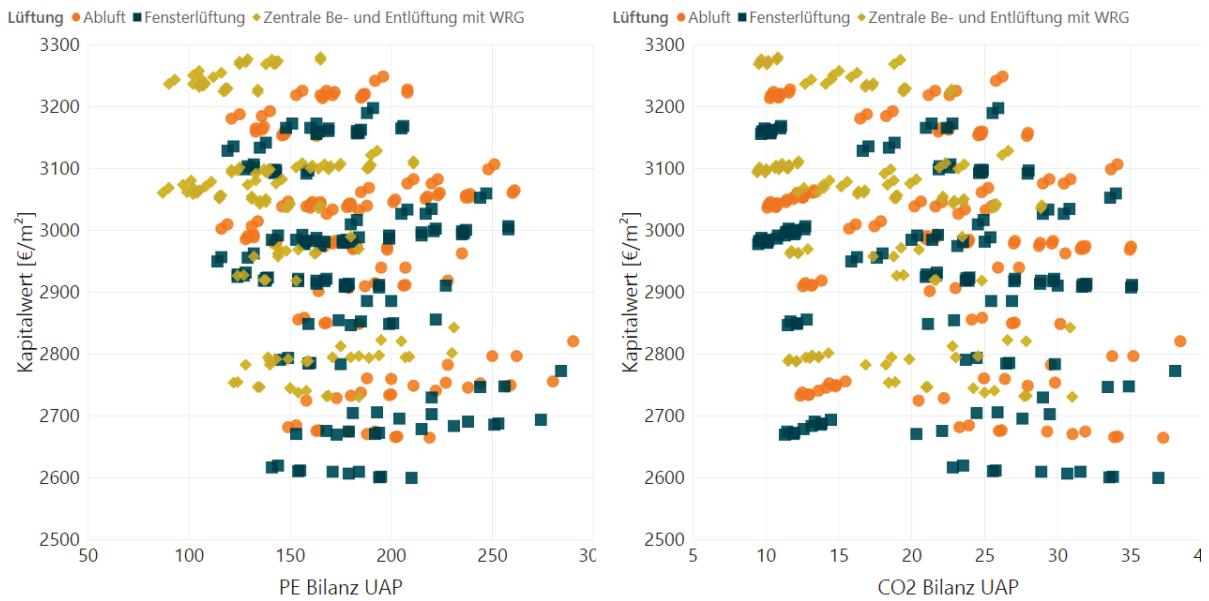


Abbildung 58: Untersuchung des Einflusses der Art der Lüftung auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim der Sanierung e80³ in Kapfenberg

Unter Berücksichtigung der Gewichtungsfaktoren ergibt sich nachfolgendes Bild, wobei hier die mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung fast gleich oft vorkommt wie die Fensterlüftung. D.h. unter Einbeziehung aller vier Indikatoren und bei entsprechender Gewichtung kann die nicht so wirtschaftliche Lüftungsanlage dennoch punkten. Des Weiteren zeigt die Analyse in Abbildung 59 deutliche Tendenzen in Richtung Passivhaushülle und Fernwärmeversorgung. Die Photovoltaikanlage wird schlechter bewertet, eine solarthermische Anlage macht, in welcher Ausführung auch immer, sehr wohl Sinn.

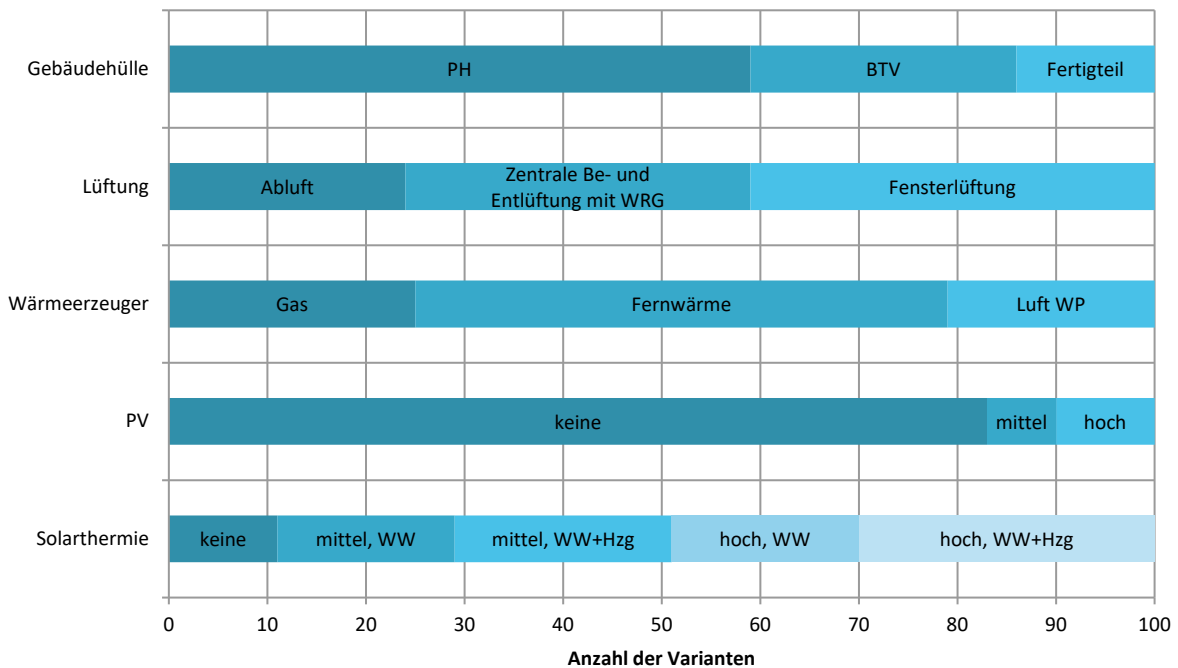


Abbildung 59: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus e80³ die besten Ergebnisse erzielen

6.7.4.3 Sensitivitätsanalyse

Abbildung 60 und Tabelle 11 zeigen die Sensitivitätsanalyse beim Sanierungsobjekt e80³ in Kapfenberg. Dargestellt sind die Ergebnisse der aktiven Maßnahmen, also jener Maßnahmen die der Energieversorgung zugeordnet werden. Alle weiteren Ergebnisse sind Anhang V zu entnehmen.

Die Ergebnisse zeigen einen starken Einfluss der Photovoltaikanlage auf die Finanzierungskosten und den Kapitalwert, aber auch einen sehr deutlichen Einfluss der Wärmeerzeugung auf die CO₂ Emissionen. Speziell die Fernwärmeversorgung, auf Basis erneuerbarer Energien, liefert sehr kompakte niedrige CO₂ Emissionswerte.

Die breite Streuung, bei der solarthermischen Anlage. Hier speziell bei den CO₂ Emissionen, bei den anderen Parametern, wird wie oben erwähnt durch die unterschiedlichen Energieträger verursacht.

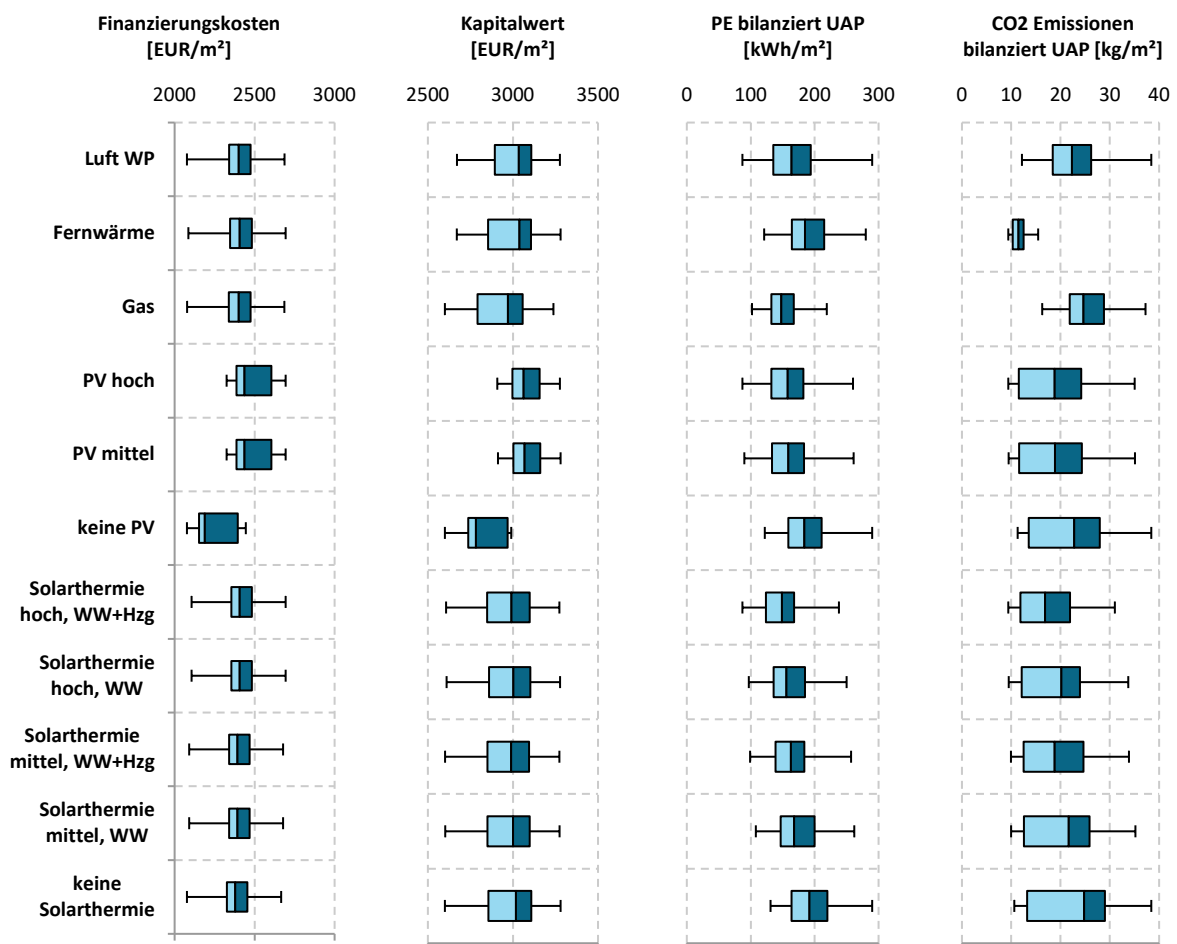


Abbildung 60: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber den Maßnahmen der Energieversorgung bei der Sanierung e80³

Tabelle 11: Medianwerte und Standardabweichungen der untersuchten Maßnahmen der Energieversorgung bei der Sanierung e80^3

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
LUFT WP	median	2400	3034	164	22
	Standardabweichung	164	160	44	6
FERNWÄRME	median	2407	3039	185	12
	Standardabweichung	163	172	36	1
GAS	median	2400	2971	148	25
	Standardabweichung	164	177	25	5
PV HOCH	median	2436	3062	158	19
	Standardabweichung	114	98	38	7
PV MITTEL	median	2436	3069	159	19
	Standardabweichung	114	98	37	7
KEINE PV	median	2188	2783	184	23
	Standardabweichung	114	101	37	8
KEINE SOLARTHERMIE	median	2379	3017	192	25
	Standardabweichung	163	174	39	9
ST HOCH, WW+HZG	median	2407	2991	149	17
	Standardabweichung	163	172	34	6
ST HOCH, WW	median	2407	3003	156	20
	Standardabweichung	163	172	36	7
ST MITTEL, WW+HZG	median	2392	2989	163	19
	Standardabweichung	163	172	35	7
ST MITTEL, WW	median	2392	3001	168	22
	Standardabweichung	163	172	37	8

6.7.4.4 Robustheit

Die Analyse der Robustheit des Gebäudes ist in der nachfolgenden Abbildung 61 zu sehen. Dabei zeigt sich, dass ideales Nutzerverhalten tendenziell zu geringeren Primärenergie- und CO₂ Emissionswerten führt und auch die Bandbreite der Werte geringer wird. Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass sich die Minima kaum bewegen und niedrige Primärenergie und CO₂ Emissionen sowie ein geringer Kapitalwert auch bei schlechtem Nutzerverhalten möglich sind.

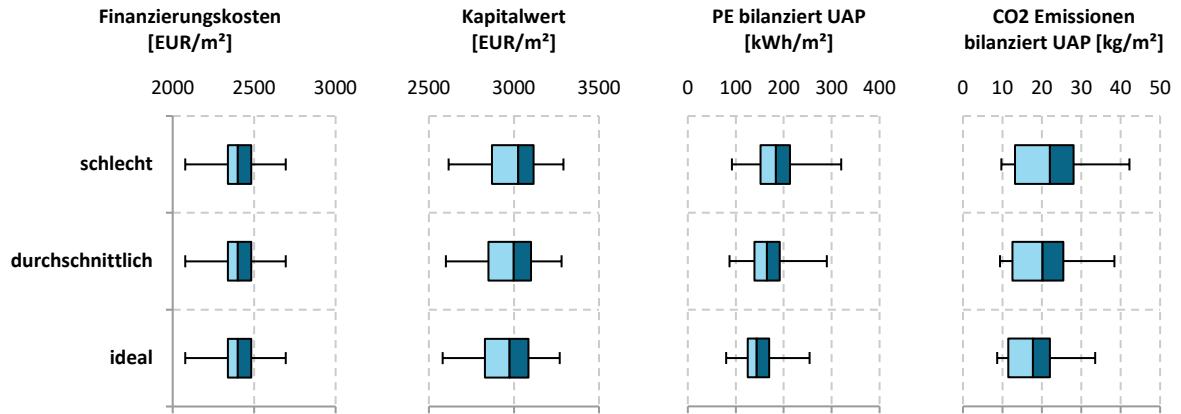


Abbildung 61: Überprüfung der Robustheit der Sanierung e80³ durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten

Tabelle 12: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten bei der Mehrfamilienhaussanierung e80³

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
SCHLECHT	median	2400	3026	184	22
	Standardabweichung	164	172	45	9
DURCHSCHNITTLICH	median	2400	2999	165	20
	Standardabweichung	164	172	39	7
IDEAL	median	2400	2974	144	18
	Standardabweichung	164	174	33	6

6.7.5 +ERS Mehrfamilienhaus Plusenergieverbund Reininghaus

6.7.5.1 Kostenverlauf über den Lebenszyklus

Abbildung 62 zeigt den Kostenverlauf des Mehrfamilienhauses +ERS bei Standard Nutzerverhalten und Standard Sensibilität über 30 Jahre. Die dargestellten min und max-Werte stellen wiederum die Bandbreite der Kosten pro Phase dar.

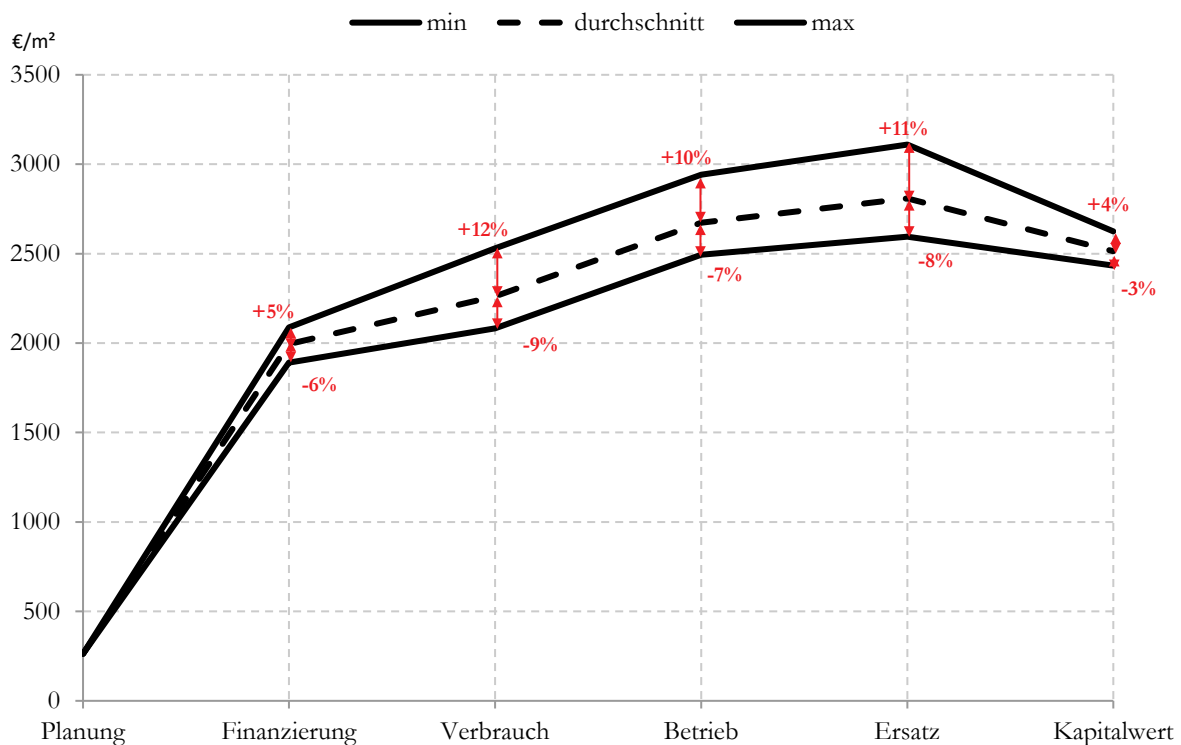


Abbildung 62: Kosteneffizienz des Mehrfamilienhauses +ERS über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind

6.7.5.2 Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

Für das Mehrfamilienhaus +ERS in Graz wurde nachfolgend beispielhaft die Analyse des Einflusses der Photovoltaikanlage auf den Kapitalwert, die Primärenergie und die CO₂ Emissionen dargestellt. Untersucht wurden dabei drei verschiedene Varianten.

Das Ergebnis in Abbildung 63 zeigt, dass im Vergleich zur Variante ohne PV die Berücksichtigung einer PV Anlage sowohl Primärenergie als auch Kapitalwert senkt. Diesbezüglich kann die Sinnhaftigkeit einer Photovoltaikanlage klar gezeigt werden. Bei der Betrachtung der CO₂ Emissionen zeigt sich kein so klares Bild und die Varianten mit PV Anlage erreichen nicht automatisch bessere Ergebnisse als die Vergleichsvariante ohne PV. Dies liegt auch daran, dass im vorliegenden Projekt der eingespeiste Überschussstrom nicht dem Gebäude gutgeschrieben wird, sondern zu einer Verbesserung des CO₂ Konversionsfaktors führt (siehe Anhang II).



Abbildung 63: Untersuchung des Einflusses der Photovoltaikanlage auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus +ERS

Für das Mehrfamilienhaus +ERS wurden auch jene Varianten ermittelt, die bei entsprechender Gewichtung der Indikatoren Primärenergie, CO₂ Emissionen, Finanzierungskosten und Kapitalwert die besten Ergebnisse erzielen. Abbildung 64 zeigt das Ergebnis dieser Ermittlung. Aufgrund einer geringeren Anzahl untersuchten Varianten wurden insgesamt nicht die 100 besten Varianten pro Technologie dargestellt, sondern nur die TOP 25.

Die Analyse zeigt klare Vorteile der Passivhausgebäudehülle und der Fensterlüftung. Die Varianten von Wärmeerzeugung, Photovoltaikanlage und Solarthermie sind hingegen gleichmäßig verteilt und ausgeglichen.

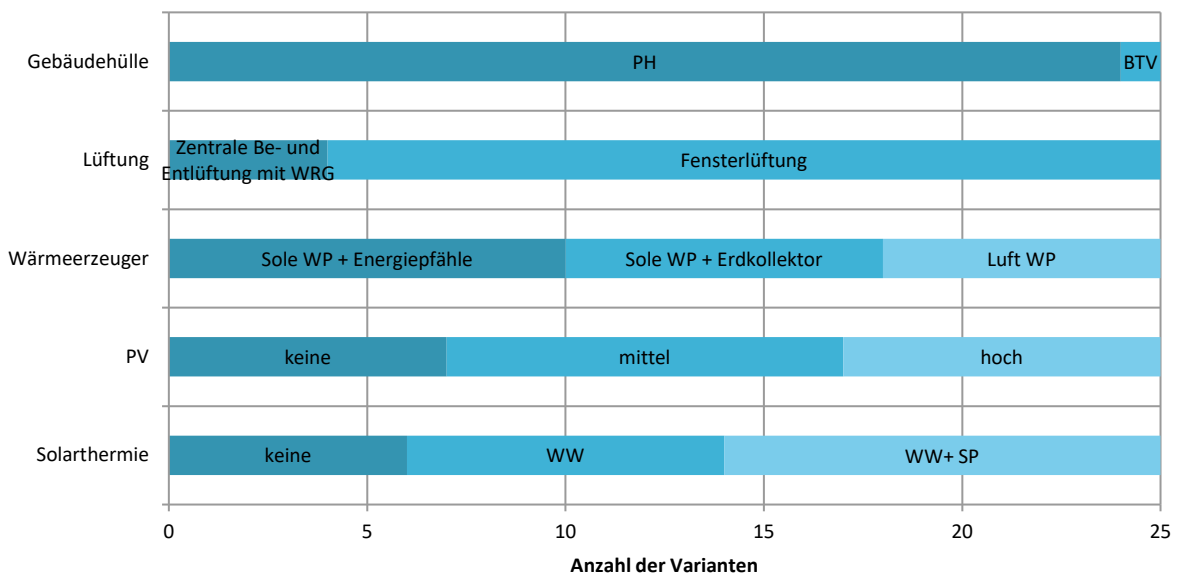


Abbildung 64: Ermittlung der 25 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus +ERS die besten Ergebnisse erzielen

6.7.5.3 Sensitivitätsanalyse

Abbildung 65 und Tabelle 13 zeigen die Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber den Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus +ERS. Im Vergleich zu den anderen untersuchten Gebäuden zeigen sich in diesem Fall deutlichere Abweichungen durch die einzelnen Maßnahmen, speziell beim Kapitalwert, der Primärenergie und den CO₂ Emissionen.

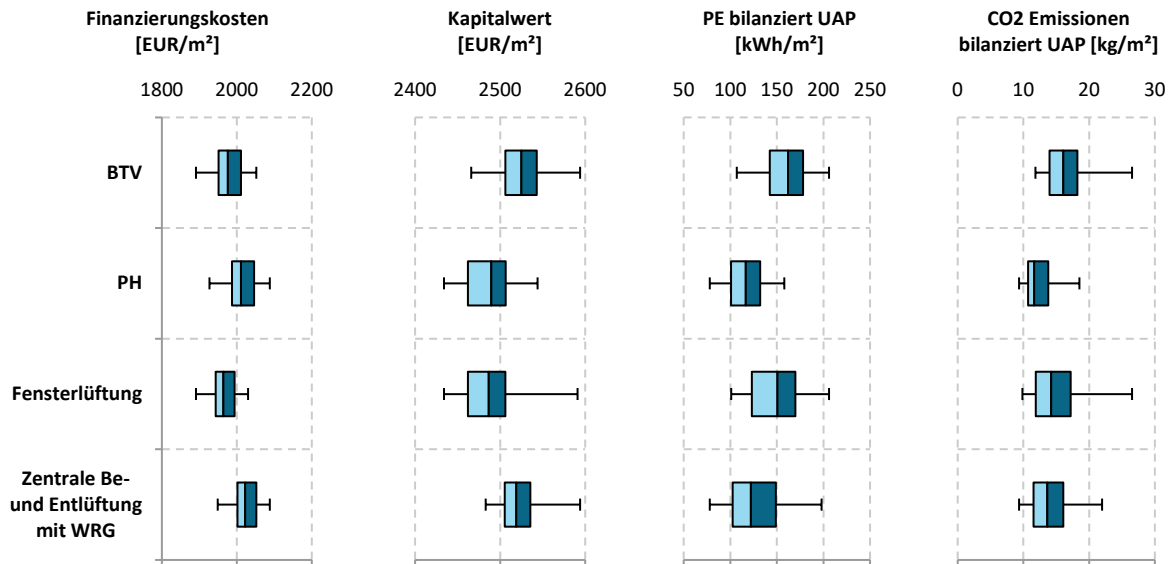


Abbildung 65: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber den Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus +ERS

Tabelle 13: Medianwerte und Standardabweichungen der vier untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus +ERS

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
PH	median	2011	2490	117	12
	Standardabweichung	43	28	22	2
BTV	median	1976	2525	162	16
	Standardabweichung	43	27	27	3
FENSTERLÜFTUNG	median	1964	2487	151	14
	Standardabweichung	36	35	30	4
MECH. LÜ MIT WRG	median	2022	2519	122	14
	Standardabweichung	36	23	31	3

6.7.5.4 Robustheit

Die Robustheit des Gebäudes gegenüber Änderungen des Nutzerverhaltens ist in Abbildung 66 dargestellt.

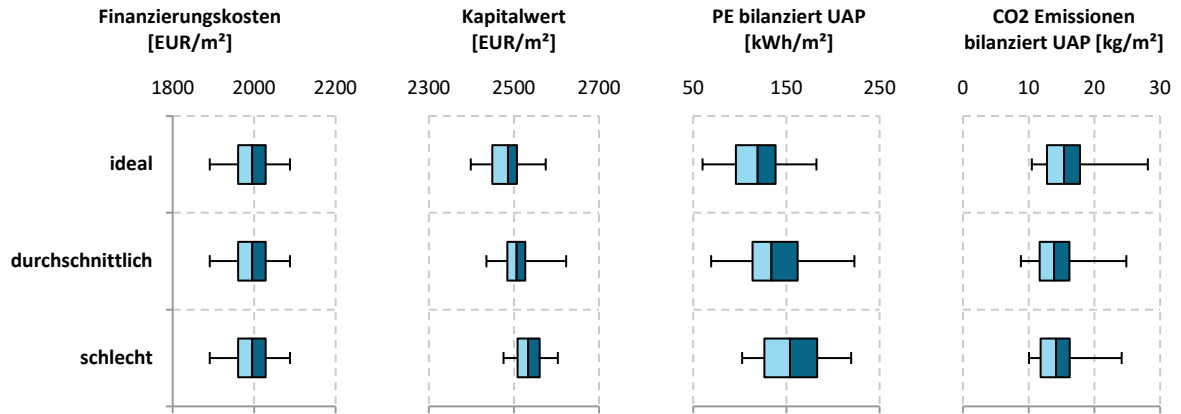


Abbildung 66: Überprüfung der Robustheit des Mehrfamilienhauses +ERS durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten

Tabelle 14: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten beim Mehrfamilienhaus +ERS

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
IDEAL	median	1996	2486	119	15
	Standardabweichung	46	36	28	4
DURCHSCHNITTLICH	median	1996	2506	134	14
	Standardabweichung	47	34	33	4
SCHLECHT	median	1996	2533	154	14
	Standardabweichung	47	38	39	3

6.7.6 Bürogebäude AEE INTEC

6.7.6.1 Kostenkurve über den Lebenszyklus

Die Parameterstudie beim Bürogebäude von AEE INTEC brachte nachfolgenden, in Abbildung 67 dargestellten, Kostenverlauf über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes.

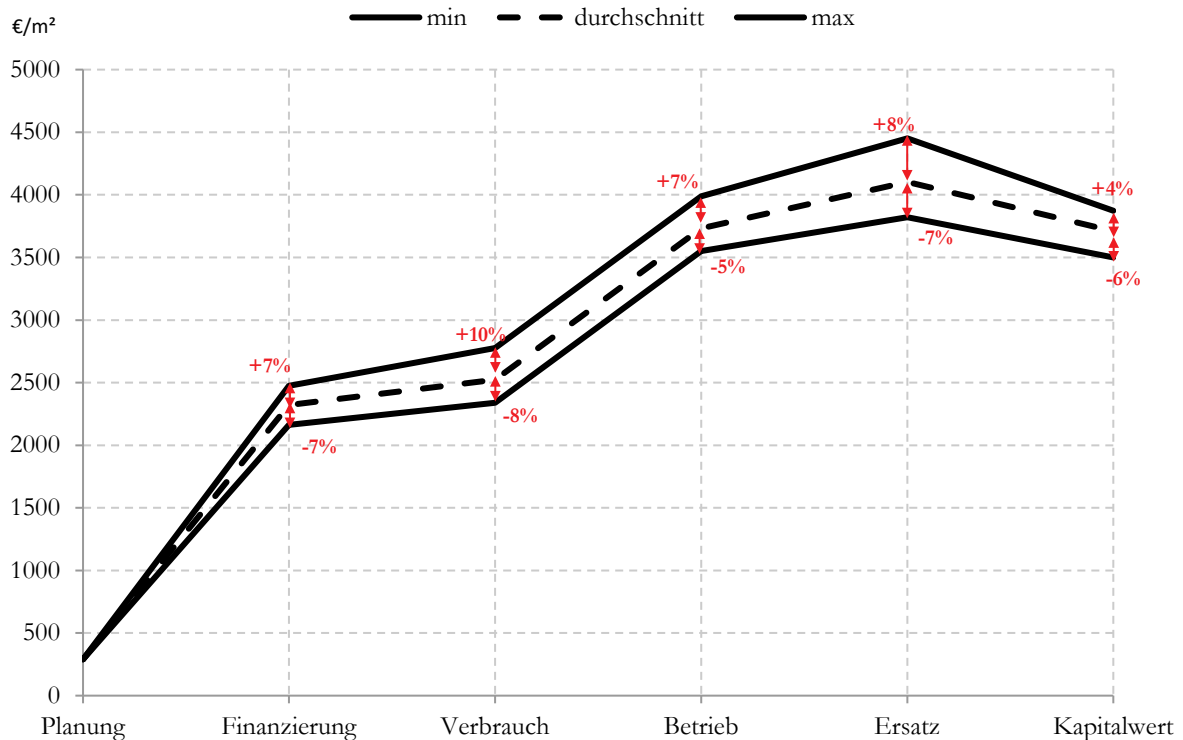


Abbildung 67: Kosteneffizienz des Bürogebäudes von AEE INTEC über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind

6.7.6.2 Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

Beim Bürogebäude von AEE INTEC wurde im Zusammenhang mit einer Photovoltaikanlage auch ein elektrischer Batteriespeicher untersucht. Das Ergebnis der Berechnungen ist in Abbildung 68 ersichtlich. Die Analyse zeigt auf den ersten Blick, bei der vorliegenden Berechnungsmethodik, keine Primärenergie- und CO₂ Emissionseinsparungen durch die Verwendung eines Batteriespeichers.

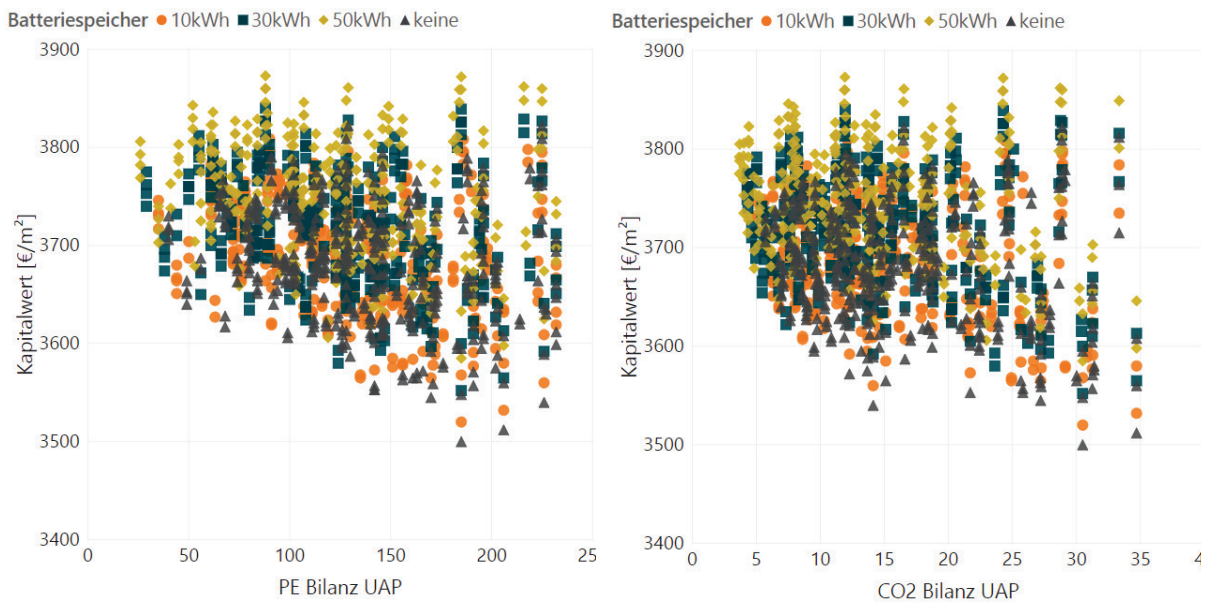


Abbildung 68: Untersuchung des Einflusses des Batteriespeichers auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) beim Bürogebäude von AEE INTEC

Bei der weiteren Berücksichtigung aller vier Indikatoren und entsprechender Gewichtung zeigt sich aber, dass ein elektrischer Batteriespeicher in fast 60% der Varianten zum Einsatz kommen würde. Weiter zeigen sich deutliche Tendenzen in Richtung Passivhaushülle, Fernwärmeversorgung sowie dem Einsatz von Photovoltaik und Solarthermie.

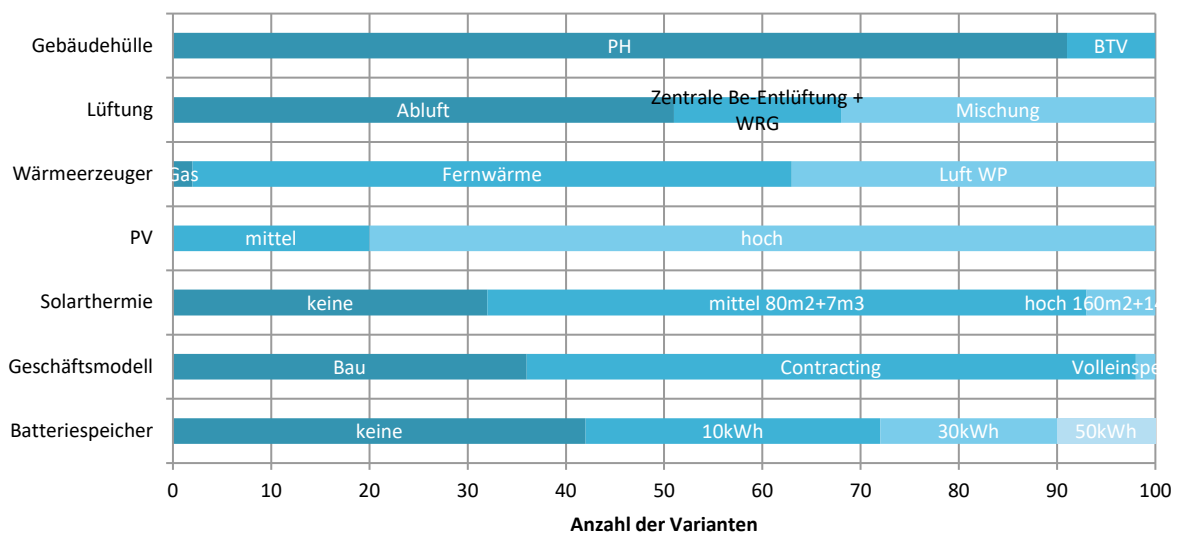


Abbildung 69: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Bürogebäude von AEE INTEC die besten Ergebnisse erzielen

6.7.6.3 Sensitivitätsanalyse

Im Fall des Bürogebäudes von AEE INTEC werden an dieser Stelle für die Sensitivitätsanalyse die unterschiedlichen PV Strom Einspeisevarianten dargestellt (siehe nachfolgende Abbildung 70). Dabei

zeigt sich, dass durch die im Projekt gewählte Berechnungs- und Bilanzierungsmethodik die Ergebnisse der Variante „Volleinspeiser“ bei Primärenergie und CO₂ Emissionen schlechter abschneiden. Finanzierungskosten und Kapitalwert sind hingegen ähnlich.

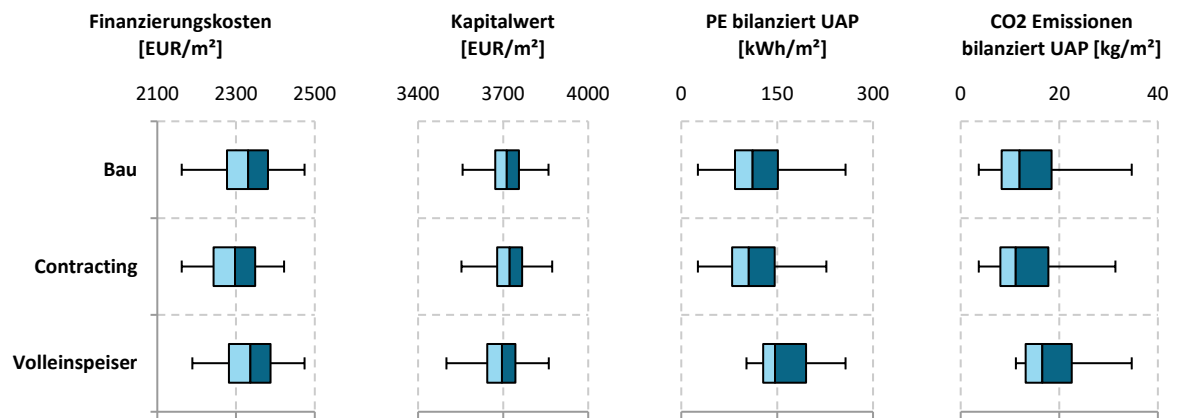


Abbildung 70: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber den Varianten der PV Strom Einspeisung beim Bürogebäude von AEE INTEC

Tabelle 15: Medianwerte und Standardabweichungen der vier untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen beim Bürogebäude von AEE INTEC

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
BAU	median	2331	3713	112	12
	Standardabweichung	68	59	46	7
CONTRACTING	median	2297	3723	106	11
	Standardabweichung	64	63	44	7
VOLLEINSPEISUNG	median	2337	3696	147	17
	Standardabweichung	65	69	41	7

6.7.6.4 Robustheit

Die Analyse der Robustheit des Gebäudes ist in der nachfolgenden Abbildung 71 zu sehen. Dabei zeigt sich auch hier, dass ideales Nutzerverhalten tendenziell zu geringeren Primärenergie- und CO₂ Emissionswerten führen und auch die Bandbreite der Werte geringer wird. Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass sich die Minima kaum bewegen und niedrige Primärenergie und CO₂ Emissionen sowie ein geringer Kapitalwert auch bei schlechtem Nutzerverhalten möglich sind.

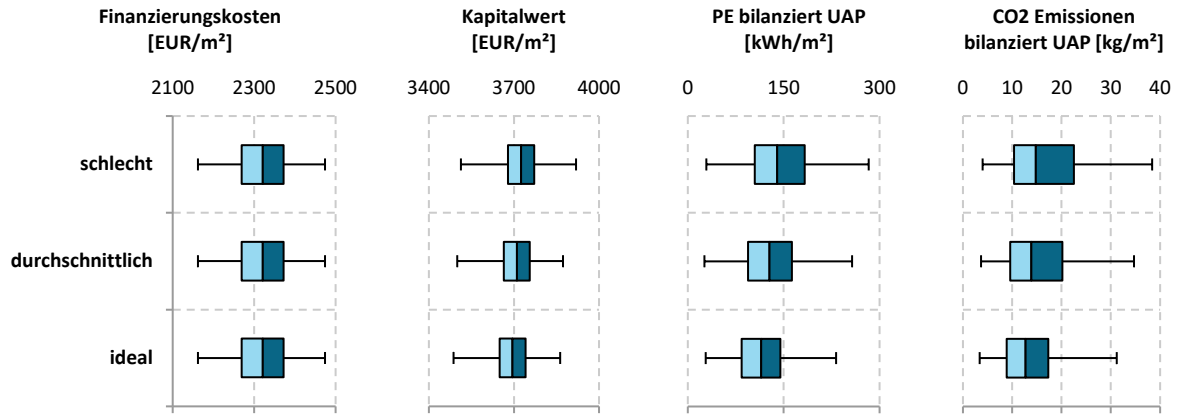


Abbildung 71: Überprüfung der Robustheit des Bürogebäudes von AEE INTEC durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten

Tabelle 16: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten beim Bürogebäude von AEE INTEC

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
SCHLECHT	median	2321	3726	140	15
	Standardabweichung	68	67	54	8
DURCHSCHNITTLICH	median	2321	3711	128	14
	Standardabweichung	68	65	49	7
IDEAL	median	2321	3695	115	13
	Standardabweichung	68	64	43	6

6.7.7 Sanierung Neue Mittelschule Rainbach

6.7.7.1 Kostenkurve über den Lebenszyklus

Die Kostenkurve der NMS Rainbach über den gesamten Lebenszyklus ist in der nachfolgenden Abbildung 72 ersichtlich. Das Nutzerverhalten und die Sensibilität wurden für diese Darstellung so wie bei allen anderen Auswertungen auf „Standard“ gesetzt.

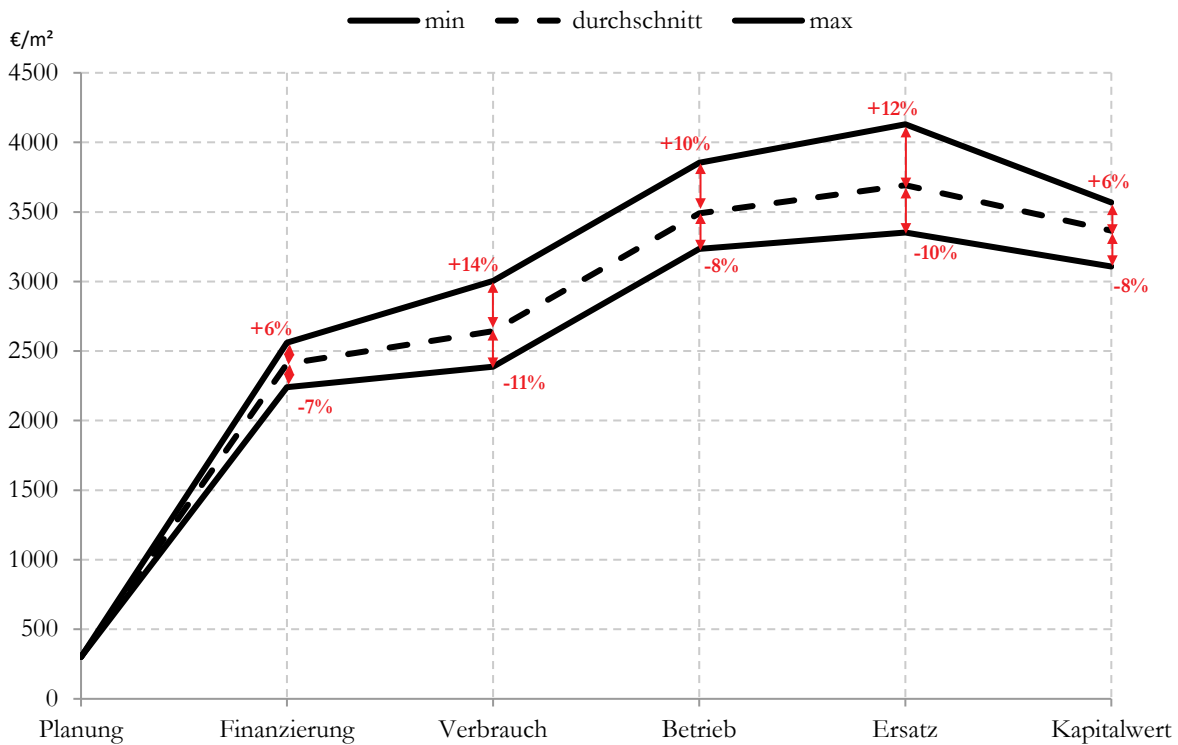


Abbildung 72: Kosteneffizienz der Sanierung der NMS Rainbach über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind

6.7.7.2 Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

Für die Sanierung der NMS Rainbach wurden im Vergleich zu den anderen untersuchten Gebäuden etwas weniger Varianten untersucht. An dieser Stelle wird die Analyse des Einflusses der Gebäudehülle auf den Kapitalwert, die Primärenergie und die CO₂ Emissionen präsentiert. Wie in Abbildung 73 ersichtlich entscheidet bei der Beurteilung sehr stark die Wahl des Indikators. Wird die Primärenergie herangezogen, so zeigt sich, dass die Sanierung der Gebäudehülle auf Passivhausstandard deutliche Vorteile bringt. Bei der Betrachtung der CO₂ Emissionen allerdings, zeigt sich, dass die Wahl anderer Maßnahmen, wie z.B. der Wärmeversorgung, einen deutlich größeren Einfluss auf die Ergebnisse haben.

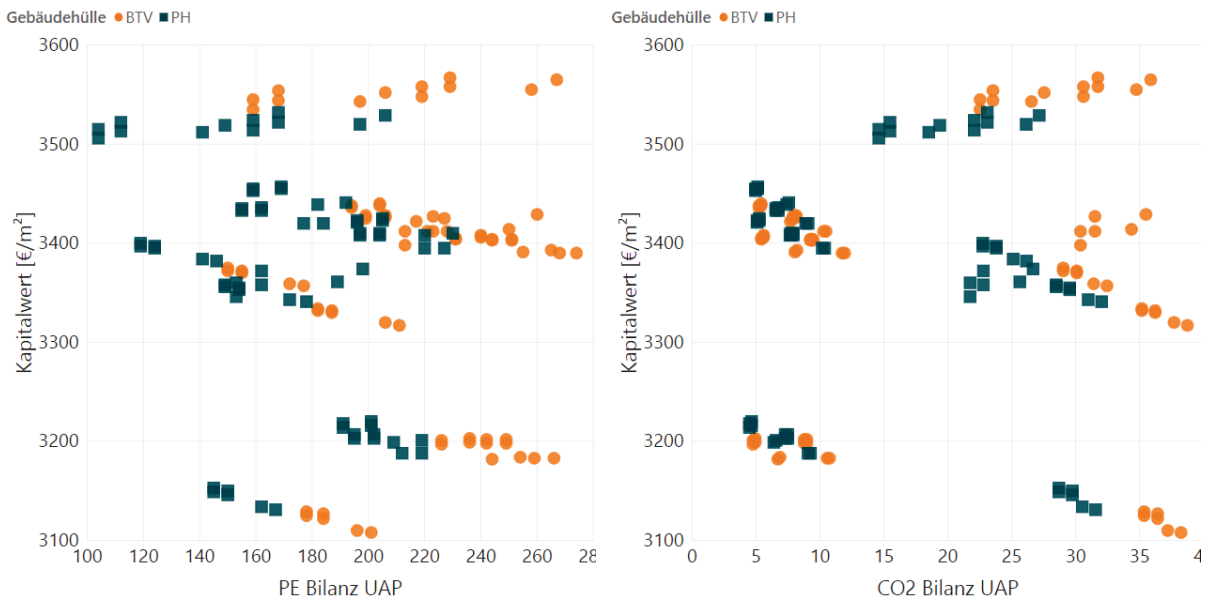


Abbildung 73: Untersuchung des Einflusses der Gebäudehülle auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO₂ Bilanz (rechts) bei der Sanierung der NMS Rainbach

Unter Berücksichtigung aller vier Entscheidungsindikatoren zur Beurteilung der Energie- und Kosteneffizienz der untersuchten Maßnahmen (Finanzierungskosten, Kapitalwert, Primärenergie und CO₂ Emissionen) ergeben sich jene 50 Varianten pro Technologie, siehe Abbildung 74, welche die gestellten Anforderungen am besten erfüllen.

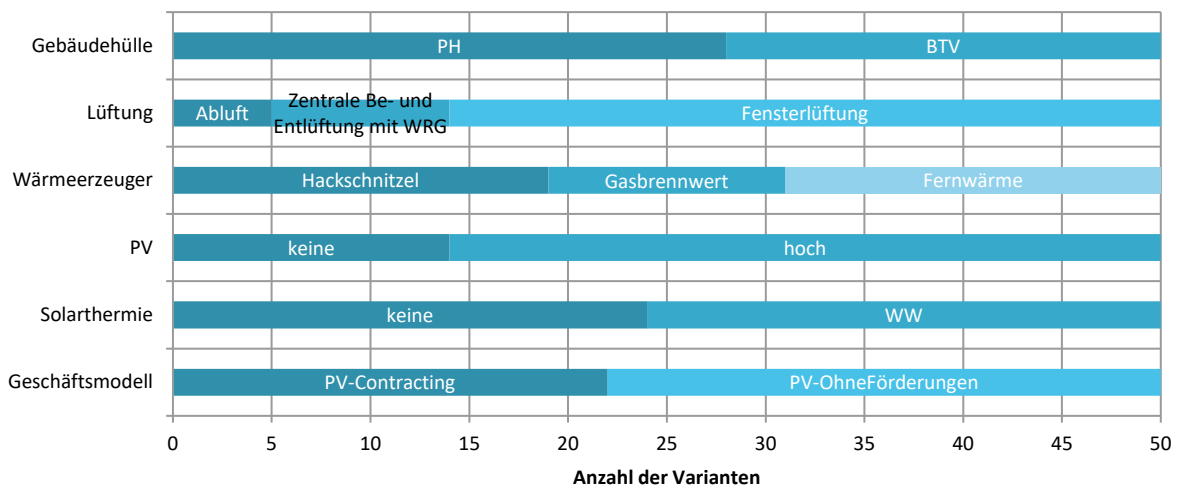


Abbildung 74: Ermittlung der 50 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten bei der Sanierung der NMS Rainbach die besten Ergebnisse erzielen

6.7.7.3 Sensitivitätsanalyse

Auch für die Sanierung der NMS Rainbach wurde untersucht wie sensitiv die Kosten, Primärenergie und CO₂ Emissionen auf die unterschiedlichen Maßnahmen reagieren. Abbildung 75 zeigt das Ergebnis für die definierten Energieversorgungsmaßnahmen. Die weiteren Ergebnisse finden sich in Anhang V.

Die Analyse zeigt, dass die Finanzierungskosten sehr stabil sind und die Energieversorgungsmaßnahmen nur wenig Einfluss darauf haben. Anders sieht es jedoch beim Kapitalwert aus. Hier ergeben sich speziell für die Wärmeversorgung Unterschiede, wobei sich zeigt, dass es wenig Ausreißer nach oben und unten gibt. Die Art der Wärmeversorgung hat auch Einfluss auf die Primärenergie und sehr stark auf die CO₂ Emissionen. Die unterschiedlichen Varianten der solarthermischen Anlage bewirken hingegen nur sehr wenig Veränderung der vier Bewertungsindikatoren.

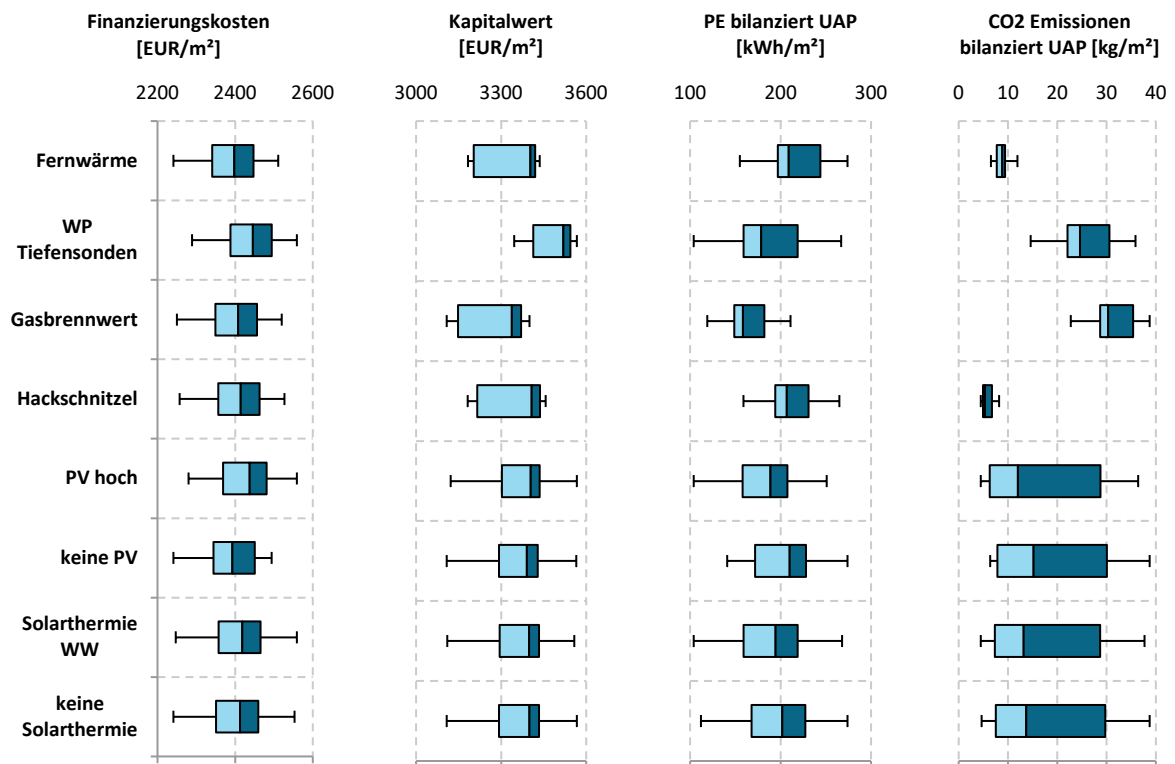


Abbildung 75: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber den Maßnahmen der Energieversorgung bei der Sanierung der NMS Rainbach

Tabelle 17: Medianwerte und Standardabweichungen der vier untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen bei der Sanierung der NMS Rainbach

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
FERNWÄRME	median	2398	3404	209	9
	Standardabweichung	72	103	32	1
WP TIEFENSONDEN	median	2446	3520	179	25
	Standardabweichung	72	73	43	6
GASBRENNWERT	median	2408	3338	159	30
	Standardabweichung	72	109	24	4
HACKSCHNITZEL	median	2414	3408	207	5
	Standardabweichung	72	106	26	1
PV HOCH	median	2438	3404	189	12
	Standardabweichung	71	122	37	11
KEINE PV	median	2393	3391	210	15

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
SOLARTHERMIE WW	Standardabweichung	70	127	36	12
	median	2419	3399	195	13
KEINE SOLARTHERMIE	Standardabweichung	74	123	38	11
	median	2413	3400	202	14
	Standardabweichung	74	125	39	12

6.7.7.4 Robustheit

Das Nutzerverhalten hat beim betrachteten Schulgebäude wenig Einfluss auf den Kapitalwert und vor allem bei der Beheizung mit Hackschnitzel auf die CO₂ Emissionen. Zwar können hier durch ein besseres Nutzerverhalten die Maxima reduziert werden, die Minima bleiben aber durchwegs konstant.

Nicht so bei der Betrachtung der Primärenergie. Hier können durch besseres oder schlechteres Nutzerverhalten sowohl die Maxima als auch die Minima nach oben oder unten verschoben werden.

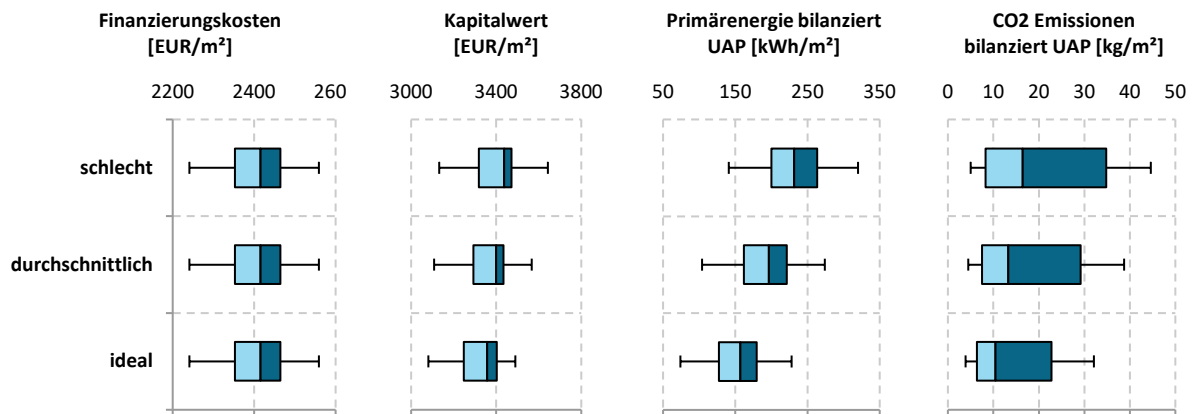


Abbildung 76: Überprüfung der Robustheit der Sanierung der NMS Rainbach durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten

Tabelle 18: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten der Sanierung der NMS Rainbach

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
SCHLECHT	median	2416	3438	232	16
	Standardabweichung	74	136	42	14
DURCHSCHNITTLICH	median	2416	3399	197	13
	Standardabweichung	74	124	39	11
IDEAL	median	2416	3357	157	10
	Standardabweichung	74	117	34	9

6.8 Vorgelagerte Kosten

In diesem Kapitel werden die vorgelagerten Kosten anhand von vier Projekten abgeschätzt. Vorgelagerte Kosten beinhalten jene Ausgaben, welche von Gemeinden und/oder Bauträgern getätigt werden um die für ein Bauvorhaben nötige öffentliche Infrastruktur zu schaffen.

Vorgelagerte Kosten setzen sich in der Regel aus nachfolgenden Bereichen zusammen:

- **Datenerfassung und Bereitstellung:** Die Erfassung, Dokumentation und Erhaltung der bestehenden Infrastruktur ist grundsätzliche Voraussetzung für Planung und effizienten Betrieb. Derzeit werden Daten in digitalen GIS Systemen erfasst. Die Kosten für die Aktualisierung der Daten bezüglich einer neuen Siedlung gehören zu den einem Bauvorhaben zugehörigen vorgelagerten Kosten.
- **Begutachtung und Genehmigung** eines Bauvorhabens: Im Zuge der Begutachtung und Genehmigung durch die Gemeinde werden Bauvorhaben auf die Erfüllung der geltenden Regeln hin untersucht. Die Kosten dafür trägt meist - über eine Gebühr - der Bauträger.
- **Planung und Errichtung der Infrastruktur:** Errichtung von Straßen, Kanal, Energieversorgung und Telekommunikationssystemen. Ein Teil der Kosten wird direkt oder pauschal vom Betreiber der Infrastruktur an den Bauträger verrechnet, dies sind zum Beispiel Kosten für den Elektroanschluss und Kommunikationssysteme. Für den **Kanalanschluss** werden von den Gemeinden nach eigenem Ermessen Gebühren erhoben, wobei meist ein Rahmen definiert ist. Oft richtet sich die Gebühr nach der bebauten Fläche. Andere Kosten wie **Straßenbau** werden von der Gemeinde getragen und können über Steuern und sonstige Einnahmen ausgeglichen werden.
- **Ökologische Kosten:** Neubau von Infrastruktur sowie Nutzungsphase haben ökologische Auswirkungen. Diese können als Energieverbrauch und CO₂-Emissionen quantifiziert werden.

Der Energieverbrauch eines Gebäudes wirkt sich nicht direkt auf die vorgelagerten Kosten aus. Zusätzliche Kosten für Null- und Plusenergiegebäude können jedoch folgendermaßen entstehen:

- (1) **Datenerfassung und Bereitstellung:** Erarbeitung und Visualisierung des Potentials für lokale Quellen erneuerbarer Energien - z.B. Erfassung von Solarpotential oder Möglichkeiten für Geothermie.
- (2) **Begutachtung und Genehmigung:** Wenn spezifische Förderungen für hoch-effiziente Gebäude ausgezahlt werden, muss der Begutachtungsprozess angepasst werden.
- (3) **Planung und Errichtung der Infrastruktur:** Bei der Errichtung der Infrastruktur ergeben sich dann Änderungen, wenn Energie auch ins Netz eingespeist wird. Diese Kosten werden meist durch Gebühren vom Bauträger gedeckt. Bei Kanal und Straßenbau sind keine Änderungen zu erwarten.

Zur Abschätzung der wirtschaftlichen und ökologischen Konsequenzen vom Siedlungsbau gibt es mehrere Werkzeuge und Leitfäden. Beispiele dafür sind:

- Energieausweis für Siedlungen des Landes Niederösterreich (Emrich, 2014)
- Zertifizierung von Siedlungen (Trebut, 2015)

Im gegenständlichen Projekt wurde zur Untersuchung der vorgelagerten Kosten das Tool „Energieausweis für Siedlungen“ (Emrich, 2014) verwendet und für die jeweiligen Standorte adaptiert. Für ausgewählten Projekt wird der Aufwand für Gemeinde und für den Bauträger, bewertet und in

Errichtung und Erhaltung gegliedert. Analysiert werden neben den finanziellen auch die ökologischen Auswirkungen. Tabelle 19 zeigt typische Kostenkennwerte für Errichtung und Erhaltung von Infrastruktur.

Tabelle 19: Kostenkennwerte für die Errichtung und Erhaltung von Gebäudeinfrastruktur in Anlehnung an (Emrich, 2014) für das Jahr 2016

KOSTENWERTE	ERRICHTUNG	ERHALTUNG	HAUSANSCHLUSS (PRIVAT)	
STRASSEN (UNTERBAU (INKL. SCHÄCHTE ENTWÄSSERUNG))	60 € / m ²	1,0 € / m ²		
STRASSEN (OBERBAU (INKL. GEHSTEIG))	63 € / m ²			
STRASSEN (VERSICKERUNG)	100 € / Lfm	4,0 € / Lfm		
FERNWÄRME	400 € / Lfm			
ABWASSERENTSORGUNG (MISCHSYSTEM)	200 € / Lfm	1,0 € / Lfm	160 € / Stück	
ABWASSERENTSORGUNG (TRENNSYSTEM)	400 € / Lfm	2,0 € / Lfm	160 € / Stück	
WASSERVERSORGUNG	120 € / Lfm	1,0 € / Lfm	700 € / Stück	
GASVERSORGUNG	41 € / Lfm	1,5 € / Lfm	1200 € / Stück	
STROMVERSORGUNG	35 € / Lfm	2,5 € / Lfm	100 € / Stück	
TELEKOMMUNIKATIONSNETZ	70 € / Lfm	- € / Lfm	140 € / Stück	
STRASSENBELEUCHTUNG	4 € / Lfm	- € / Lfm	1200 € / Leuchte	
GRÜNFLÄCHEN	45 € / Lfm	2,5 € / Lfm		
LÄRMSCHUTZ	540 € / Lfm	0,75 € / Lfm		

6.8.1 Bürogebäude AEE INTEC



Abbildung 77: Lageplan für „AEE INTEC“, mit Gebäudegrundrissen und Grundstücksgrenze. Verkehrsflächen, allgemeine Grünflächen und Position des Kanals wurden aus Orthofotos geschätzt. Bearbeitete Daten aus ©GIS Steiermark - 2018

Aus den Abmessungen des Lageplans ergeben sich Schätzwerte für die externen Erschließungsflächen, welche der weiteren Berechnung zugrunde liegen, siehe Tabelle 20.

Tabelle 20: Eingabe der externen und internen Erschließungslängen für den AEE INTEC Büro- und Wohnkomplex

Erschließungslängen extern

Wasserversorgung	5	Lfm
Abwasser	5	Lfm
Fernwärme	5	Lfm

Erschließungslängen intern

70 Lfm
Aus den Ergebnissen wurde unter Anwendung von Baukostenindex und zukünftig erwarteten Zinsänderungen berechnet, wie sich die Kosten für die externe und interne Erschließung und ihre

Erhaltung über einen Lebenszyklus von 30 Jahren entwickeln. Das Ergebnis ist in Abbildung 78 zu sehen.

Tabelle 21: Randbedingungen für die Berechnung

Betrachtungszeitraum [in Jahren]	30
Zinssatz	1,700%
Kostensteigerung Wartung / Instandhaltung	2,000%

Tabelle 22: Ausgabe von Energieverbrauch und Kosten für die Erschließung von AEE INTEC von Seiten der öffentlichen Hand in Anlehnung an (Emrich, 2014)

Energieverbrauch		
Errichtung der techn. Infrastruktur	1500	kWh
Kosten		
Errichtung der techn. Infrastruktur	4600	€
Erhaltung der techn. Infrastruktur / Jahr	15	€
Emissionen		
CO ₂ -Emissionen Verkehr	0,235	t CO ₂ / Jahr

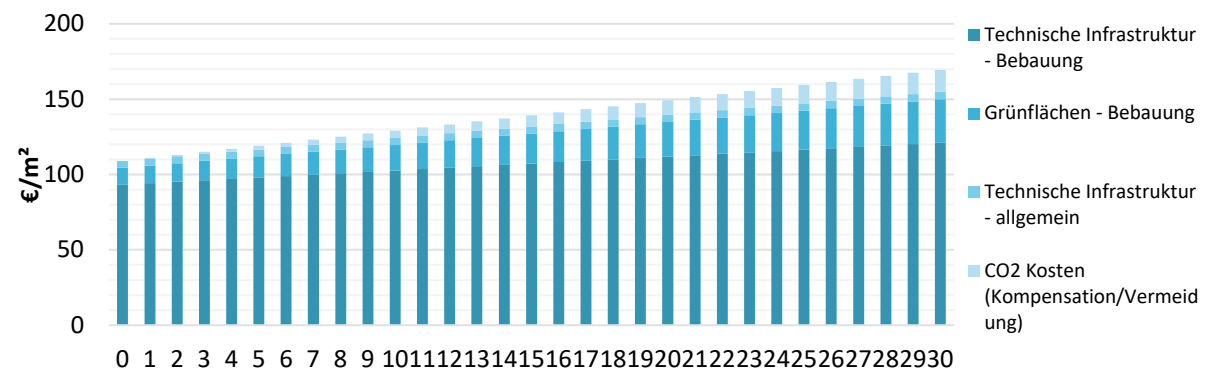


Abbildung 78: Kumulative Darstellung der Kostenentwicklung pro m² Energiebezugsfläche, für Infrastruktur und allgemeine Grünflächen von AEE INTEC. Der Zusatz „Bebauung“ bedeutet dass die Kosten für Tätigkeiten auf dem Baugrundstück anfallen, der Zusatz „allgemein“ bedeutet Kosten auf öffentlichen Grundstücken wie Kanalanschluss.

6.8.2 Plusenergiequartier Reininghaus



Abbildung 79: Lageplan für die Anlage "Plusenergiequartier Reininghaus Süd", mit Gebäudegrundriss und Grundstücksgrenze. Verkehrsflächen, allgemeine Grünflächen und Position des Kanals wurden aus Orthofotos geschätzt. Bearbeiten Daten aus ©GIS Steiermark – 2018.

Auf den Abmessungen des Lageplans ergeben sich als Grundlage der Berechnung folgende Schätzwerte für die externen Erschließungsflächen:

Tabelle 23: Eingabe der externen Erschließungsflächen für die Siedlung im Plusenergie-Verbund Reininghaus Süd

Erschließungslängen extern		
Strassenfläche	50	m ²
Strassenbeleuchtung	6	Lfm
Abwasser	6	Lfm
Fernwärme	5	Lfm
Erschließungslängen intern		
	495	Lfm

Die internen Erschließungslängen und die Länge des internen Straßennetzes dienen zur Berechnung der Kosten für Straßenarbeiten und Kanal am Grundstück, welche dem Bauträger obliegen. Auf Grundlage dieser Daten werden aus den Kostenwerten pro Laufmeter (Lfm) oder Fläche (m²) die anfallenden Kosten berechnet. Der zunächst von der öffentlichen Hand finanzierte Anteil ist samt den ökologischen Auswirkungen in Tabelle 24 dargestellt. Zusätzlich wurden aus den errechneten Werten die kumulativen Gesamtkosten berechnet und in Abbildung 80 gezeigt. In der Abbildung werden die finanziellen Kosten auf die Energiebezugsfläche (in m²) bezogen. Die Siedlung enthält etwa 160 Wohneinheiten und ca. 10.000 m² beheizte Fläche.

Tabelle 24: Belastung für die öffentliche Erschließung der Siedlung im Plusenergie-Verbund Reininghaus Süd laut 'Energieausweis für Siedlungen'

Energieverbrauch		
zur Errichtung der techn. Infrastruktur	13100	kWh
Kosten		
zur Errichtung der techn. Infrastruktur	11934	€
zur Erhaltung der techn. Infrastruktur / Jahr	68	€
Emissionen		
CO₂-Emissionen Verkehr	0,255	t CO ₂ / WE / Jahr

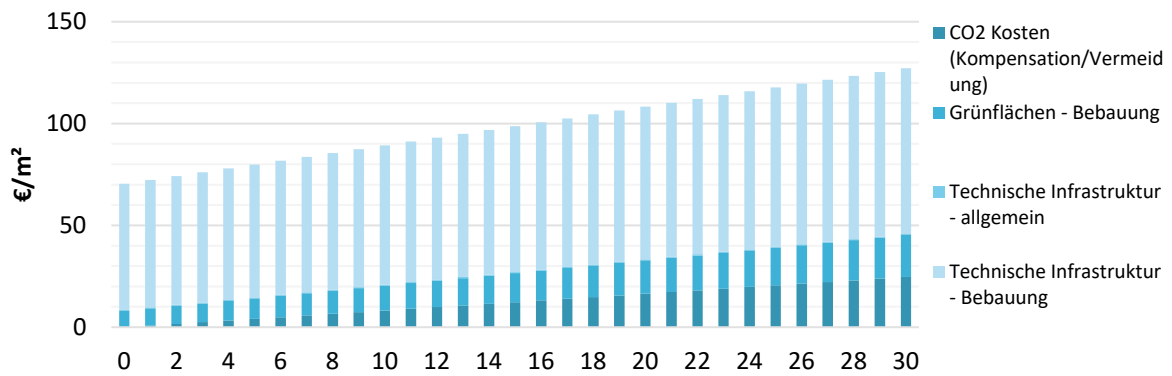


Abbildung 80: Plusenergiequartier Reininghaus Süd: Kumulative Kostenentwicklung pro m² Energiebezugsfläche, für Infrastruktur und allgemeine Grünflächen in Anlehnung an (Emrich, 2014).

6.8.3 Sanierung e80^3 Wohnhausanlage Kapfenberg

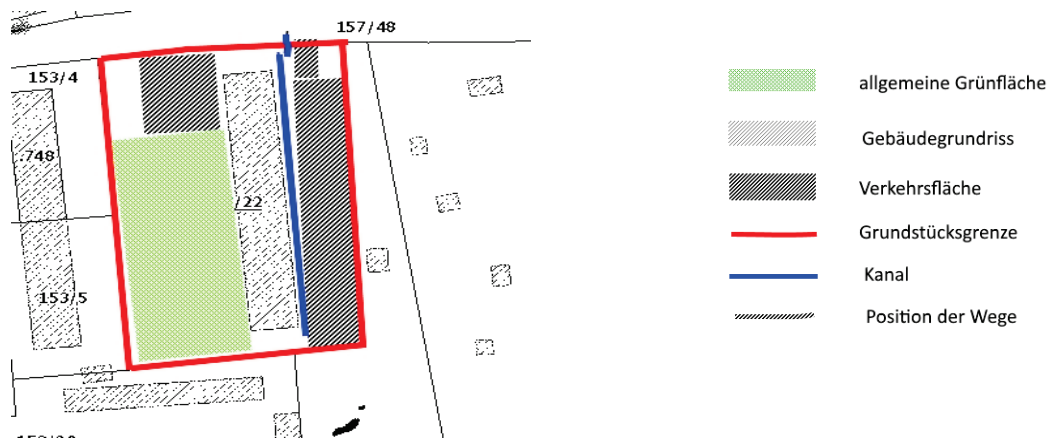


Abbildung 81: Lageplan für die Anlage "Plusenergiesanierung Kapfenberg", mit Gebäudegrundriss und Grundstücksgrenze. Verkehrsflächen, allgemeine Grünflächen und Position des Kanals wurden aus Orthophotos abgeleitet. Bearbeiten Daten aus ©GIS Steiermark – 2018.

Auf den Abmessungen des Lageplans ergeben sich Schätzwerte zur Grundlage der Berechnung der externen Erschließungsflächen und der internen Erschließungslängen und die Länge des internen Straßennetzes, wie in Tabelle 25 gezeigt.

Tabelle 25: Externe und interne Erschließungsflächen für die ‚Plusenergiesanierung Kapfenberg‘

Erschließungslängen extern	
Wasserversorgung	5 Lfm
Abwasser	5 Lfm
Erschließungslängen intern	
Länge des Straßennetzes	70 Lfm

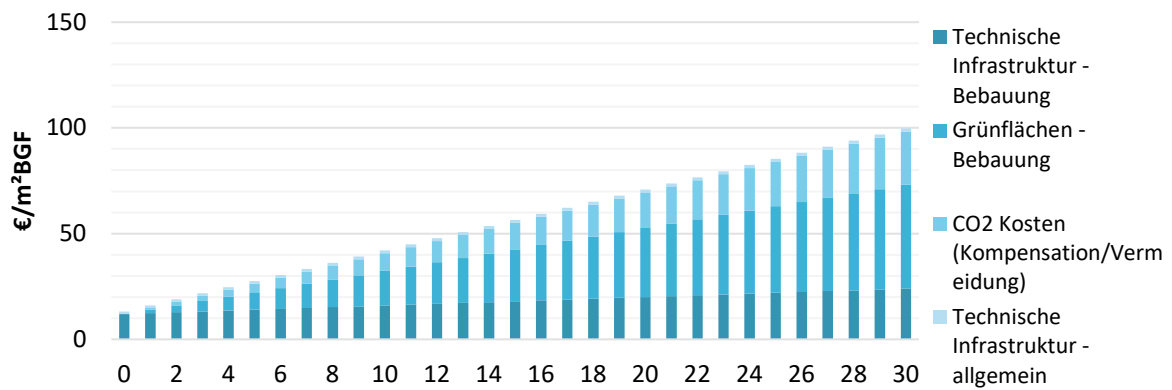


Abbildung 82: Kumulative Darstellung der Errichtungs- und Erhaltungskosten und Kosten der CO₂ Kompensation für die ‚Plusenergiesanierung Kapfenberg‘ in Anlehnung an (Emrich, 2014)

In diesem Fall fallen weit weniger Errichtungskosten an, weil es sich um ein Bestandsgebäude handelt. Es wurde lediglich der Anschluss an die Fernwärme errichtet. Zum Vergleich wurden hier auch die CO₂-Emissionen durch Verkehr in die Darstellung mit berechnet. Sie wurden mit dem Faktor 180€/t CO₂⁷ auf einen finanziellen Wert umgerechnet.

⁷ In Kostenschätzung geht das Umweltbundesamt Deutschland von Schäden von rund 180 Euro pro Tonne Kohlendioxid (CO₂) aus (Umweltbundesamt, 2018).

6.8.4 Sanierung Neue Mittelschule Rainbach



Abbildung 83: Lageplan für die Anlage "Schule Rainbach", mit Gebäudegrundriss und Grundstücksgrenze. Verkehrsflächen, allgemeine Grünflächen und Position des Kanals wurden aus Orthofotos abgeleitet. Bearbeitete Daten aus ©GIS Oberösterreich – 2018.

Wieder wurde auf Grund von verfügbaren Plandaten, diesmal dem online verfügbaren GIS Oberösterreich, die für den Schulbau von der Gemeinde errichtete Infrastruktur abgeschätzt, und ebenso den direkt zur Schule gehörigen Teil der Infrastruktur, siehe Tabelle 26.

Tabelle 26: Eingabe der internen und externen Erschließungsflächen für NMS Rainbach

Erschließungslängen extern

Straßenfläche	35	m ²
Wasserversorgung	5	Lfm
Abwasser	5	Lfm
Erschließungslängen intern	130	Lfm
Länge des Straßennetzes	70	Lfm
Fuß- und Radwege	100	Lfm
Bestehende Strassen	400	Lfm
Länge des Gesamtwegnetzes	700	Lfm

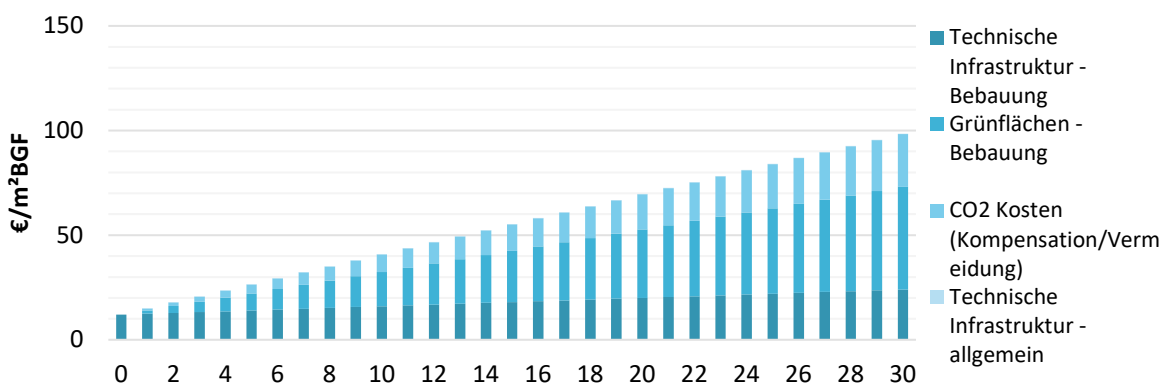


Abbildung 84: Darstellung der Erhaltungskosten per Jahr, für Grünflächen und technische Infrastruktur der NMS Rainbach lt. laut ‚Energieausweis für Siedlungen‘.

Auch in diesem Fall sind die Erschließungskosten für die Gemeinde Null zu setzen, weil es sich um eine Sanierung handelt. Die Kosten für Grünflächen und ‚Technische Infrastruktur – Bebauung‘ liegen beim Bauträger.

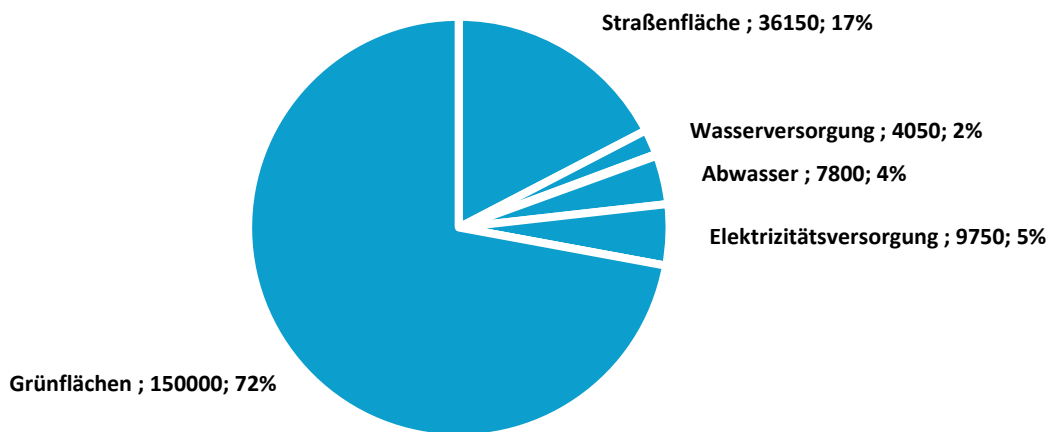


Abbildung 85: Verteilung der Kosten über einen Lebenszyklus von 30 Jahren für die NMS Rainbach in Anlehnung an (Emrich, 2014) -Angaben in € und Prozenten

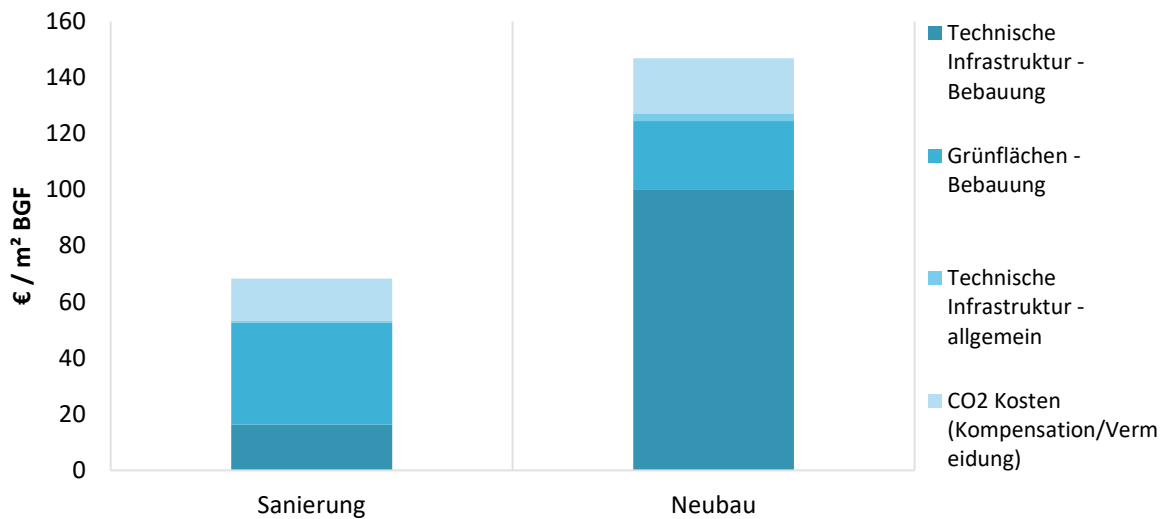


Abbildung 86: Vergleich der Fallstudien Sanierung vs. Neubau: Lebenszykluskosten für erschließende Infrastruktur in Anlehnung an (Emrich, 2014)

6.8.5 Zusammenfassung

Tabelle 27: Zusammenfassung der Errichtung und Erhaltungskosten für die vier analysierten Fallstudien (30 Jahre Betrachtungszeitraum)

Kostentyp	Träger	Kapfenberg	Rainbach	"+ERS"	AEE	Einheit
Technische Infrastruktur	Öffentlich	2086	0	12447	4798	€
Technische Infrastruktur	Öffentlich	627	3604	2131	470	€/ Jahr
Technische Infrastruktur inkl. Grünflächen	Privat	22112	0	620376	99033	€
Technische Infrastruktur inkl. Grünflächen	Privat	23287	57043	201437	30715	€/ Jahr
Grünflächen	Privat	0	0	79790	11737	€
Grünflächen	Privat	94278	156210	127500	19652	€/ Jahr

6.9 Nachgelagerten Kosten

Material aus Bau- und Abbruchprozessen tragen zu mehr als 50% zum gesamten Müllaufkommen bei (Republik Österreich, 2018). Abbrucharbeiten werden durch die Ö-Norm B 2251 „Abbrucharbeiten - Werkvertragsnorm“ geregelt. Diese ÖNORM enthält Verfahrens- und Vertragsbestimmungen für die Ausführung von Abbrucharbeiten von Bauwerken oder von Teilen derselben. Im Falle von Verdacht auf Schadstoff ist ergänzend die ONR 192130 anzuwenden. Es ist meist neben Entsorgungsunternehmen die öffentliche Hand, die Informationen zu Rückbau und Abriss bereitstellt. Ein Beispiel dafür ist die Broschüre „Richtiger Umgang mit Baurestmassen“ des Landes Steiermark.

In diesem Kapitel wird eine Abschätzung der Abbruch- und Entsorgungskosten für die vier im letzten Kapitel analysierten Fallstudien vorgenommen. Für die Detailabschätzung werden die wesentlichen Massen der Baukomponenten, wie Außenwände, Decken, Bodenplatte und Fenster. Auch Innenausstattung wie Böden, Heizkörper und Waschbecken erfasst. Auf dieser Grundlage werden unter Zuhilfenahme von Defaultwerten für die Kosten pro Volumeinheit / Flächeneinheit oder Stück die Gesamtkosten ermittelt. Es ist zu beachten, dass Entsorgungskosten pro kg/m³ zeitlich und lokal stark variieren können. Erzielbare Erlöse werden ebenfalls mitberücksichtigt.

Die berechneten Kosten gliedern sich in drei Teilbereiche:

- **Abbruchkosten**
- **Demontagekosten**
- **Entsorgungskosten**

Außerdem wird unter verschiedenen Abbruchvorgehen unterschieden, zwischen konventionell und selektiv (hierbei werden die Bauteile des Innenausbau getrennt und gesondert verwertet oder beseitigt). In Anlehnung an (Seemann, 2007) wird von einem selektiven Abbruch, d.h. arbeitsaufwendiger Abbruch der Gebäude ausgegangen. Es wird hierbei davon ausgegangen dass u.a. Komponenten aus dem Innenausbau gesondert entfernt werden. Vorausgeschickt sei auch, dass im Fall der NMS Rainbach nur die Abbruchkosten für einen Gebäudeteil enthalten sind. Auch wurden hier die Deckenverkleidungen vernachlässigt. Die vielen verschiedenen Aufbauten wurden zweckmäßig zusammengefasst, wobei darauf geachtet wurde, dass dadurch das Ergebnis nur wenig abgefälscht wird. Dennoch stellen die Ergebnisse gerade für Rainbach aufgrund der Berücksichtigung nur einiges Gebäudeteils und der Zusammenfassung verschiedener Aufbauten zu Default-Aufbauten nur eine grobe Abschätzung dar. Was die Entsorgungskosten und Abbruchkosten betrifft, wurden die Kostenwerte von (Seemann, 2007) mit Entsorgungskosten der Stadt Graz (Holding Graz, 2019) verglichen. Zum Vergleich sind für einige Komponenten die lokalen Entsorgungskosten in der Tabelle 28 gegenübergestellt.

Tabelle 28: Kostenvergleich Defaultwerte in Anlehnung an (Seemann, 2007) und (Holding Graz, 2019)

	Kosten [€/to]
Holz behandelt	50-101
Bauschutt	13 - 90
Glas	60-96 (mit Rahmen); 27 (ohne)
Eisen, Stahl	-500 bis 0
Restmüll	240 -250

Die Gesamtkosten und ihre Aufteilung auf Abbruch, Demontage und Entsorgung sind im Vergleich für die vier Fallstudien in der Abbildung 87 zu sehen. Unter Verwendung der Kostenwerte aus Tabelle 28 ergeben die drei Komponenten Abbruch, Demontage und Entsorgung etwa gleich große Anteile.

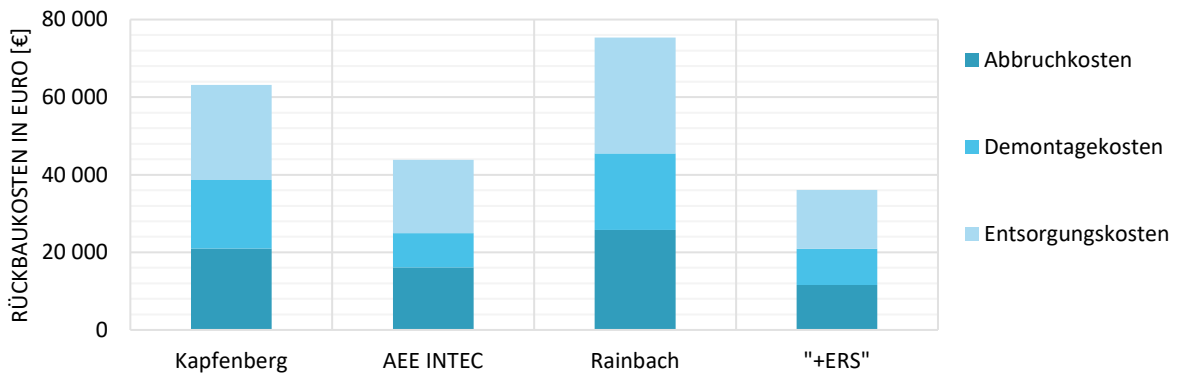


Abbildung 87: Anteile der Rückbaukosten

Abbildung 88 zeigt den Anteil von verschiedenen Materialien in den Gebäuden. Beton stellt in allen Gebäuden den massenmäßig größten Anteil dar.

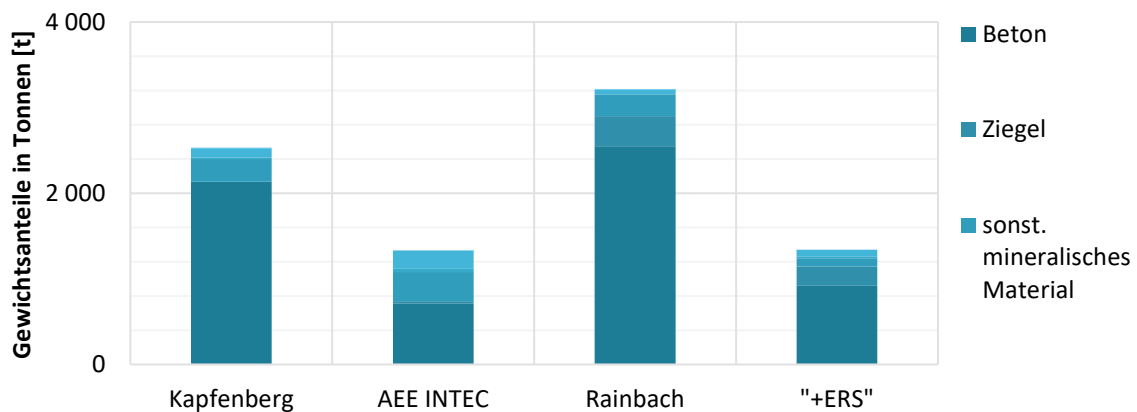


Abbildung 88: Gewichtsanteile von verschiedenen Baustoffen und Komponenten in den Gebäuden

Die Abbruchkosten bezogen auf den jeweiligen Bauteil zeigen einerseits den mengenmäßigen Anteil und andererseits die Kosten pro Volumeneinheit und betragen 18 bis 20 €/m³. Es zeigt sich, dass bei den untersuchten Gebäuden Bodenplatte und Keller sowie die Wände einen großen Teil der Abbruchkosten verursachen.

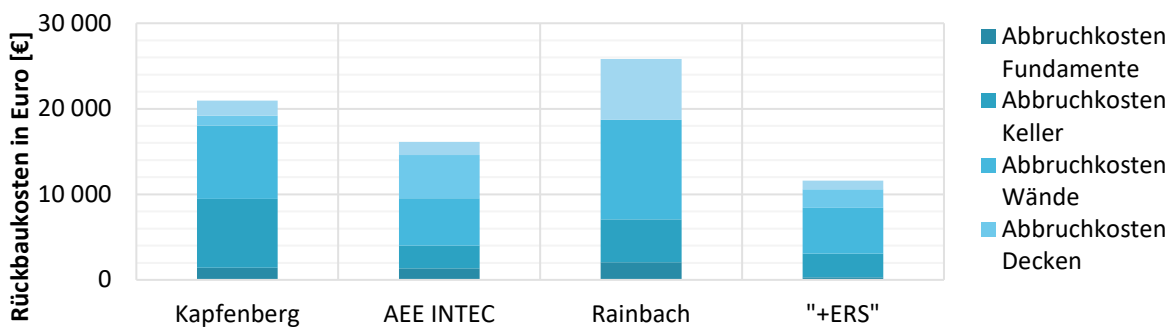


Abbildung 89: Abbruchkosten in Euro (€) bezogen auf die jeweiligen Bauteile

Abbildung 90 stellt die Demontagekosten für den Innenausbau dar. Vor allem Böden, Dämmmaterial (hier wurde das Dämmmaterial der Außenwände erfasst) und je nach Gebäudenutzung Gipskartonplatten stellen bedeutende Anteile dar.

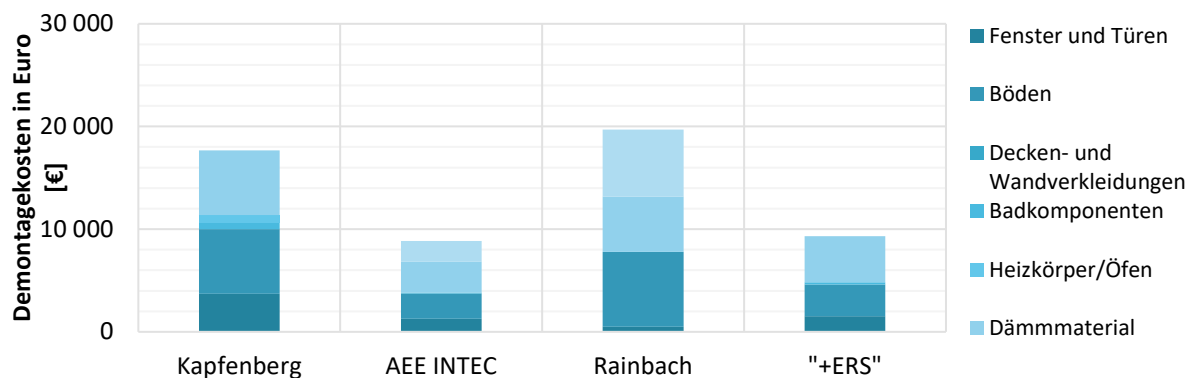


Abbildung 90: Demontagekosten für Innenausbau

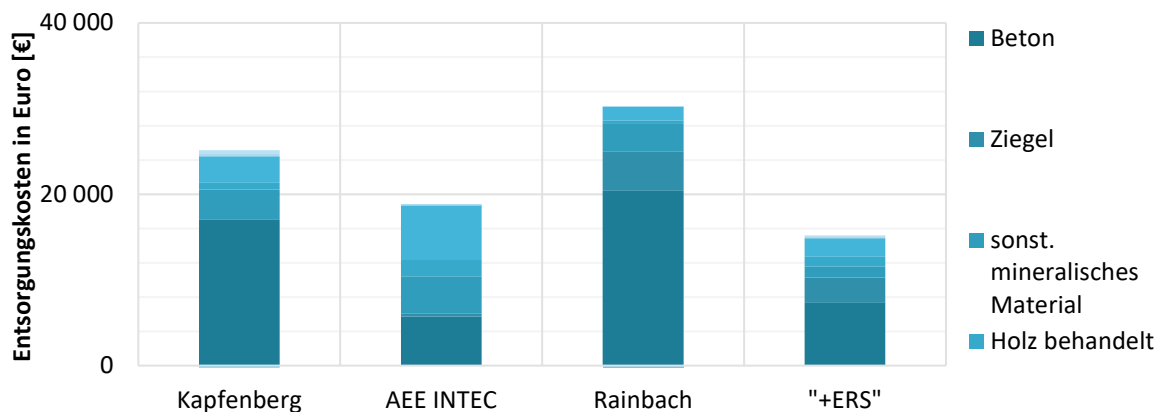


Abbildung 91: Entsorgungskosten

Den größten Anteil der Entsorgungskosten bildet Beton. Metalle stellen eine geringe Einnahme dar, während Glas aufgrund des geringen Masseanteils und der geringen Entsorgungskosten pro Tonne kaum aufscheint. Die enthaltenen Abbruchs- und Entsorgungskosten schwanken zeitlich stark, je nach den Rohstoffpreisen am Markt. Sie dürften auch lokal recht unterschiedlich sein, abhängig von den geltenden Regelungen.

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Energieeffizienz ist wirtschaftlich! Nach dem Vorarlberger Modellprojekt KliNaWo kann nun an weiteren Gebäuden gezeigt werden, dass die Mehrkosten von Effizienzmaßnahmen so gering sind, dass hocheffiziente Gebäude im Lebenszyklus die niedrigsten Kosten verursachen. Mit der nun vorliegenden Untersuchung von sieben Beispielgebäuden mit verschiedenen Nutzungsformen, sowie Neubau und Sanierung, können diese Ergebnisse bestätigt werden. Energieeffizienzmaßnahmen haben nur einen geringen prozentualen Einfluss auf die Errichtungskosten, können aber um ein Vielfaches an CO₂ Emissionen einsparen. Über die Nutzungsphase gesehen sind diese Effizienzmaßnahmen dann meist kostenneutral oder sogar wirtschaftlich.

Im Einzelnen kann folgendes zusammengefasst werden:

- Das Energieniveau hat einen geringen Einfluss auf die Bauwerks- und Errichtungskosten. Die Energieeffizienz ist somit kein wesentlicher Kostentreiber am Bau.
- Die baulichen Mehrkosten energieeffizienter Varianten werden im Lebenszyklus auch ohne Förderung bei den meisten Technologien kompensiert.
- Die Kostenoptima des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen liegen im Bereich von Passivhäusern. Passivhaushülle und hocheffiziente Fenster sind auch ohne Förderung in den meisten Fällen wirtschaftlich. Dies ergibt sich auch aus den langen Lebensdauern dieser Komponenten im Vergleich zur Haustechnik.
- Die Kostenoptima der CO₂-Emissionen sind sehr flach ausgeprägt. Niedrige Emissionen und Energiebedarfe können deshalb, solange die Hülle sehr effizient ist, mit unterschiedlichen Energiekonzepten erreicht werden. Dies bedeutet einen gestalterischen und konzeptionellen Freiraum.
- Die Kosten innerhalb der einzelnen Phasen der neu gebauten Gebäude bewegen sich zwischen $\pm 10\%$. Die beiden Sanierungsprojekte weisen eine etwas höhere Bandbreite auf. Abweichungen von $\pm 18\%$ wurden bei den Untersuchungen festgestellt.
- Zum Einfluss der untersuchten Maßnahmen auf den Kapitalwert lässt sich keine allgemeine Aussage treffen. Einzig zeigt sich durchgängig, dass eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung den Kapitalwert gegenüber der Fensterlüftung zum Teil deutlich erhöht. Die weitere Untersuchung des Einflusses der Maßnahmen auf Primärenergie und CO₂ Emissionen hat gezeigt, dass die Hüllqualität sehr deutlich den Primärenergiebedarf und der Wärmeerzeuger die CO₂ Emissionen beeinflussen. Einfluss auf beide Indikatoren zeigt sich auch bei der Solarthermie, hier speziell im Vergleich dazu wenn keine solarthermische Anlage berücksichtigt wird. Die Auswirkungen der anderen untersuchten Maßnahmen sind nicht durchgängig und erlauben daher keine allgemein gültige Aussage.
- Für die betrachteten Energieeffizienzmaßnahmen sind die untersuchten Indikatoren nicht sehr sensitiv. Am ehesten sind es der Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen. Die Finanzierungskosten und der Barwert sind eher unempfindlich (mit Ausnahme der Fertigteilvariante beim Mehrfamilienhaus e80^{^3}). Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Energieeffizienzmaßnahmen reagieren die ausgewählten Indikatoren aber empfindlich auf Energieversorgungstechnologien. So sind beispielsweise die bilanzierten CO₂-Emissionen sehr empfindlich gegenüber der gewählten Wärmeversorgung.

Es wird gezeigt, dass Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit keine entgegengesetzten Strategien sind, sondern sich sehr gut ergänzen können. Die Variantenauswahl nach Lebenszykluskosten ist daher sinnvoll und sollte verstärkt als Entscheidungskriterium herangezogen werden. Somit können zum einen die Betriebskosten für Vermieter, Mieter und Eigentümer gesenkt werden. Zum anderen können

im gemeinnützigen Wohnbau aus Sicht der Bundesländer spätere finanzielle Belastungen, wie zum Beispiel ein Heizkostenzuschuss für die Bewohner vermieden werden. Damit die Bewertung nach Lebenszykluskosten vermehrt zur Anwendung kommt, müssen die gewonnenen Erkenntnisse, vor allem die Methoden und Berechnungsverfahren, für zukünftige Projekte angepasst und einer breiteren Zielgruppe zugänglich gemacht werden. Da die Ermittlung realer Angebotspreise für eine große Anzahl an Varianten aufwändig ist und nicht immer in der Tiefe dieser Studie möglich ist, sind Kostendatenbanken mit Richtpreisen analog zum BKI hilfreich.

Fördersysteme sollten idealerweise die Leistbarkeit kostenoptimaler und energieeffizienter Gebäude unterstützen. Es ist nachzudenken, ob nicht auch Lebenszykluskosten in diese Fördermodelle mit aufgenommen werden sollten. Zumindest sollten diejenigen Technologien verstärkt gefördert werden, für welche über den Lebenszyklus nachgewiesen wurde, dass sie energetisch und wirtschaftlich gute Lösungen sind. Ein Beispiel hierfür ist die Förderung einer sehr effizienten Gebäudehülle. Parameterstudien bieten eine gute Möglichkeit Zusammenhänge zwischen energetischen und wirtschaftlichen Aspekten einzelner Parameter festzustellen. Deshalb können, vor allem bei der Neuauflage von Fördermodellen, diese anhand von Parameterstudien justiert oder für eine Vielzahl von Varianten getestet werden.

8 Verzeichnisse

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kosteneinsparungs- bzw. Kosteneffizienzmöglichkeiten im Gesamtprozess (Quelle: AEE INTEC)	16
Abbildung 2: Maßnahmen zur Zielerreichung von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden in Anlehnung an (SHC Task 40, 2015)	18
Abbildung 3: Maßnahmen zur Zielerreichung von Null- und Plusenergiegebäuden in Anlehnung an (Ahammer, 2015)	19
Abbildung 4: Erklärung der Funktionsweise der Korrelationsmatrix in Anlehnung an (Löhnert, 2015) – Beeinflussung von Gebäudeparametern und AkteurInnen untereinander	20
Abbildung 5: Korrelationsmatrix in Anlehnung an (Löhnert, 2015) – Beeinflussung von Gebäudeparametern der KoPro LZK + Varianten und den AkteurInnen untereinander	21
Abbildung 6: Musterprozessablauf und Einbindung energierelevanter Maßnahmen im Lebenszyklus von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden in Kooperation mit dem EU- H2020 Projekt CRAVEzero (Meier, 2019)	24
Abbildung 7: Unterschiedliche Betrachtungszeiträume je nach Betrachtungsperspektive (Darstellung: AEE INTEC)	25
Abbildung 8: Unterschiedliche Optimierungskriterien je nach Betrachterperspektive (Darstellung: AEE INTEC in Anlehnung an (Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude; Berechnungsmethoden und Benchmarks für Wohnbau und Immobilienwirtschaft, 2017))	26
Abbildung 9: Unterschiedliche Nutzen je nach Betrachtungsperspektive (eigene Darstellung in Anlehnung an Lützkendorf, 2017)	27
Abbildung 10: Co-benefits von Null- und Plusenergiegebäuden in Anlehnung an (Berggren, Wall and Togerö, 2017)	28
Abbildung 11: Wirtschaftliche Relevanz und Quantifizierbarkeit der Vorteile von Niedrigstenergiegebäuden in Anlehnung an (Bleyl et al., 2017)	28
Abbildung 12: Optimierungsstrategien in der Gegenüberstellung (eigene Darstellung, aufbauend auf (Naboni et al., 2013))	29
Abbildung 13: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zum Ermitteln der kostenoptimalen Lösung (eigene Darstellung)	30
Abbildung 14: Prinzipielle Darstellung der Lebenszykluskosten (eigene Darstellung)	33
Abbildung 15: Mehrfamilienhaus Wolfurt mit 15 Wohnungen (Quelle: Energieinstitut Vorarlberg) ..	40
Abbildung 16: Mehrfamilienhaus Langenegg mit 6 Wohnungen (Quelle: Günter Morscher)	40
Abbildung 17: Mehrfamilienhaus Feldkirch mit 19 Wohnungen (Quelle: Energieinstitut Vorarlberg) ..	41
Abbildung 18: Sanierung Wohnhausanlage e80^3 (Quelle: AEE INTEC)	41
Abbildung 19: Plusenergieverbund Reininghaus (Quelle: Martin Grabner)	42
Abbildung 20: Bürogebäude AEE INTEC (Quelle: AEE INTEC / Gernot Muhr)	42

Abbildung 21: Sanierter NMS Rainbach (archevolution – Arch. Albert B. Böhm und Arch. Ingrid Domenig-Meisinger).....	43
Abbildung 22: Optimierungsprozess und variierte Parameter lt. Tabelle 5	44
Abbildung 23: Interaktive Webauswertung und Ergebnisdarstellung (Quelle: AEE INTEC).....	44
Abbildung 24: Übersicht - Webauswertung und Ergebnisdarstellung (Quelle: AEE INTEC).....	45
Abbildung 25: Filter, Schieberegler und Auswahl der Parameter.....	46
Abbildung 26: Hervorhebung der Parameter der Variante	46
Abbildung 27: Multiple Auswahl von Varianten	47
Abbildung 28: CO ₂ Emissionen der verschiedenen Varianten aller Beispiele dargestellt als box-plot mit Streuung und Verteilung (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO ₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ Keine CO ₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).	48
Abbildung 29: Errichtungskosten (KG 1-9) der verschiedenen Varianten aller Beispiele dargestellt als box-plot mit Streuung und Verteilung.	49
Abbildung 30: Errichtungskosten (KG 1-9) über den CO ₂ Emissionen der Varianten für das MFH Wolfurt (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO ₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ Keine CO ₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).....	50
Abbildung 31: Errichtungskosten (KG 1-9) über den CO ₂ Emissionen der Varianten für alle sieben Beispielgebäude (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO ₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ keine CO ₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).	51
Abbildung 32: Kapitalwert der verschiedenen Varianten aller Beispiele dargestellt als box-plot mit Streuung und Verteilung.....	52
Abbildung 33: Kapitalwert der Lebenszykluskosten über den CO ₂ Emissionen der Varianten für das MFH Wolfurt. Zwei Punktwolken, eine für 30 Jahre Betrachtungszeitraum, die andere für 50 Jahre. (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO ₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ Ohne Berücksichtigung von Förderung / keine CO ₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).....	53
Abbildung 34: Kapitalwert der Lebenszykluskosten über den CO ₂ Emissionen der Varianten für alle sieben Beispielgebäude (Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO ₂ Faktoren OIB RL-6 2015/ Ohne Berücksichtigung von Förderung / keine CO ₂ Gutschrift für eingespeisten Strom).	54
Abbildung 35: Einfluss des Nutzerverhaltens am Beispiel MFH Wolfurt auf die CO ₂ Emissionen und den Kapitalwert.	55
Abbildung 36: Einfluss der Hüllqualität auf die CO ₂ Emissionen bei den sieben untersuchten Beispielgebäuden.....	56
Abbildung 37: Einfluss der Hüllqualität auf die Errichtungskosten (KG 1-9) bei den sieben untersuchten Beispielgebäuden.....	57
Abbildung 38: Kosteneffizienz des Mehrfamilienhauses Wolfurt über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind.....	58
Abbildung 39: Untersuchung des Einflusses der Hüllqualität auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Wolfurt.....	59

Abbildung 40: Untersuchung des Einflusses des Wärmeerzeugers auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Wolfurt.....	59
Abbildung 41: Untersuchung des Einflusses der Solarthermie auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Wolfurt.....	60
Abbildung 42: Analyse des Kapitalwerts bezogen auf die bilanzierten Primärenergiekennwerte von zwei ausgewählten, beispielhaften Technologiekombinationen beim Mehrfamilienhaus Wolfurt	60
Abbildung 43: Analyse des Kapitalwerts bezogen auf die bilanzierten CO ₂ Emissionen von zwei ausgewählten, beispielhaften Technologiekombinationen beim Mehrfamilienhaus Wolfurt.....	61
Abbildung 44: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO ₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus Wolfurt die besten Ergebnisse erzielen.....	62
Abbildung 45 Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber den Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus Wolfurt.....	63
Abbildung 46: Überprüfung der Robustheit des Mehrfamilienhauses Wolfurt durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten	64
Abbildung 47: Kosteneffizienz des Mehrfamilienhauses Langenegg über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind.....	65
Abbildung 48: Untersuchung des Einflusses des Wärmeerzeugers auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Langenegg.....	66
Abbildung 49: Untersuchung des Einflusses der Wärmeverteilung auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Langenegg	66
Abbildung 50: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO ₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus Langenegg die besten Ergebnisse erzielen	67
Abbildung 51: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber den „aktiven Maßnahmen“ beim Mehrfamilienhaus Langenegg	68
Abbildung 52: Kosteneffizienz des Mehrfamilienhauses Feldkirch über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind.....	70
Abbildung 53: Untersuchung des Einflusses der Gebäudekonstruktion auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Feldkirch	71
Abbildung 54: Untersuchung des Einflusses der Art der Wärmeabgabe auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus Feldkirch.....	71
Abbildung 55: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO ₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus Feldkirch die besten Ergebnisse erzielen.....	72

Abbildung 56: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber den Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus Feldkirch.....	73
Abbildung 57: Kosteneffizienz der Mehrfamilienhaussanierung e80^3 über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind.....	74
Abbildung 58: Untersuchung des Einflusses der Art der Lüftung auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim der Sanierung e80^3 in Kapfenberg.....	75
Abbildung 59: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO ₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus e80^3 die besten Ergebnisse erzielen.....	75
Abbildung 60: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber den Maßnahmen der Energieversorgung bei der Sanierung e80^3.....	76
Abbildung 61: Überprüfung der Robustheit der Sanierung e80^3 durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten.....	78
Abbildung 62: Kosteneffizienz des Mehrfamilienhauses +ERS über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind.....	79
Abbildung 63: Untersuchung des Einflusses der Photovoltaikanlage auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Mehrfamilienhaus +ERS.....	80
Abbildung 64: Ermittlung der 25 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO ₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Mehrfamilienhaus +ERS die besten Ergebnisse erzielen.....	80
Abbildung 65: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber den Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus +ERS.....	81
Abbildung 66: Überprüfung der Robustheit des Mehrfamilienhauses +ERS durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten.....	82
Abbildung 67: Kosteneffizienz des Bürogebäudes von AEE INTEC über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind.....	83
Abbildung 68: Untersuchung des Einflusses des Batteriespeichers auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) beim Bürogebäude von AEE INTEC.....	84
Abbildung 69: Ermittlung der 100 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO ₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten beim Bürogebäude von AEE INTEC die besten Ergebnisse erzielen.....	84

Abbildung 70: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber den Varianten der PV Strom Einspeisung beim Bürogebäude von AEE INTEC.....	85
Abbildung 71: Überprüfung der Robustheit des Bürogebäudes von AEE INTEC durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten	86
Abbildung 72: Kosteneffizienz der Sanierung der NMS Rainbach über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes; Bandbreite zwischen den verschiedenen Parametern, die als minimale (min), durchschnittliche und maximale (max) Werte angegeben sind.....	87
Abbildung 73: Untersuchung des Einflusses der Gebäudehülle auf den Kapitalwert, die Primärenergiebilanz (links) und die CO ₂ Bilanz (rechts) bei der Sanierung der NMS Rainbach.....	88
Abbildung 74: Ermittlung der 50 Varianten pro Technologie, die gemäß der definierten Gewichtung von Primärenergiebedarf, CO ₂ Emissionen, Kapitalwert und Finanzierungskosten bei der Sanierung der NMS Rainbach die besten Ergebnisse erzielen.....	88
Abbildung 75: Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwerts, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber den Maßnahmen der Energieversorgung bei der Sanierung der NMS Rainbach	89
Abbildung 76: Überprüfung der Robustheit der Sanierung der NMS Rainbach durch Analyse der Sensitivität der Finanzierungskosten, des Kapitalwertes, der bilanzierten Primärenergie und der bilanzierten CO ₂ Emissionen gegenüber unterschiedlichem Nutzerverhalten.....	90
Abbildung 77: Lageplan für „AEE INTEC“, mit Gebäudegrundrissen und Grundstücksgrenze. Verkehrsflächen, allgemeine Grünflächen und Position des Kanals wurden aus Orthofotos geschätzt. Bearbeitete Daten aus ©GIS Steiermark - 2018.....	92
Abbildung 78: Kumulative Darstellung der Kostenentwicklung pro m ² Energiebezugsfläche, für Infrastruktur und allgemeine Grünflächen von AEE INTEC. Der Zusatz „Bebauung“ bedeutet dass die Kosten für Tätigkeiten auf dem Baugrundstück anfallen, der Zusatz „allgemein“ bedeutet Kosten auf öffentlichen Grundstücken wie Kanalanschluss.	93
Abbildung 79: Lageplan für die Anlage "Plusenergiequartier Reininghaus Süd", mit Gebäudegrundriss und Grundstücksgrenze. Verkehrsflächen, allgemeine Grünflächen und Position des Kanals wurden aus Orthofotos geschätzt. Bearbeiten Daten aus ©GIS Steiermark – 2018.....	94
Abbildung 80: Plusenergiequartier Reininghaus Süd: Kumulative Kostenentwicklung pro m ² Energiebezugsfläche, für Infrastruktur und allgemeine Grünflächen in Anlehnung an (Emrich, 2014).	95
Abbildung 81: Lageplan für die Anlage "Plusenergiesanierung Kapfenberg", mit Gebäudegrundriss und Grundstücksgrenze. Verkehrsflächen, allgemeine Grünflächen und Position des Kanals wurden aus Orthophotos abgeleitet. Bearbeiten Daten aus ©GIS Steiermark – 2018.	95
Abbildung 82: Kumulative Darstellung der Errichtungs- und Erhaltungskosten und Kosten der CO ₂ Kompensation für die ‚Plusenergiesanierung Kapfenberg‘ in Anlehnung an (Emrich, 2014)	96
Abbildung 83: Lageplan für die Anlage "Schule Rainbach", mit Gebäudegrundriss und Grundstücksgrenze. Verkehrsflächen, allgemeine Grünflächen und Position des Kanals wurden aus Orthofotos abgeleitet. Bearbeitete Daten aus ©GIS Oberösterreich – 2018.....	97

Abbildung 84: Darstellung der Erhaltungskosten per Jahr, für Grünflächen und technische Infrastruktur der NMS Rainbach lt. laut ‚Energieausweis für Siedlungen‘.	97
Abbildung 85: Verteilung der Kosten über einen Lebenszyklus von 30 Jahren für die NMS Rainbach in Anlehnung an (Emrich, 2014) -Angaben in € und Prozenten.....	98
Abbildung 86: Vergleich der Fallstudien Sanierung vs. Neubau: Lebenszykluskosten für erschließende Infrastruktur in Anlehnung an (Emrich, 2014).....	98
Abbildung 87: Anteile der Rückbaukosten.....	100
Abbildung 88: Gewichtsanteile von verschiedenen Baustoffen und Komponenten in den Gebäuden	100
Abbildung 89: Abbruchkosten in Euro (€) bezogen auf die jeweiligen Bauteile.....	100
Abbildung 90: Demontagekosten für Innenausbau	101
Abbildung 91: Entsorgungskosten.....	101
Abbildung 92: Bruttostromerzeugung Österreich im Mittel der Jahre 2014 und 2015 (Darstellung: EIV, 2017).....	148
Abbildung 93: Bruttostromerzeugung Österreich, Bedarf Netzbetrieb Österreich, Energetischer Endenergieverbrauch und Nettoimport (Mittelwerte der Jahre 2014 und 2015)	149
Abbildung 94: Monatswerte der CO ₂ eq-Faktoren des österreichischen Verbraucherstrommix im Mittel der Jahre 2014 und 2015 auf Basis der Monatsdaten Betriebsstatistik gem. E-Control Konversionsfaktoren CO ₂ eq für Kraftwerkstypen nach Stolz, (Darstellung: EIV, 2017).....	150

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energiepreise und Energiepreissteigerungen als Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung angegeben in Nettopreisen.	34
Tabelle 2: Zusammenfassung der wichtigsten Wartungskosten und Intervalle.....	35
Tabelle 3: Technische Lebensdauer ausgewählter Positionen.....	36
Tabelle 4: Parameter der definierten, unterschiedlichen Nutzerverhalten.	37
Tabelle 5: Grobe Beschreibung der untersuchten sieben Beispielgebäude und der untersuchten Varianten.....	39
Tabelle 6: Prozentuale Mehrkosten (Mittelwert) bei den Errichtungskosten (KG 1-9) einer Hülle in Passivhausqualität (Außenbauteile + Fenster) im Vergleich zu einer Hülle nach den gesetzlichen Mindestanforderungen	57
Tabelle 7: Medianwerte und Standardabweichungen der vier untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus Wolfurt.....	63
Tabelle 8: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten beim Mehrfamilienhaus Wolfurt.....	64
Tabelle 9: Medianwerte und Standardabweichungen der untersuchten „aktiven Maßnahmen“ beim Mehrfamilienhaus Langenegg	68
Tabelle 10: Medianwerte und Standardabweichungen der untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus Feldkirch.....	73

Tabelle 11: Medianwerte und Standardabweichungen der untersuchten Maßnahmen der Energieversorgung bei der Sanierung e80^3	77
Tabelle 12: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten bei der Mehrfamilienhaussanierung e80^3	78
Tabelle 13: Medianwerte und Standardabweichungen der vier untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen beim Mehrfamilienhaus +ERS	81
Tabelle 14: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten beim Mehrfamilienhaus +ERS	82
Tabelle 15: Medianwerte und Standardabweichungen der vier untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen beim Bürogebäude von AEE INTEC	85
Tabelle 16: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten beim Bürogebäude von AEE INTEC	86
Tabelle 17: Medianwerte und Standardabweichungen der vier untersuchten Energieeffizienzmaßnahmen bei der Sanierung der NMS Rainbach	89
Tabelle 18: Medianwerte und Standardabweichungen der drei untersuchten Nutzerverhalten der Sanierung der NMS Rainbach	90
Tabelle 19: Kostenkennwerte für die Errichtung und Erhaltung von Gebäudeinfrastruktur in Anlehnung an (Emrich, 2014) für das Jahr 2016	92
Tabelle 20: Eingabe der externen und internen Erschließungslängen für den AEE INTEC Büro- und Wohnkomplex	92
Tabelle 21: Randbedingungen für die Berechnung	93
Tabelle 22: Ausgabe von Energieverbrauch und Kosten für die Erschließung von AEE INTEC von Seiten der öffentlichen Hand in Anlehnung an (Emrich, 2014)	93
Tabelle 23: Eingabe der externen Erschließungsflächen für die Siedlung im Plusenergie-Verbund Reininghaus Süd	94
Tabelle 24: Belastung für die öffentliche Erschließung der Siedlung im Plusenergie-Verbund Reininghaus Süd laut ‚Energieausweis für Siedlungen‘	94
Tabelle 25: Externe und interne Erschließungsflächen für die ‚Plusenergiesanierung Kapfenberg‘	95
Tabelle 26: Eingabe der internen und externen Erschließungsflächen für NMS Rainbach	97
Tabelle 27: Zusammenfassung der Errichtung und Erhaltungskosten für die vier analysierten Fallstudien (30 Jahre Betrachtungszeitraum)	98
Tabelle 28: Kostenvergleich Defaultwerte in Anlehnung an (Seemann, 2007) und (Holding Graz, 2019)	99
Tabelle 29: Übersicht über die Varianten von MFH Wolfurt	115
Tabelle 30: Parameter 1 - Hüllqualität	115
Tabelle 31: Parameter 2 - Lüftung	116
Tabelle 32: Parameter 7 –Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreise und der Energiepreissteigerungen	118
Tabelle 33: Übersicht über die Varianten von MFH Langenegg	119
Tabelle 34: Parameter 1 - Hüllqualität	119
Tabelle 35: Parameter 2 - Lüftung	120

Tabelle 36: Parameter 7 – Koeffizienten zur Berechnung der Energiepreissteigerung.....	121
Tabelle 37: Parameter 7 –Energiepreissteigerungen für Strom und Erdgas	122
Tabelle 38: Parameter 12 – Varianten des Batteriespeicherkapazitäten	122
Tabelle 39: Übersicht über die Varianten von MFH Feldkirch (KliNaWo)	124
Tabelle 40: U-Werte und HWB für unterschiedliche Hüllqualität (Parameter 1) und Konstruktion (Parameter 2)	125
Tabelle 41: Wärmebrücken bei unterschiedlicher Hüllqualität (Parameter 1) und Konstruktion (Parameter 2)	125
Tabelle 42: Parameter 2 - Lüftung (Wolfurt)	126
Tabelle 43: Parameter 4 – Wärmepumpe, Nennleistung, Sondenlängen und Sole-Massenstrom	126
Tabelle 44: Parameter 4 – Primärenergiefaktoren und CO2-Emissionsfaktoren	126
Tabelle 45: Parameter 6 – Abhängigkeit der Vorlauftemperatur vom Wärmeabgabesystem	127
Tabelle 46: Parameter 7 – Speichergröße und Wärmeverluste für unterschiedliche Wärmeerzeuger und Kollektorflächen	127
Tabelle 47: Parameter 10 –Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreise und der Energiepreissteigerungen	129
Tabelle 48: Parameter 10 – Energiepreise und Energiepreissteigerung für Holz Pellets und Fernwärme	129
Tabelle 49: Übersicht über die Varianten von MFH e80 ³ (Sanierung).....	131
Tabelle 50: Parameter 1 – Hüllqualität	131
Tabelle 51: Parameter 2 - Lüftung	132
Tabelle 52: Parameter 7 –Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreise und der Energiepreissteigerungen	133
Tabelle 53: Parameter 7 – Energiepreis und Energiepreissteigerung für Fernwärme	133
Tabelle 54: Übersicht über die Varianten von MFH +ERS	135
Tabelle 55: Parameter 1 – Hüllqualität	135
Tabelle 56: Parameter 2 - Lüftung	136
Tabelle 57: Parameter 7 –Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreise und der Energiepreissteigerungen	137
Tabelle 58: Übersicht über die Varianten von Bürogebäude AEE.....	138
Tabelle 59: Parameter 1 – Hüllqualität	138
Tabelle 60: Parameter 2 - Lüftung	139
Tabelle 61: Parameter 8 –Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreise und der Energiepreissteigerungen	140
Tabelle 62: Parameter 8 – Energiepreis und Energiepreissteigerung für Fernwärme	141
Tabelle 63: Übersicht über die Varianten von Schulgebäude Rainbach	142
Tabelle 64: Parameter 1 – Hüllqualität	142
Tabelle 65: Parameter 2 - Lüftung	143
Tabelle 66: Parameter 8 –Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreise und der Energiepreissteigerungen	144

Tabelle 67: Parameter 8 – Energiepreise und Energiepreissteigerung für Hackschnitzel und Fernwärme	145
--	-----

8.3 Literaturverzeichnis

- Achammer, C. M. (2015) 'Forschungsbereich Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung / research centre of industrial building and interdisciplinary planning', in *Die Fakultät für Bauingenieurwesen/The Faculty of Civil Engineering*. doi: 10.7767/9783205202264-029.
- Berggren, B., Wall, M. und Togerö, Å. (2017) 'Profitable Net ZEBs – How to break the traditional LCC analysis', in *International Conference on Energy, Environment and Economics (ICEEE)*.
- BKI, *BKI Baukosten 2015 Neubau: Statistische Kostenkennwerte für Gebäude Teil 1*, Bd. Teil 1. Stuttgart: BKI-Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, 2015.
- Bleyl, J. W. et al. (2017) 'Building deep energy retrofit : Using dynamic cash flow analysis and multiple benefits to convince investors', *ECEEE Summer Study Proceedings*.
- Emrich, H. (2014) *Energieausweis für Siedlungen - Handbuch*. Verfügbar unter: <http://www.energieausweis-siedlungen.at/>
- Energieinstitut Vorarlberg (2017). *Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechner econ calc* (2017). Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg. Verfügbar unter: <http://www.energieinstitut.at/unternehmen/werkzeugkasten/wirtschaftlichkeitsrechner-econ-calc/>
- EU Commission (2018) *RICHTLINIE (EU) 2018/844 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES*. S. 17. Verfügbar unter: http://www.enev-online.de/epbd/2018/epbd_update_2018.06.19._deutscher_text.pdf
- Holding Graz (2019) *Übersicht über Gebühren/Tarife/Preise*. Verfügbar unter: <https://www.holding-graz.at/abfall/gebuehrentarifepreise.html> (Zugegriffen: 1.März 2019).
- Löhnert, G. (2015) 'PLENAR - Planungshilfe aus der Praxis', *Xia - intelligente architektur 04-06 2015*, S. 18–22.
- Long, N. L. et al. (2014) *Scaling Building Energy Modeling Horizontally in the Cloud with OpenStudio*. NREL (National Renewable Energy Laboratory (NREL)). Verfügbar unter: <http://www.osti.gov/scitech/biblio/1226251>. (Zugegriffen: 12.August 2016).
- Lützkendorf T. und Enseling A. (2017) „Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude; Berechnungsmethoden und Benchmarks für Wohnbau und Immobilienwirtschaft“. BINE Informationsdienst; FIZ Karlsruhe - Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH. Bonn. Verfügbar unter: <http://www.bine.info/publikationen/publikation/wirtschaftlichkeit-energieoptimierter-gebaeude/>
- Meier, K. (2019) *CRAVEzero, Horizon 2020 Project CRAVEzero Deliverable 3.1 Processes*. Available at: www.cravezero.eu (Zugegriffen: 1.März 2019).

Naboni, E. *et al.* (2013) 'Extending the use of parametric simulation in practice through a cloud based online service', in.

'ÖNORM B 1801-1: Bauprojekt- und Objektmanagement Teil 1: Objekterrichtung' (2009). Austrian Standards.

'ÖNORM B 1801-2: Bauprojekt- und Objektmanagement Teil 2: Objekt-Folgekosten' (2011). Austrian Standards.

'ÖNORM B 1801-4: Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Gebäudelebenszykluskosten' (2014). Austrian Standards.

Österreichisches Institut für Bautechnik (2015) *OiB-Richtlinie 6 2015 - Energieeinsparung und Wärmeschutz*. Verfügbar unter: https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf

Passivhaus Institut (2015). PHPP 9.2 Passivhausprojektierungspaket. Darmstadt: Passivhaus Institut.

Ploss M. und Hatt T. (2017) 'Modellvorhaben „KliNaWo“ Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau' (2017) in *Themenband Session 5*. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg.

Republik Österreich (2018) *Abfallwirtschaftsbericht: Parlamentskorrespondenz Nr. 237 vom 12.03.2018*. Verfügbar unter: https://www.parlament.gv.at/PAKT/PR/JAHR_2018/PK0237/ (Zugegriffen: 1.März 2019).

Seemann, A. (2007) 'Kostenermittlung für Rückbau- und Abbrucharbeiten - Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe (TH)'.

SHC Task 40 (2015) 'Net Zero Energy Solar Buildings', *lea*, 40 (June). Verfügbar unter: <http://task40.iea-shc.org/>

Sommer, H. (2016) *Projektmanagement im Hochbau, Projektmanagement im Hochbau*. doi: 10.1007/978-3-662-48924-6.

Statistik Austria (2018) 'Baukostenindex'. Verfügbar unter: http://www.statistik.gv.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/baukostenindex/index.html

Statistik Austria (2018) 'Baupreisindex'. Verfügbar unter: http://www.statistik.gv.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/baupreisindex/index.html

Trebut, F. (2015) *Zertifizierung von Siedlungen / Quartieren*. Wien. Verfügbar unter: <https://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebaeuedeklaration/zertsied.html>.

'VDI 2067 Blatt 1 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung' (2012). Verein Deutscher Ingenieure.

Vorarlberger Landesregierung. *93. Verordnung der Landesregierung über die technischen Erfordernisse von Bauwerken (Bautechnikverordnung – BTV) 2017* (2016). S.17. Verfügbar unter: www.ris.bka.gv.at

Wetter, M. (2001) 'GenOpt® -- A Generic Optimization Program', in. gehalten auf der IBPSA's Building Simulation.

8.4 Abkürzungsverzeichnis

ARCH	-	Architekt/-in
BGF	m ²	Bruttogeschossfläche
BPH	-	Bauphysiker/-in
E	-	Elektriker/-in
EBF	m ²	Energiebezugsfläche
FBH	-	Fußbodenheizung
FK	-	Flachkollektor
GW	-	Grundwasser
HH	-	Haushalt
HK	-	Heizkessel
HHS	-	Haushaltsstrom
HKLS		Heizung, Kühlung, Lüftung, Sanitär
HS	-	Hilfsstrom
HT	-	Wärmeerzeugung
HZG	-	Heizung
KG	-	Kostengruppe
LFM	m	Laufmeter
LZK	€	Lebenszykluskosten
MFH	-	Mehrfamilienwohnhaus
PE	kWh/(m ² a)	Primärenergiebedarf
PV	-	Photovoltaik
RK	-	Röhrenkollektor
Statik	-	Statiker/-in
STB	-	Stahlbeton
TG	-	Tiefgarage
TGA	-	technische Gebäudeausrüstung
TWP	-	Tragwerksplanung
VE	-	Volleinspeiser
WDVS	-	Wärmedämmverbundsystem
WNF	m ²	Wohnnutzfläche
WP	-	Wärmepumpe
WRG	%	Wärmerückgewinnungsgrad
WW	-	Warmwasser

8.5 Acknowledgement

Die Untersuchungsergebnisse in Kapitel 2.2 und 2.3 sind Teil der Masterarbeit „Akteursbezogene Handlungsfelder zur Prozessoptimierung von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden“ von Regina Höfler. Diese Kapitel wurden im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit selbstständig verfasst.

Anhang

Anhang I: Übersicht aller untersuchten Varianten

Im folgenden Anhang sind die einzelnen Parameter, sowie deren Niveaus, der sieben untersuchten Beispielgebäude beschrieben.

MFH Wolfurt

Die variierten Parameter, sowie ihre zugehörigen Niveaus, sind in Tabelle 29 zu finden. Die einzelnen Niveaus wurden, sofern sinnvoll, miteinander kombiniert. Als Raumtemperatur wurde im Heizfall für alle Varianten, gemäß des Niveaus des Nutzerverhaltens (Parameter 9) zwischen 21, 22 und 23 °C variiert. Im Folgenden werden die Parameter und ihre zugehörigen Niveaus im Detail erläutert.

Tabelle 29: Übersicht über die Varianten von MFH Wolfurt

Nr.	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
1	Hüllqualität	PH	BTV		-	-
2	Lüftung	Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung	-	-	-
3	Wärmeerzeuger	GW-WP	Sole-WP	Luft WP	Elektrisch dezentral	Gas-Brennwertkessel
4	Wärmeverteilung	Keine	4-Leiter	2-Leiter	2-Leiter 35°C	
5	Solarthermie	Keine	40 m ² FK	70 m ² FK	70 m ² GK	-
6	PV Erzeugung	Keine	14,7 kW _{peak}	30 kW _{peak}	-	-
7	Haushaltstrom	20	30	40		
8	Eigenstromnutzung	VE	ÜE,HT _{opt} +H H	-	-	-
9	Nutzerverhalten	Durchschnittlich	Ideal	Effizient		
10	Sensitivität	Standard	Hoch	Niedrig	-	-
11	Betrachtungszeitraum	30 Jahre	50 Jahre	-	-	-

Parameter 1 - Hüllqualität

Der Parameter 1 Hüllqualität umfasst die Änderung der Dämmstärke der Außenwände und der Decken, sowie deren U-Werte und g-Werte der Fenster, mit 2 unterschiedlichen Niveaus, PH und BTV. In Tabelle 30 sind die beiden Niveaus zusammengefasst.

Tabelle 30: Parameter 1 - Hüllqualität

	Position	Einheit	PH	BTV
Außenwände	Dämmstärke	mm	280	95
	U-Wert	W/(m ² K)	0,132	0,324
Decke	Dämmstärke	mm	400	200
	U-Wert	W/(m ² K)	0,101	0,174
Fenster	g-Wert	-	0,51	0,43
	U-Wert	W/(m ² K)	0,53	0,7

Parameter 2 - Lüftung

Der Parameter 2 Lüftung beschreibt zwei unterschiedliche Lüftungssysteme: Kontrollierte Be – und Entlüftung, sowie Fensterlüftung. In der Tabelle 44 sind die Auslegungsdaten der Lüftungssystemvarianten dargestellt.

Tabelle 31: Parameter 2 - Lüftung

	Einheit	Be- und Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung
Mittlerer Luftaustausch	m ³ /h	920	602
Mittlerer Luftwechsel	1/h	0,30	0,20
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Gerät	%	82,2	0
Spezifische Leistungsaufnahme	Wh/m ³	0,45	0

Parameter 3 - Wärmeerzeuger

Der Parameter 3 Wärmeerzeuger beschreibt die variierten Wärmeerzeuger. Niveau 1 beschreibt eine Grundwasserwärmepumpe mit einer Leistung von 18,4 kW (W10/W35). Das Niveau 2 beinhaltet eine Wärmepumpe mit einer Nennleistung von 13,65 kW (B0/W35) mit einer Erdreichsonde als Wärmequelle. Die Erdsonde hat eine Länge von 320 m und als Bodentyp wurde „Sandboden, 13 % Feuchte“ gewählt (Bodentyp B im PHPP). Niveau 3 ist eine Außenluftwärmepumpe mit einer Nennleistung von 10,9 kW (A-7/W35). Das Niveau 4 beinhaltet eine dezentrale elektrische Wärmeerzeugung für das Warmwasser und die Heizung. Bei Niveau 5 kommt ein Gas-Brennwertgerät mit einer Nennleistung von 15 kW zum Einsatz. Alle Varianten der Wärmeerzeuger haben mindestens einen kombinierten Speicher für Warmwasser und Heizung, die Kombination Wärmepumpe mit Parameter 4- Wärmeverteilsystem mit Vierleitertechnik (Niveau 2) besitzt zusätzlich noch einen weiteren Pufferspeicher für die Heizung. Die Mindestgröße des Speichers ist 1280 Liter und davon abhängig ob elektrisch dezentral geheizt (Niveau 4) wird und zugleich keine Solarthermie vorhanden ist, sonst 3850 Liter. Die Maximalgröße des Speichers ist bestimmt von Parameter 5 – Solarthermie, bei 70 m² Kollektorfläche erhöht sich das Speichervolumen auf insgesamt 7160 Liter. Der Primärenergiefaktor für Erdgas beträgt 1,2, der CO₂-Emissionsfaktor beträgt 0,236. Die Konversationsfaktoren für Strom sind im Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom zu finden.

Parameter 4 – Wärmeverteilung

Bei der Wärmeverteilung des Warmwassers wurden vier Niveaus variiert. Beim Niveau 1 ist kein Wärmeverteilsystem für Heizung definiert, für Warmwasser wurde eine Verteilleitung ohne Zirkulation angenommen. Das Niveau 2 beschreibt Verteilleitungen für die Heizung (35 °C Auslegungstemperatur) mit einem 4-Leiter Zirkulationssystem (18 h/d Betriebszeit) für Warmwasser (60 °C Auslegungstemperatur). Beim Niveau 3 wurde ein 2-Leiter Wärmeverteilsystem definiert mit einem Zirkulationssystem mit 50 °C Auslegungstemperatur (10 h/d Betriebszeit). Die Vorlauftemperatur des 2-Liter Zirkulationssystems (10 h/d Betriebszeit) wurde beim Niveau 4 auf 35 °C gesenkt, die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral elektrisch.

Parameter 5 – Solarthermie

Es wurden vier Niveaus betrachtet, keine Solarthermie (Niveau 1), Solarthermie mit 40 m² Flachkollektorfläche (Niveau 2), sowie 70 m² Kollektorfläche jeweils mit Flachkollektoren (Niveau 3) oder Röhrenkollektoren (Niveau 4). Bei allen Varianten mit Solarthermie wird diese sowohl zur Warmwasserbereitung, als auch zur Heizungsunterstützung genutzt. Die Kollektoren waren auf der Dachfläche nach Süden ausgerichtet mit einem Winkel von 35 ° zur Horizontalen. Es wurde keine Verschattung von umliegenden Objekten angenommen. Der Parameter Solarthermie bestimmt weiters die Wärmeverlustrate des/der Wasserspeicher. Im Falle von keiner Solarthermie und Elektrisch dezentral ergibt sich die Wärmeverlustrate zu 4,1 W/K, ohne Elektrisch dezentral zu 2,7 W/K, wie auch bei den Varianten mit 40 m² Kollektorfläche. Bei 70 m² Kollektorfläche betragen die Wärmeverlustrate 3,5 W/K.

Parameter 6 -PV

Bei der PV-Eigenstromerzeugung wurden drei Niveaus unterschieden, keine PV-Module, 49 PV-Module mit einer Gesamtleistung von 14,7 kW_{peak} und 100 PV-Module mit einer Gesamtleistung von 30,0 kW_{peak}. Die Ausrichtung der PV Module auf der Dachfläche war nach Süden mit einem Winkel von zehn Grad zur Horizontalen. Der erzeugte Strom wurde an das Tool PVopti⁸ übergeben um den Eigenverbrauch an Strom, bzw. auch die Einspeisung von Überschussstrom, monetär bewerten zu können.

Parameter 7 - Haushaltsstrom

Neben den bereits definierten Haushaltstromverbrauch (Waschen, Kochen, Kühlen, Beleuchtung) wurde ein zusätzlicher Haushaltstromverbrauch für drei Niveaus definiert. 20 kWh/(m²a) für Niveau 1, 30 kWh/(m²a) für Niveau 2 und 40 kWh/(m²a) für Niveau 3.

Parameter 8 – Eigenstromnutzung

Bei der Eigenstromnutzung wird zwischen zwei Niveaus unterschieden. Bei der Volleinspeisung wird der gesamte erzeugte Strom in das Netz gespeist, welcher mit der definierten Einspeisevergütung abgegolten ist (siehe Anhang II: Berücksichtigung von PV-Erträgen). Die Wärmeerzeugung für Warmwasserbereitung und Heizung ist beim Niveau 1 Tags- und Nachtsüber eingeschaltet. Beim Niveau 2 werden vorhandene PV-Erträge zur Wärmeerzeugung (nur Tagsüber), Lüftung, Geräte, Beleuchtung und Gebäudetechnik eingesetzt und die Eigenverbrauchrate im ECONcalc berücksichtigt.

Parameter 9 - Nutzerverhalten

Beim Parameter 9 wurde die Raumtemperatur (21,22 und 23 °C) , der Warmwasserbedarf (25, 30 und 35 l/Pers/d), eine zusätzliche Fensterlüftung (Luftwechsel 0, 0,05 und 0,1) , als auch eine nicht optimale Nutzung der Verschattungseinrichtungen (0%, 10% und 20%) variiert. Eine Übersicht ist in Tabelle 4 zu finden.

⁸ PVopti Tool zum Berechnen des Eigenverbrauchs von Gebäuden auf Stundenbasis.
<http://www.annex67.org/publications/software/pvopti/>

Parameter 10 – Sensitivität

Der Parameter Sensitivität beschreibt in drei Niveaus die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und des Grundpreises (b) für die Energieträger Strom, Wärmepumpenstrom und Erdgas, welche für die Berechnung der mittleren Energiepreissteigerung benötigt werden. Die Steigerung des Preises (y^*), bzw. die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) wird getrennt von Arbeits- und Grundpreis nach den folgenden Gleichungen berechnet. Der Energiepreis (y^*) setzt sich dabei aus dem Energieverbrauch (x) der jeweiligen Variante, dem Arbeitspreis (y) und dem Grundpreis (z) zusammen. Die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) beinhaltet zusätzlich die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und die Preissteigerung des Grundpreises (b), wobei diese für alle Energieträger ident sind. Die Koeffizienten der Gleichungen für die unterschiedlichen Niveaus sind in Tabelle 32, Tabelle 36 zusammen mit der Steigerung der Einspeisevergütung, dargestellt.

$$y^* = \frac{x \cdot y + z}{x}$$

$$a^* = \frac{x \cdot y \cdot a + z \cdot b}{x \cdot y + z}$$

Tabelle 32: Parameter 7 – Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreises und der Energiepreissteigerungen

	Variable	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
Arbeitspreis – Erdgas	y_E	€/kWh	-	0,0438	-
Grundpreis – Erdgas	z_E	€	-	76,2	-
Arbeitspreis – Strom	y_S	€/kWh	-	0,11755	-
Grundpreis – Strom	z_S	€	-	98,56	-
Arbeitspreis – Wärmepumpenstrom	y_W	€/kWh	-	0,09658	-
Grundpreis - Wärmepumpenstrom	z_W	€	-	54,83	-
Preissteigerung Arbeitspreis	a	%	0,7	1,7	2,7
Preissteigerung Grundpreis	b	%	2,0	3,0	4,0
Einspeisevergütung Strom	-	€/kWh	-	0,025	-
Preissteigerung Einspeisevergütung Strom	-	%	0,7	1,7	2,7

Parameter 11 – Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum wurde variiert zwischen 30 Jahren (Niveau 1) und 50 Jahren (Niveau 2). Dieser Parameter hat Einfluss auf notwendige Reinvestitionen und damit auf den Restwert und zuletzt auf den Kapitalwert, welcher die Summe aller auftretenden Kosten und Gewinne darstellt.

MFH Langenegg

Die variierten Parameter, sowie ihre zugehörigen Niveaus, sind in Tabelle 46 zu finden. Die einzelnen Niveaus wurden, sofern sinnvoll, miteinander kombiniert. Als Raumtemperatur wurde im Heizfall für alle Varianten 22 °C gewählt. Im Folgenden werden die Parameter und ihre zugehörigen Niveaus im Detail erläutert.

Tabelle 33: Übersicht über die Varianten von MFH Langenegg

Nr.	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
1	Hüllqualität	PH	BTV		-
2	Lüftung	Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG	Abluft	Fensterlüftung	-
3	Wärmeerzeuger	Gas-Brennwertkessel	Sole-WP	Luft WP	
4	Wärmeverteilung	60°C – 24h	50°C – 9h	-	
5	Solarthermie	Keine	30 m ² FK	52 m ² FK	-
6	PV Erzeugung	Keine	5,3 kW _{peak}	10,7 kW _{peak}	-
7	Tarifmodell	Derzeitiger Tarif	Leistungsstarif	-	-
8	Eigenstromnutzung	VE	ÜE, HT	ÜE,HT _{opt}	ÜE,HT _{opt} +HH
9	Fördermodell	Keine Förderung	Fördermodell	-	-
10	Sensitivität	Standard	Hoch	Niedrig	-
11	Betrachtungszeitraum	30 Jahre	50 Jahre	-	-
12	Batteriespeicher	Keiner	PVx1	PVx1,5	-

Parameter 1 - Hüllqualität

Der Parameter 1 Hüllqualität umfasst die Änderung der Dämmstärke der Außenwände und der Decken, sowie deren U-Werte und g-Werte der Fenster, mit 2 unterschiedlichen Niveaus, PH und BTV. In Tabelle 34 sind die beiden Niveaus zusammengefasst.

Tabelle 34: Parameter 1 - Hüllqualität

	Position	Einheit	PH	BTV
<i>Außenwände</i>	Dämmstärke	mm	300	150
	U-Wert	W/(m ² K)	0,119	0,196
<i>Decke</i>	Dämmstärke	mm	450	180
	U-Wert	W/(m ² K)	0,084	0,203
<i>Fenster</i>	g-Wert	-	0,53	0,43
	U-Wert	W/(m ² K)	0,51	0,7

Parameter 2 - Lüftung

Der Parameter 2 Lüftung beschreibt drei unterschiedliche Lüftungssysteme: Mechanische Abluft, Kontrollierte Be – und Entlüftung, sowie Fensterlüftung. In der Tabelle 35 sind die Auslegungsdaten der Lüftungssystemvarianten dargestellt.

Tabelle 35: Parameter 2 - Lüftung

	Einheit	Be- und Abluft Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung
Mittlerer Luftaustausch	m ³ /h	383	220
Mittlerer Luftwechsel	1/h	0,35	0,20
Abluft Überschuss (nur bei Abluft)	1/h	0,00	0,00
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Gerät	%	68,7	0
Spezifische Leistungsaufnahme	Wh/m ³	0,25	0

Parameter 3 - Wärmeerzeuger

Der Parameter 3 Wärmeerzeuger beschreibt die variierten Wärmeerzeuger. Dabei kommt ein Gas-Brennwertgerät mit einer Nennleistung von 15 kW zum Einsatz mit einem gemeinsamen Wasserspeicher für Heizung und Warmwasser (1500 Liter). Das Niveau 2 beinhaltet eine Wärmepumpe mit einer Nennleistung von 9 kW (B0/W35) mit einer Erdreichsonde als Wärmequelle. Die Erdsonde hat eine Länge von 268 m und als Bodentyp wurde „Lehm, 36 % Feuchte“ gewählt (Bodentyp D im PHPP). Das Niveau 3 ist eine Außenluftwärmepumpe mit einer Nennleistung von 8,2 kW (A-7/W35). Bei beiden Wärmepumpensystemen wurden getrennte Speicher für Warmwasser und Heizung (Gesamtvolumen 1500 Liter) vorgesehen. Der Primärenergiefaktor für Erdgas beträgt 1,2, der CO₂-Emissionsfaktor beträgt 0,236. Die Konversionsfaktoren für Strom sind im Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom zu finden.

Parameter 4 – Wärmeverteilung

Bei der Wärmeverteilung des Warmwassers wurden zwei Niveaus variiert. Niveau 1 ist ein Zirkulationssystem mit einer Auslegungstemperatur von 60 °C. Das Niveau 2 wurde als Zirkulationssystem mit einer Auslegungstemperatur von 50 °C abgebildet, welches neun Stunden am Tag in Betrieb ist.

Parameter 5 – Solarthermie

Es wurden drei Niveaus betrachtet, keine Solarthermie und Solarthermie mit 30 m², sowie 52 m² Kollektorfläche zur Heizungsunterstützung. Bei Niveau 1 wurde das Speichervolumen bei 1500 Litern belassen und eine Wärmeverlustrate von 4,7 W/K angenommen. Bei den Niveaus 2 und 3 wurde das Speichervolumen auf 3000 Liter erhöht und die Wärmeverlustrate des Speichervolumens auf 6 W/K angepasst. Die Flachkollektoren waren nach Süden ausgerichtet und vertikal angeordnet. Es wurde keine Verschattung von umliegenden Objekten angenommen.

Parameter 6 -PV

Bei der PV-Eigenstromerzeugung wurden drei Niveaus unterschieden, keine PV-Module, 26 PV-Module mit einer Gesamtleistung von 5,3 kW_{peak} und 52 PV-Module mit einer Gesamtleistung von 10,7 kW_{peak}. Die Ausrichtung der PV Module war nach Süden mit einem Winkel von sechzehn Grad zur

Horizontalen. Der erzeugte Strom wurde an das Tool PVopti⁹ übergeben um den Eigenverbrauch an Strom, bzw. auch die Einspeisung von Überschussstrom, monetär bewerten zu können.

Parameter 7 – Tarifmodell

Der Parameter 7 beschreibt das derzeitige Tarifmodell für den Strombezug (Niveau 1), sowie ein Leistungstarifmodell (Niveau 2) für Strombezug, für Erdgas wird nur ein Tarifmodell verwendet. Dabei wird die Steigerung des Preises (y^*), bzw. die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) getrennt von Arbeits- und Grundpreis nach den folgenden Gleichungen berechnet. Der Energiepreis (y^*) setzt sich dabei aus dem Energieverbrauch (x) der jeweiligen Variante, dem Arbeitspreis (y) und dem Grundpreis (z) zusammen. Die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) beinhaltet zusätzlich die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und die Preissteigerung des Grundpreises (b). Die Preissteigerungen sind Teil des Parameters 10 – Sensitivität. Die Koeffizienten der Gleichungen für die unterschiedlichen Niveaus sind in Tabelle 36 abgebildet (ausgenommen des variantenspezifischen Energieverbrauches an Strom und Erdgas).

$$y^* = \frac{x \cdot y + z}{x}$$

$$a^* = \frac{x \cdot y \cdot a + z \cdot b}{x \cdot y + z}$$

Tabelle 36: Parameter 7 – Koeffizienten zur Berechnung der Energiepreissteigerung

	Variable	Einheit	Derzeitiges Tarifmodell	Leistungs- Tarifmodell	Erdgas
<i>Arbeitspreis</i>	y	€/kWh	0,11755	0,09935	0,0438
<i>Grundpreis</i>	z	€	689,92	710,79	76,2

Parameter 8 – Eigenstromnutzung

Bei der Eigenstromnutzung wird zwischen vier Niveaus unterschieden. Bei der Volleinspeisung wird der gesamte erzeugte Strom in das Netz gespeist, welcher mit der definierten Einspeisevergütung abgegolten ist (siehe

⁹ PVopti Tool zum Berechnen des Eigenverbrauchs von Gebäuden auf Stundenbasis.
<http://www.annex67.org/publications/software/pvopti/>

Anhang II: Berücksichtigung von PV-Erträgen). Die Wärmeerzeugung für Warmwasserbereitung und Heizung ist beim Niveau 1 Tags- und Nachtsüber eingeschaltet. In allen weiteren Niveaus wird die Eigennutzung des erzeugten PV-Stromes durch den Eigenverbrauch (Warmwasser, Lüftung, Geräte, Beleuchtung und Gebäudetechnik) mitbilanziert. Die berechnete Eigenverbrauchsrate wird dabei im ECONcalc mitberücksichtigt. Bei Niveau 2 ist die Wärmeerzeugung Tags- und Nachtsüber eingeschaltet, wobei ein vorhandener Batteriespeicher nur zur Deckung des Strombedarfs bei der Wärmeerzeugung, Lüftung und Gebäudetechnik verwendet wird. Niveau 3 entspricht Niveau 2 bis auf den Zeitpunkt der Wärmeerzeugung, welche hier nur Tagsüber durchgeführt wird. Beim Niveau 4 ist die Wärmeerzeugung nur Tagsüber eingeschaltet, wobei ein vorhandener Batteriespeicher zur Deckung des Strombedarfs bei der Wärmeerzeugung, Lüftung, Geräte, Beleuchtung und Gebäudetechnik eingesetzt wird.

Parameter 9 – Fördermodell

Beim Niveau 1 wird keine Förderung für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit angewendet. Beim Niveau 2 wird die Wohnbauförderung, sowie die Energieförderung (Stand 2017) berücksichtigt.

Parameter 10 – Sensitivität

Der Parameter Sensitivität beschreibt die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und des Grundpreises (b) für die Energieträger Strom und Erdgas (beide ident), welche für die Berechnung der mittleren Energiepreissteigerung (Parameter 7 – Tarifmodell) benötigt werden. Weiters ist in Tabelle 37 die Steigerung der Einspeisevergütung zu finden.

Tabelle 37: Parameter 7 –Energiepreissteigerungen für Strom und Erdgas

	Variable	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
<i>Preissteigerung Arbeitspreis</i>	a	%	0,7	1,7	2,7
<i>Preissteigerung Grundpreis</i>	b	%	2,0	3,0	4,0
<i>Einspeisevergütung Strom</i>	-	€/kWh	-	0,025	-
<i>Preissteigerung Einspeisevergütung Strom</i>	-	%	0,7	1,7	2,7

Parameter 11 – Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum wurde variiert zwischen 30 Jahren (Niveau 1) und 50 Jahren (Niveau 2). Dieser Parameter hat Einfluss auf notwendige Reinvestitionen und damit auf den Restwert und zuletzt auf den Kapitalwert, welcher die Summe aller auftretenden Kosten und Gewinne darstellt.

Parameter 12 – Batteriespeicher

Es wurden 3 Niveaus von Batteriespeichern variiert, wobei die Kapazität des Batteriespeicher mit dem Parameter 6 PV gekoppelt ist. Diese Variationen des Batteriespeicherkapazitäten sind in Tabelle 38 dargestellt. Die Varianten ohne PV in Kombination mit einem Batteriespeicher wurden nicht betrachtet. Die Eigenverluste des Batteriespeichers, welche in PVopti berechnet wird, wurde im ECONcalc als Eigenverbrauch berücksichtigt.

Tabelle 38: Parameter 12 – Varianten des Batteriespeicherkapazitäten

Parameter 6	Parameter 12	Batteriespeicher- kapazität
<i>Keine</i>	Keiner	0 kWh
<i>5,7 kW_{peak}</i>	PVx1	5,7 kWh
<i>5,7 kW_{peak}</i>	PVx1,5	7,95 kWh
<i>10,7 kW_{peak}</i>	PVx1	10,7 kWh
<i>10,7 kW_{peak}</i>	PVx1,5	16,05 kWh

MFH KliNaWo

Die variierten Parameter, sowie ihre zugehörigen Niveaus, sind in Tabelle 39 zu finden. Die einzelnen Niveaus wurden, sofern sinnvoll, miteinander kombiniert. Als Raumtemperatur wurde im Heizfall für alle Varianten 22 °C gewählt. Im Folgenden werden die Parameter und ihre zugehörigen Niveaus im Detail erläutert.

Tabelle 39: Übersicht über die Varianten von MFH Feldkirch (KliNaWo)

Nr.	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
1	Hüllqualität	PH	BTV			-
2	Konstruktion	Massivbau	WDVS	Mischbau	Holzbau	
3	Lüftung	Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG	Abluft	-		-
4	Wärmeerzeuger	Pellet Kessel	Gas-Brennwertkessel	Fernwärme	Sole-WP	
5	Wärmeverteilung	2-Leiter	2-Leiter 35 °C	Rohr-in-Rohr	4-Leiter	
6	Wärmeabgabe	FBH	HK			
7	Solarthermie	Keine	49 m ² FK	102 m ² FK	90 m ² RK	-
8	PV Erzeugung	Keine	10 kW _{peak}	20 kW _{peak}	35 kW _{peak}	-
9	Eigenstromnutzung	VE	ÜE, HT _{opt} +HH			
10	Sensitivität	Standard	Hoch	Niedrig		-
11	Betrachtungszeitraum	30 Jahre	50 Jahre	-		-

Parameter 1 -Hüllqualität; Parameter 2 - Konstruktion

Parameter 1 beschreibt die grundlegende Hüllqualität der Umhüllungsflächen, wobei PH einer Hüllqualität in etwa dem Passivhausstandard entspricht, BTV einer Hüllqualität nach der Bautechnikverordnung, welche zugleich die gesetzliche Mindestanforderung beim Neubau darstellt. Dieser Parameter steht im direkten Zusammenhang mit Parameter 2 welcher die Konstruktion des Gebäudes beschreibt. Tabelle 40 zeigt die spezifische Kapazität und die U-Werte (Außenwand, Decke, Boden) für die vier unterschiedlichen Niveaus der Konstruktion, sowie für die verschiedenen Hüllqualitäten PH und BTV. Die Variation der Wärmebrücken in der Gebäudehülle abhängig von der Hüllqualität (Parameter 1) und der Konstruktion (Parameter 2) ist in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 40: U-Werte und HWB für unterschiedliche Hüllqualität (Parameter 1) und Konstruktion (Parameter 2)

Hüllqualität (Par 1)	Konstruktion (Par 2)	Spezifische Wärmekapazität [Wh/(Km ² _{EBF})]	U-Wert Außenwand [W/(m ² K)]	U-Wert Decke [W/(m ² K)]	U-Wert Boden [W/(m ² K)]
PH	Massivbau	204	0,147	0,081	0,146
PH	WDVS	204	0,148	0,081	0,146
PH	Mischbau	132	0,149	0,081	0,146
PH	Holzbau	60	0,154	0,073	0,146
BTV	Massivbau	204	0,200	0,201	0,229
BTV	WDVS	204	0,221	0,168	0,229
1BTV	Mischbau	132	0,211	0,168	0,2290
BTV	Holzbau	60	0,221	0,158	0,229

Tabelle 41: Wärmebrücken bei unterschiedlicher Hüllqualität (Parameter 1) und Konstruktion (Parameter 2)

	Konstruktion (Par 2)	PH [W/(m ² K)]	BTV [W/(m ² K)]
Außenluft	Massivbau	11,007048	10,41099
	- WDVS	7,501388	7,727448
	- Mischbau	7,491626	9,585646
	- Holzbau	3,399828	2,114845
BP/KD	Massivbau	62,361901	61,972642
	- WDVS	62,361901	61,972642
	- Mischbau	62,361901	61,972642
	- Holzbau	61,044418	60,684055
TG	Massivbau	26,93394233	23468471
	- WDVS	23,32817467	19,79107033
	- Mischbau	13,75981967	12,73691967
	- Holzbau	14,540604	12,33485067
Fenstereinbau	Massivbau	26,20245	24,841633
	- WDVS	38,080144	30,834344
	- Mischbau	62,219886	60,848576
	- Holzbau	48,314163	39,902428

Parameter 3 - Lüftung

Der Parameter 2 Lüftung beschreibt zwei unterschiedliche Lüftungssysteme: Zentrale Be – und Entlüftung mit WRG, sowie Abluftsystem. In Tabelle 42 sind die Auslegungsdaten der Lüftungssystemvarianten dargestellt.

Tabelle 42: Parameter 2 - Lüftung (Wolfurt)

	Einheit	Be- und Entlüftung mit WRG	Abluft
Mittlerer Luftaustausch	m ³ /h	1238	1062
Mittlerer Luftwechsel	1/h	0,35	0,30
Abluft Überschuss (nur bei Abluft)	1/h	-	0,3
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Gerät	%	69,0	0
Spezifische Leistungsaufnahme	Wh/m ³	0,28	0,25

Parameter 4 – Wärmeerzeuger

Der Parameter 3 Wärmeerzeshreibt vier unterschiedliche Niveaus von Wärmeerzeugern. Niveau 1 definiert einen Holz-Pellet Kessel mit einer Leistung von 32 kW bei der Hüllqualität PH und 48 kW bei der Hüllqualität BTV. Das Niveau 2 beinhaltet einen Gas-Brennwertkessel mit einer Nennleistung von 43 kW. Die Fernwärme (Niveau 3) wird durch ein Biomasse Heizwerk bereitgestellt. Das Niveau 4 umfasst eine Wärmepumpe mit einer Erdreichsonde (Bodentyp „Sandboden, 13 % Feuchte“, Bodentyp B in PHPP) als Wärmequelle. Die Variation der Nennleistung, der Sondenlänge und des Sole-Massenstroms ist in Tabelle 43 abgebildet in Abhängigkeit vom Wärmeverteilsystem (Parameter 5) und Hüllqualität (Parameter 1). Das Wärmeverteilsystem 2-Leiter 35 °C hat bedingt durch die dezentral elektrische Warmwasserbereitung eine geringere Nennleistung als für die weiteren Wärmeverteilsysteme.

Tabelle 43: Parameter 4 – Wärmepumpe, Nennleistung, Sondenlängen und Sole-Massenstrom

	Nennleistung B0/W35 [kW]	Sondenlänge [m]	Sole- Massenstrom [kg/s]
PH + 2-Leiter 35°C	22,5	135	2,9
BTV + 2-Leiter 35°C	36	185	4
PH + Weitere Wärmeverteilsysteme	33,4	175	3,8
BTV + Weitere Wärmeverteilsysteme	46,9	225	4,8

Die Primärenergiefaktoren für die verwendeten Energieträger Holz-Pellets, Erdgas und Fernwärme ist in Tabelle 44 dargestellt. Die Konversationsfaktoren für Strom sind im Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversationsfaktoren für den Energieträger Strom, zu finden.

Tabelle 44: Parameter 4 – Primärenergiefaktoren und CO₂-Emissionsfaktoren

	Primärenergiefaktor [kWh_{PE}/kWh]	CO₂-Emissionsfaktor [kg_{CO2}/kWh]
Holz-Pellets	1,08	0,004
Erdgas	1,17	0,236
Fernwärme	1,6	0,051

Parameter 5 - Wärmeverteilsystem

Bei der Wärmeverteilung des Warmwassers wurden vier Niveaus betrachtet, wobei die Betriebszeiten für alle Niveaus 24 h/d festgelegt sind. Das Niveau 1 ist ein 2-Leiter System mit einer Auslegungsvorlauftemperatur von 60 °C. Das Niveau 2, welches ein 2-Leiter System 35 °C abbildet, variiert zusätzlich zwischen 35 °C, wenn Parameter 1 gleich Niveau PH, und Parameter 3 Lüftung gleich Niveau Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG. Für alle weiteren Niveaus und Kombination ist die Auslegungsvorlauftemperatur 40 °C. Das Niveau 3, Rohr-in-Rohr System, sowie das Niveau 4 4-Leiter System haben eine Auslegungsvorlauftemperatur von 60°C. Die Auslegungsvorlauftemperaturen entsprechen weiters den Speichertemperaturen der einzelnen Niveaus.

Parameter 6 – Wärmeabgabesystem

Es wurden zwei Niveaus von Wärmeabgabensystemen variiert: Niveau 1 Fußbodenheizung, Niveau 2 Radiatorheizung. Die Vorlauftemperatur des Heizungssystems wurde abhängig vom Wärmeabgabesystem, Parameter 1 Hüllqualität und Parameter 3 Lüftung angepasst (Tabelle 45).

Tabelle 45: Parameter 6 – Abhängigkeit der Vorlauftemperatur vom Wärmeabgabesystem

	Vorlauftemperatur Fußbodenheizung [°C]	Vorlauftempetur Radiator [°C]
<i>PH + Be- und Entlüftung</i>	35	45
<i>BTV + Abluft</i>	40	55

Parameter 7 - Solarthermie

Es wurden vier Niveaus betrachtet, keine Solarthermie und Solarthermie mit 49 m² und 102 m² Flachkollektoren, sowie 90 m² Röhrenkollektoren. Die Flachkollektoren waren auf dem Flachdach nach Süd-Westen ausgerichtet mit einer Neigung von 45 ° zur Horizontalen. Die Verschattung zwischen den Modulreihen, sowie von umliegenden Objekten wurde berücksichtigt. Die Größe des Wasserspeichers wurde je nach Fläche des Kollektorfeldes, sowie von der Wärmeerzeugung (Parameter 4) variiert. In Tabelle 46 sind die Speichergößen, sowie die zugehörigen Wärmeverluste dargestellt.

Tabelle 46: Parameter 7 – Speichergöße und Wärmeverluste für unterschiedliche Wärmeerzeuger und Kollektorflächen

	Speichergöße [Liter]	Wärmeverluste [W/K]
<i>Keine Solarthermie + Holz-Pellets</i>	2130	2,2
<i>Keine Solarthermie + weitere Wärmeerzeuger</i>	1760	2,0
<i>49 m² Flachkollektoren + Holz-Pellets</i>	2130	2,2
<i>49 m² + weitere Wärmeerzeuger</i>	1760	2,0
<i>102 m² Flachkollektoren + Holz-Pellets</i>	4250	3,8
<i>102 m² Flachkollektoren + weitere Wärmeerzeuger</i>	3550	3,4
<i>90 m² Röhrenkollektoren + Holz-Pellets</i>	6700	4,9
<i>90 m² Röhrenkollektoren + weitere Wärmeerzeuger</i>	5330	4,5

Parameter 8 -PV

Bei der PV-Eigenstromerzeugung wurden vier Niveaus unterschieden, keine PV-Module und PV mit einer Gesamtleistung von 10 kW_{peak}, 20 kW_{peak} und 30,0 kW_{peak}. Die Ausrichtung der PV Module auf der

Dachfläche war nach Süd-Westen mit einem Winkel von 35 ° zur Horizontalen. Die Verschattung durch umliegende Objekte, bzw. durch umliegende PV-Module wird berücksichtigt. Der erzeugte Strom wurde an das Tool PVopti¹⁰ übergeben um den Eigenverbrauch an Strom, bzw. auch die Einspeisung von Überschussstrom, monetär bewerten zu können.

Parameter 9 – Eigenstromnutzung

Bei der Eigenstromnutzung wird zwischen zwei Niveaus unterschieden. Bei der Volleinspeisung wird der gesamte erzeugte Strom in das Netz gespeist, welcher mit der definierten Einspeisevergütung abgegolten ist (siehe

¹⁰ PVopti Tool zum Berechnen des Eigenverbrauchs von Gebäuden auf Stundenbasis.
<http://www.annex67.org/publications/software/pvopti/>

Anhang II: Berücksichtigung von PV-Erträgen). Die Wärmeerzeugung für Warmwasserbereitung und Heizung ist beim Niveau 1 Tags- und Nachtsüber eingeschaltet. Beim Niveau 2 werden vorhandene PV-Erträge zur Wärmeerzeugung (nur Tagsüber), Lüftung, Geräte, Beleuchtung und Gebäudetechnik eingesetzt und die Eigenverbrauchsrate im ECONcalc berücksichtigt.

Parameter 10 – Sensitivität

Der Parameter Sensitivität beschreibt in drei Niveaus für den Energiepreis und die Energiepreissteigerung für die Energieträger Holzpellets, Erdgas, Fernwärme, Strom und Wärmepumpenstrom. Für die Energieträger Erdgas, Strom und Wärmepumpenstrom wird dabei der Grundpreis (b) auf den Arbeitspreis (a) umgelegt, sowie die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a*) getrennt in Arbeits- und Grundpreis nach den folgenden Gleichungen berechnet. Der Energiepreis (y*) setzt sich dabei aus dem Energieverbrauch (x) der jeweiligen Variante, dem Arbeitspreis (y) und dem Grundpreis (z) zusammen. Die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a*) beinhaltet zusätzlich die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und die Preissteigerung des Grundpreises (b), wobei diese für alle Energieträger ident sind. Die Koeffizienten der Gleichungen für die unterschiedlichen Niveaus sind in Tabelle 47, Tabelle 36 zusammen mit der Steigerung der Einspeisevergütung, dargestellt.

$$y^* = \frac{x \cdot y + z}{x}$$

$$a^* = \frac{x \cdot y \cdot a + z \cdot b}{x \cdot y + z}$$

Tabelle 47: Parameter 10 – Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreise und der Energiepreissteigerungen

	Variable	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
Arbeitspreis – Erdgas	y _E	€/kWh	-	0,0438	-
Grundpreis – Erdgas	z _E	€	-	76,2	-
Arbeitspreis – Strom	y _S	€/kWh	-	0,11755	-
Grundpreis – Strom	z _S	€	-	98,56	-
Arbeitspreis – Wärmepumpenstrom	y _W	€/kWh	-	0,09658	-
Grundpreis – Wärmepumpenstrom	z _W	€	-	54,83	-
Preissteigerung Arbeitspreis	a	%	0,7	1,7	2,7
Preissteigerung Grundpreis	b	%	2,0	3,0	4,0
Einspeisevergütung Strom	-	€/kWh	-	0,025	-
Preissteigerung Einspeisevergütung Strom	-	%	0,7	1,7	2,7

Für die Energieträger Holz Pellets und Fernwärme wurden folgende Energiepreise und jährliche Energiepreissteigerungen verwendet (Tabelle 48).

Tabelle 48: Parameter 10 – Energiepreise und Energiepreissteigerung für Holz Pellets und Fernwärme

	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
Energiepreis – Holz Pellets	€/kWh	-	0,0456	-
Energiepreis – Fernwärme	€/kWh	-	0,0691	-
Preissteigerung – Holz Pellets	%	1,0	2,0	3,0
Preissteigerung – Fernwärme	%	1,0	2,0	3,0

Parameter 11 – Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum wurde variiert zwischen 30 Jahren (Niveau 1) und 50 Jahren (Niveau 2). Dieser Parameter hat Einfluss auf notwendige Reinvestitionen und damit auf den Restwert und zuletzt auf den Kapitalwert, welcher die Summe aller auftretenden Kosten und Gewinne darstellt.

MFH e80³

Die variierten Parameter, sowie ihre zugehörigen Niveaus, sind in Tabelle 49 zu finden. Die einzelnen Niveaus wurden, sofern sinnvoll, miteinander kombiniert. Als Raumtemperatur wurde im Heizfall für alle Varianten, gemäß des Niveaus des Nutzerverhaltens (Parameter 6) zwischen 21, 22 und 23 °C variiert. Im Folgenden werden die Parameter und ihre zugehörigen Niveaus im Detail erläutert.

Tabelle 49: Übersicht über die Varianten von MFH e80³ (Sanierung)

Nr.	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
1	Hüllqualität	PH	BTV	Fertigteil	-	-
2	Lüftung	Mechanische Abluft	Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung	-	-
3	Wärmeerzeuger	Gasbrennwertgerät	Fernwärme	Luft Wärmepumpe	-	-
4	Solarthermie	Keine	50 m ² (nur WW)	50 m ² FK (WW + Hzg)	100 m ² FK (nur WW)	100 m ² FK (WW+ Hzg)
5	PV Erzeugung	Keine	63,6 kW _{peak}	80,1 kW _{peak}	-	-
6	Nutzerverhalten	Ideal	Standard	Ineffizient	-	-
7	Sensitivität	Standard	Hoch	Niedrig	-	-
8	Betrachtungszeitraum	30 Jahre	50 Jahre	-	-	-

Parameter 1 – Hüllqualität

Die Hüllqualität wurde mit drei Niveaus variiert: Passivhaus (PH), Gebäudehülle nach Bauteilverordnung (BTV nach OIB RL-6, 2015) und Fertigteil-Vorhangfassade. Diese umfassen eine Variation der Außenwände, Dach, Böden, sowie die Verglasung. Eine Zusammenfassung ist in Tabelle 50 zu finden.

Tabelle 50: Parameter 1 – Hüllqualität

	Einheit	PH	BTV	Fertigteil
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,1	0,35	0,115
U-Wert Dach	W/(m ² K)	0,1	0,2	0,1
U-Wert Boden	W/(m ² K)	0,2	0,4	0,307
g-Wert Fenster	-	0,6	0,85	0,6
U-Wert Fenster	W/(m ² K)	0,7	1	0,7
Wärmebrücke Verglasung	W/(mK)	0,06	0,085	0,06
Wärmebrücke Einbau	W/(mK)	0,04	0,06	0,04

Parameter 2 – Lüftung

Der Parameter 2 Lüftung beschreibt drei unterschiedliche Lüftungssysteme: Mechanische Abluft, Kontrollierte Be – und Entlüftung, sowie Fensterlüftung. In Tabelle 51 sind die Auslegungsdaten der Lüftungssystemvarianten dargestellt.

Tabelle 51: Parameter 2 - Lüftung

	Einheit	Be- und Abluft Entlüftung mit WRG	Abluft	Fensterlüftung
Mittlerer Luftaustausch	m ³ /h	2007	2007	2007
Mittlerer Luftwechsel	1/h	0,38	0,38	0,38
Abluft Überschuss (nur bei Abluft)	1/h	0	0,38	0,0
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Gerät	%	79,2	0	0
Spezifische Leistungsaufnahme	Wh/m ³	0,45	0,25	0

Parameter 3 – Wärmeerzeuger

Der Parameter 3 Wärmeerzeuger beschreibt die variierten Wärmeerzeuger. Niveau 1 beschreibt eine Gasbrennwertgerät mit einer Nennleistung von 30 kW. Die Fernwärme (Niveau 2) wird durch ein Biomasse Heizwerk bereitgestellt. Niveau 3 ist eine Außenluftwärmepumpe mit einer Nennleistung von 21,6 kW (A-7/W35). Beim Niveau 3 wird ein Warmwasserspeicher mit 2000 Liter berücksichtigt. Der Primärenergiefaktor für Erdgas beträgt 1,17, der CO₂-Emissionsfaktor beträgt 0,236. Für die Fernwärme wird ein Primärenergiefaktor von 1,6 und ein CO₂-Emissionsfaktor von 0,051 berücksichtigt. Die Konversionsfaktoren für Strom sind im Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom zu finden.

Parameter 4 – Solarthermie

Es wurden fünf Niveaus betrachtet, keine Solarthermie und Solarthermie mit 50 m² und 100 m² Flachkollektoren. Die beiden Kollektorflächen wurden zur Warmwasserbereitung (Niveau 2 und Niveau 4) sowie zur zusätzlichen Heizungsunterstützung (Niveau 3 und Niveau 5) eingesetzt. Die Flachkollektoren waren auf dem Flachdach nach Süden ausgerichtet mit einer Neigung von 72 ° zur Horizontalen. Die Verschattung zwischen den Modulreihen, sowie von umliegenden Objekten wurde berücksichtigt. Die Größe des Wasserspeichers wurde je nach Fläche des Kollektorfeldes (3600 Liter bei 50 m² sowie 7500 Liter bei 100 m²), sowie von der Wärmeerzeugung (2000 Liter bei Parameter 3 Außenluftwärmepumpe) variiert.

Parameter 5 – PV-Erzeugung

Bei der PV-Eigenstromerzeugung wurden drei Niveaus unterschieden, keine PV-Module und PV mit einer Gesamtleistung von 63,6 kW_{peak} und 80,1 kW_{peak}. Die Ausrichtung der PV Module auf der Dachfläche war je zur Hälfte nach Osten und nach Westen ausgerichtet mit einem Winkel von 7 ° zur Horizontalen. Die Verschattung durch umliegende Objekte, bzw. durch umliegende PV-Module wird berücksichtigt. Der erzeugte Strom wurde an das Tool PVopti¹¹ übergeben um den Eigenverbrauch an Strom, bzw. auch die Einspeisung von Überschussstrom (Einspeisevergütung in Tabelle 52), monetär bewerten zu können.

¹¹ PVopti Tool zum Berechnen des Eigenverbrauchs von Gebäuden auf Stundenbasis.
<http://www.annex67.org/publications/software/pvopti/>

Parameter 6 – Nutzerverhalten

Beim Parameter 6 wurde die Raumtemperatur (21, 22 und 23 °C), der Warmwasserbedarf (25, 30 und 35 l/Pers/d), eine zusätzliche Fensterlüftung (Luftwechsel 0, 0,05 und 0,1), als auch eine nicht optimale Nutzung der Verschattungseinrichtungen (0%, 10% und 20%) variiert. Eine Übersicht ist in Tabelle 4 zu finden.

Parameter 7 – Sensitivität

Der Parameter Sensitivität beschreibt in drei Niveaus die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und des Grundpreises (b) für die Energieträger Strom, Fernwärme und Biomasse (Pellets), welche für die Berechnung der mittleren Energiepreissteigerung benötigt werden. Die Steigerung des Preises (y^*), bzw. die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) wird getrennt von Arbeits- und Grundpreis nach den folgenden Gleichungen berechnet. Der Energiepreis (y^*) setzt sich dabei aus dem Energieverbrauch (x) der jeweiligen Variante, dem Arbeitspreis (y) und dem Grundpreis (z) zusammen. Die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) beinhaltet zusätzlich die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und die Preissteigerung des Grundpreises (b), wobei diese für alle Energieträger ident sind. Die Koeffizienten der Gleichungen für die unterschiedlichen Niveaus sind in Tabelle 52, Tabelle 36 zusammen mit der Steigerung der Einspeisevergütung, dargestellt.

$$y^* = \frac{x \cdot y + z}{x}$$

$$a^* = \frac{x \cdot y \cdot a + z \cdot b}{x \cdot y + z}$$

Tabelle 52: Parameter 7 – Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreises und der Energiepreissteigerungen

	Variable	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
Arbeitspreis – Erdgas	y_E	€/kWh	-	0,0438	-
Grundpreis – Erdgas	z_E	€	-	76,2	-
Arbeitspreis – Strom	y_S	€/kWh	-	0,11755	-
Grundpreis – Strom	z_S	€	-	98,56	-
Preissteigerung Arbeitspreis	a	%	0,7	1,7	2,7
Preissteigerung Grundpreis	b	%	2,0	3,0	4,0
Einspeisevergütung Strom	-	€/kWh	-	0,025	-
Preissteigerung Einspeisevergütung Strom	-	%	0,7	1,7	2,7

Für die Energieträger Fernwärme wurden folgende Energiepreise und jährliche Energiepreissteigerungen verwendet (Tabelle 53).

Tabelle 53: Parameter 7 – Energiepreis und Energiepreissteigerung für Fernwärme

	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
Energiepreis - Fernwärme	€/kWh	-	0,0691	-
Preissteigerung - Fernwärme	%	1,0	2,0	3,0

Parameter 8 - Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum wurde variiert zwischen 30 Jahren (Niveau 1) und 50 Jahren (Niveau 2). Dieser Parameter hat Einfluss auf notwendige Reinvestitionen und damit auf den Restwert und zuletzt auf den Kapitalwert, welcher die Summe aller auftretenden Kosten und Gewinne darstellt.

MFH +ERS

Die variierten Parameter, sowie ihre zugehörigen Niveaus, sind in Tabelle 54 zu finden. Die einzelnen Niveaus wurden, sofern sinnvoll, miteinander kombiniert. Als Raumtemperatur wurde im Heizfall für alle Varianten, gemäß des Niveaus des Nutzerverhaltens (Parameter 6) zwischen 21, 22 und 23 °C variiert. Im Folgenden werden die Parameter und ihre zugehörigen Niveaus im Detail erläutert.

Tabelle 54: Übersicht über die Varianten von MFH +ERS

Nr.	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
1	Hüllqualität	PH	BTV	-
2	Lüftung	Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung	
3	Wärmeerzeuger	Sole WP + Energiepfähle	Sole WP + Flachkollektor	Luft Wärmepumpe
4	Solarthermie	Keine	16,25 m ² FK (nur WW)	16,25 m ² FK (WW +Hzg)
5	PV Erzeugung	Keine	31,3 kW _{peak}	54,1 kW _{peak}
6	Nutzerverhalten	Ideal	Standard	Ineffizient
7	Sensitivität	Standard	Hoch	Niedrig
8	Betrachtungszeitraum	30 Jahre	50 Jahre	-

Parameter 1 – Hüllqualität

Die Hüllqualität wurde mit zwei Niveaus variiert: Passivhaus (PH) und Gebäudehülle nach Bauteilverordnung (BTV nach OIB RL-6, 2015). Diese umfassen eine Variation der Außenwände, Dach, Böden, sowie die Verglasung. Eine Zusammenfassung ist in Tabelle 55 zu finden.

Tabelle 55: Parameter 1 – Hüllqualität

	Einheit	PH	BTV
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,145	0,35
U-Wert Dach	W/(m ² K)	0,104	0,2
U-Wert Boden	W/(m ² K)	0,241	0,4
g-Wert Fenster	-	0,5	0,7
U-Wert Fenster	W/(m ² K)	0,5	1,1
Wärmebrücke Verglasung	W/(mK)	0,03	0,05
Wärmebrücke Einbau	W/(mK)	0,04	0,05

Parameter 2 – Lüftung

Der Parameter 2 Lüftung beschreibt zwei unterschiedliche Lüftungssysteme: Kontrollierte Be – und Entlüftung und Fensterlüftung. In Tabelle 56 sind die Auslegungsdaten der Lüftungssystemvarianten dargestellt.

Tabelle 56: Parameter 2 - Lüftung

	Einheit	Be- und Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung
Mittlerer Luftaustausch	m ³ /h	1026	1026
Mittlerer Luftwechsel	1/h	0,4	0,4
Abluft Überschuss (nur bei Abluft)	1/h	0	0
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Gerät	%	80,0	0
Spezifische Leistungsaufnahme	Wh/m ³	0,45	0

Parameter 3 – Wärmeerzeuger

Der Parameter 3 Wärmeerzeuger beschreibt die variierten Wärmeerzeuger. Niveau 1 beinhaltet eine Wärmepumpe mit einer Nennleistung von 11 kW (B0/W35) mit einer Erdreichsonde als Wärmequelle. Die Erdsonde hat eine Länge von 360 m und ein Bodentyp definiert mit einer Wärmeleitfähigkeit von 1,63 W/(mK), einer Dichte von 2000 kg/m³, einer Wärmekapazität von 1377 J/(kgK) und einer Wärmeleitfähigkeit von 2,754 MJ/(m³K). Beim Niveau 2 wurde die identische Wärmepumpe und derselbe Bodentyp verwendet, jedoch mit einem Flachkollektor als Wärmequelle. Der Flachkollektor besitzt eine Grundfläche von 500 m² und ist in 1 m Tiefe verlegt. Niveau 3 ist eine Außenluftwärmepumpe mit einer Nennleistung von 7,92 kW (A-7/W35). Bei allen Varianten wurde ein Warmwasserspeicher mit 417 Liter berücksichtigt. Die Konversionsfaktoren für Strom sind im Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom zu finden.

Parameter 4 – Solarthermie

Es wurden drei Niveaus betrachtet, keine Solarthermie und Solarthermie mit 16,25 m² Flachkollektoren. Die beiden Kollektorflächen wurden zur Warmwasserbereitung (Niveau 2) sowie zur zusätzlichen Heizungsunterstützung (Niveau 3) eingesetzt. Die Flachkollektoren waren auf dem Flachdach nach Süden ausgerichtet mit einer Neigung von 45 ° zur Horizontalen. Die Verschattung zwischen den Modulreihen, sowie von umliegenden Objekten wurde berücksichtigt.

Parameter 5 – PV-Erzeugung

Bei der PV-Eigenstromerzeugung wurden drei Niveaus unterschieden, keine PV-Module und PV mit einer Gesamtleistung von 31,3 kW_{peak} und 54,1 kW_{peak}. Die Ausrichtung der PV Module auf der Dachfläche war nach Süden ausgerichtet mit einem Winkel von 30 ° zur Horizontalen. Die Verschattung durch umliegende Objekte, bzw. durch umliegende PV-Module wird berücksichtigt. Der erzeugte Strom wurde an das Tool PVopti¹² übergeben um den Eigenverbrauch an Strom, bzw. auch die Einspeisung von Überschussstrom (Einspeisevergütung in Tabelle 57), monetär bewerten zu können.

Parameter 6 – Nutzerverhalten

Beim Parameter 6 wurde die Raumtemperatur (21, 22 und 23 °C), der Warmwasserbedarf (25, 30 und 35 l/Pers/d), eine zusätzliche Fensterlüftung (Luftwechsel 0, 0,05 und 0,1), als auch eine nicht optimale

¹² PVopti Tool zum Berechnen des Eigenverbrauchs von Gebäuden auf Stundenbasis.
<http://www.annex67.org/publications/software/pvopti/>

Nutzung der Verschattungseinrichtungen (0%, 10% und 20%) variiert. Eine Übersicht ist in Tabelle 4 zu finden.

Parameter 7 – Sensitivität

Der Parameter Sensitivität beschreibt in drei Niveaus die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und des Grundpreises (b) für den Energieträger Strom, welcher für die Berechnung der mittleren Energiepreissteigerung benötigt werden. Die Steigerung des Preises (y^*), bzw. die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) wird getrennt von Arbeits- und Grundpreis nach den folgenden Gleichungen berechnet. Der Energiepreis (y^*) setzt sich dabei aus dem Energieverbrauch (x) der jeweiligen Variante, dem Arbeitspreis (y) und dem Grundpreis (z) zusammen. Die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) beinhaltet zusätzlich die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und die Preissteigerung des Grundpreises (b), wobei diese für alle Energieträger ident sind. Die Koeffizienten der Gleichungen für die unterschiedlichen Niveaus sind in Tabelle 57, Tabelle 36 zusammen mit der Steigerung der Einspeisevergütung, dargestellt.

$$y^* = \frac{x \cdot y + z}{x}$$

$$a^* = \frac{x \cdot y \cdot a + z \cdot b}{x \cdot y + z}$$

Tabelle 57: Parameter 7 – Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreises und der Energiepreissteigerungen

	Variable	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
<i>Arbeitspreis – Strom</i>	y_s	€/kWh	-	0,11755	-
<i>Grundpreis – Strom</i>	z_s	€	-	98,56	-
<i>Preissteigerung Arbeitspreis</i>	a	%	0,7	1,7	2,7
<i>Preissteigerung Grundpreis</i>	b	%	2,0	3,0	4,0
<i>Einspeisevergütung Strom</i>	-	€/kWh	-	0,025	-
<i>Preissteigerung Einspeisevergütung Strom</i>	-	%	0,7	1,7	2,7

Parameter 8 - Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum wurde variiert zwischen 30 Jahren (Niveau 1) und 50 Jahren (Niveau 2). Dieser Parameter hat Einfluss auf notwendige Reinvestitionen und damit auf den Restwert und zuletzt auf den Kapitalwert, welcher die Summe aller auftretenden Kosten und Gewinne darstellt.

Bürogebäude AEE

Die variierten Parameter, sowie ihre zugehörigen Niveaus, sind in Tabelle 58 zu finden. Die einzelnen Niveaus wurden, sofern sinnvoll, miteinander kombiniert. Als Raumtemperatur wurde im Heizfall für alle Varianten, gemäß des Niveaus des Nutzerverhaltens (Parameter 6) zwischen 21, 22 und 23 °C variiert. Im Folgenden werden die Parameter und ihre zugehörigen Niveaus im Detail erläutert.

Tabelle 58: Übersicht über die Varianten von Bürogebäude AEE

Nr.	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
1	Hüllqualität	PH	BTV		-
2	Lüftung	Mechanische Abluft	Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung	-
3	Wärmeerzeuger	Gas-Brennwertkessel	Fernwärme	Luft WP	
4	Solarthermie	Keine	80 m ² FK	160 m ² FK	-
5	PV Erzeugung	Keine	15,4 kW _{peak}	30,8 kW _{peak}	-
6	Nutzerverhalten	Ideal	Standard	Ineffizient	-
7	Geschäftsmodell	PV-Eigenfinanzierung	PV-Contracting	Volleinspeiser	-
8	Sensitivität	Standard	Hoch	Niedrig	-
9	Betrachtungszeitraum	30 Jahre	50 Jahre	-	-
10	Batteriespeicher	Keiner	10 kWh	30 kWh	50 kWh

Parameter 1 – Hüllqualität

Die Hüllqualität wurde mit zwei Niveaus variiert: Passivhaus (PH) und Gebäudehülle nach Bauteilverordnung (BTV nach OIB RL-6, 2015). Diese umfassen eine Variation der Außenwände, Dach, Böden, sowie die Verglasung. Eine Zusammenfassung ist in Tabelle 59 zu finden.

Tabelle 59: Parameter 1 – Hüllqualität

	Einheit	PH	BTV
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,1	0,236
U-Wert Dach	W/(m ² K)	0,1	0,134
U-Wert Boden	W/(m ² K)	0,1	0,318
g-Wert Fenster	-	0,42	0,7
U-Wert Fenster	W/(m ² K)	0,44	1,1
Wärmebrücke Verglasung	W/(mK)	0,05	0,05
Wärmebrücke Einbau	W/(mK)	0,04	0,07

Parameter 2 – Lüftung

Der Parameter 2 Lüftung beschreibt drei unterschiedliche Lüftungssysteme: Mechanische Abluft, Kontrollierte Be – und Entlüftung, sowie Fensterlüftung. In Tabelle 60 sind die Auslegungsdaten der Lüftungssystemvarianten dargestellt.

Tabelle 60: Parameter 2 - Lüftung

	Einheit	Be- und Abluft Entlüftung mit WRG	Abluft	Fensterlüftung
Mittlerer Luftaustausch	m ³ /h	681	681	681
Mittlerer Luftwechsel	1/h	0,33	0,33	0,33
Abluft Überschuss (nur bei Abluft)	1/h	0	0,33	0,04
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Gerät	%	84	0	74
Spezifische Leistungsaufnahme	Wh/m ³	0,3	0,1	0,27

Parameter 3 – Wärmeerzeuger

Der Parameter 3 Wärmeerzeuger beschreibt die variierten Wärmeerzeuger. Niveau 1 beschreibt eine Gasbrennwertgerät mit einer Nennleistung von 15 kW. Die Fernwärme (Niveau 2) wird durch ein Biomasse Heizwerk bereitgestellt. Niveau 3 ist eine Außenluftwärmepumpe mit einer Nennleistung von 10,2 kW (A-7/W35). Bei allen Varianten wird ein Warmwasserspeicher mit einem Volumen von 2.000 bis 14.000 Litern berücksichtigt. Der Primärenergiefaktor für Erdgas beträgt 1,17, der CO₂-Emissionsfaktor beträgt 0,236. Für die Fernwärme wird ein Primärenergiefaktor von 1,6 und ein CO₂-Emissionsfaktor von 0,051 berücksichtigt. Die Konversionsfaktoren für Strom sind im Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom zu finden.

Parameter 4 – Solarthermie

Es wurden drei Niveaus betrachtet, keine Solarthermie und Solarthermie mit 80 m² und 160 m² Flachkollektoren. Die beiden Kollektorflächen wurden zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung eingesetzt. Die Flachkollektoren waren auf dem Flachdach nach Süden ausgerichtet mit einer Neigung von 72 ° zur Horizontalen. Es wurde keine Verschattung zwischen den Modulreihen, sowie durch umliegende Objekte berücksichtigt. Die Größe des Wasserspeichers wurde beim Niveau 1 (ohne Solarthermie) mit 2.000 Liter, bei Niveau 2 mit 7.000 Liter (80 m³ Kollektorfläche) und beim Niveau 3 mit 14.000 Liter (160 m² Kollektorfläche) angenommen.

Parameter 5 – PV-Erzeugung

Bei der PV-Eigenstromerzeugung wurden drei Niveaus unterschieden, keine PV-Module und PV mit einer Gesamtleistung von 15,4 kW_{peak} und 30,8 kW_{peak}. Die Ausrichtung der PV Module auf der Dachfläche war nach Süden ausgerichtet mit einem Winkel von 72 ° zur Horizontalen. Die Verschattung durch umliegende Objekte, bzw. durch umliegende PV-Module wird berücksichtigt. Der erzeugte Strom wurde an das Tool PVopti¹³ übergeben um den Eigenverbrauch an Strom, bzw. auch die Einspeisung von Überschussstrom (Einspeisevergütung in Tabelle 61), monetär bewerten zu können.

Parameter 6 – Nutzerverhalten

Beim Parameter 6 wurde die Raumtemperatur (21, 22 und 23 °C), der Warmwasserbedarf (25, 30 und 35 l/Pers/d), eine zusätzliche Fensterlüftung (Luftwechsel 0, 0,05 und 0,1), als auch eine nicht optimale

¹³ PVopti Tool zum Berechnen des Eigenverbrauchs von Gebäuden auf Stundenbasis.
<http://www.annex67.org/publications/software/pvopti/>

Nutzung der Verschattungseinrichtungen (0%, 10% und 20%) variiert. Eine Übersicht ist in Tabelle 4 zu finden.

Parameter 7 – Geschäftsmodell

Es wurden drei Geschäftsmodelle für die PV-Erzeugung variiert: Überschusseinspeiser (Niveau 1), Contracting-Modell (Niveau 2) und Volleinspeiser (Niveau 3). Beim Niveau 1 werden PV-Erträge, welche den Eigenverbrauch übersteigen, in das Netz eingespeist. Der Eigenverbrauch von PV-Strom wird vom gesamten Strombedarf in Abzug gebracht und der Überschussstrom gemäß der Einspeisevergütung in Tabelle 61 bewertet. Niveau 2 beschreibt ein Contracting-Modell, welches eine Fremdfinanzierung der PV-Anlage vorsieht. Die PV-Erträge werden 15 Jahre lang dem Contractor übertragen, danach fällt die PV-Anlage wieder in das Eigentum des Gebäudeeigentümers zurück. Ab diesem Zeitpunkt werden PV-Erträge zur Deckung des Eigenbedarfs und Überschüsse der PV-Anlage in der Berechnung berücksichtigt. Die Preissteigerung nach 15 Jahren wird bei der Überschusseinspeisung berücksichtigt. Niveau 3 beschreibt einen Volleinspeiser, bei welchem der gesamte erzeugte PV-Strom mit der Einspeisevergütung bewertet wird (ohne Förderung).

Parameter 8 – Sensitivität

Der Parameter Sensitivität beschreibt in drei Niveaus die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und des Grundpreises (b) für die Energieträger Strom, Fernwärme und Erdgas, welche für die Berechnung der mittleren Energiepreissteigerung benötigt werden. Die Steigerung des Preises (y*), bzw. die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a*) wird getrennt von Arbeits- und Grundpreis nach den folgenden Gleichungen berechnet. Der Energiepreis (y*) setzt sich dabei aus dem Energieverbrauch (x) der jeweiligen Variante, dem Arbeitspreis (y) und dem Grundpreis (z) zusammen. Die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a*) beinhaltet zusätzlich die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und die Preissteigerung des Grundpreises (b), wobei diese für alle Energieträger ident sind. Die Koeffizienten der Gleichungen für die unterschiedlichen Niveaus sind in Tabelle 61, Tabelle 36 zusammen mit der Steigerung der Einspeisevergütung, dargestellt.

$$y^* = \frac{x \cdot y + z}{x}$$

$$a^* = \frac{x \cdot y \cdot a + z \cdot b}{x \cdot y + z}$$

Tabelle 61: Parameter 8 – Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreises und der Energiepreissteigerungen

	Variable	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
<i>Arbeitspreis – Erdgas</i>	y _s	€/kWh	-	0,0438	-
<i>Grundpreis - Erdgas</i>	z _s	€	-	76,2	-
<i>Arbeitspreis – Strom</i>	y _s	€/kWh	-	0,11755	-
<i>Grundpreis – Strom</i>	z _s	€	-	98,56	-
<i>Preissteigerung Arbeitspreis</i>	a	%	0,7	1,7	2,7
<i>Preissteigerung Grundpreis</i>	b	%	2,0	3,0	4,0
<i>Einspeisevergütung Strom</i>	-	€/kWh	-	0,025	-
<i>Preissteigerung Einspeisevergütung Strom</i>	-	%	0,7	1,7	2,7

Für den Energieträger Fernwärme wurden folgende Energiepreise und jährliche Energiepreissteigerungen verwendet (Tabelle 62).

Tabelle 62: Parameter 8 – Energiepreis und Energiepreissteigerung für Fernwärme

	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
<i>Energiepreis - Fernwärme</i>	€/kWh	-	0,0691	-
<i>Preissteigerung - Fernwärme</i>	%	1,0	2,0	3,0

Parameter 9 - Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum wurde variiert zwischen 30 Jahren (Niveau 1) und 50 Jahren (Niveau 2). Dieser Parameter hat Einfluss auf notwendige Reinvestitionen und damit auf den Restwert und zuletzt auf den Kapitalwert, welcher die Summe aller auftretenden Kosten und Gewinne darstellt.

Parameter 10 – Batteriespeicher

Es wurden vier Niveaus des Parameter 10 – Batteriespeicher variiert. Die Größe des Batteriespeichers wurde beim Niveau 2 mit 10 kWh, beim Niveau 3 mit 30 kWh und beim Niveau 4 mit 50 kWh angenommen. Varianten ohne PV-Erzeugung (Parameter 6) in Kombination mit einem Batteriespeicher wurden nicht betrachtet. Die Eigenverluste des Batteriespeichers, welche in PVopti berechnet wird, wurde im ECONcalc als Eigenverbrauch berücksichtigt.

Schulgebäude Rainbach

Die variierten Parameter, sowie ihre zugehörigen Niveaus, sind in Tabelle 63 zu finden. Die einzelnen Niveaus wurden, sofern sinnvoll, miteinander kombiniert. Als Raumtemperatur wurde im Heizfall für alle Varianten, gemäß des Niveaus des Nutzerverhaltens (Parameter 6) zwischen 21, 22 und 23 °C variiert. Im Folgenden werden die Parameter und ihre zugehörigen Niveaus im Detail erläutert.

Tabelle 63: Übersicht über die Varianten von Schulgebäude Rainbach

Nr.	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
1	Hüllqualität	PH	BTV		-
2	Lüftung	Mechanische Abluft	Zentrale Be- und Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung	-
3	Wärmeerzeuger	Hackschnitzel Kessel	Gas-Brennwertkessel	Sole WP + Tiefensonde	Fernwärme
4	Solarthermie	Keine	21 m ² FK (nur WW)	-	-
5	PV Erzeugung	Keine	52,8 kW _{peak}	-	-
6	Nutzerverhalten	Ideal	Standard	Ineffizient	-
7	Geschäftsmodell	PV-Contracting	PV-Eigenfinanzierung	-	-
8	Sensitivität	Standard	Hoch	Niedrig	-
9	Betrachtungszeitraum	30 Jahre	50 Jahre	-	-

Parameter 1 – Hüllqualität

Die Hüllqualität wurde mit zwei Niveaus variiert: Passivhaus (PH) und Gebäudehülle nach Bauteilverordnung (BTV nach OIB RL-6, 2015). Diese umfassen eine Variation der Außenwände, Dach, Böden, sowie die Verglasung. Eine Zusammenfassung ist in Tabelle 64 zu finden.

Tabelle 64: Parameter 1 – Hüllqualität

	Einheit	PH	BTV
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,096	0,35
U-Wert Dach	W/(m ² K)	0,101	0,2
U-Wert Boden	W/(m ² K)	0,740	0,381
g-Wert Fenster	-	0,55	0,7
U-Wert Fenster	W/(m ² K)	0,50	1,7
Wärmebrücke Verglasung	W/(mK)	0,03	0,04
Wärmebrücke Einbau	W/(mK)	0,04	0,04

Parameter 2 – Lüftung

Der Parameter 2 Lüftung beschreibt drei unterschiedliche Lüftungssysteme: Mechanische Abluft, kontrollierte Be – und Entlüftung und Fensterlüftung. In Tabelle 65 sind die Auslegungsdaten der Lüftungssystemvarianten dargestellt.

Tabelle 65: Parameter 2 - Lüftung

	Einheit	Be- und Abluft Entlüftung mit WRG	Fensterlüftung
Mittlerer Luftaustausch	m ³ /h	2248	2248
Mittlerer Luftwechsel	1/h	0,31	0,31
Abluft Überschuss (nur bei Abluft)	1/h	0	0
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad Gerät	%	83,7	0
Spezifische Leistungsaufnahme	Wh/m ³	0,4	0

Parameter 3 – Wärmeerzeuger

Der Parameter 3 Wärmeerzeuger beschreibt die variierten Wärmeerzeuger. Niveau 1 definiert ein Hackschnitzelkessel mit einer Nennleistung von 150 kW, Niveau 2 ein Gasbrennwertgerät mit einer Nennleistung von 50 kW. Niveau 3 beinhaltet eine Wärmepumpe mit einer Nennleistung von 41 kW (B0/W35) mit einer Erdreichsonde als Wärmequelle. Die Erdsonde hat eine Länge von 360 m und ein Bodentyp definiert mit einer Wärmeleitfähigkeit von 1,63 W/(mK), einer Dichte von 2000 kg/m³, einer Wärmekapazität von 1377 J/(kgK) und einer Wärmeleitfähigkeit von 2,754 MJ/(m³K). Die Fernwärme (Niveau 4) wird durch ein Biomasse Heizwerk bereitgestellt. Für den Hackschnitzelkessel wurde ein Primärenergiefaktor von 1,08 und ein CO₂-Emissionsfaktor von 0,004, für Erdgas ein Primärenergiefaktor von 1,17 und ein CO₂-Emissionsfaktor von 0,236 angenommen. Bei der Fernwärme (Biomasse) wurde ein Primärenergiefaktor von 1,6 und ein CO₂-Emissionsfaktor von 0,051 gewählt. Konversionsfaktoren für Strom sind im Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom zu finden.

Parameter 4 – Solarthermie

Es wurden zwei Niveaus betrachtet: Keine Solarthermie und Solarthermie mit 21 m² Flachkollektoren zur Warmwasserbereitung. Die Flachkollektoren waren auf dem Flachdach nach Süden ausgerichtet mit einer Neigung von 45 ° zur Horizontalen. Es wurde keine Verschattung zwischen den Modulreihen, sowie durch umliegende Objekte berücksichtigt.

Parameter 5 – PV-Erzeugung

Bei der PV-Eigenstromerzeugung wurden zwei Niveaus unterschieden, keine PV-Module und PV mit einer Gesamtleistung von 52,8 kW_{peak}. Die Ausrichtung der PV Module auf der Dachfläche war nach Süden ausgerichtet mit einem Winkel von 30 ° zur Horizontalen. Die Verschattung durch umliegende Objekte, bzw. durch umliegende PV-Module wird berücksichtigt. Der erzeugte Strom wurde an das Tool PVopti¹⁴ übergeben um den Eigenverbrauch an Strom, bzw. auch die Einspeisung von Überschussstrom (Einspeisevergütung in Tabelle 66Tabelle 57), monetär bewerten zu können.

Parameter 6 – Nutzerverhalten

Beim Parameter 6 wurde die Raumtemperatur (21, 22 und 23 °C), der Warmwasserbedarf (25, 30 und 35 l/Pers/d), eine zusätzliche Fensterlüftung (Luftwechsel 0, 0,05 und 0,1), als auch eine nicht optimale

¹⁴ PVopti Tool zum Berechnen des Eigenverbrauchs von Gebäuden auf Stundenbasis.
<http://www.annex67.org/publications/software/pvopti/>

Nutzung der Verschattungseinrichtungen (0%, 10% und 20%) variiert. Eine Übersicht ist in Tabelle 4 zu finden.

Parameter 7 – Geschäftsmodell

Es wurden zwei Geschäftsmodelle für die PV-Erzeugung variiert: Überschusseinspeiser (Niveau 1) und ein Contracting-Modell (Niveau 2). Beim Niveau 1 werden PV-Erträge, welche den Eigenverbrauch übersteigen, in das Netz eingespeist. Der Eigenverbrauch von PV-Strom wird vom gesamten Strombedarf in Abzug gebracht und der Überschussstrom gemäß der Einspeisevergütung in Tabelle 66 bewertet. Niveau 2 beschreibt ein Contracting-Modell, welches eine Fremdfinanzierung der PV-Anlage vorsieht. Die PV-Erträge werden 15 Jahre lang dem Contractor übertragen, danach fällt die PV-Anlage wieder in das Eigentum des Gebäudeeigentümers zurück. Ab diesem Zeitpunkt werden PV-Erträge zur Deckung des Eigenbedarfs und Überschüsse der PV-Anlage in der Berechnung berücksichtigt. Die Preissteigerung nach 15 Jahren wird bei der Überschusseinspeisung berücksichtigt.

Parameter 8 – Sensitivität

Der Parameter Sensitivität beschreibt in drei Niveaus die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und des Grundpreises (b) für die Energieträger Strom, Hackschnitzel und Fernwärme, welche für die Berechnung der mittleren Energiepreissteigerung benötigt werden. Die Steigerung des Preises (y^*), bzw. die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) wird getrennt von Arbeits- und Grundpreis nach den folgenden Gleichungen berechnet. Der Energiepreis (y^*) setzt sich dabei aus dem Energieverbrauch (x) der jeweiligen Variante, dem Arbeitspreis (y) und dem Grundpreis (z) zusammen. Die mittlere Energiepreissteigerung pro Jahr (a^*) beinhaltet zusätzlich die Preissteigerung des Arbeitspreises (a) und die Preissteigerung des Grundpreises (b), wobei diese für alle Energieträger ident sind. Die Koeffizienten der Gleichungen für die unterschiedlichen Niveaus sind in Tabelle 66 zusammen mit der Steigerung der Einspeisevergütung, dargestellt.

$$y^* = \frac{x \cdot y + z}{x}$$

$$a^* = \frac{x \cdot y \cdot a + z \cdot b}{x \cdot y + z}$$

Tabelle 66: Parameter 8 –Koeffizienten zur Berechnung des Energiepreises und der Energiepreissteigerungen

	Variable	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
<i>Arbeitspreis – Erdgas</i>	y_s	€/kWh	-	0,0438	-
<i>Grundpreis - Erdgas</i>	z_s	€	-	76,2	-
<i>Arbeitspreis – Strom</i>	y_s	€/kWh	-	0,11755	-
<i>Grundpreis – Strom</i>	z_s	€	-	98,56	-
<i>Preissteigerung Arbeitspreis</i>	a	%	0,7	1,7	2,7
<i>Preissteigerung Grundpreis</i>	b	%	2,0	3,0	4,0
<i>Einspeisevergütung Strom</i>	-	€/kWh	-	0,025	-
<i>Preissteigerung Einspeisevergütung Strom</i>	-	%	0,7	1,7	2,7

Für den Energieträger Hackschnitzel und Fernwärme wurden folgende Energiepreise und jährliche Energiepreissteigerungen verwendet (Tabelle 67).

Tabelle 67: Parameter 8 – Energiepreise und Energiepreissteigerung für Hackschnitzel und Fernwärme

	Einheit	Niedrig	Standard	Hoch
<i>Energiepreis –Hackschnitzel</i>	€/kWh	-	0,0456	-
<i>Energiepreis - Fernwärme</i>	€/kWh	-	0,0691	-
<i>Preissteigerung - Hackschnitzel</i>	%	1,0	2,0	3,0
<i>Preissteigerung - Fernwärme</i>	%	1,0	2,0	3,0

Parameter 9 - Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum wurde variiert zwischen 30 Jahren (Niveau 1) und 50 Jahren (Niveau 2). Dieser Parameter hat Einfluss auf notwendige Reinvestitionen und damit auf den Restwert und zuletzt auf den Kapitalwert, welcher die Summe aller auftretenden Kosten und Gewinne darstellt.

Anhang II: Berücksichtigung von PV-Erträgen

Bewertungssysteme für die energetische Gebäudequalität unterscheiden sich z.T. stark bezüglich der Regelungen zur Berücksichtigung von PV-Erträgen am Gebäude.

Im Projekt KoProLZK+ wird wie folgt vorgegangen:

Schritt 1: Berechnung der Energiekennwerte und der PV-Erträge mit PHPP

Die Energiekennwerte und die PV-Erträge werden mit dem validierten Programm PHPP berechnet, für die Berechnungen werden realistische Randbedingungen (z.B. mittlere Raumlufttemperaturen von 22°C) festgelegt. Berücksichtigt werden alle Energieanwendungen im Gebäude, d.h. auch der Haushalts- und der Betriebsstrom.

Schritt 2: Berechnung der Eigennutzungsanteile mit PVopti

Die berechneten elektrischen Energieanwendungen und die PV-Erträge werden an das Schweizer Minergie-Tool PVopti übergeben, um damit den eigengenutzten Strom der PV-Anlage abzuschätzen. PVopti rechnet auf Stundenbasis, wodurch die eigengenutzten Anteile leicht überschätzt werden. Folgende Daten werden übergeben.

- Gebäudekategorie: Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus oder Verwaltungsgebäude
- Energiebezugsfläche in m^2_{EBF}
- Gerätestrombedarf in $kWh/(m^2_{EBF} * a)$
- Beleuchtungsstrombedarf in $kWh/(m^2_{EBF} * a)$
- Hilfsstrombedarf Haustechnik und Lüftung in $kWh/(m^2_{EBF} * a)$
- Neigung und Ausrichtung der PV-Anlage
- Monatlicher PV-Ertrag in $kWh/(m^2_{EBF} * M)$
- Kapazität elektrischer Speicher in kWh
- Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe oder elektrisch direkt
 - Warmwasser-Wärmebedarf inklusive Verteil- und Speicherverluste in $kWh/(m^2_{EBF} * a)$
 - Monatlicher Heizwärmebedarf inklusive Verteil- und Speicherverluste in $kWh/(m^2_{EBF} * M)$
 - Jahresarbeitszahl Warmwasser (nur WP)
 - Jahresarbeitszahl Heizung (nur WP)
 - Warmwasser-Deckungsgrad solarthermische Anlage
 - Heizungs-Deckungsgrad solarthermische Anlage (nur WP)

Schritt 3: Abzug der eigengenutzten PV-Strom-Anteile auf Ebene Endenergie

PVopti berechnet den Eigenverbrauch und die Netzeinspeisung des erzeugten PV-Stroms sowie den verbleibenden Netzbezug, welcher noch benötigt wird um den gesamten Strombedarf des Gebäudes zu decken. Bei Einsatz eines elektrischen Speichers wird zusätzlich noch die Eigendeckung berechnet, welche sich aus dem Direktverbrauch und der Speicharentladung zusammensetzt. Die Differenz zwischen Eigenverbrauch, welcher sich aus dem Direktverbrauch und der Speicherbeladung zusammensetzt, und der Eigendeckung entspricht den Speicherverlusten.

Der Eigenverbrauch bzw. die Eigendeckung bei Einsatz eines elektrischen Speichers reduziert den Netzbezug des Gebäudes und somit auch die Energiekosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Schritt 4: Berücksichtigung der ins Netz eingespeisten Anteile der PV-Stromerzeugung in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die ins Netz eingespeisten Anteile der PV-Stromerzeugung werden im Projekt KoPro LZK+ nicht in der Gebäude-Energiebilanz berücksichtigt. Grund für diese Vorgehensweise ist, dass dieser Anteil des PV-Stroms sonst doppelt bilanziert würde:

- bei der Berechnung des nationalen Strommix und der abgeleiteten Konversionsfaktoren
- in der Energiebilanz des Gebäudes

Während der eingespeiste Anteil des Stroms also in der Gebäudeenergiebilanz nicht berücksichtigt wird, wird er in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigt. Dazu werden aus der eingespeisten PV-Strommenge und dem Netzeinspeisetarif die Einnahmen berechnet und von den Ausgaben für Energie subtrahiert.

Anhang III: Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für den Energieträger Strom

Zur Bewertung der energetischen Qualität von Gebäuden und ihrer Klimarelevanz werden seit etwa zwei Jahrzehnten häufig die Indikatoren Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen (bzw. CO_{2eq}-Emissionen) verwendet. Diese ergeben sich durch Multiplikation des Endenergiebedarfs je Energieträger mit seinem Primärenergiefaktor bzw. seinem Konversionsfaktor für CO₂ bzw. für CO_{2eq}. Bislang wurden als Primärenergiefaktoren und Konversionsfaktoren für CO₂ üblicherweise Jahreswerte verwendet.

Während dies für die Energieträger wie Öl, Gas, Biomasse nach wie vor ausreichend ist, zeigen die Ergebnisse einer Studie des Energieinstitut Vorarlberg, dass zur Bewertung des Energieträgers Strom zeitlich variable Konversionsfaktoren sinnvoll sind. Die CO₂-Intensität der Stromerzeugung in Versorgungsgebieten mit hohen Anteilen fluktuierender erneuerbarer Energien – wie etwa Österreich – schwankt jahreszeitlich stark.

Daher wurden monatliche Primärenergiefaktoren und CO_{2eq}-Faktoren ermittelt, wobei hierbei die Daten der Jahre 2014/2015 (Mittelwerte) herangezogen wurden. Zur Bewertung der CO_{2eq}-Emissionen der einzelnen Kraftwerkstypen wurden die Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen von Stolz und Frischknecht verwendet.

Österreich ist Netto-Stromimporteur

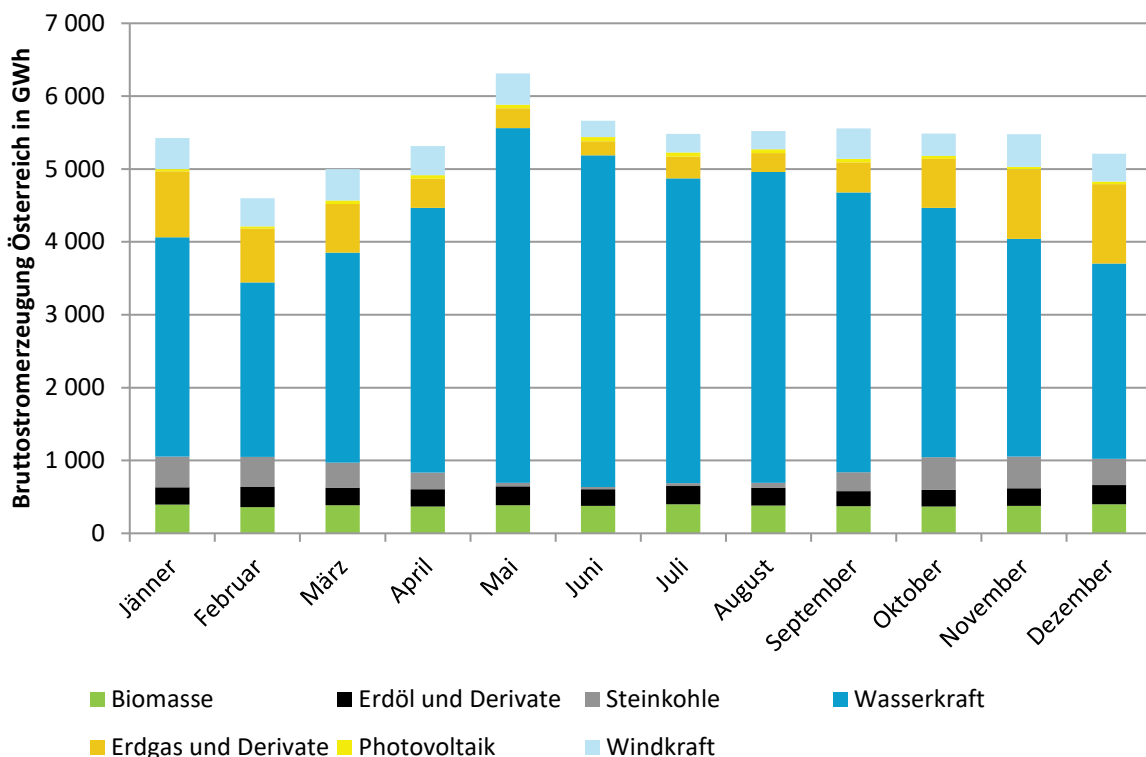


Abbildung 92: Bruttostromerzeugung Österreich im Mittel der Jahre 2014 und 2015 (Darstellung: EIV, 2017)

Die Konversionsfaktoren des Verbraucherstrom-Mix eines Versorgungsgebietes können aus den Werten der einzelnen Kraftwerkstypen berechnet werden, sofern die Anteile der einzelnen

Kraftwerkstypen an der Gesamterzeugung bekannt sind. Die Basis für die Ermittlung der monatlichen Faktoren für Österreich sind die Betriebsstatistiken der E-Control. Abbildung 92 verdeutlicht den ausgeprägten Jahresgang der Stromerzeugung aus Wasserkraft mit hoher Erzeugung im Sommer und deutlich niedrigeren Werten in den Wintermonaten. Ein noch stärker ausgeprägter Jahresgang mit Maximum im Sommer und weit niedrigeren Werten ergibt sich für PV-Strom. Wegen des noch sehr geringen Anteils an der Gesamterzeugung ist dieser Verlauf in der Abbildung kaum erkennbar.

Österreich importierte in den vergangenen Jahren vor allem im Winter Strom aus dem Ausland. In der Grafik ist die Österreichische Bruttostromerzeugung aus regenerativen Energieträgern in Grün dargestellt, der Anteil aus nicht erneuerbaren Energieträgern in Grau. Die violetten Punkte zeigen die Österreichische Bruttostromerzeugung abzüglich des Bedarfs des Netzbetriebs, die roten Punkte den energetischen Endverbrauch Österreichs.

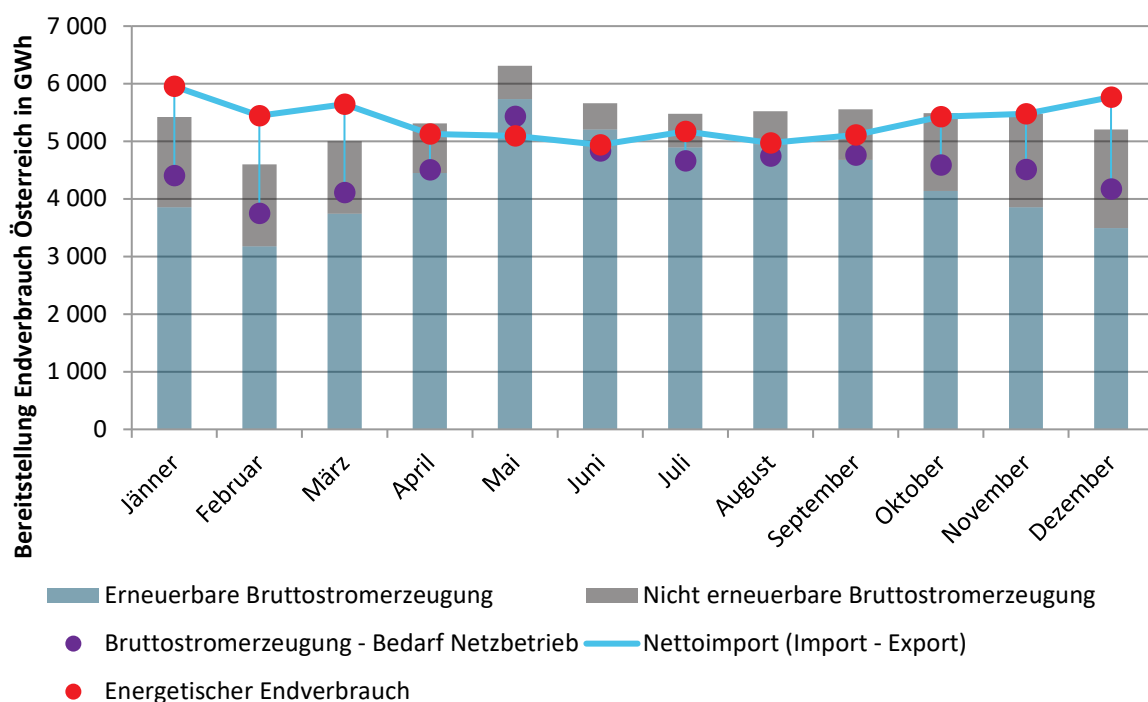


Abbildung 93: Bruttostromerzeugung Österreich, Bedarf Netzbetrieb Österreich, Energetischer Endenergieverbrauch und Nettoimport (Mittelwerte der Jahre 2014 und 2015)

Hauptbezug aus Deutschland und der Tschechischen Republik

Die Differenz zwischen violetten und roten Punkten beschreibt die Energiemenge, die Österreich importiert bzw. exportiert. Wie die Grafik veranschaulicht, ist die Import/Exportbilanz Österreichs besonders in den Wintermonaten negativ, es wird deutlich mehr Strom importiert als exportiert. Die Stromimporte Österreichs sind in den vergangenen Jahren kontinuierlich angestiegen.

Bei genauer Betrachtung der Stromimporte und -exporte ist ersichtlich, dass Österreich Nettoimporteure (Importe > Exporte) von Strom aus Deutschland und der Tschechischen Republik ist. Lediglich im Mai konnte mehr exportiert als importiert werden. Daher wurde die Inlandserzeugung dieser beiden Länder für 2014 und 2015 analog zur Vorgehensweise für Österreich analysiert, welche anteilig der Nettoimportmenge in den Österreichischen Verbraucherstrom-Mix einfließen.

Starke jahreszeitliche Schwankungen bei CO₂ und Primärenergie

Bewertet wurde der Verbraucherstrommix in Österreich, der aus der österreichischen Bruttostromerzeugung abzüglich des Bedarfs für den Netzbetrieb und zuzüglich des Importsaldos aus den zwei Hauptimportländern (Deutschland und Tschechische Republik) ermittelt wurde. Abbildung 92 zeigt die monatlichen Konversionsfaktoren für den österreichischen Verbraucherstrommix im Mittel der Jahre 2014/15 bei Anwendung der Umweltkennwerte von Stolz für die verschiedenen Kraftwerkstypen.

Wie die Abbildung 92 zeigt, unterliegen die monatlichen CO_{2eq}-Konversionsfaktoren einem stark schwankenden jahreszeitlichen Verlauf. Die Werte liegen zwischen etwa 100 g_{CO_{2eq}}/kWh im Mai und Juni und 437 g_{CO_{2eq}}/kWh im Februar. Der Jahresmittelwert entspricht sehr gut dem Jahreswert der OIB RL 6 (2015).

Die in Abbildung 92 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die CO_{2eq}-Intensität des österreichischen Verbraucherstrommix merklichen jahreszeitlichen Schwankungen mit höheren Werten im Winter unterliegt. Ähnliches gilt auch für die Primärenergiefaktoren.

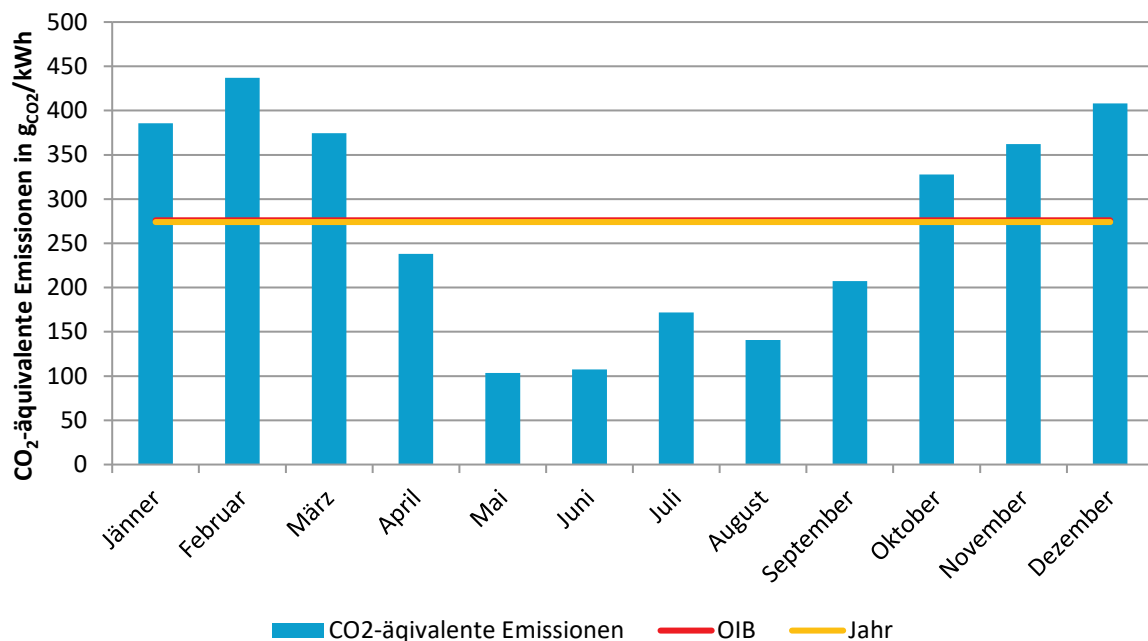


Abbildung 94: Monatswerte der CO_{2eq}-Faktoren des österreichischen Verbraucherstrommix im Mittel der Jahre 2014 und 2015 auf Basis der Monatsdaten Betriebsstatistik gem. E-Control Konversionsfaktoren CO_{2eq} für Kraftwerkstypen nach Stolz, (Darstellung: EIV, 2017)

Anhang IV: Datenbank von Kosteneinsparungspotentialen

1.2.1. Wolfurt

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Eigenstromnutzung VE	minimum	2283	2448	63	8
	median	2447	2642	109	14
	maximum	2591	2838	250	33
	Standardabweichung	56	74	27	4
Eigenstromnutzung ÜE, HTopt+HH	minimum	2300	2426	47	6
	median	2457	2618	89	12
	maximum	2591	2804	236	31
	Standardabweichung	55	74	26	4
Haushaltsstrom 20	minimum	2283	2426	47	6
	median	2450	2607	78	10
	maximum	2591	2781	205	27
	Standardabweichung	56	71	21	4
Haushaltsstrom 30	minimum	2283	2458	67	9
	median	2450	2635	101	13
	maximum	2591	2809	227	30
	Standardabweichung	56	71	22	4
Haushaltsstrom 40	minimum	2283	2488	87	11
	median	2450	2663	124	16
	maximum	2591	2838	250	33
	Standardabweichung	56	71	22	4
keine PV	minimum	2283	2448	63	8
	median	2430	2626	109	14
	maximum	2557	2808	250	33
	Standardabweichung	55	73	27	4
PV 14,7 kWp	minimum	2300	2426	50	7
	median	2447	2629	101	13
	maximum	2574	2823	250	33
	Standardabweichung	54	75	28	4
PV 30 kWp	minimum	2318	2431	47	6
	median	2465	2639	97	13
	maximum	2591	2838	250	33
	Standardabweichung	55	75	29	4
keine Solarthermie	minimum	2283	2426	58	8
	median	2418	2604	114	15
	maximum	2536	2790	250	33
	Standardabweichung	55	73	27	4
Solarthermie 40 m² (FK)	minimum	2343	2456	50	7
	median	2447	2628	100	13
	maximum	2560	2804	160	24
	Standardabweichung	51	72	24	4
Solarthermie 70 m² (FK)	minimum	2361	2475	48	6
	median	2465	2644	95	13
	maximum	2578	2822	150	22
	Standardabweichung	51	72	23	3
Solarthermie 70 m² (RK)	minimum	2374	2491	47	6
	median	2479	2660	94	12
	maximum	2591	2838	147	22
	Standardabweichung	51	72	22	3
keine Wärmeverteilung	minimum	2283	2470	135	18
	median	2357	2570	194	25
	maximum	2431	2678	250	33
	Standardabweichung	45	56	30	4
Wärmeverteilung 4-Leiter	minimum	2319	2426	47	6
	median	2442	2614	102	13
	maximum	2576	2806	181	29
	Standardabweichung	54	73	26	4
Wärmeverteilung 2-Leiter	minimum	2332	2459	47	6
	median	2456	2644	99	13
	maximum	2589	2836	173	27
	Standardabweichung	54	73	24	4
Wärmeverteilung 2-Leiter 35°C	minimum	2334	2464	47	6
	median	2458	2643	99	13
	maximum	2591	2838	172	26
	Standardabweichung	54	73	24	3
GW-WP	minimum	2328	2451	49	7
	median	2447	2618	96	12
	maximum	2548	2775	152	19
	Standardabweichung	50	69	23	3
Sole-WP	minimum	2372	2508	47	6
	median	2490	2682	92	12
	maximum	2591	2838	147	18
	Standardabweichung	50	69	23	3
Luft-WP	minimum	2319	2426	52	7

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Elektrisch dezentral	median	2437	2607	96	12
	maximum	2538	2765	140	17
	Standardabweichung	50	71	22	3
	minimum	2283	2470	135	18
	median	2357	2570	194	25
Gas-Brennwert	maximum	2431	2678	250	33
	Standardabweichung	45	56	30	4
	minimum	2321	2484	63	9
	median	2439	2624	115	17
	maximum	2540	2769	181	29
Lüftung WRG	Standardabweichung	50	65	25	4
	minimum	2363	2546	51	7
	median	2489	2686	101	13
	maximum	2591	2838	238	31
	Standardabweichung	39	48	27	4
Fensterlüftung	minimum	2283	2426	47	6
	median	2410	2570	101	13
	maximum	2512	2720	250	33
	Standardabweichung	39	48	29	4
	minimum	2316	2456	47	6
PH (Ug051) Hülle	median	2466	2643	94	12
	maximum	2591	2838	204	26
	Standardabweichung	54	74	25	4
	minimum	2283	2426	56	8
	median	2433	2623	106	14
BTV (Ug070) Hülle	maximum	2559	2814	250	33
	Standardabweichung	54	74	29	4

1.2.2. Langenegg

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Eigenstromnutzung VE	minimum	2398	2653	86	11
	median	2483	2802	124	16
	maximum	2581	2930	175	29
	Standardabweichung	35	55	20	4
	minimum	2415	2660	77	9
Eigenstromnutzung ÜE, HT	median	2507	2820	112	15
	maximum	2615	2958	173	29
	Standardabweichung	37	56	20	4
	minimum	2422	2656	76	9
	median	2509	2815	102	13
Eigenstromnutzung ÜE, HTopt	maximum	2615	2955	145	19
	Standardabweichung	36	57	15	2
	minimum	2415	2648	53	7
	median	2508	2802	98	14
	maximum	2616	2933	162	28
Eigenstromnutzung ÜE, HTopt+HH	Standardabweichung	37	55	20	4
	minimum	2398	2691	53	7
	median	2513	2817	107	14
	maximum	2616	2958	175	29
	Standardabweichung	39	55	21	4
keine Förderung	minimum	2398	2648	53	7
	median	2498	2804	107	14
	maximum	2594	2950	175	29
	Standardabweichung	34	57	21	4
	minimum	2398	2659	53	7
mit Förderung	median	2505	2818	107	14
	maximum	2616	2958	175	29
	Standardabweichung	37	56	21	4
	minimum	2398	2648	53	7
	median	2505	2805	107	14
Leistungstarif	maximum	2616	2945	175	29
	Standardabweichung	37	56	21	4
	minimum	2398	2648	53	7
	median	2505	2805	107	14
	maximum	2616	2945	175	29
keine PV	Standardabweichung	37	56	21	4
	minimum	2398	2653	86	11
	median	2465	2788	124	16
	maximum	2546	2900	175	29
	Standardabweichung	32	53	20	4
PV 5,3 kWp	minimum	2415	2648	65	8
	median	2494	2802	109	15
	maximum	2584	2929	175	29
	Standardabweichung	33	54	20	4
	minimum	2433	2657	53	7
PV 10,7 kWp	median	2520	2821	103	14
	maximum	2616	2958	175	29
	Standardabweichung	35	56	21	4

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
kein Batteriespeicher	minimum	2398	2648	68	9
	median	2488	2797	113	15
	maximum	2581	2930	175	29
	Standardabweichung	34	55	21	4
Batteriespeicher PV x 1	minimum	2431	2666	57	8
	median	2514	2817	102	14
	maximum	2608	2948	168	28
	Standardabweichung	35	55	20	4
Batteriespeicher PV x 1,5	minimum	2436	2672	53	7
	median	2521	2825	100	14
	maximum	2616	2958	168	28
	Standardabweichung	36	55	20	4
Wärmeverteilung 60°C 24h	minimum	2398	2671	59	8
	median	2506	2818	112	15
	maximum	2615	2958	175	29
	Standardabweichung	37	55	21	4
Wärmeverteilung 50°C 9h	minimum	2399	2648	53	7
	median	2503	2804	102	14
	maximum	2616	2950	163	27
	Standardabweichung	38	56	20	4
keine Solarthermie	minimum	2398	2648	63	8
	median	2480	2786	119	16
	maximum	2568	2911	175	29
	Standardabweichung	32	52	23	5
Solarthermie 30 m² (FK)	minimum	2415	2677	56	7
	median	2513	2820	105	14
	maximum	2606	2950	152	24
	Standardabweichung	33	54	18	3
Solarthermie 52 m² (FK)	minimum	2418	2679	53	7
	median	2520	2823	99	13
	maximum	2616	2958	142	22
	Standardabweichung	34	55	17	3
Gas-Brennwert	minimum	2398	2699	70	11
	median	2499	2812	121	19
	maximum	2595	2946	175	29
	Standardabweichung	38	53	21	4
Sole-WP	minimum	2406	2648	53	7
	median	2505	2794	91	12
	maximum	2616	2943	143	18
	Standardabweichung	38	56	15	2
Luft-WP	minimum	2406	2711	69	9
	median	2506	2827	113	15
	maximum	2602	2958	167	21
	Standardabweichung	36	54	17	2
Lüftung WRG	minimum	2443	2765	57	8
	median	2531	2872	102	14
	maximum	2616	2958	162	26
	Standardabweichung	32	33	20	4
Abluft	minimum	2415	2701	59	8
	median	2500	2810	113	15
	maximum	2582	2892	175	29
	Standardabweichung	31	31	21	4
Fensterlüftung	minimum	2398	2648	53	7
	median	2480	2760	105	14
	maximum	2565	2846	164	27
	Standardabweichung	31	32	21	4
PH (Ug051) Hülle	minimum	2406	2648	53	7
	median	2515	2812	98	13
	maximum	2616	2958	153	24
	Standardabweichung	37	58	18	3
BTV (Ug070) Hülle	minimum	2398	2677	61	8
	median	2493	2811	115	16
	maximum	2588	2949	175	29
	Standardabweichung	35	54	21	4

1.2.3. Feldkirch

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Eigenstromnutzung VE	minimum	2149	2404	105	10
	median	2281	2526	148	14
	maximum	2445	2661	237	31
	Standardabweichung	54	48	25	5
Eigenstromnutzung ÜE, HTopt+HH	minimum	2160	2399	81	8
	median	2287	2506	132	12
	maximum	2445	2638	227	30

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
keine PV	Standardabweichung	53	46	27	5
	minimum	2149	2404	105	10
	median	2265	2512	148	14
	maximum	2410	2632	237	31
PV 10 kWp	Standardabweichung	52	46	25	5
	minimum	2160	2399	91	9
	median	2275	2513	143	13
	maximum	2420	2641	237	31
PV 20 kWp	Standardabweichung	52	47	26	5
	minimum	2170	2401	84	8
	median	2286	2516	140	13
	maximum	2430	2649	237	31
PV 35 kWp	Standardabweichung	52	48	27	5
	minimum	2184	2410	81	8
	median	2300	2526	139	13
	maximum	2445	2661	237	31
keine Solarthermie	Standardabweichung	52	48	28	5
	minimum	2149	2399	94	8
	median	2264	2518	166	14
	maximum	2407	2661	237	31
Solarthermie 49 m² (FK)	Standardabweichung	52	50	28	6
	minimum	2164	2401	86	8
	median	2278	2516	146	13
	maximum	2421	2650	209	27
Solarthermie 102 m² (FK)	Standardabweichung	52	48	24	5
	minimum	2176	2403	82	8
	median	2290	2514	133	13
	maximum	2433	2644	189	25
Solarthermie 90 m² (RK)	Standardabweichung	52	46	21	4
	minimum	2188	2413	81	8
	median	2302	2524	132	12
	maximum	2445	2655	188	25
Pelle	Standardabweichung	52	46	21	4
	minimum	2155	2446	98	8
	median	2269	2523	147	10
	maximum	2405	2631	203	12
Gas-Brennwert	Standardabweichung	50	39	21	1
	minimum	2149	2399	94	14
	median	2265	2478	137	22
	maximum	2403	2584	186	31
Fernwärme	Standardabweichung	50	40	19	4
	minimum	2176	2464	105	9
	median	2292	2544	165	12
	maximum	2428	2661	237	15
Sole-WP	Standardabweichung	50	39	26	1
	minimum	2205	2428	81	11
	median	2315	2527	122	16
	maximum	2445	2655	187	24
Wärmeverteilung 2-Leiter	Standardabweichung	49	43	21	3
	minimum	2164	2409	81	8
	median	2291	2521	138	13
	maximum	2445	2658	222	29
Wärmeverteilung 2-Leiter 35°C	Standardabweichung	53	47	26	5
	minimum	2167	2410	85	9
	median	2293	2520	134	13
	maximum	2445	2655	212	28
Wärmeverteilung Rohr-in-Rohr	Standardabweichung	53	47	24	4
	minimum	2152	2399	81	8
	median	2278	2512	140	13
	maximum	2432	2647	222	29
Wärmeverteilung 4-Leiter	Standardabweichung	53	47	26	5
	minimum	2149	2406	84	8
	median	2276	2520	149	13
	maximum	2430	2661	237	31
Wärmeabgabe FBH	Standardabweichung	53	49	28	6
	minimum	2152	2401	81	8
	median	2286	2519	141	13
	maximum	2445	2661	237	31
Wärmeabgabe HK	Standardabweichung	53	48	27	5
	minimum	2149	2399	81	8
	median	2280	2516	144	13
	maximum	2442	2658	236	31
Lüftung WRG	Standardabweichung	53	48	27	5
	minimum	2212	2458	81	8
	median	2311	2545	136	13
	maximum	2445	2661	226	30
Abluft	Standardabweichung	43	37	26	5
	minimum	2149	2399	87	8
	median	2249	2488	148	13
	maximum	2383	2605	237	31
	Standardabweichung	43	39	27	6

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Massivbau	minimum	2162	2402	81	8
	median	2270	2503	142	13
	maximum	2376	2610	235	31
	Standardabweichung	43	43	27	5
WDVS	minimum	2149	2399	81	8
	median	2257	2500	142	13
	maximum	2362	2607	235	31
	Standardabweichung	43	43	27	5
Mischbau	minimum	2168	2409	81	8
	median	2276	2511	144	13
	maximum	2382	2619	237	31
	Standardabweichung	43	43	27	5
Holzbau	minimum	2235	2450	81	8
	median	2340	2552	142	13
	maximum	2445	2661	235	31
	Standardabweichung	42	43	27	5
PH (Ug051) Hülle	minimum	2167	2399	81	8
	median	2290	2509	131	12
	maximum	2445	2632	209	28
	Standardabweichung	52	44	23	4
BTV (Ug070) Hülle	minimum	2149	2405	94	8
	median	2276	2528	154	14
	maximum	2444	2661	237	31
	Standardabweichung	54	49	26	6

1.2.4. e80^3

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
keine Solarthermie	minimum	2077	2600	131	11
	median	2379	3017	192	25
	maximum	2666	3280	290	38
	Standardabweichung	163	174	39	9
Solarthermie mittel, WW	minimum	2091	2602	108	10
	median	2392	3001	168	22
	maximum	2678	3274	262	35
	Standardabweichung	163	172	37	8
Solarthermie mittel, WW+Hzg	minimum	2091	2601	99	10
	median	2392	2989	163	19
	maximum	2678	3273	257	34
	Standardabweichung	163	172	35	7
Solarthermie hoch, WW	minimum	2106	2610	97	9
	median	2407	3003	156	20
	maximum	2694	3277	250	34
	Standardabweichung	163	172	36	7
Solarthermie hoch, WW+Hzg	minimum	2106	2607	87	9
	median	2407	2991	149	17
	maximum	2694	3273	238	31
	Standardabweichung	163	172	34	6
keine PV	minimum	2077	2600	122	11
	median	2188	2783	184	23
	maximum	2445	2990	290	38
	Standardabweichung	114	101	37	8
PV mittel	minimum	2325	2912	90	9
	median	2436	3069	159	19
	maximum	2694	3280	261	35
	Standardabweichung	114	98	37	7
PV hoch	minimum	2325	2908	87	9
	median	2436	3062	158	19
	maximum	2694	3276	260	35
	Standardabweichung	114	98	38	7
Gas	minimum	2078	2600	102	16
	median	2400	2971	148	25
	maximum	2686	3238	219	37
	Standardabweichung	164	177	25	5
Fernwärme	minimum	2086	2670	121	9
	median	2407	3039	185	12
	maximum	2694	3280	280	15

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Luft-WP	Standardabweichung	163	172	36	1
	minimum	2077	2671	87	12
	median	2400	3034	164	22
	maximum	2687	3276	290	38
	Standardabweichung	164	160	44	6
Abluft	Standardabweichung	160	166	37	8
	minimum	2106	2665	116	10
	median	2386	3010	180	22
	maximum	2640	3249	290	38
	Standardabweichung	160	166	37	8
mech. Lüftung mit WRG	Standardabweichung	160	165	31	6
	minimum	2159	2731	87	9
	median	2439	3069	140	17
	maximum	2694	3280	231	31
	Standardabweichung	160	165	31	6
Fensterlüftung	Standardabweichung	160	168	37	8
	minimum	2077	2600	114	9
	median	2356	2957	177	22
	maximum	2611	3198	284	38
	Standardabweichung	160	168	37	8
PH Hülle	Standardabweichung	122	151	30	6
	minimum	2122	2610	87	9
	median	2400	2983	149	18
	maximum	2490	3105	228	30
	Standardabweichung	122	151	30	6
BTV Hülle	Standardabweichung	122	154	37	9
	minimum	2077	2600	129	11
	median	2355	2983	194	26
	maximum	2444	3129	290	38
	Standardabweichung	122	154	37	9
Fertigteilhülle	Standardabweichung	122	152	31	6
	minimum	2326	2784	90	10
	median	2604	3160	154	19
	maximum	2694	3280	235	31
	Standardabweichung	122	152	31	6

1.2.5. +ERS

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Solarthermie WW+Sp	minimum	1901	2435	78	10
	median	1998	2499	125	14
	maximum	2088	2555	176	23
	Standardabweichung	46	31	28	3
	Standardabweichung	46	31	28	3
Solarthermie WW	minimum	1901	2434	79	10
	median	1998	2507	132	14
	maximum	2088	2571	189	23
	Standardabweichung	46	33	32	3
	Standardabweichung	46	36	34	4
keine Solarthermie	minimum	1891	2441	93	9
	median	1988	2517	151	15
	maximum	2078	2594	206	27
	Standardabweichung	46	36	34	4
	Standardabweichung	46	36	34	4
PV hoch	minimum	1964	2447	78	10
	median	2030	2505	119	12
	maximum	2088	2558	197	21
	Standardabweichung	35	29	30	3
	Standardabweichung	35	30	32	5
PV mittel	minimum	1934	2434	83	9
	median	2000	2492	147	15
	maximum	2058	2548	206	27
	Standardabweichung	35	30	32	5
	Standardabweichung	35	32	32	2
keine PV	minimum	1891	2467	81	11
	median	1957	2525	146	16
	maximum	2015	2594	204	22
	Standardabweichung	35	32	32	2
	Standardabweichung	35	32	32	2
Sole WP + Energiepfähle	minimum	1911	2434	81	10
	median	2002	2500	122	13
	maximum	2088	2555	172	21
	Standardabweichung	46	31	25	3
	Standardabweichung	46	31	25	3
Sole WP + Erdkollektor	minimum	1908	2435	78	9
	median	1999	2505	126	15
	maximum	2085	2564	204	27
	Standardabweichung	46	32	36	4
	Standardabweichung	46	32	36	4
Luft-WP	minimum	1891	2445	96	10
	median	1983	2519	151	14

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
mech. Lüftung mit WRG	maximum	2068	2594	206	22
	Standardabweichung	46	35	29	3
	minimum	1949	2483	78	9
	median	2022	2519	122	14
Fensterlüftung	maximum	2088	2594	198	22
	Standardabweichung	36	23	31	3
	minimum	1891	2434	101	10
	median	1964	2487	151	14
PH Hülle	maximum	2030	2591	206	27
	Standardabweichung	36	35	30	4
	minimum	1927	2434	78	9
	median	2011	2490	117	12
BTV Hülle	maximum	2088	2544	158	19
	Standardabweichung	43	28	22	2
	minimum	1891	2466	107	12
	median	1976	2525	162	16
	maximum	2052	2594	206	27
	Standardabweichung	43	27	27	3

1.2.6. Bürogebäude AEE INTEC

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Geschäftsmodell Volleinspeisung	minimum	2189	3500	102	11
	median	2337	3696	147	17
	maximum	2474	3861	257	35
	Standardabweichung	65	69	41	7
Geschäftsmodell Contracting	minimum	2162	3553	26	4
	median	2297	3723	106	11
	maximum	2422	3873	227	31
	Standardabweichung	64	63	44	7
Geschäftsmodell Bau	minimum	2162	3557	26	4
	median	2331	3713	112	12
	maximum	2474	3860	257	35
	Standardabweichung	68	59	46	7
30 kWh Batteriespeicher	minimum	2198	3552	29	4
	median	2333	3723	126	14
	maximum	2452	3840	257	35
	Standardabweichung	64	58	49	7
10 kWh Batteriespeicher	minimum	2176	3520	35	5
	median	2312	3694	128	14
	maximum	2430	3809	257	35
	Standardabweichung	64	58	48	7
kein Batteriespeicher	minimum	2162	3500	40	6
	median	2293	3682	134	14
	maximum	2417	3822	257	35
	Standardabweichung	64	60	47	7
Solarthermie hoch 160m2+14m3	minimum	2300	3618	26	4
	median	2390	3752	98	11
	maximum	2474	3873	165	21
	Standardabweichung	38	44	31	4
Solarthermie mittel 80m2+7m3	minimum	2234	3553	35	4
	median	2324	3691	112	13
	maximum	2408	3815	195	26
	Standardabweichung	38	45	34	5
keine Solarthermie	minimum	2162	3500	103	6
	median	2252	3674	183	23
	maximum	2336	3872	257	35
	Standardabweichung	38	76	36	8
PV hoch	minimum	2162	3500	26	4
	median	2333	3696	123	13
	maximum	2474	3843	257	35
	Standardabweichung	69	63	51	7
PV mittel	minimum	2162	3548	61	7
	median	2314	3726	131	14
	maximum	2448	3873	257	35
	Standardabweichung	65	63	45	7
keine PV	minimum	2162	3595	102	11
	median	2279	3723	147	17
	maximum	2364	3822	257	35
	Standardabweichung	60	56	41	7
Gas	minimum	2169	3500	45	8
	median	2322	3679	123	19
	maximum	2469	3835	206	35

		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
Fernwärme	Standardabweichung	68	65	37	6
	minimum	2162	3540	56	4
	median	2315	3700	145	9
	maximum	2462	3846	257	15
Luft-WP	Standardabweichung	68	55	46	3
	minimum	2174	3587	26	4
	median	2327	3748	116	15
	maximum	2474	3873	257	33
Abluft	Standardabweichung	68	54	56	7
	minimum	2162	3500	41	4
	median	2296	3684	140	15
	maximum	2429	3862	257	35
mech. Lüftung mit WRG	Standardabweichung	65	65	50	8
	minimum	2207	3559	26	4
	median	2342	3732	124	13
	maximum	2474	3873	232	31
Mischung	Standardabweichung	65	60	47	7
	minimum	2199	3545	26	4
	median	2333	3719	123	13
	maximum	2466	3860	232	31
PH Hülle	Standardabweichung	65	60	47	7
	minimum	2167	3500	26	4
	median	2324	3698	115	12
	maximum	2474	3836	226	30
BTV Hülle	Standardabweichung	68	61	46	7
	minimum	2162	3512	52	4
	median	2319	3724	140	15
	maximum	2469	3873	257	35
	Standardabweichung	68	66	48	7

1.2.7. Sanierung NMS Rainbach

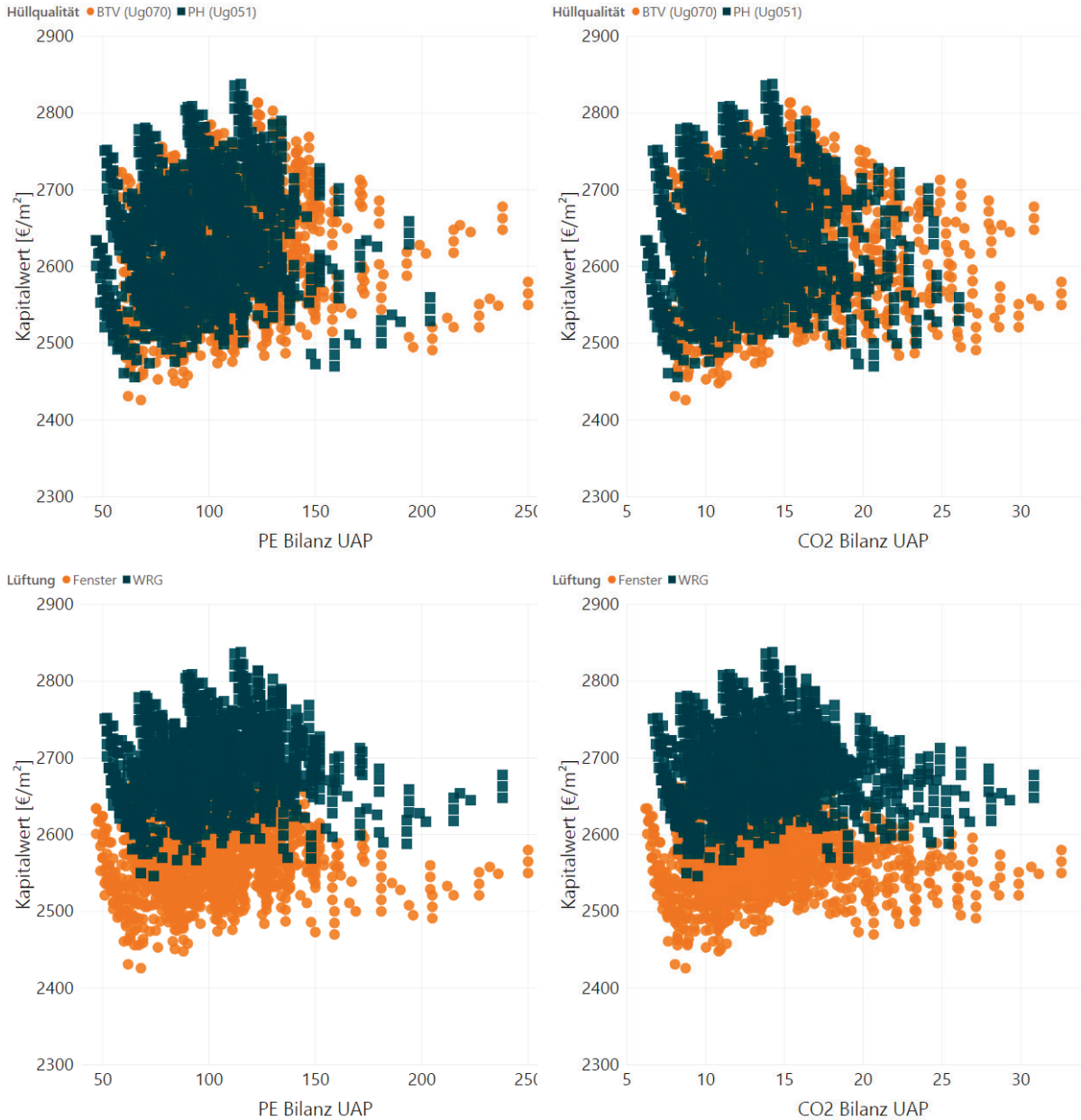
		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
keine Solarthermie	minimum	2241	3108	112	5
	median	2413	3400	202	14
	maximum	2553	3567	274	39
	Standardabweichung	74	125	39	12
Solarthermie WW	minimum	2247	3110	104	4
	median	2419	3399	195	13
	maximum	2559	3558	268	38
	Standardabweichung	74	123	38	11
keine PV	minimum	2241	3108	141	6
	median	2393	3391	210	15
	maximum	2494	3565	274	39
	Standardabweichung	70	127	36	12
PV hoch	minimum	2280	3122	104	4
	median	2438	3404	189	12
	maximum	2559	3567	251	36
	Standardabweichung	71	122	37	11
Hackschnitzel	minimum	2257	3182	159	4
	median	2414	3408	207	5
	maximum	2527	3457	265	8
	Standardabweichung	72	106	26	1
Gasbrennwert	minimum	2250	3108	119	23
	median	2408	3338	159	30
	maximum	2520	3400	211	39
	Standardabweichung	72	109	24	4
WP Tiefensonden	minimum	2289	3346	104	15
	median	2446	3520	179	25
	maximum	2559	3567	267	36
	Standardabweichung	72	73	43	6
Fernwärme	minimum	2241	3183	155	7
	median	2398	3404	209	9
	maximum	2511	3436	274	12
	Standardabweichung	72	103	32	1
Abluft	minimum	2348	3317	149	5
	median	2428	3406	206	17
	maximum	2521	3567	274	39
	Standardabweichung	42	75	34	12
mech. Lüftung mit WRG	minimum	2385	3357	104	5
	median	2466	3434	165	13
	maximum	2559	3554	228	32
	Standardabweichung	42	56	33	9
Fensterlüftung	minimum	2241	3108	145	4
	median	2322	3201	202	16

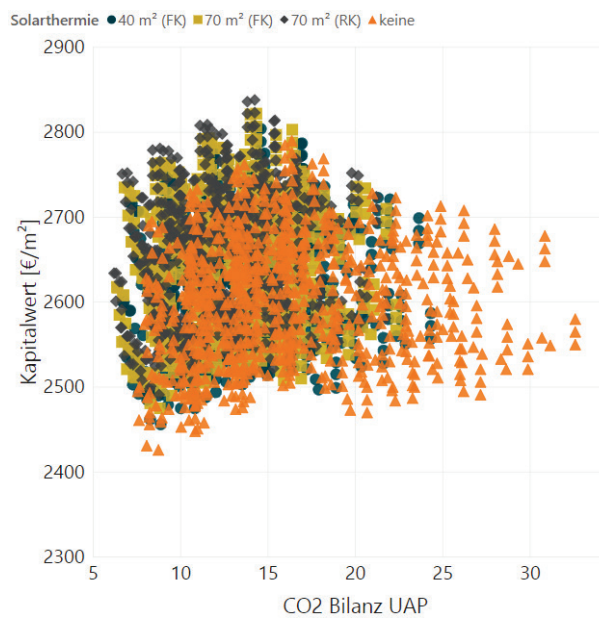
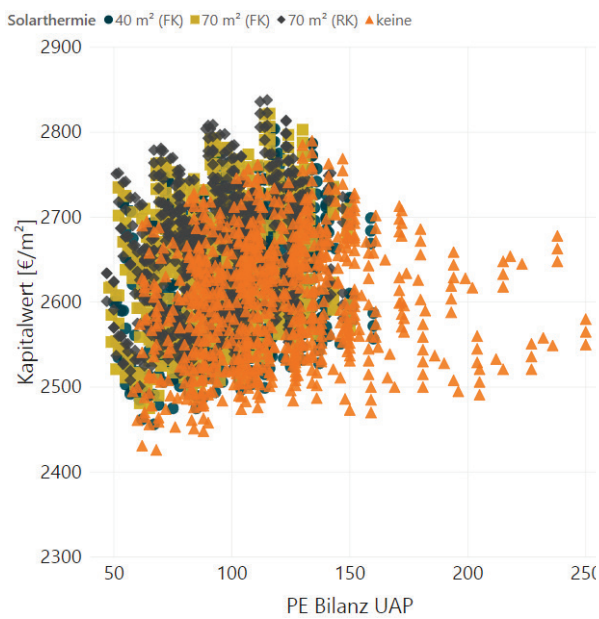
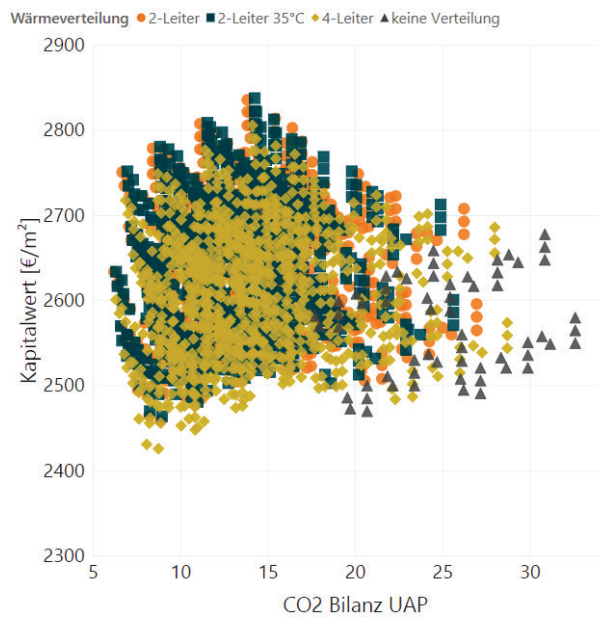
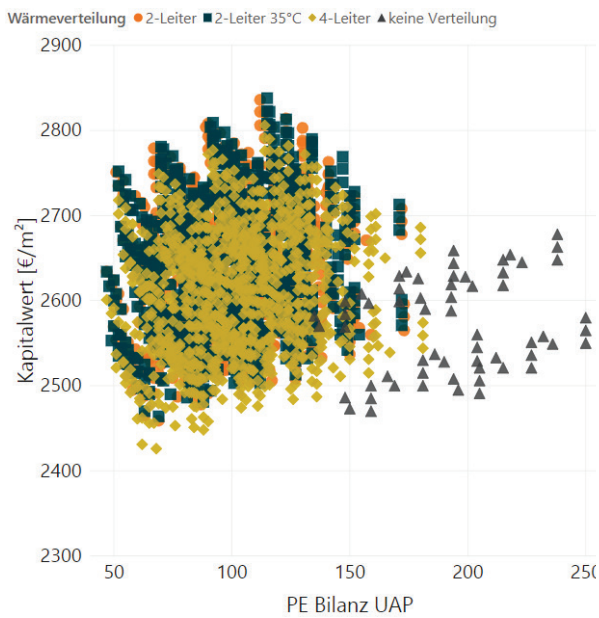
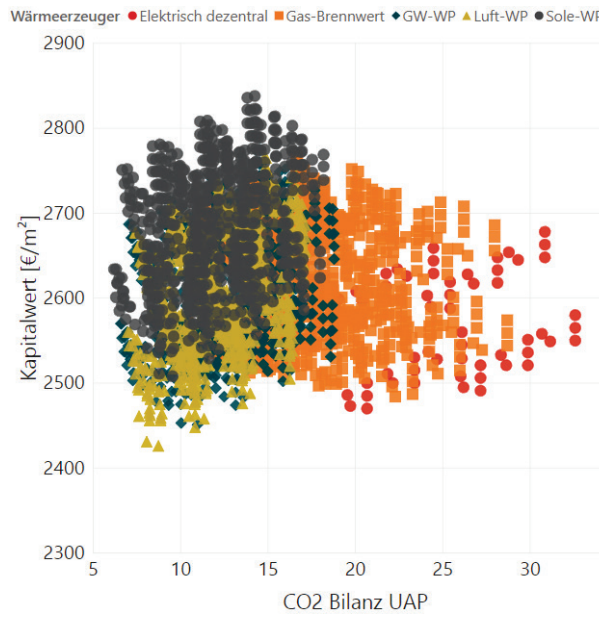
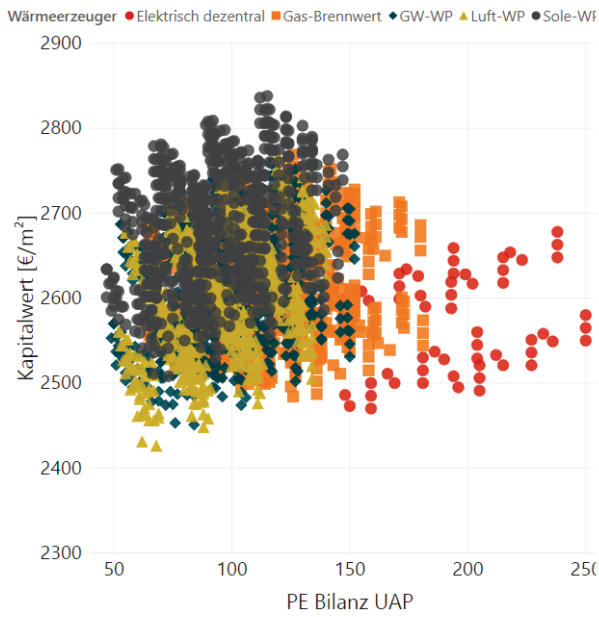
		Finanzierungskosten [EUR/m ²]	Kapitalwert [EUR/m ²]	PE bilanziert UAP [kWh/m ²]	CO ₂ Emissionen bilanziert UAP [kg/m ²]
PH Hülle	maximum	2414	3429	266	38
	Standardabweichung	42	97	34	12
	minimum	2296	3131	104	4
	median	2452	3397	169	12
	maximum	2559	3532	230	32
BTV Hülle	Standardabweichung	69	117	31	10
	minimum	2241	3108	150	5
	median	2396	3403	219	17
	maximum	2503	3567	274	39
	Standardabweichung	69	130	33	13
PV-Contracting	minimum	2280	3122	104	4
	median	2433	3404	189	12
	maximum	2533	3567	251	36
	Standardabweichung	69	124	37	11
	minimum	2241	3108	104	4
ohne PV Förderung	median	2413	3396	199	13
	maximum	2559	3565	274	39
	Standardabweichung	77	124	39	11

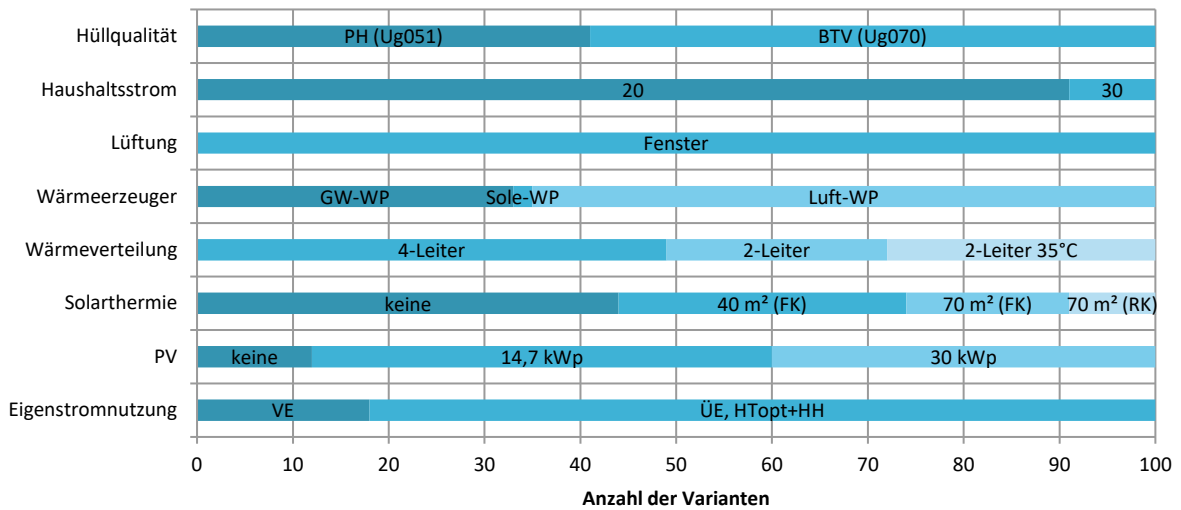
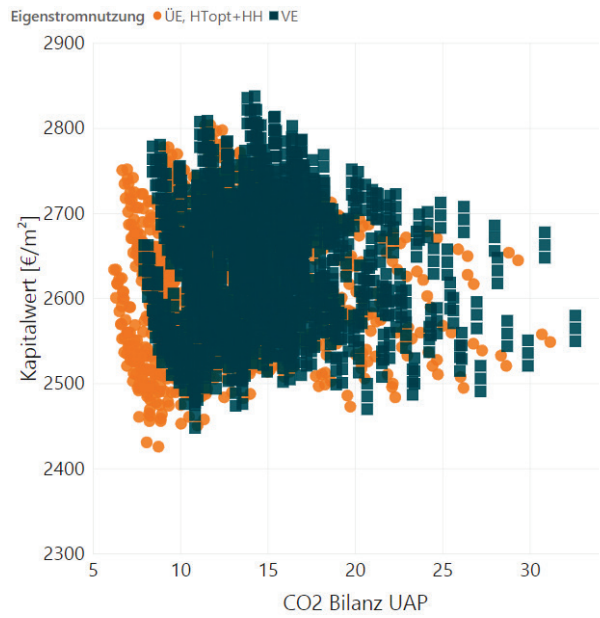
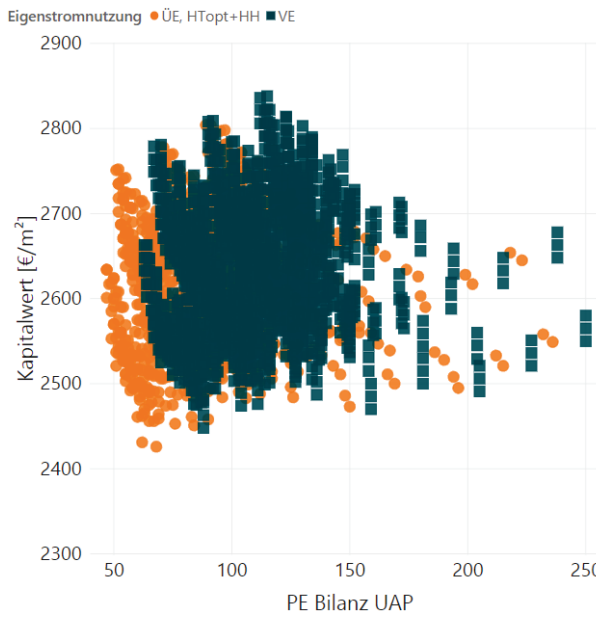
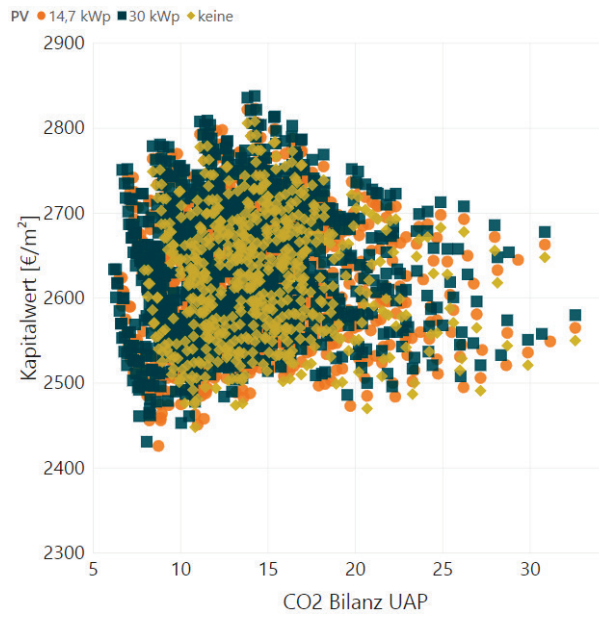
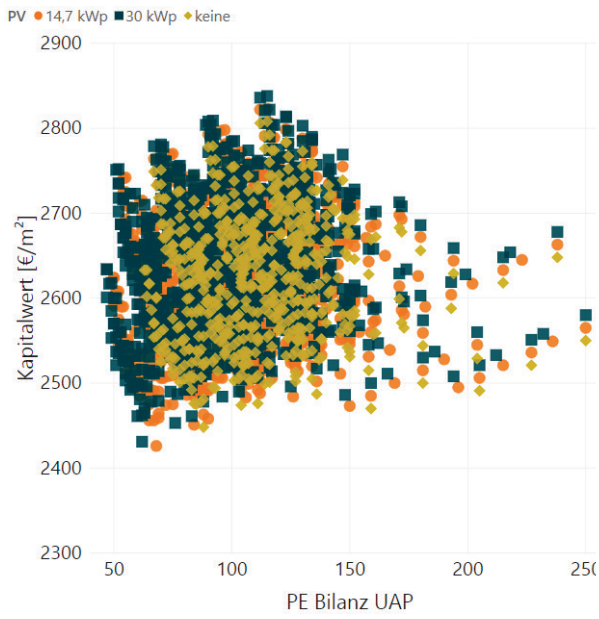
Anhang V: Berechnungsergebnisse der untersuchten Gebäude

Mehrfamilienhaus Wolfurt

1.2.8. Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

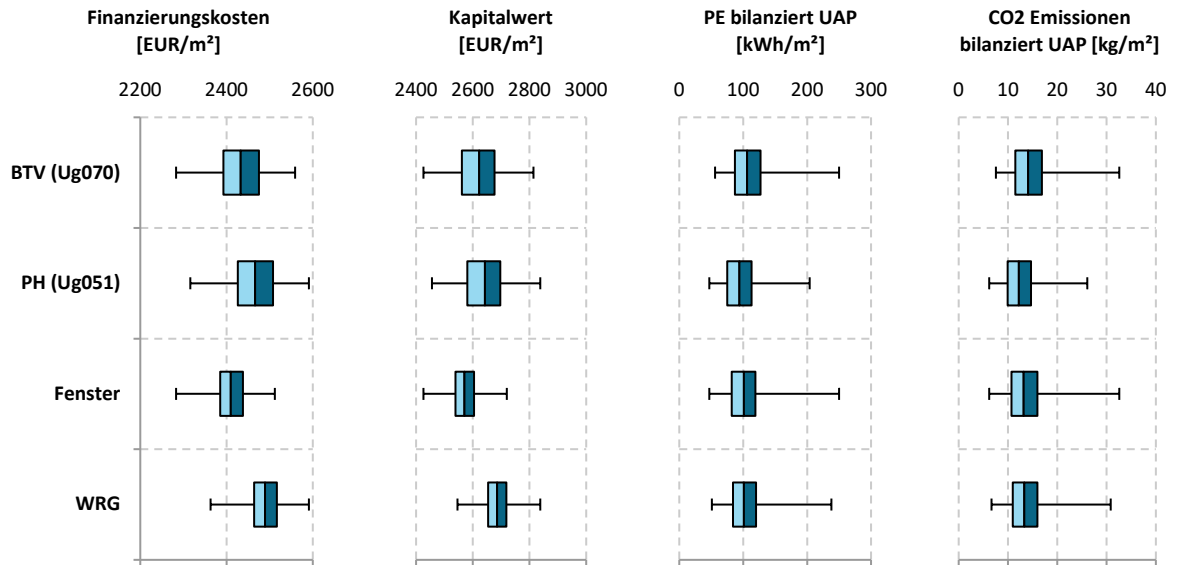




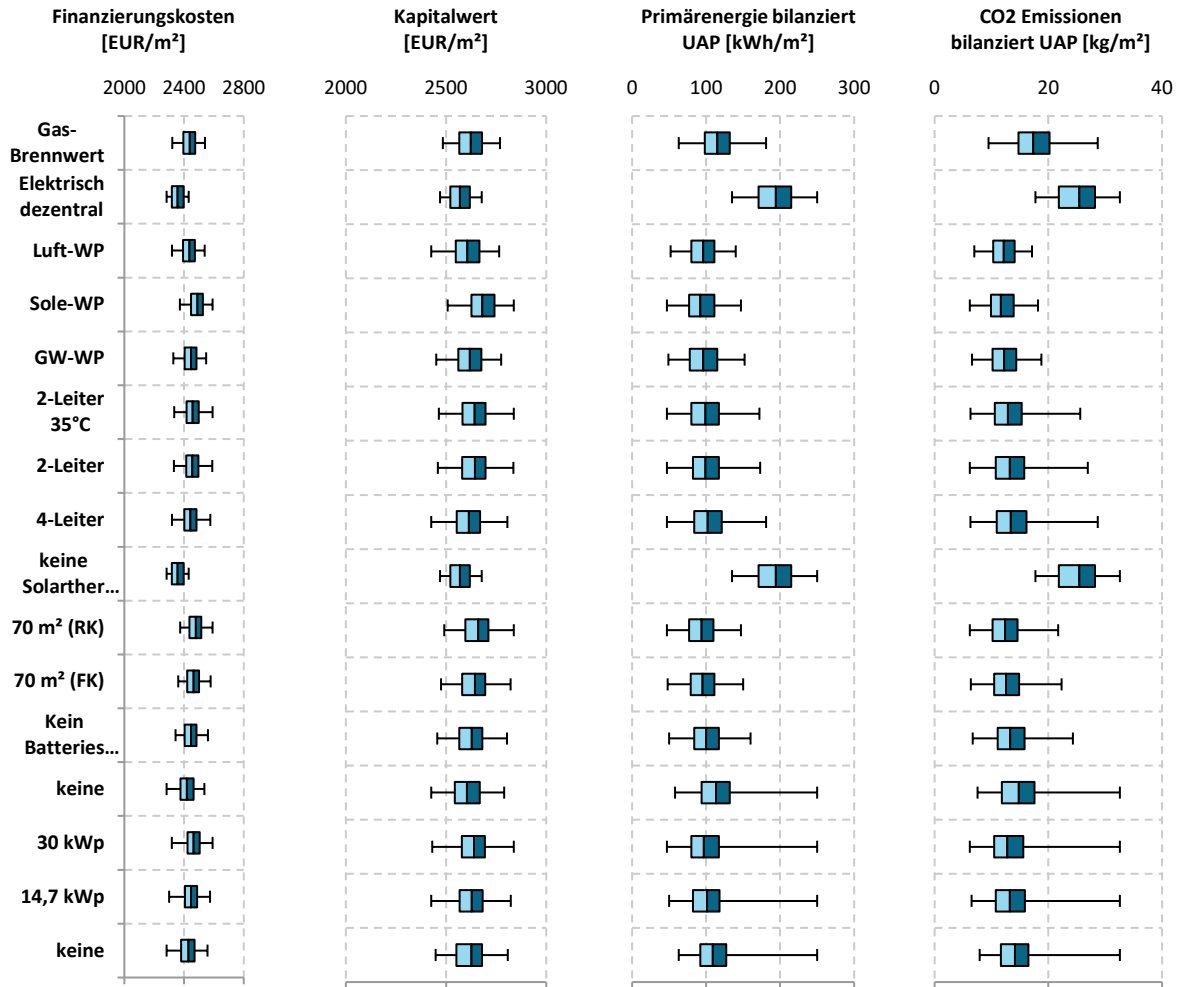


1.2.9. Sensitivitätsanalyse

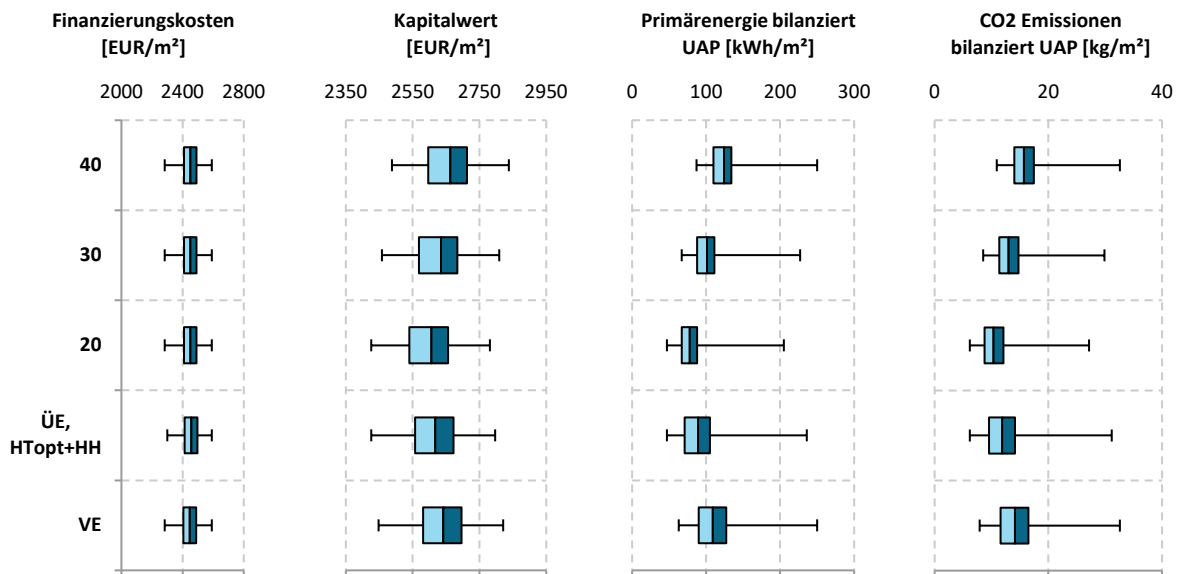
Passive Maßnahmen



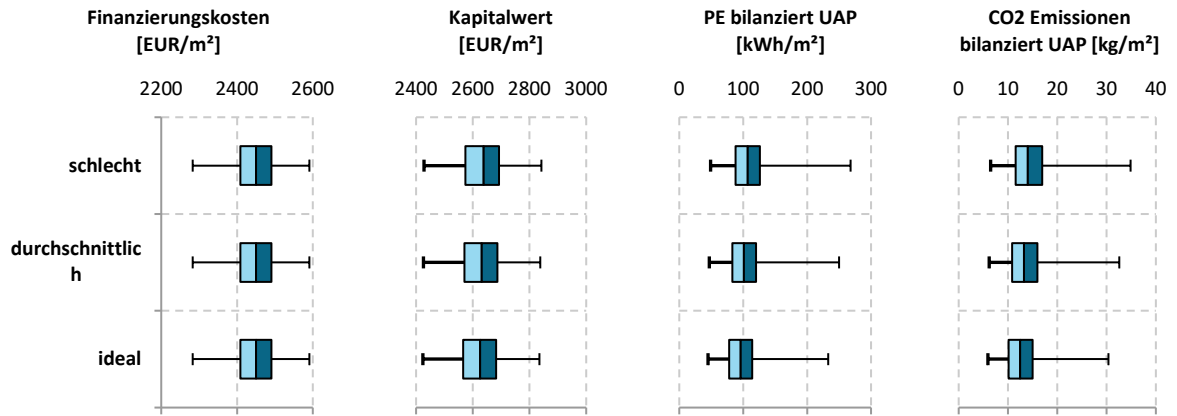
Aktive Maßnahmen



Sonstige Maßnahmen

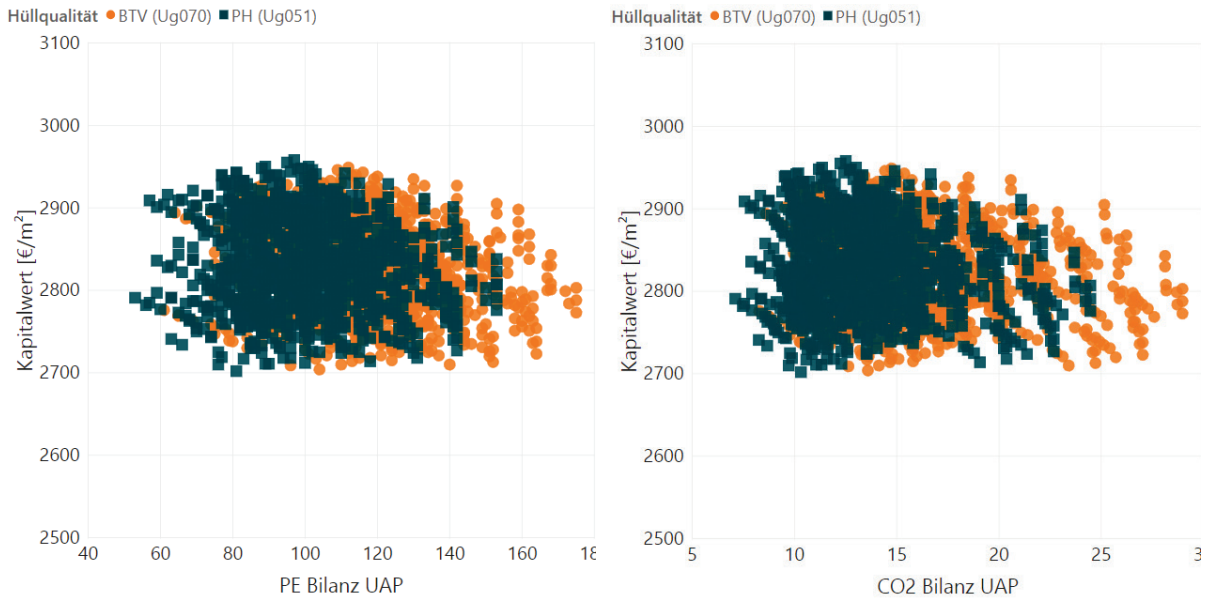


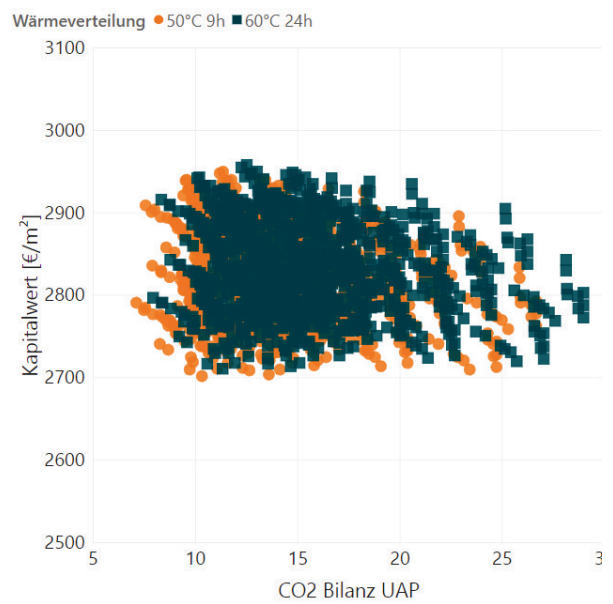
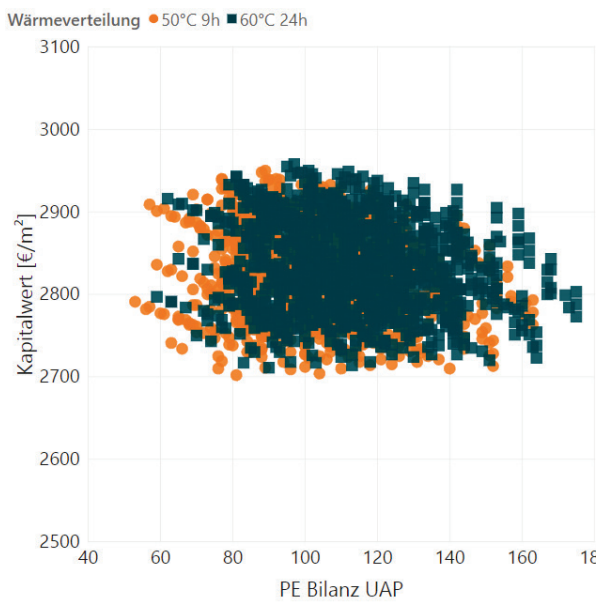
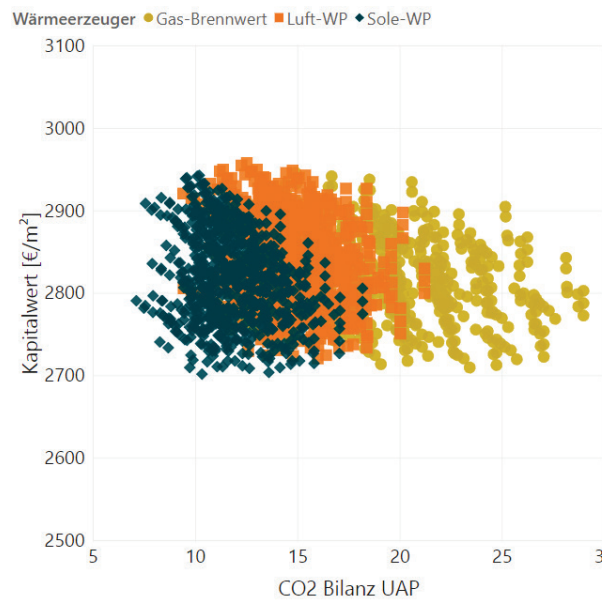
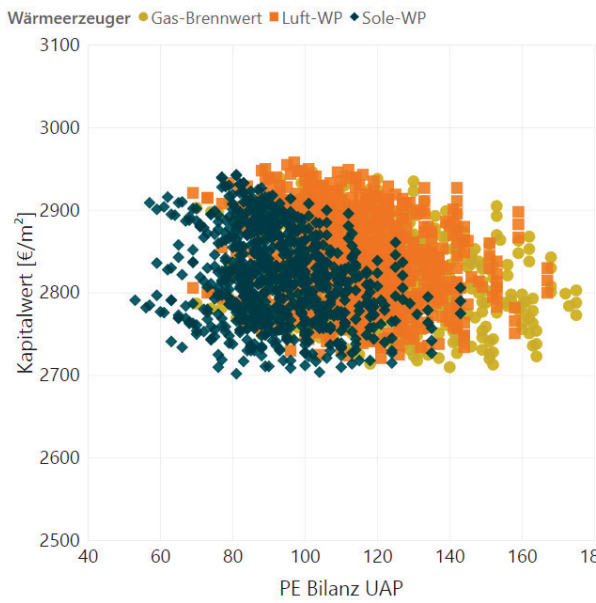
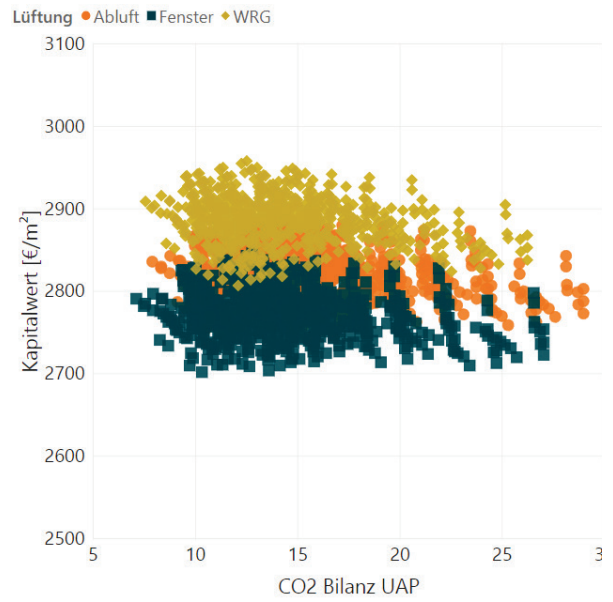
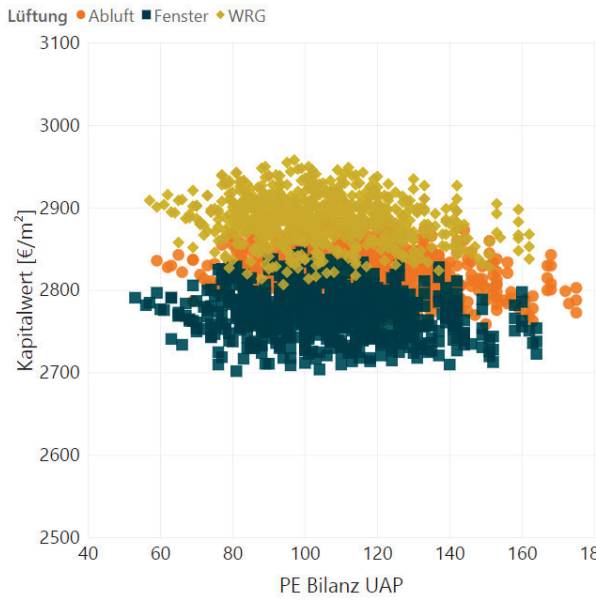
1.2.10. Robustheit

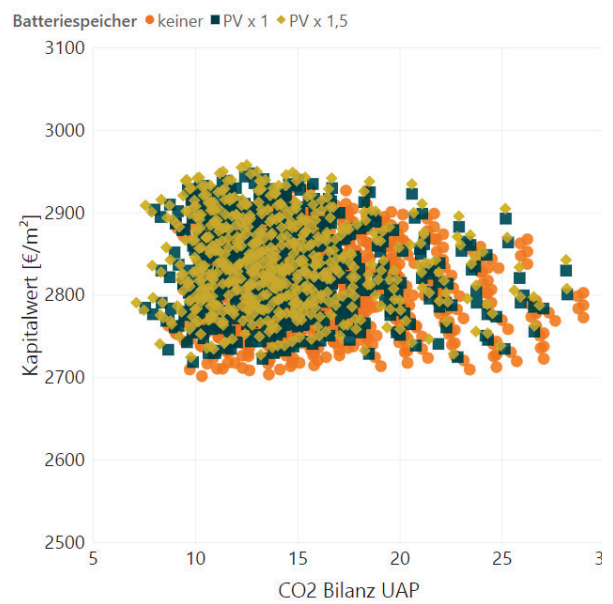
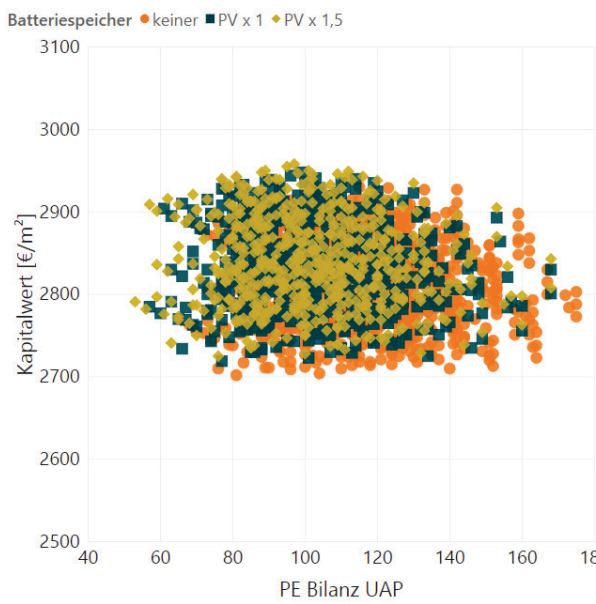
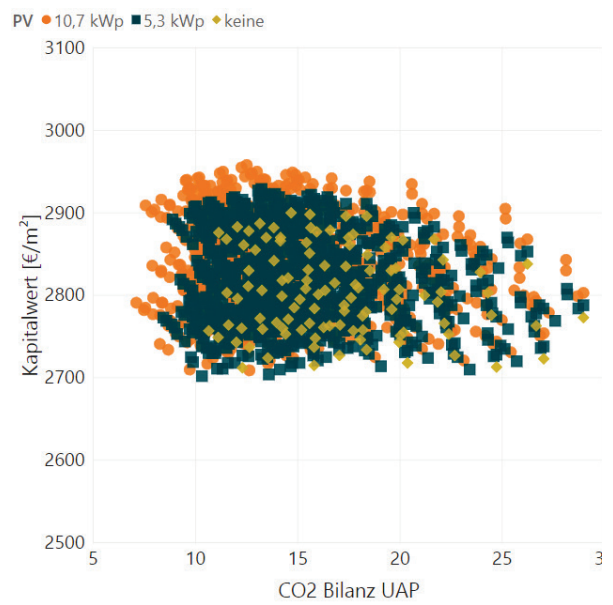
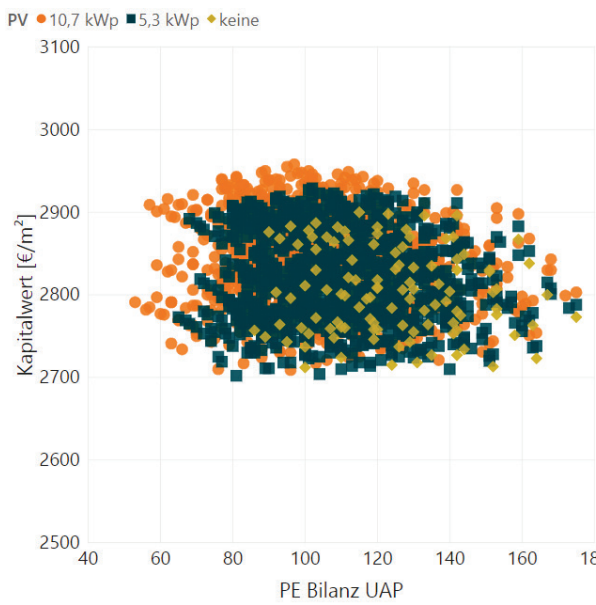
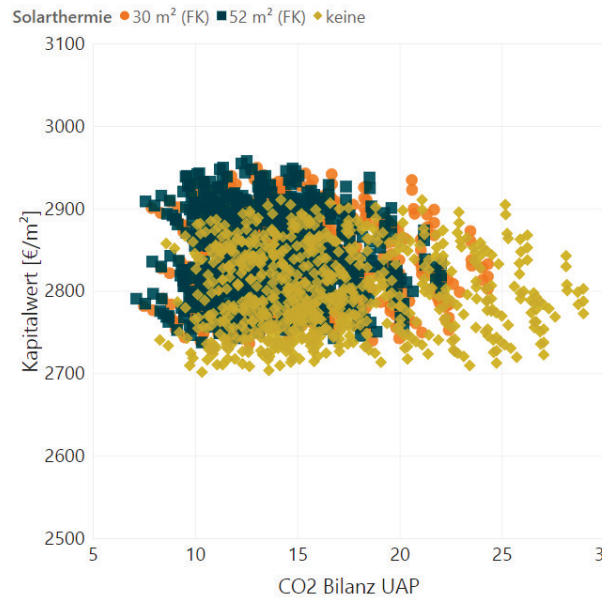
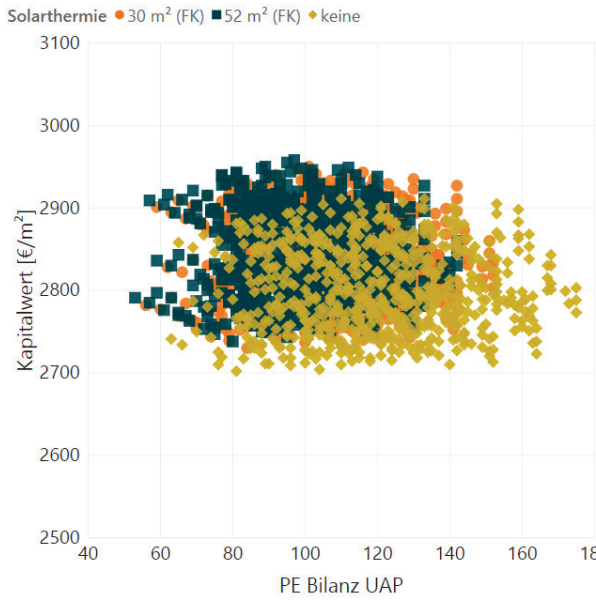


Mehrfamilienhaus Langenegg

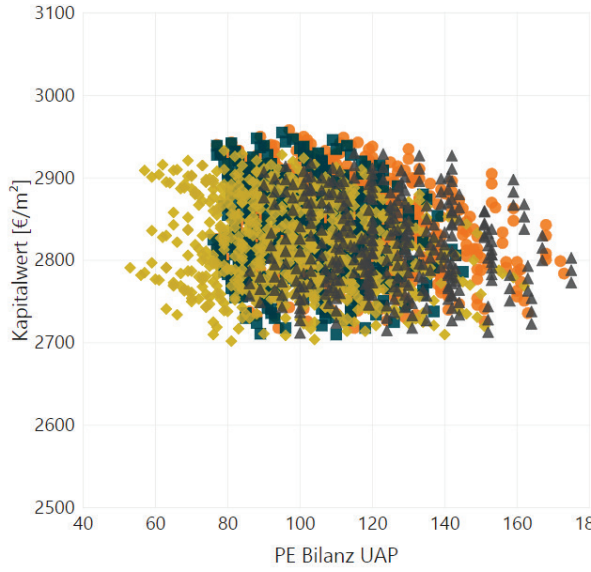
1.2.11. Kombination von Energie- und Kosteneffizienz



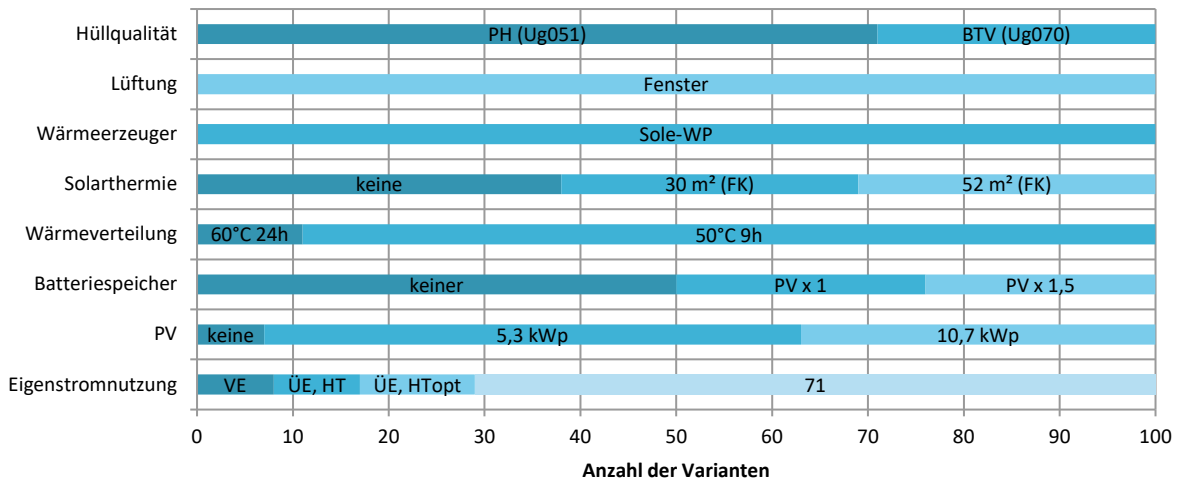
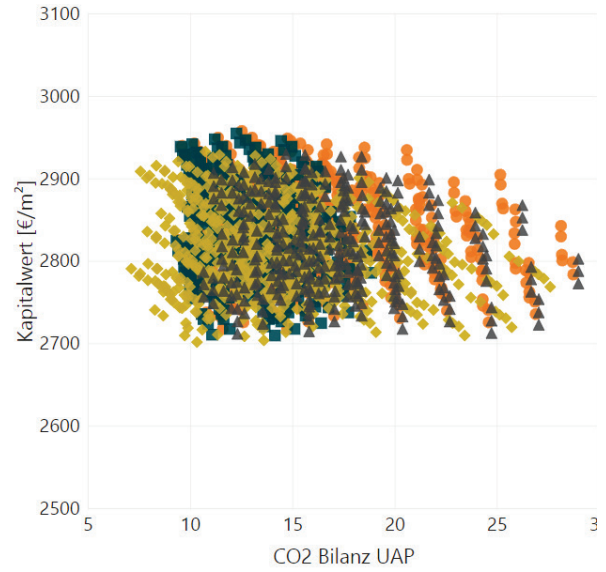




Eigenstromnutzung ● ÜE, HT ■ ÜE, HTopt ◆ ÜE, HTopt+HH ▲ VE

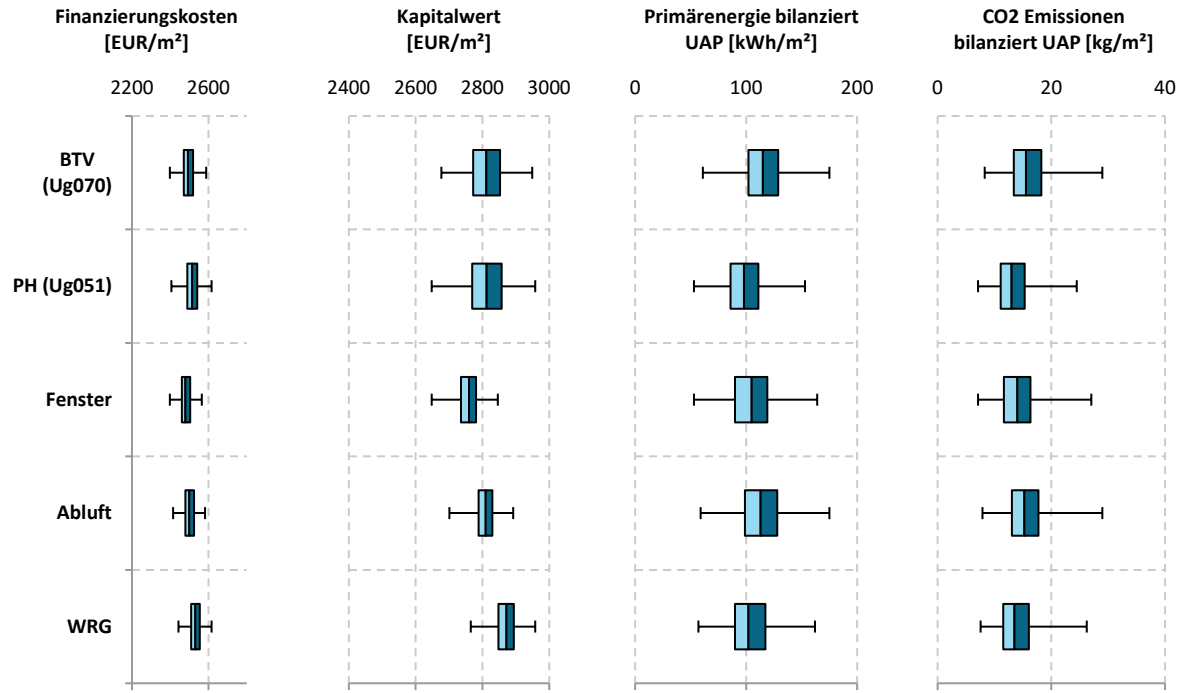


Eigenstromnutzung ● ÜE, HT ■ ÜE, HTopt ◆ ÜE, HTopt+HH ▲ VE

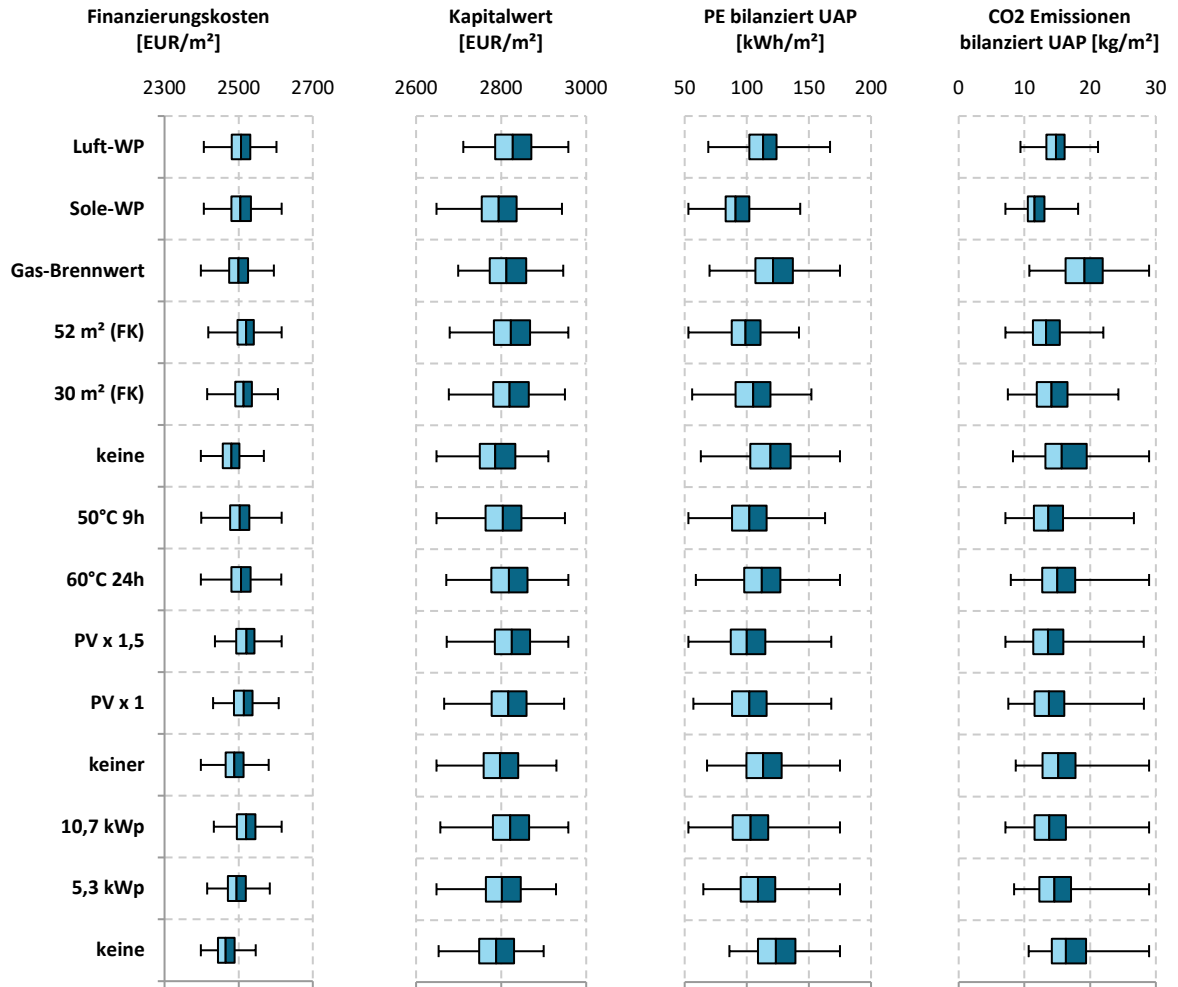


1.2.12. Sensitivitätsanalyse

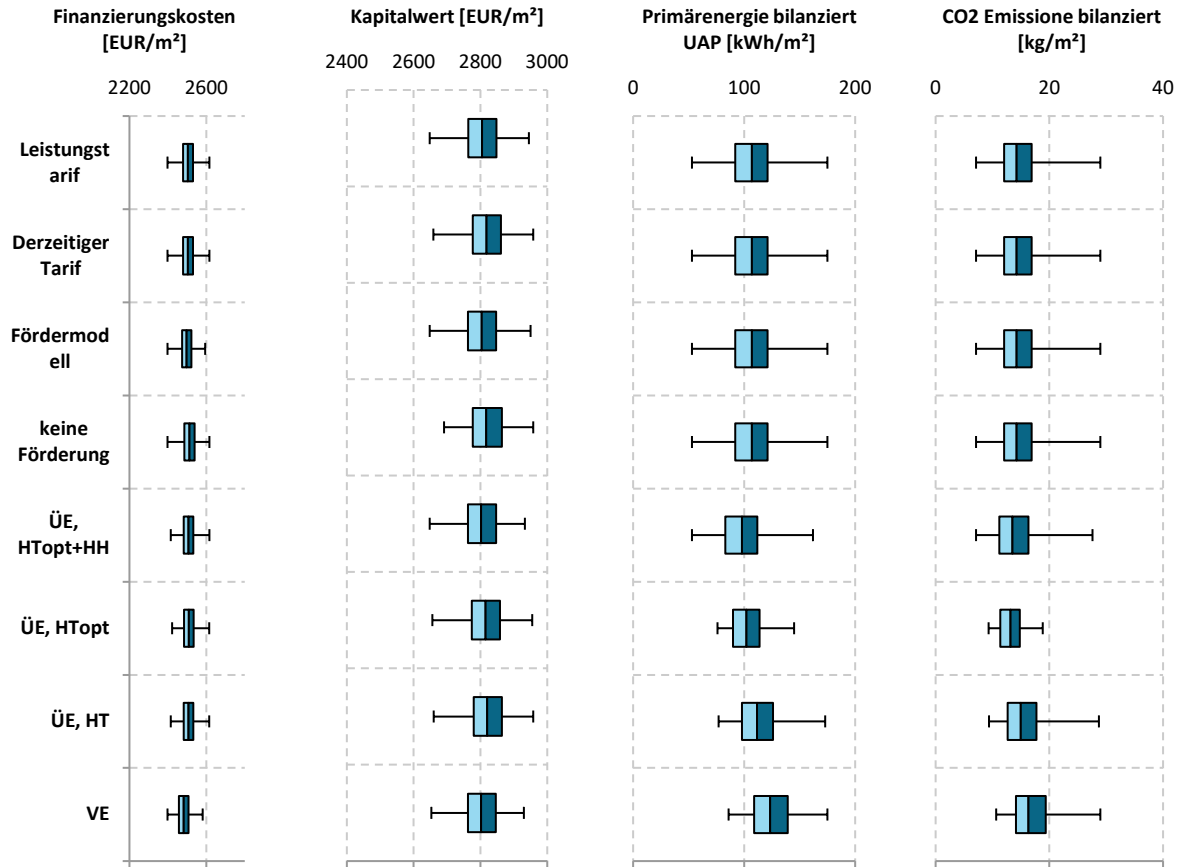
Passive Maßnahmen



Aktive Maßnahmen

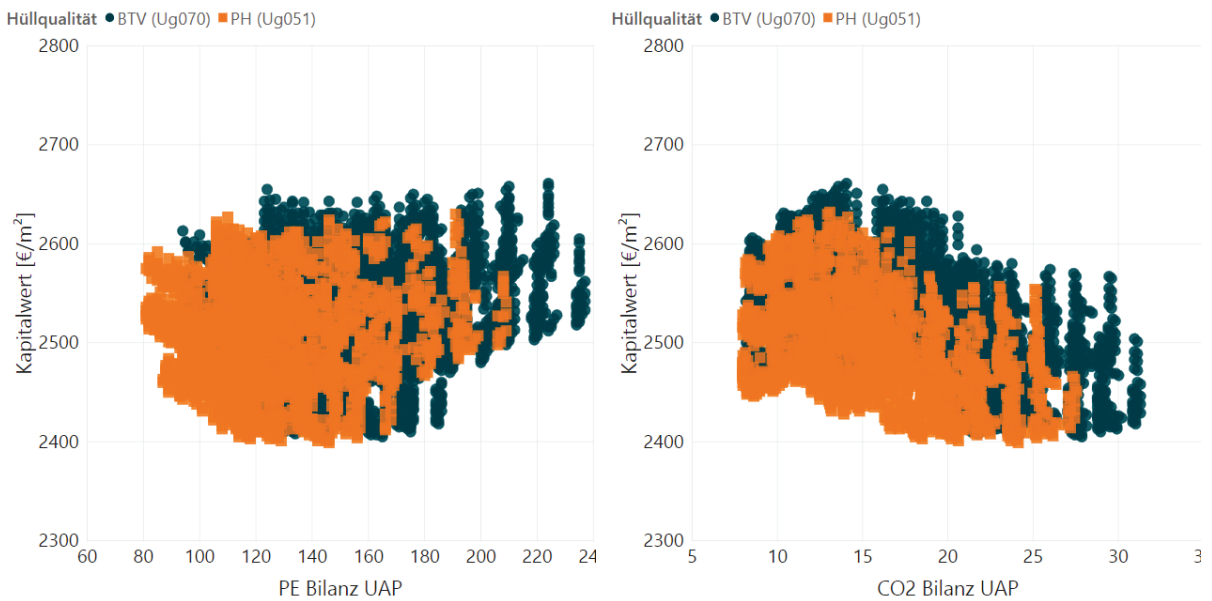


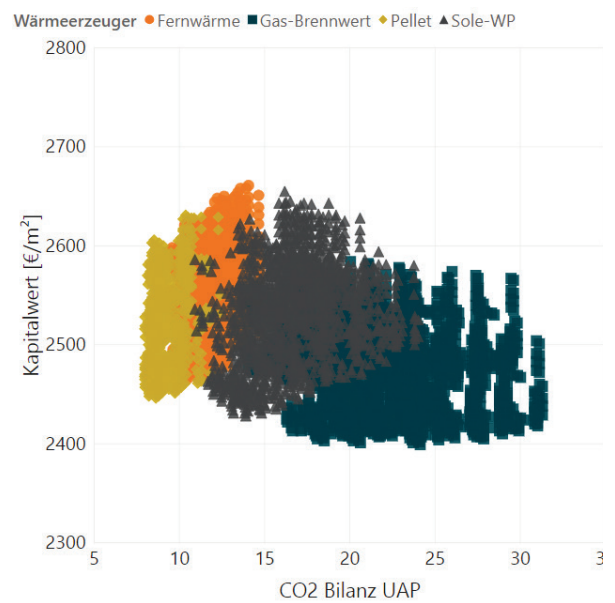
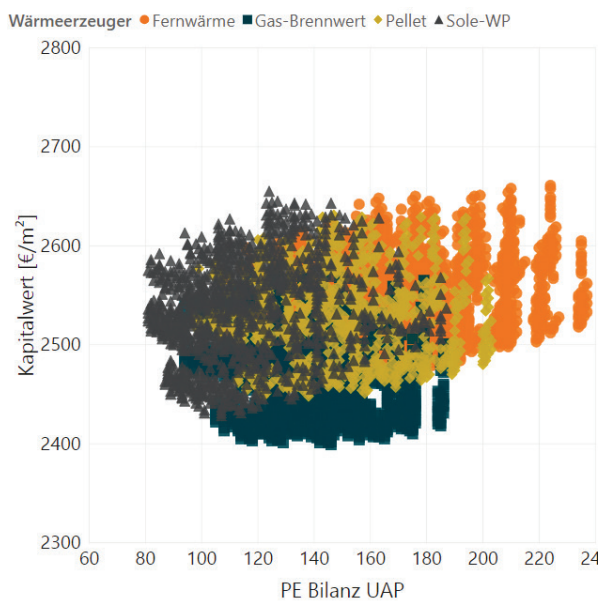
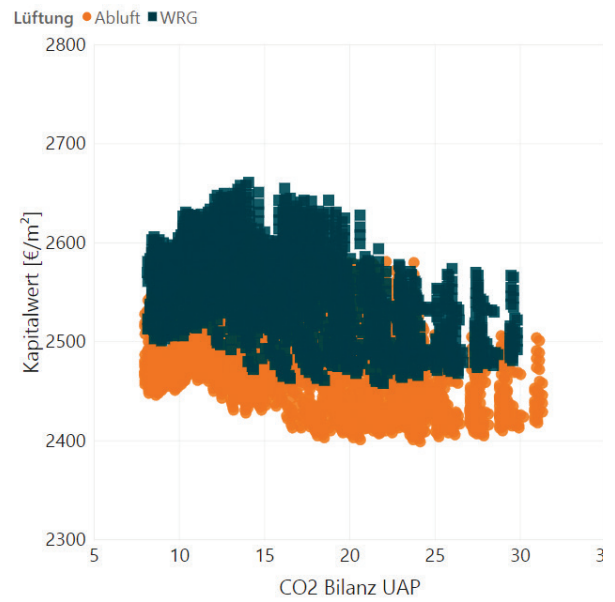
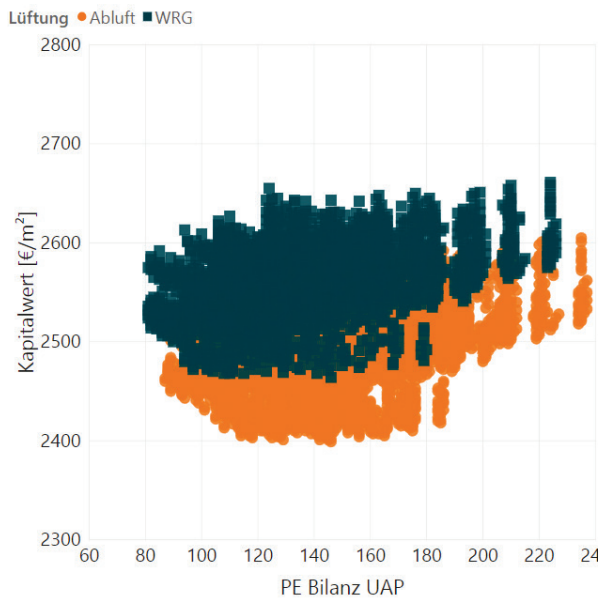
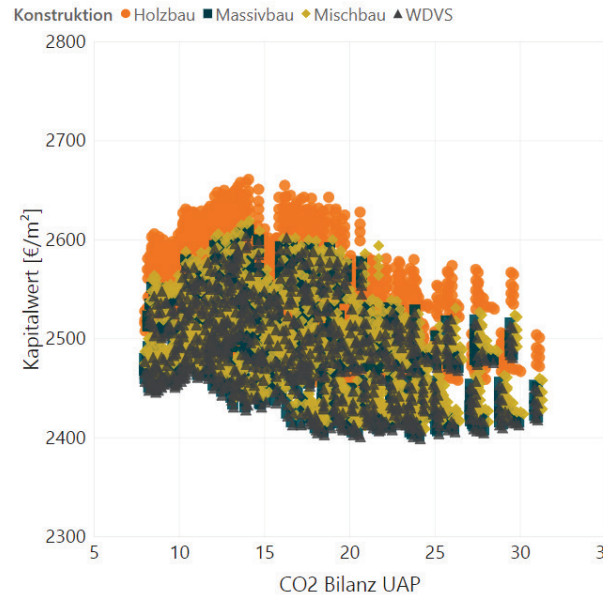
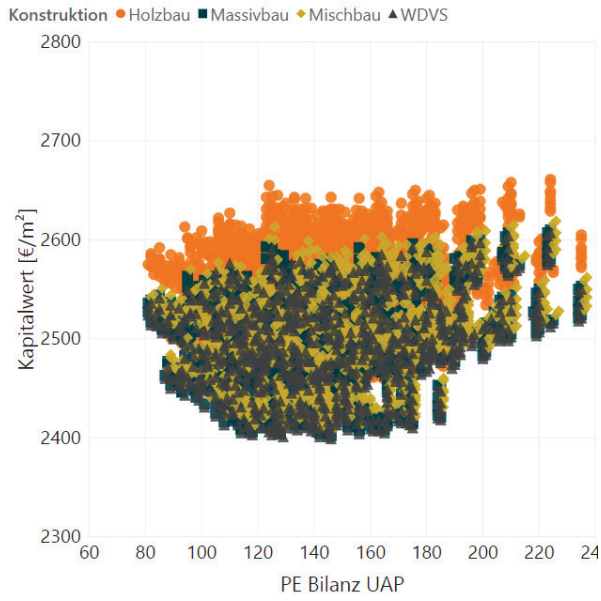
Sonstige Maßnahmen

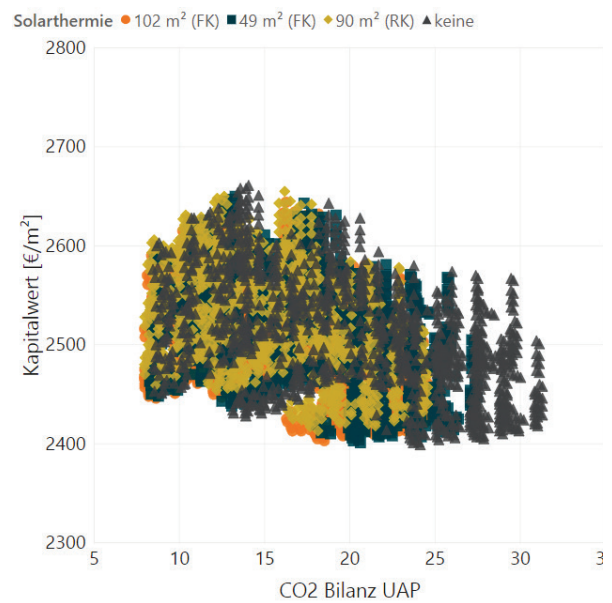
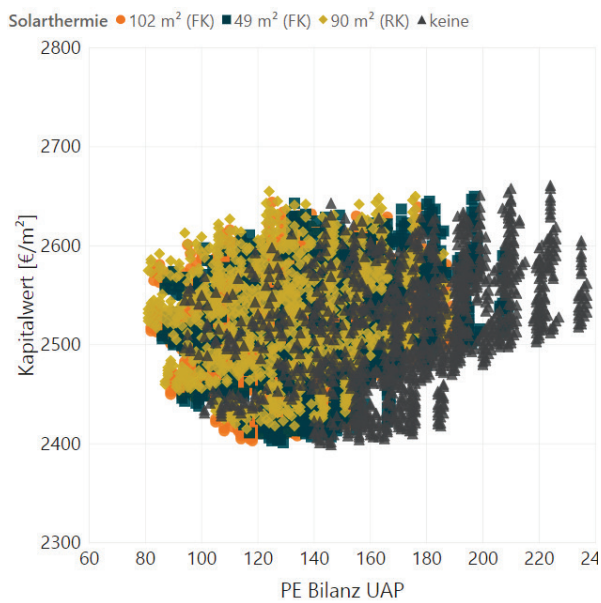
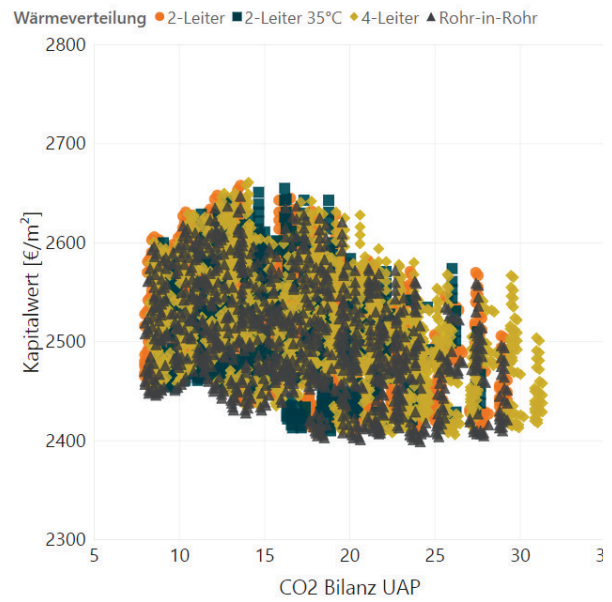
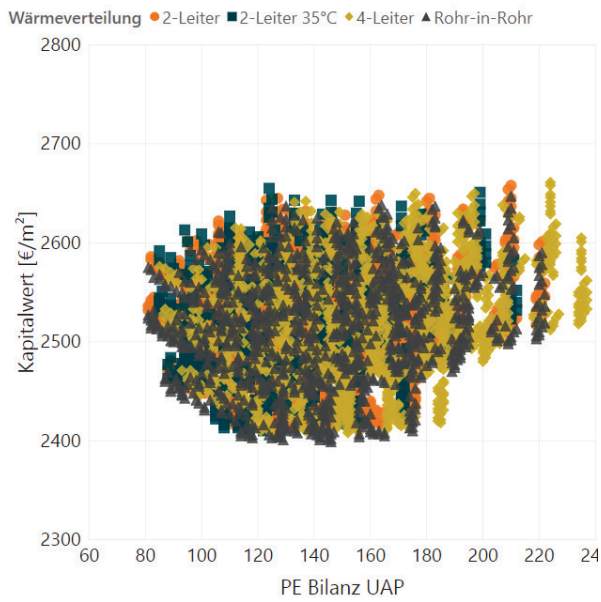
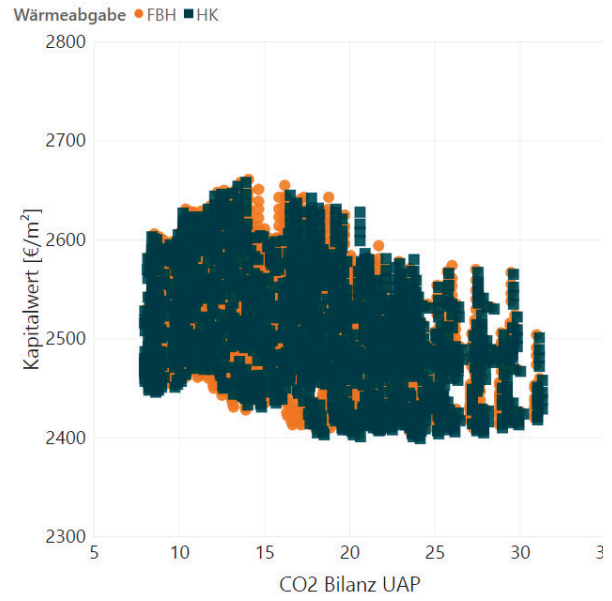
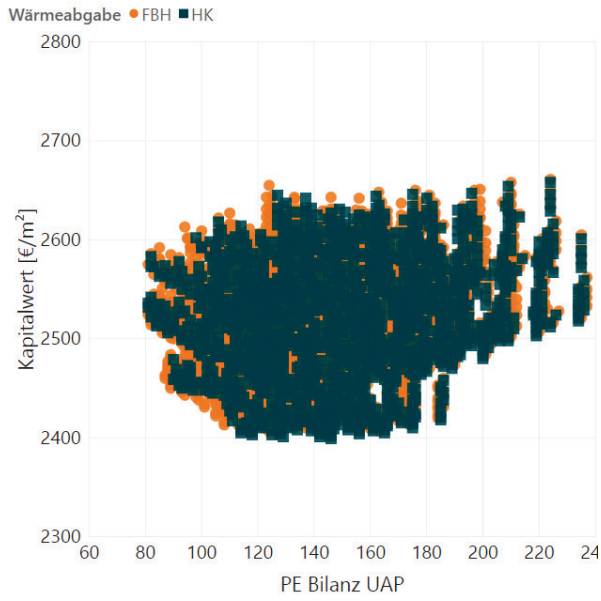


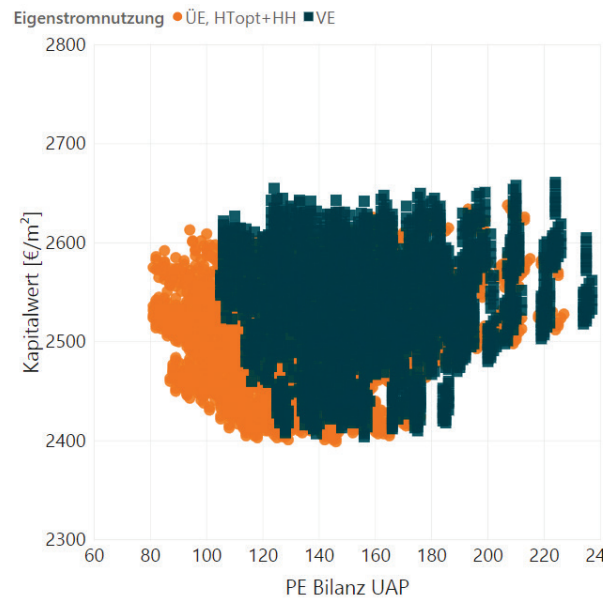
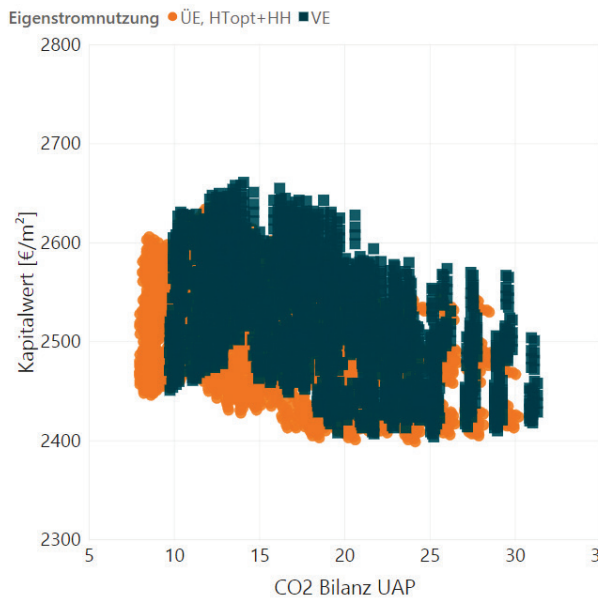
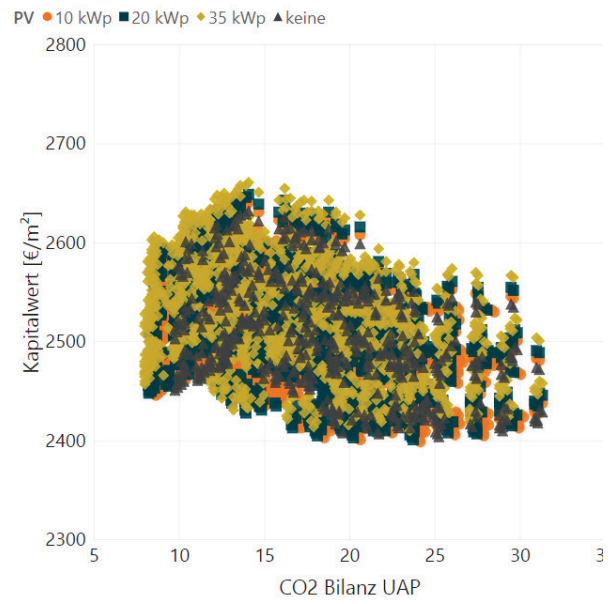
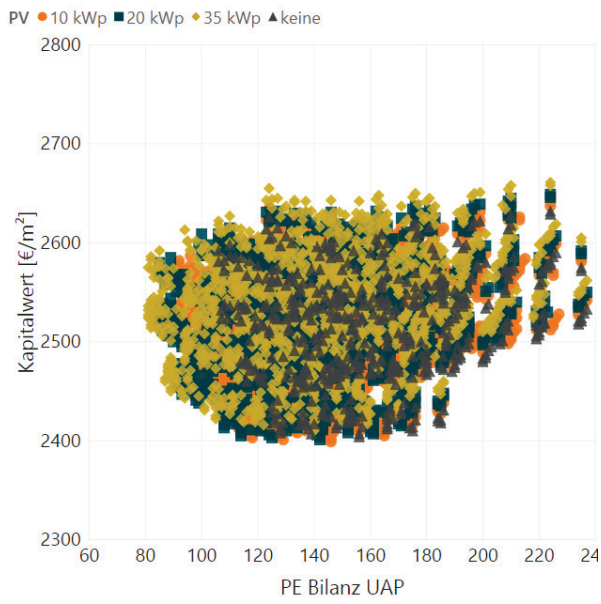
Mehrfamilienhaus Feldkirch

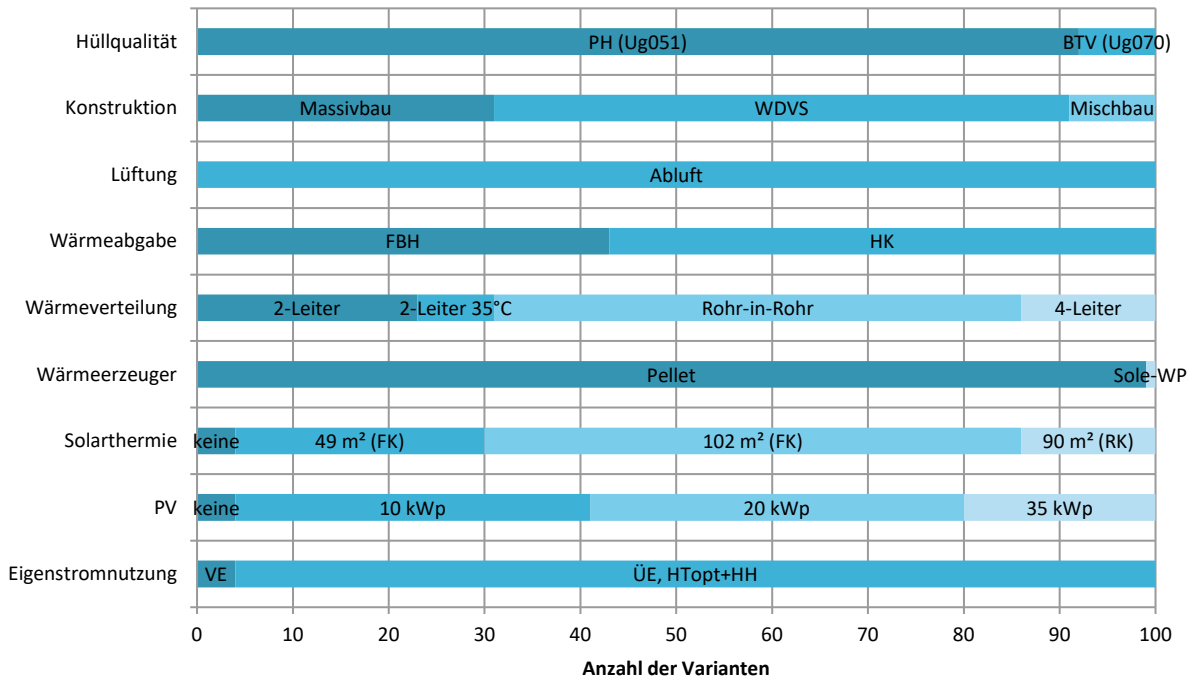
1.2.13. Kombination von Energie- und Kosteneffizienz





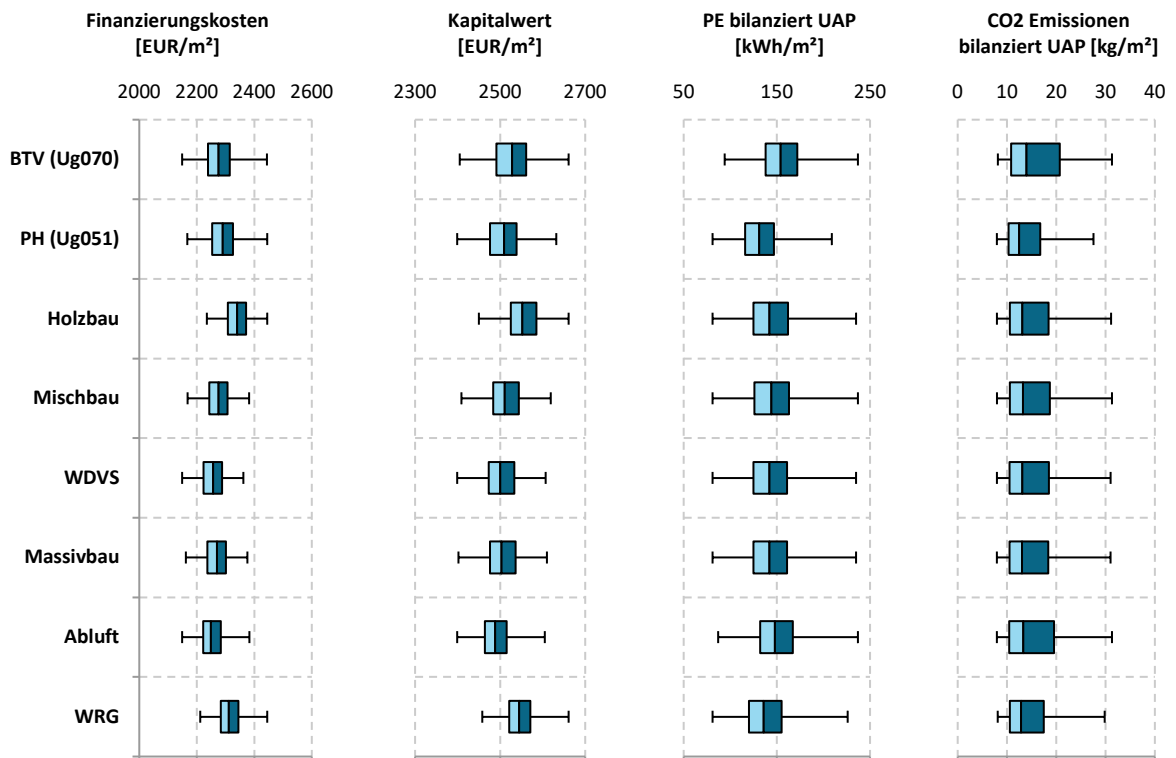




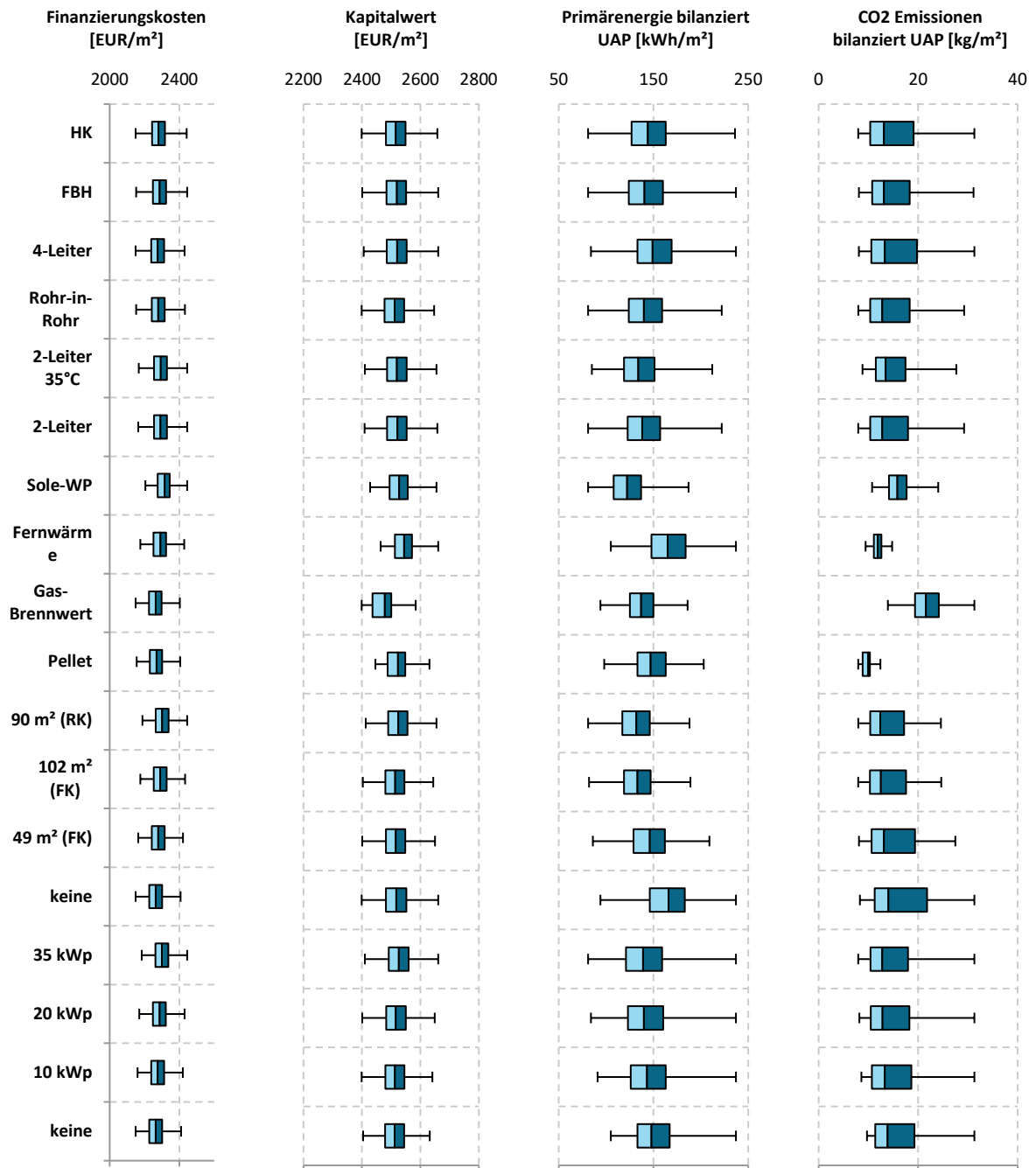


1.2.14. Sensitivitätsanalyse

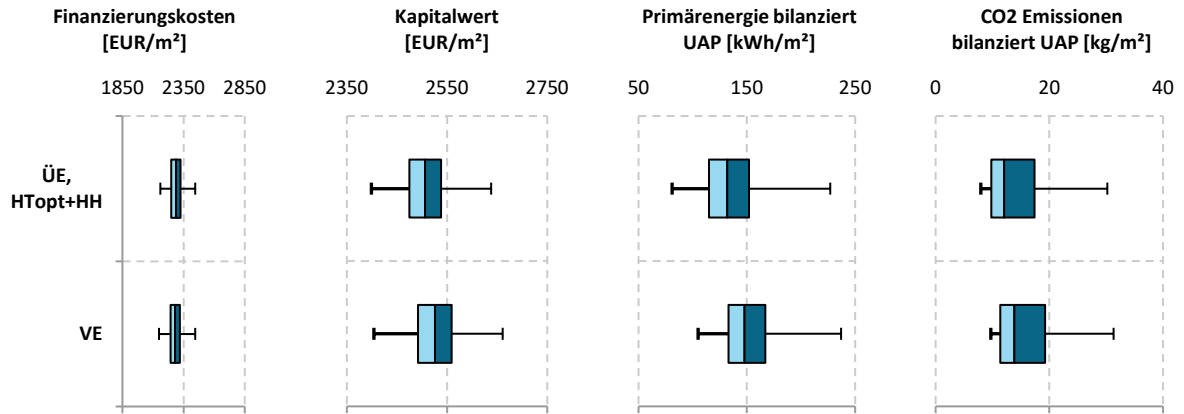
Passive Maßnahmen



Aktive Maßnahmen

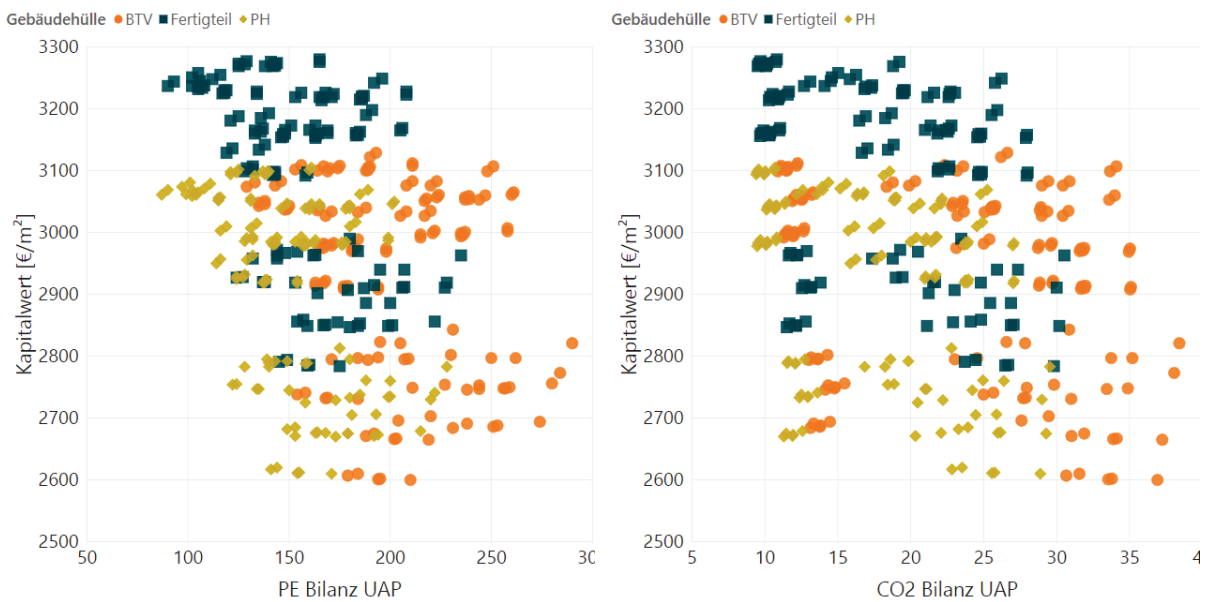


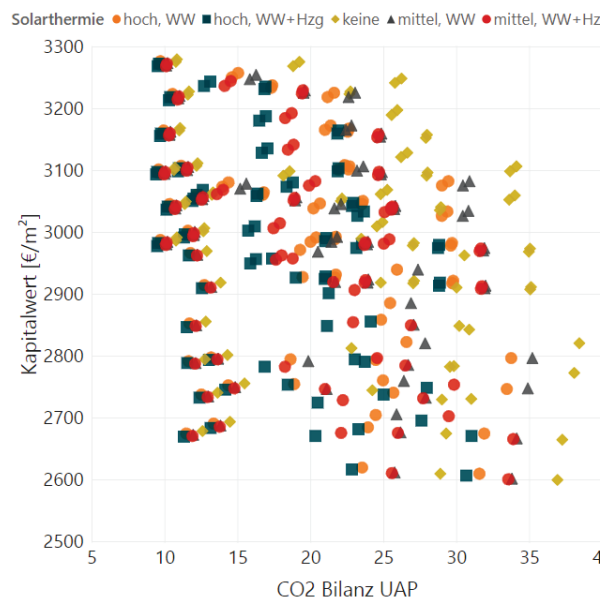
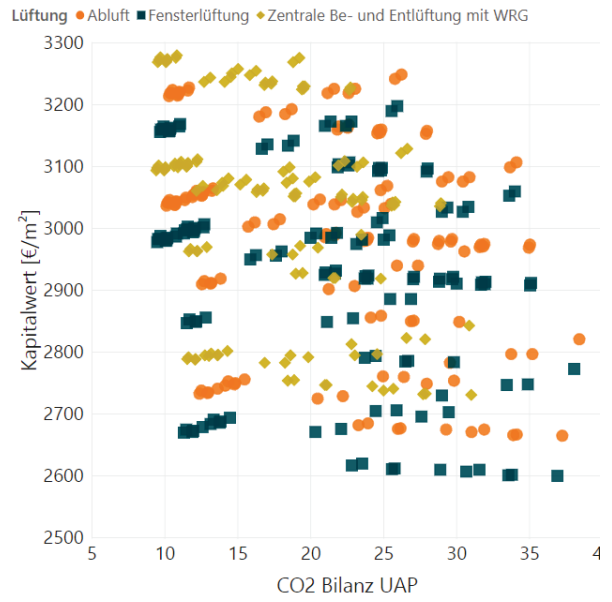
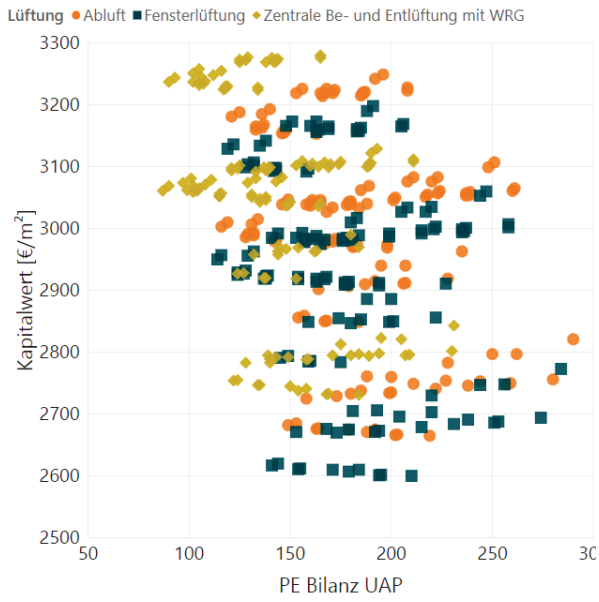
Sonstige Maßnahmen

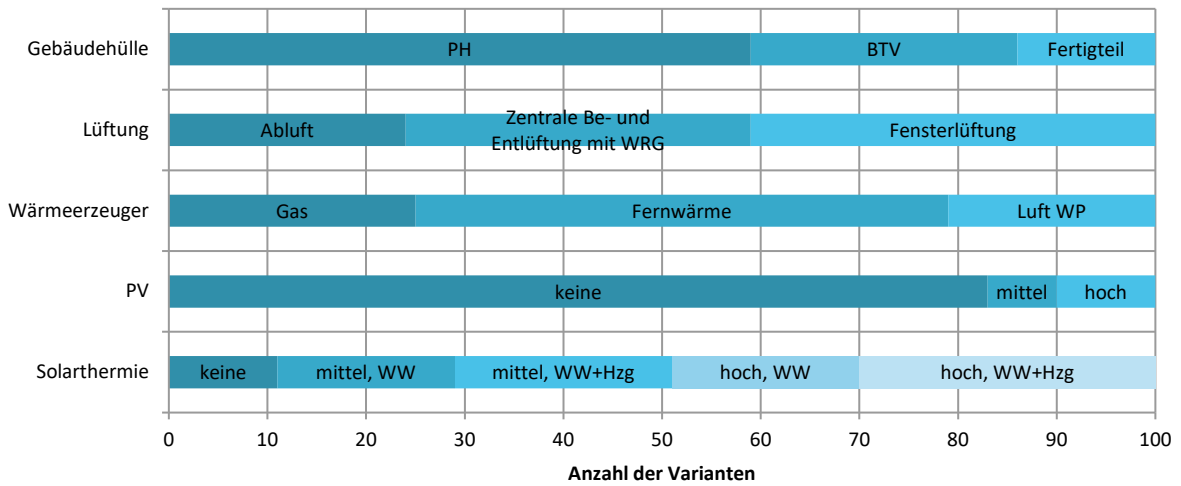
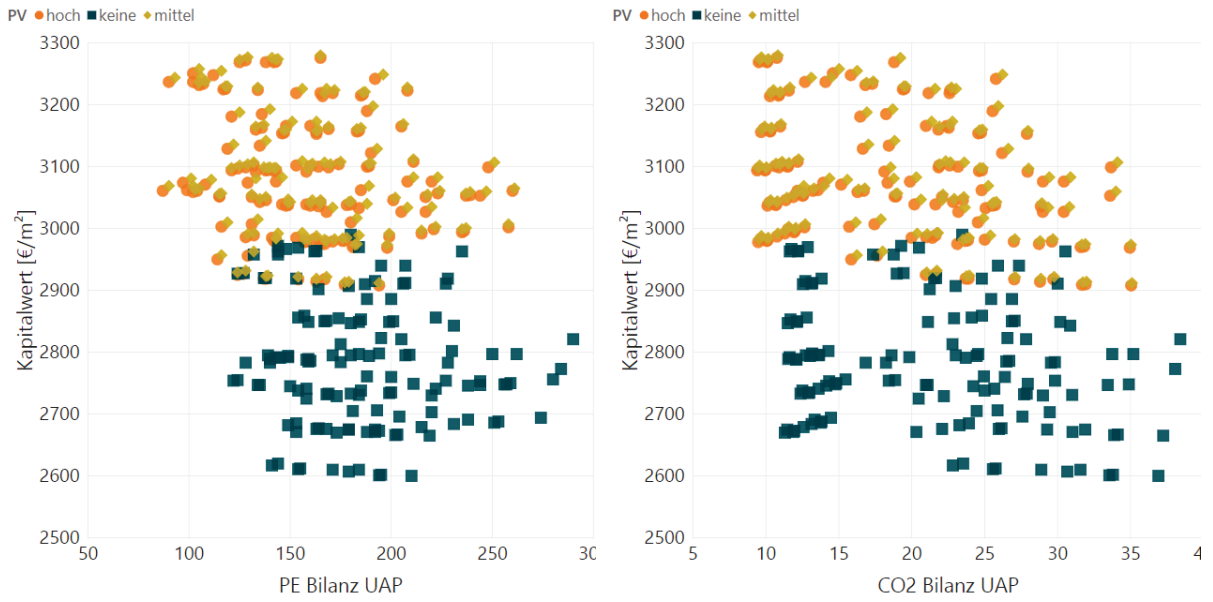


Sanierung e80³ Wohnhausanlage Kapfenberg

1.2.15. Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

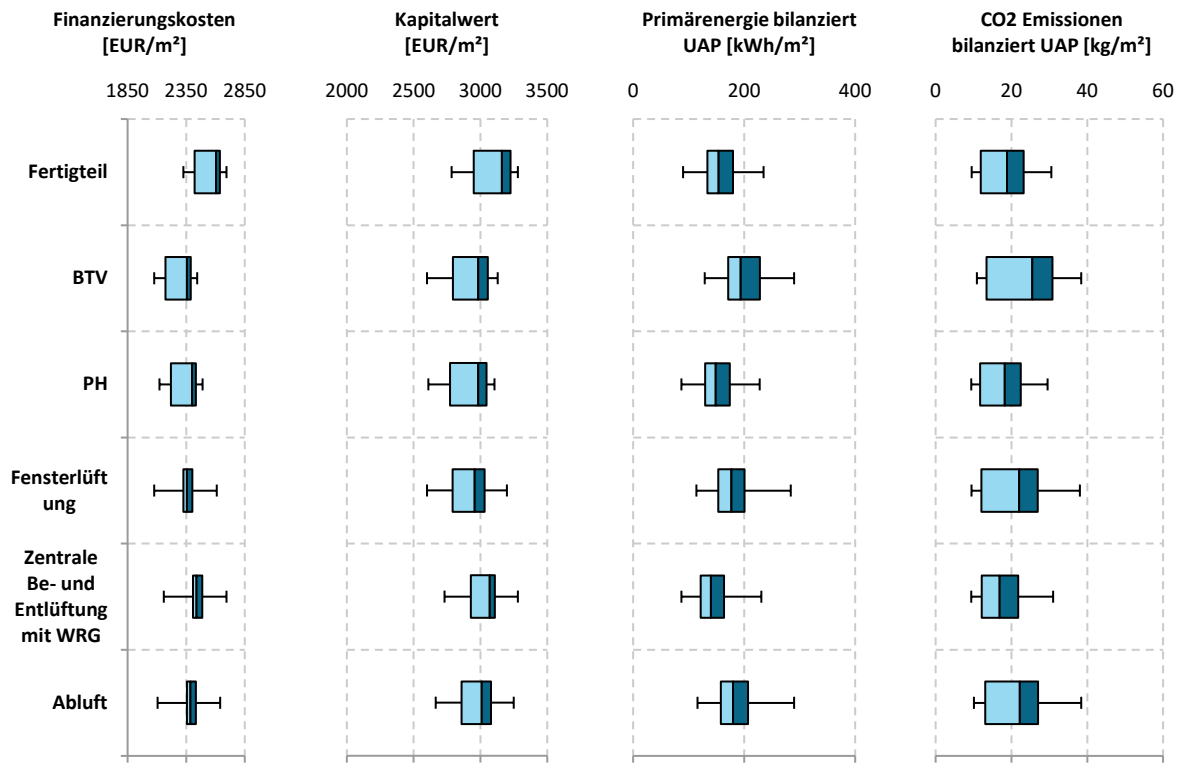




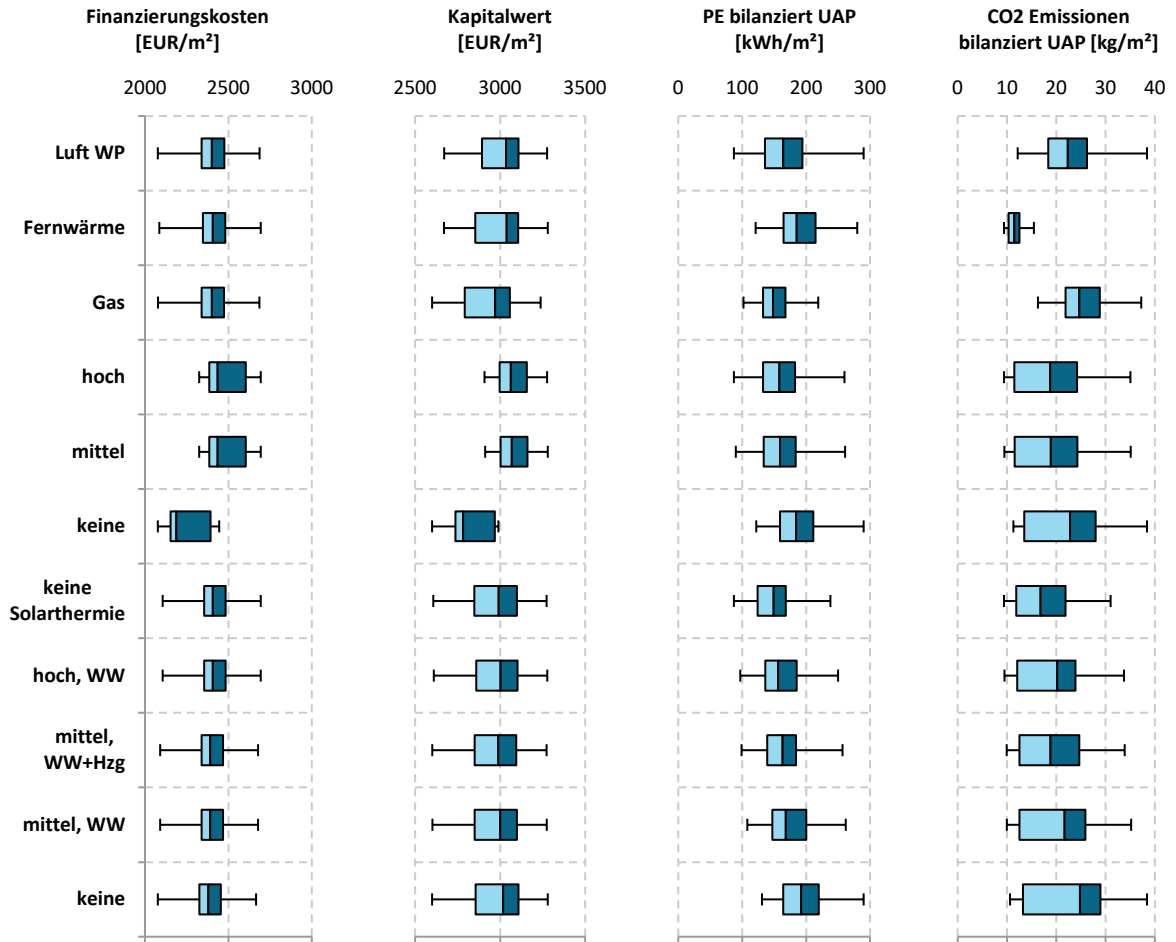


1.2.16. Sensitivitätsanalyse

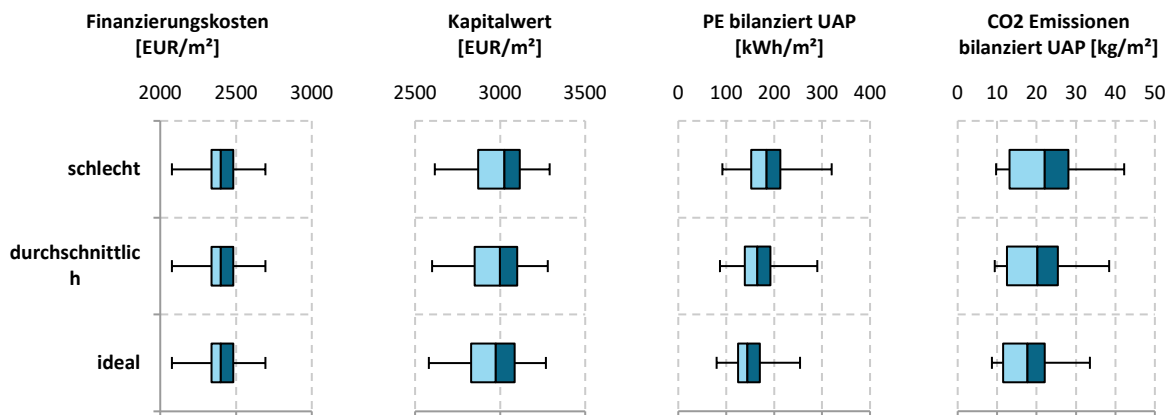
Passive Maßnahmen



Aktive Maßnahmen

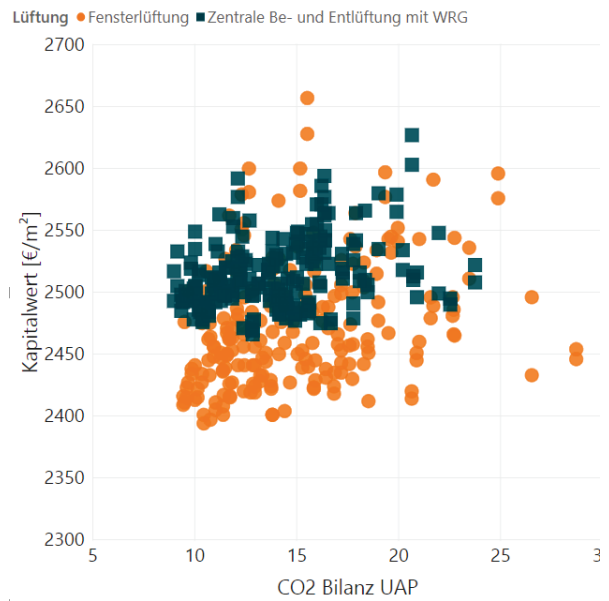
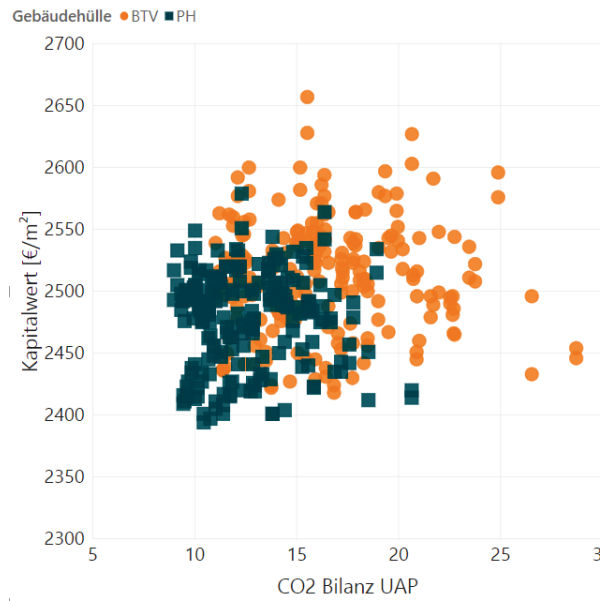
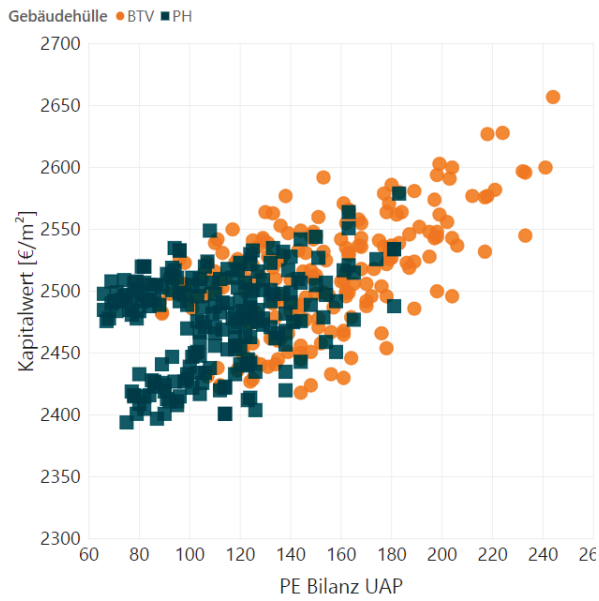


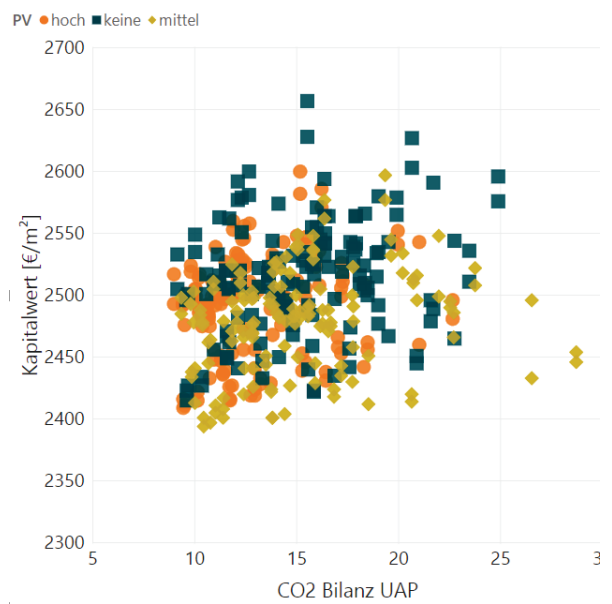
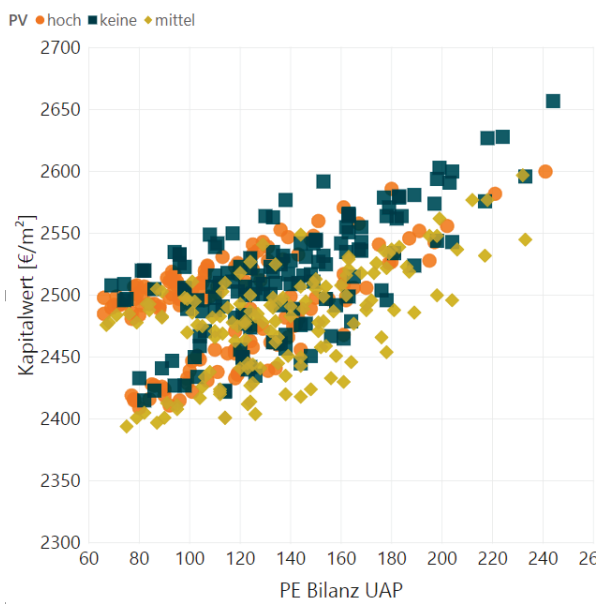
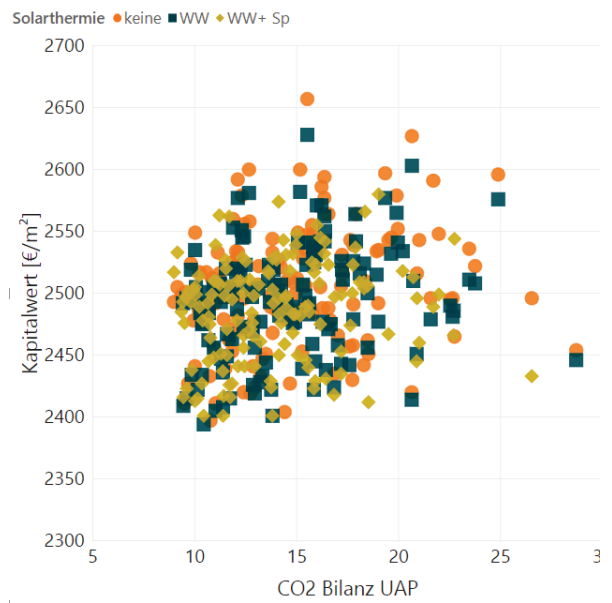
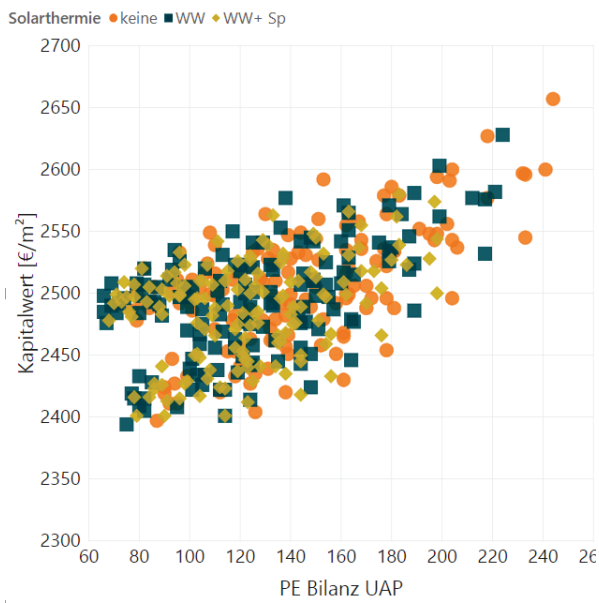
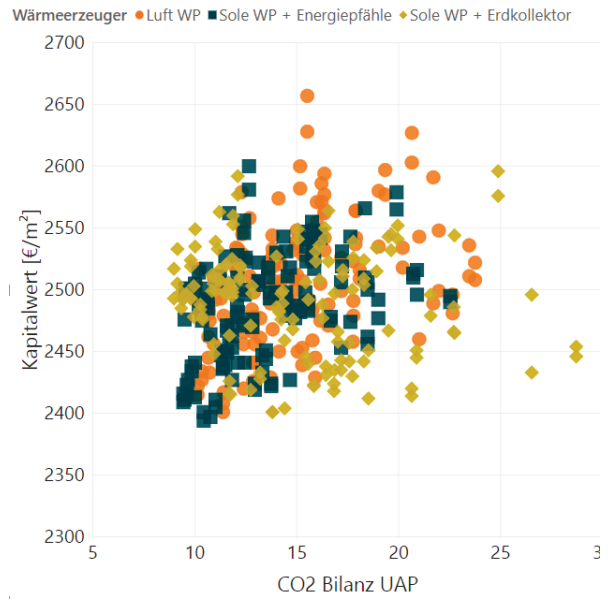
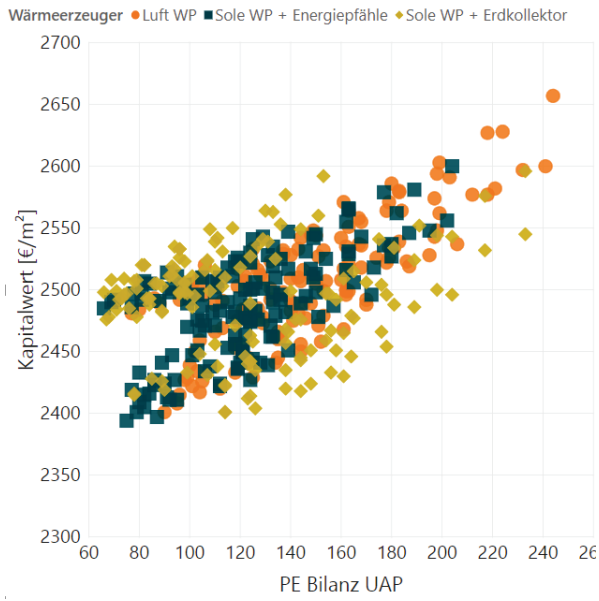
1.2.17. Robustheit

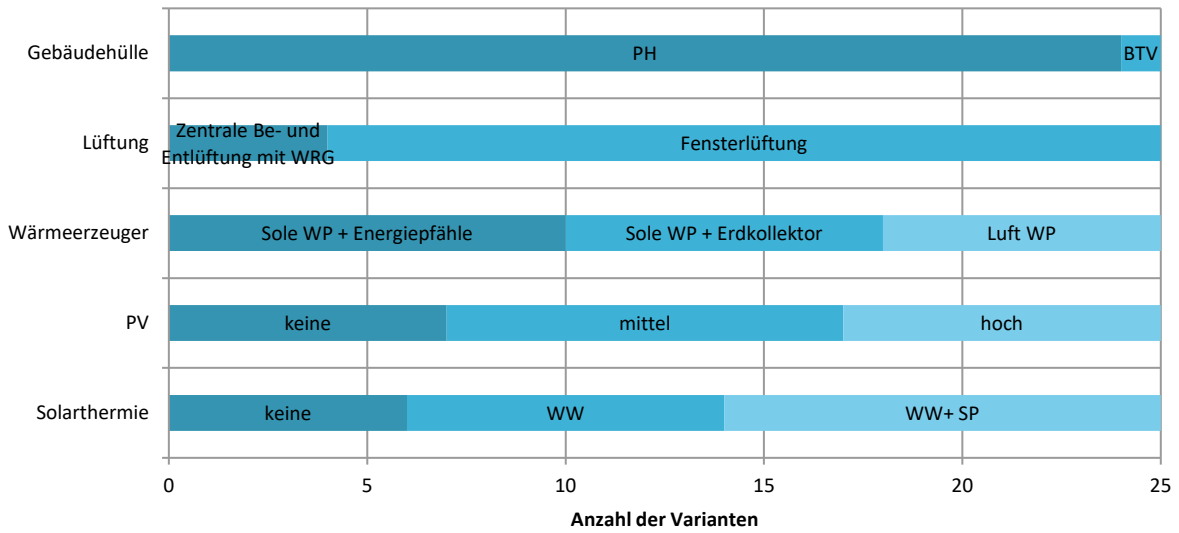


+ERS Mehrfamilienhaus Plusenergieverbund Reininghaus

1.2.18. Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

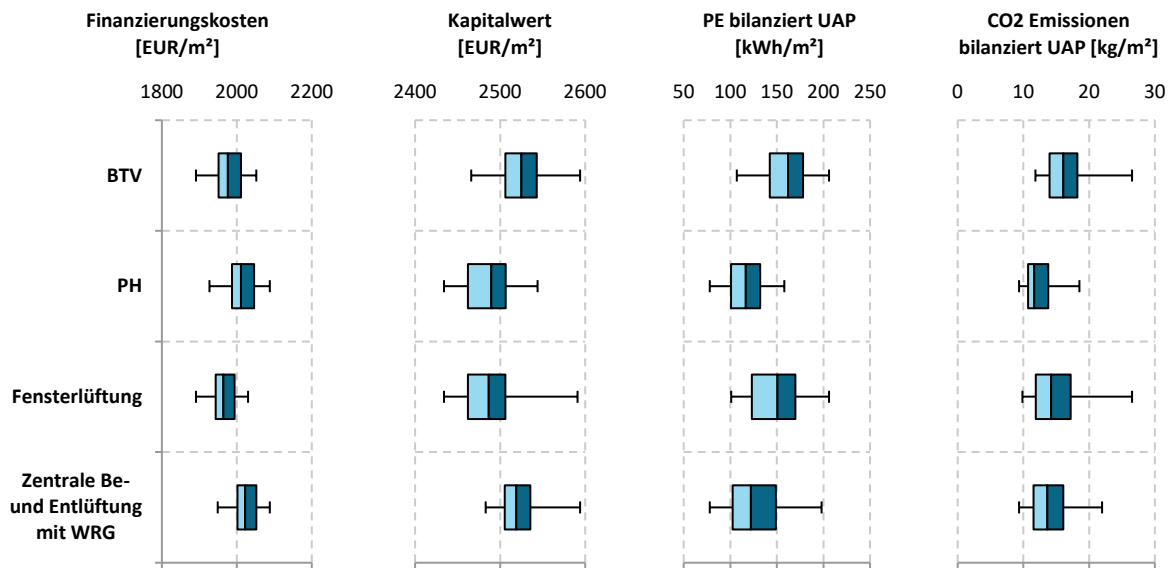




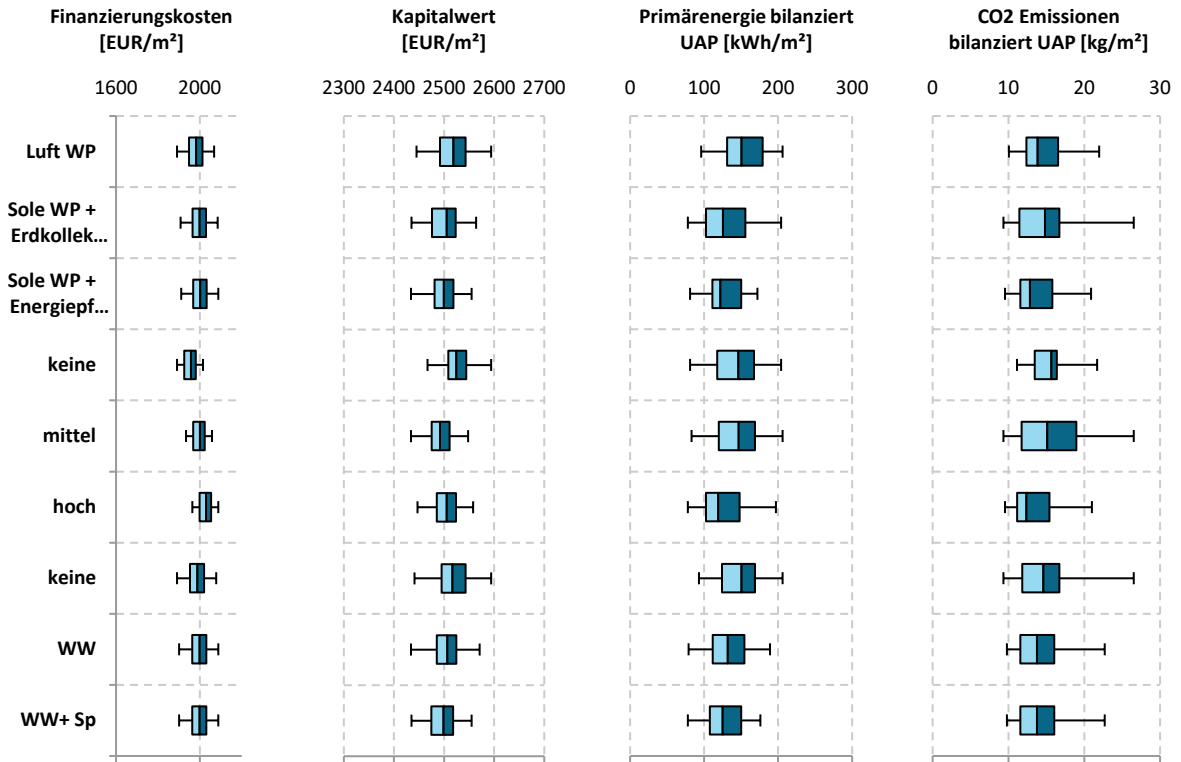


1.2.19. Sensitivitätsanalyse

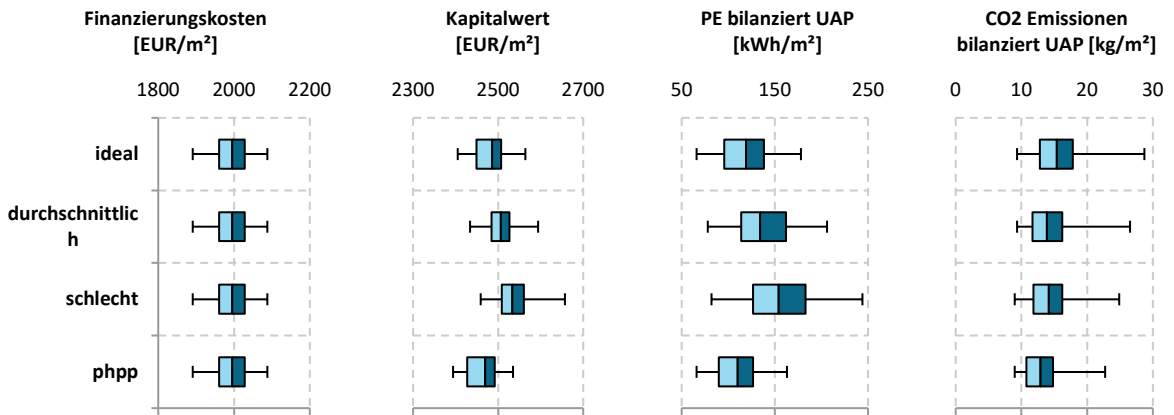
Passive Maßnahmen



Aktive Maßnahmen

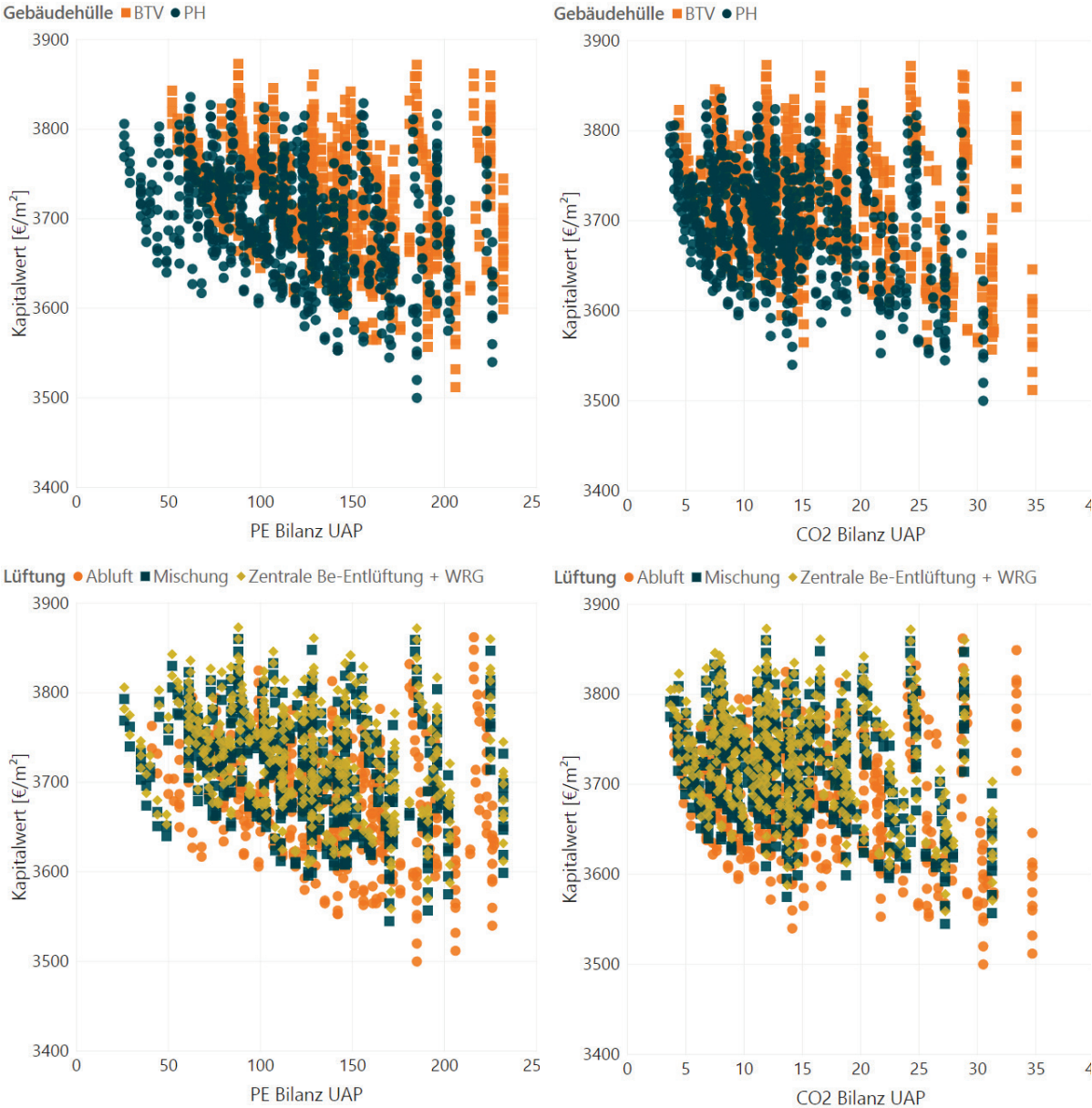


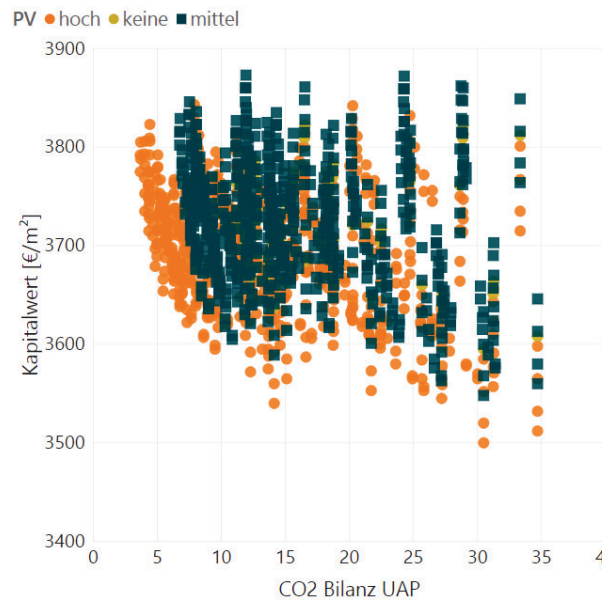
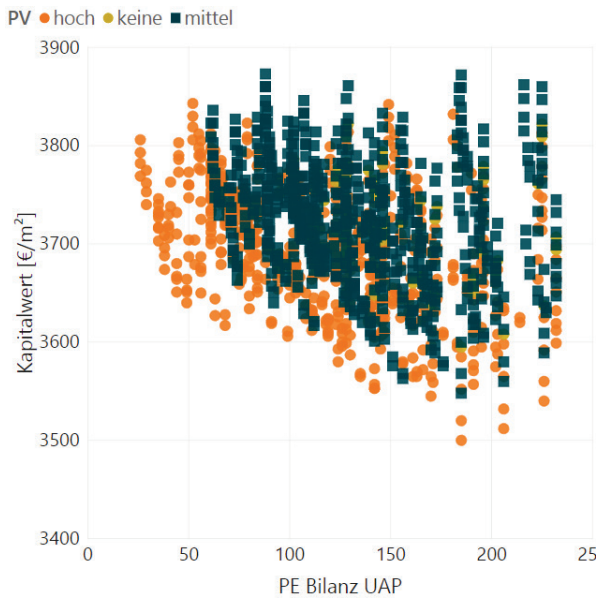
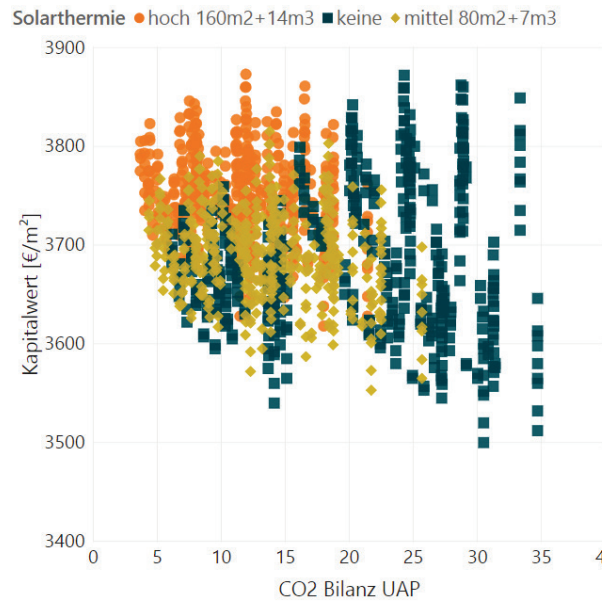
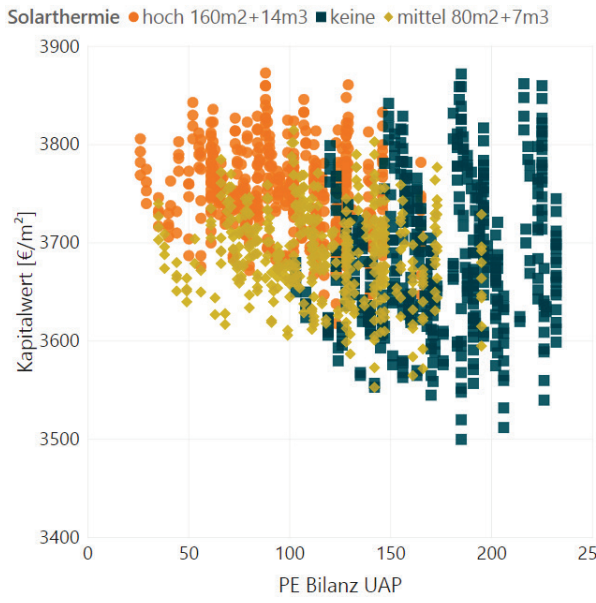
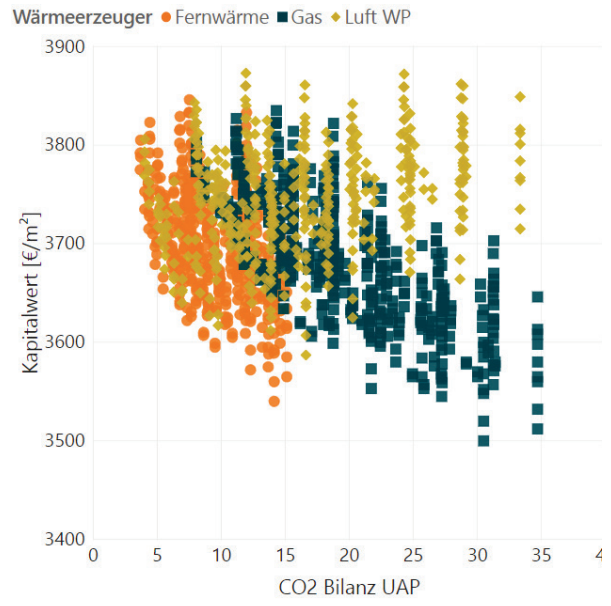
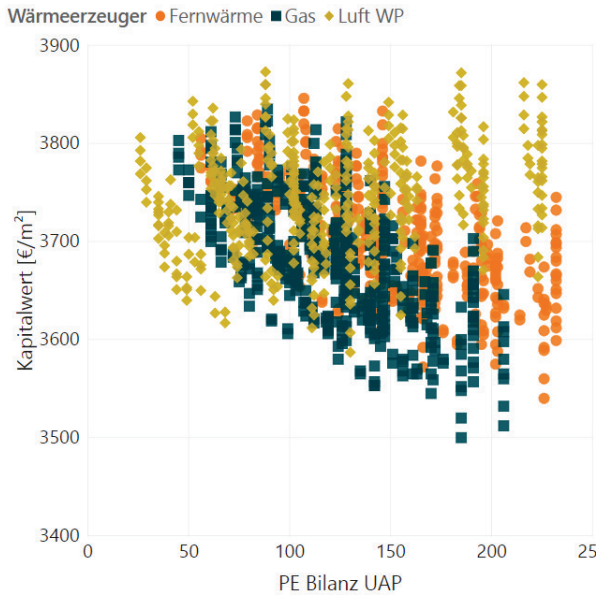
1.2.20. Robustheit

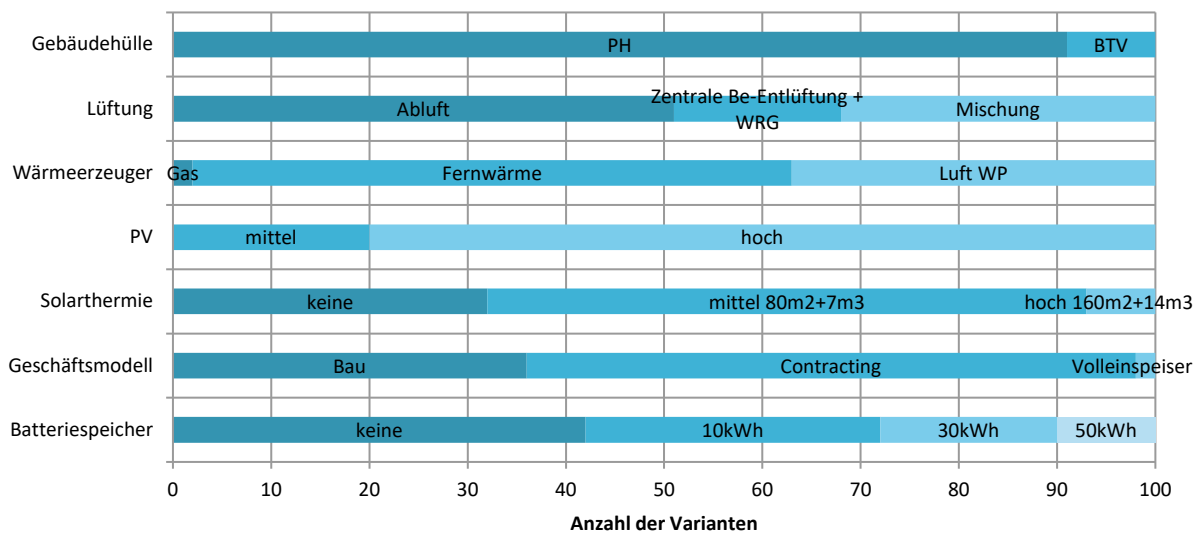
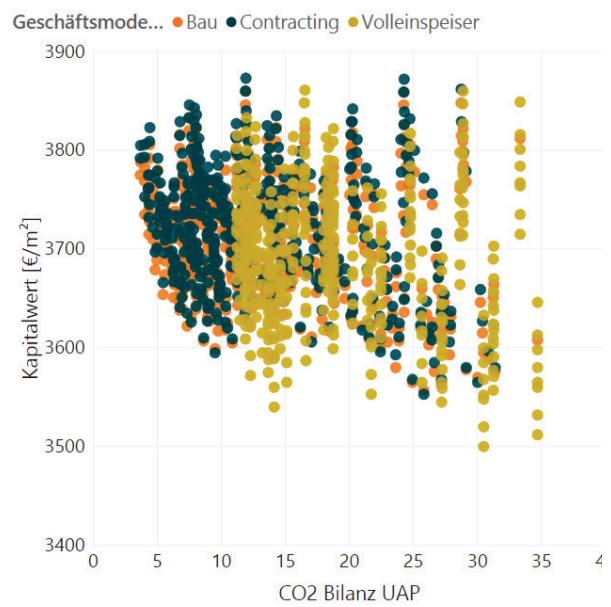
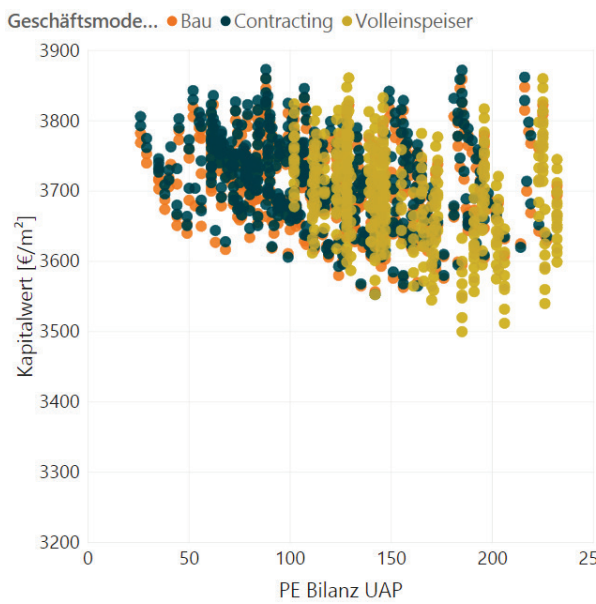
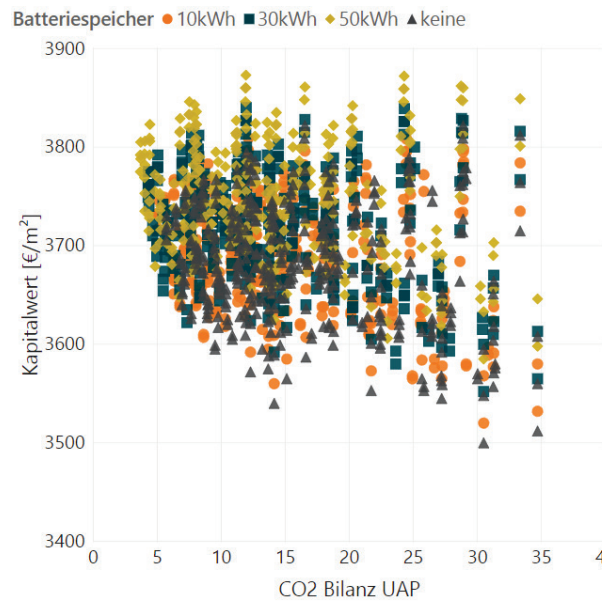
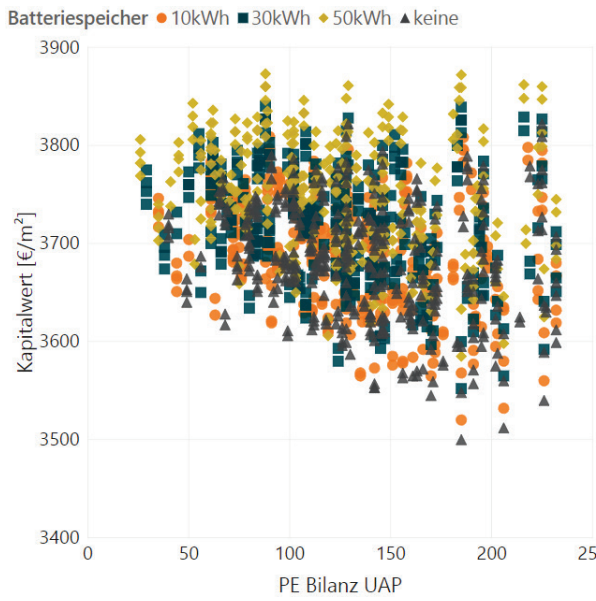


Bürogebäude AEE INTEC

1.2.21. Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

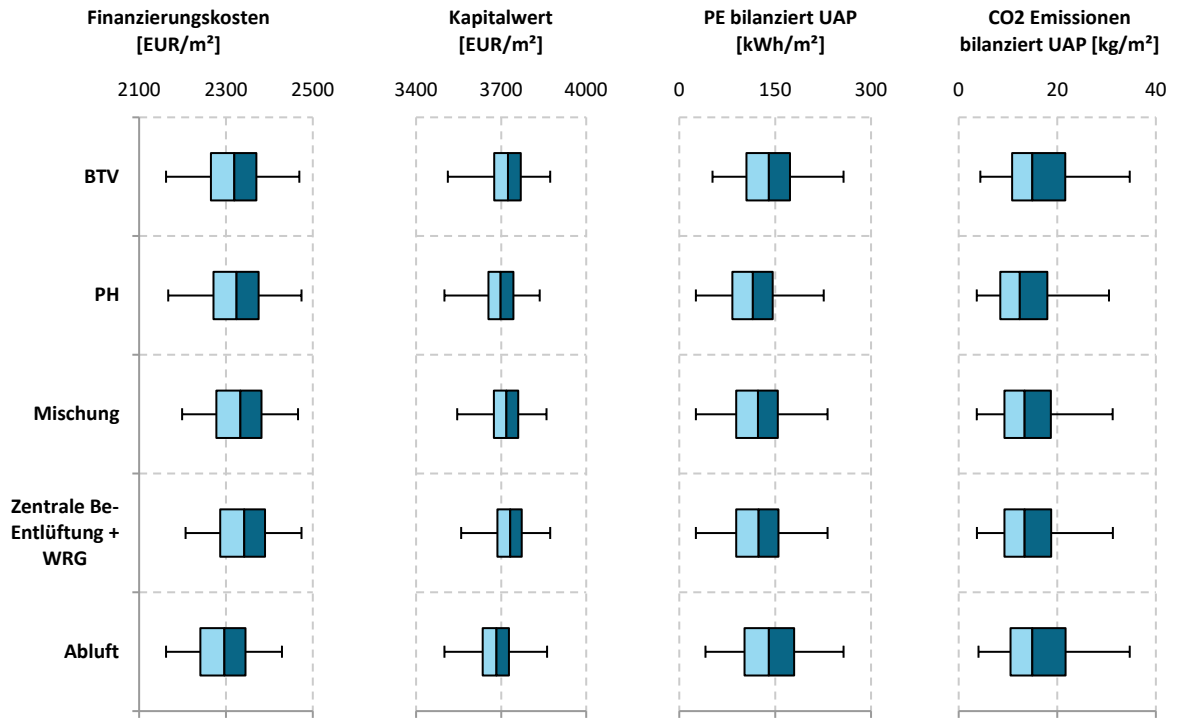




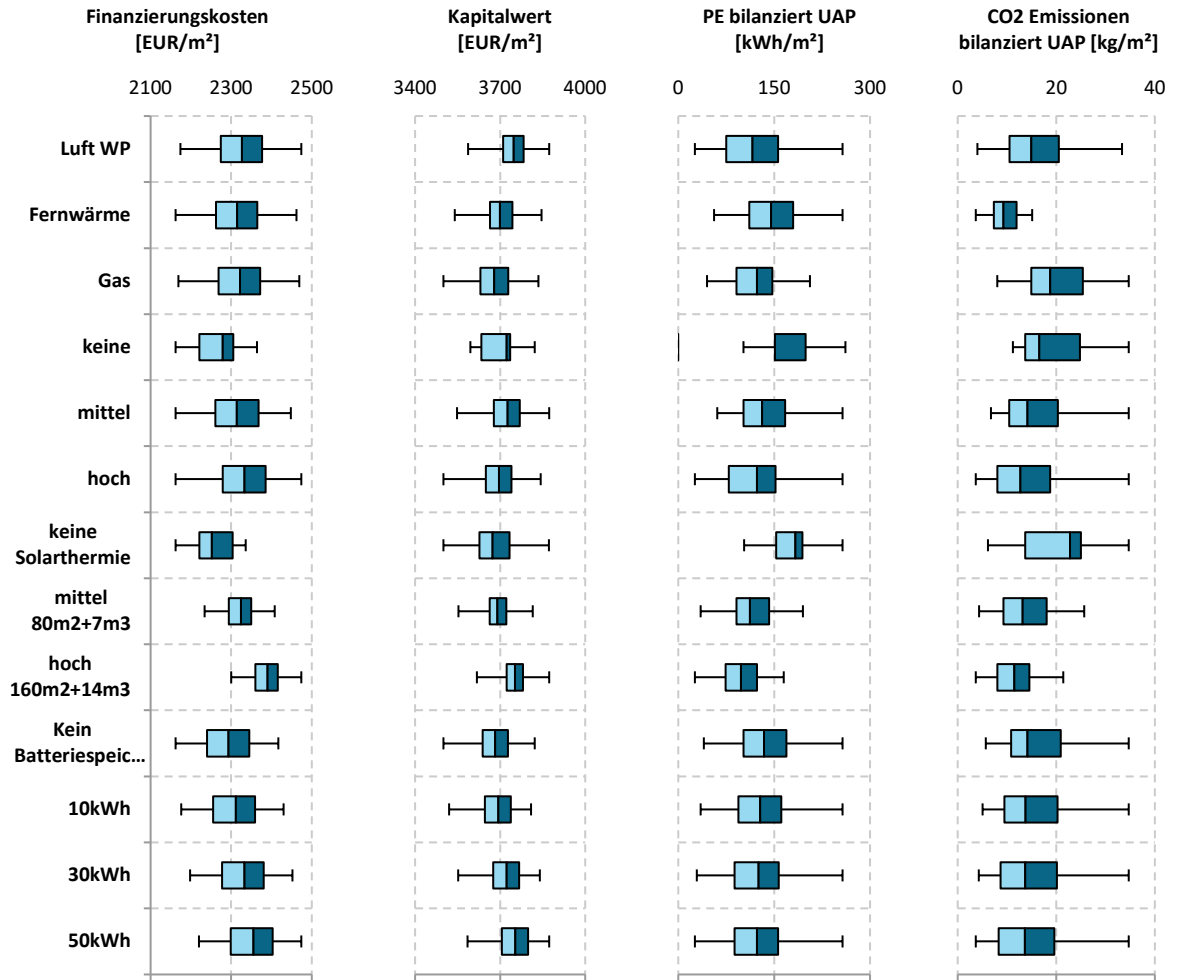


1.2.22. Sensitivitätsanalyse

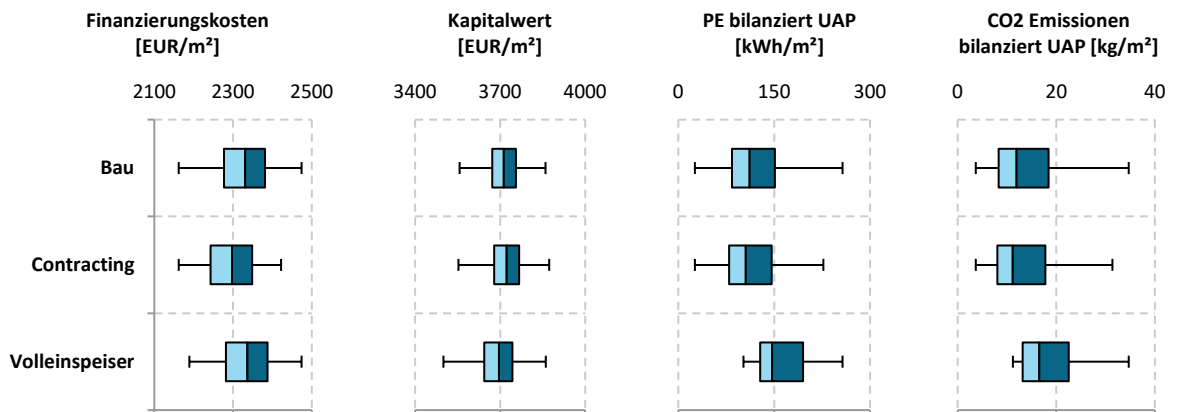
Passive Maßnahmen



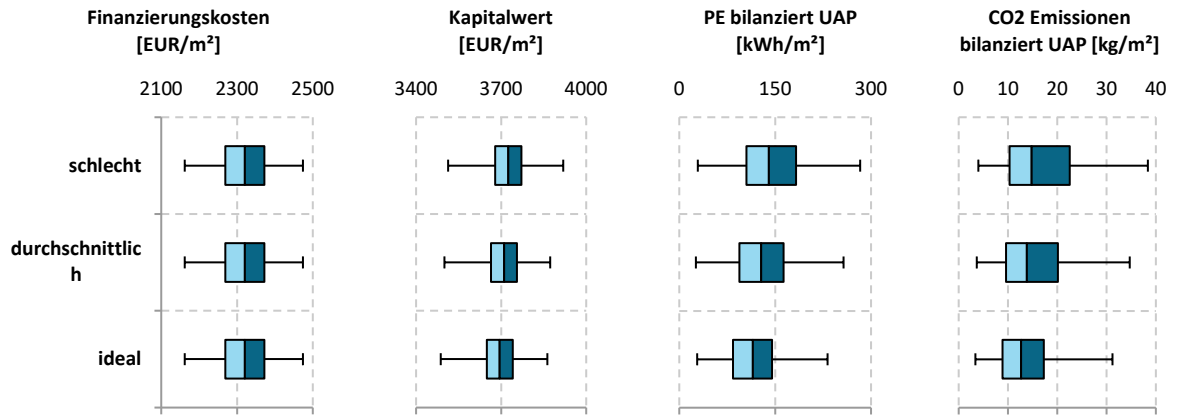
Aktive Maßnahmen



Sonstige Maßnahmen

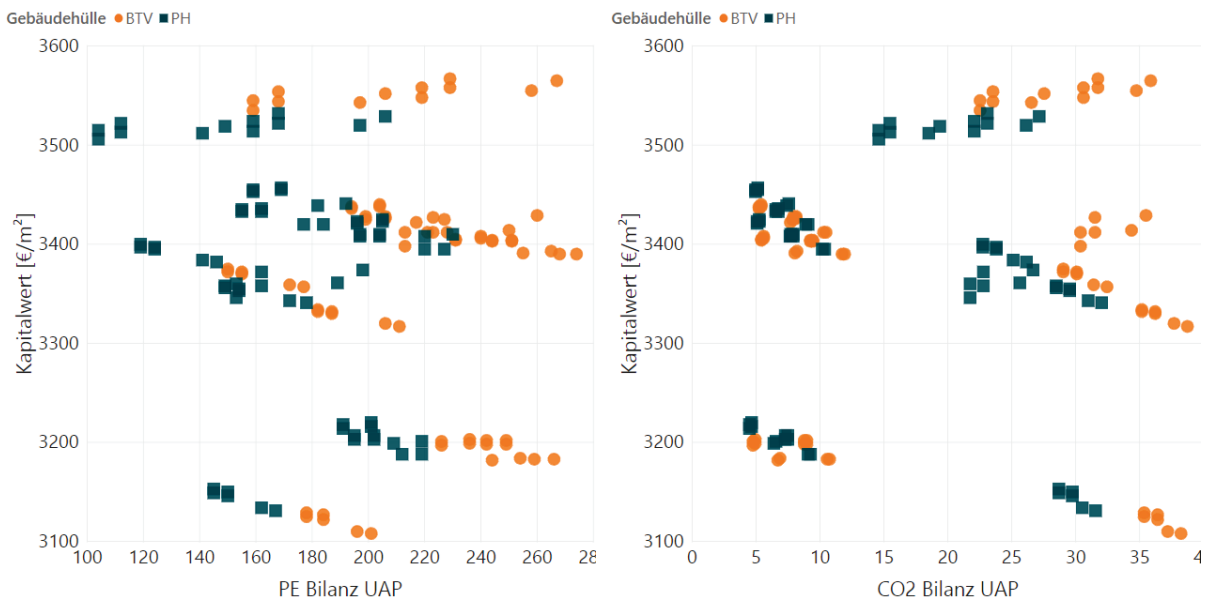


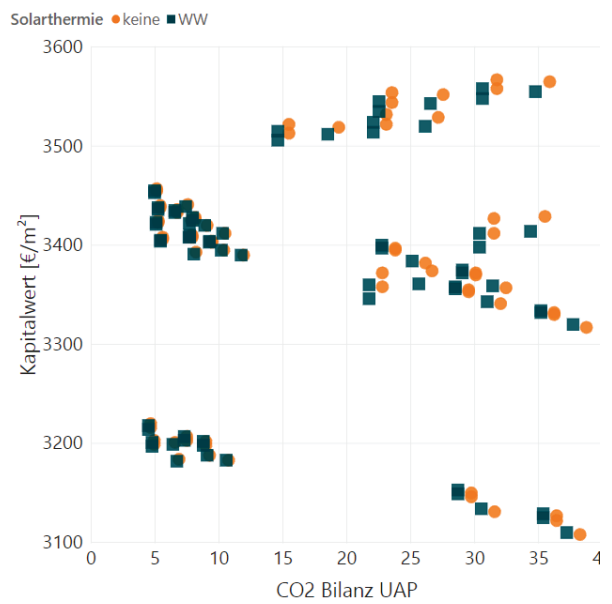
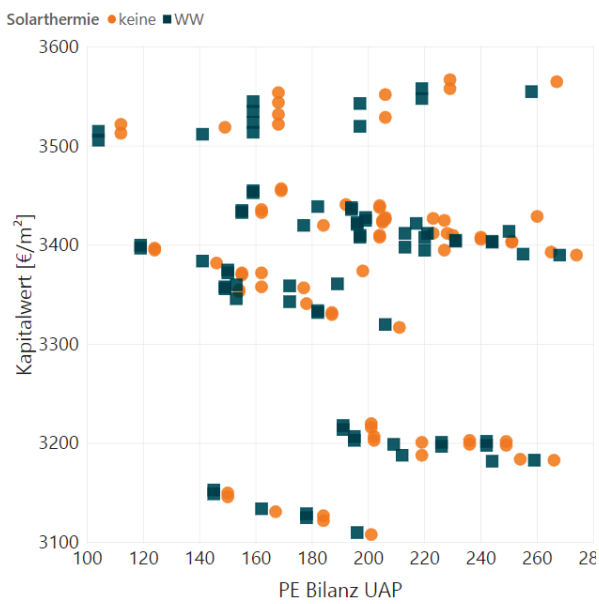
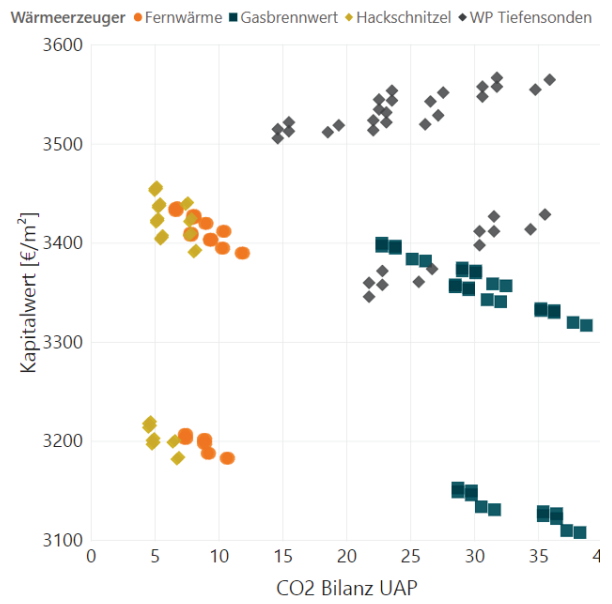
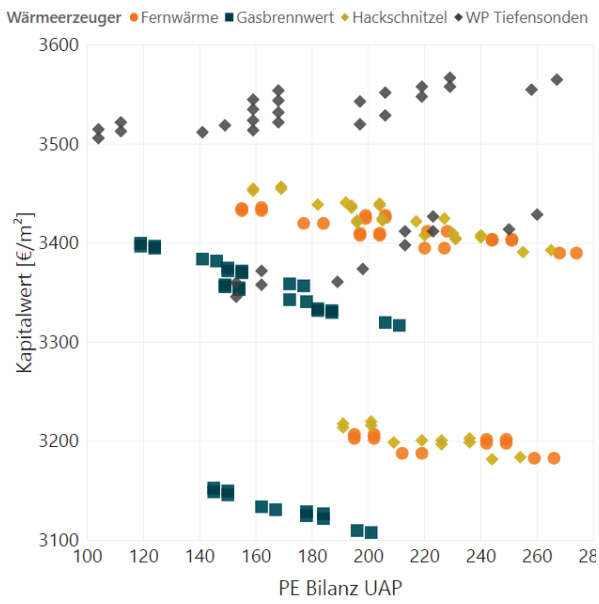
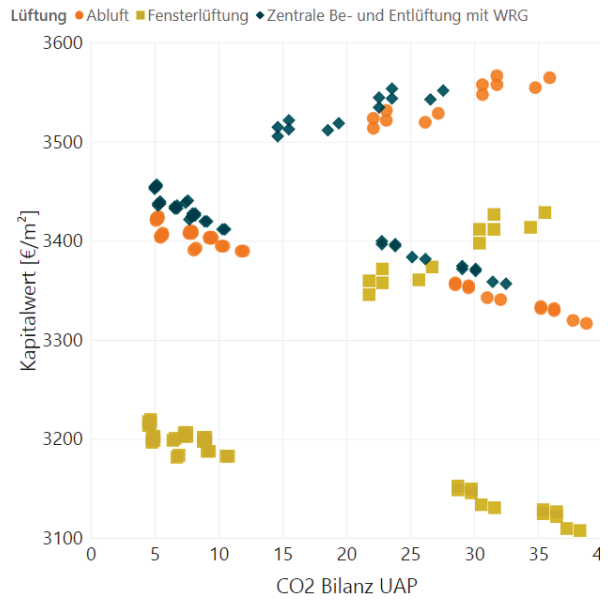
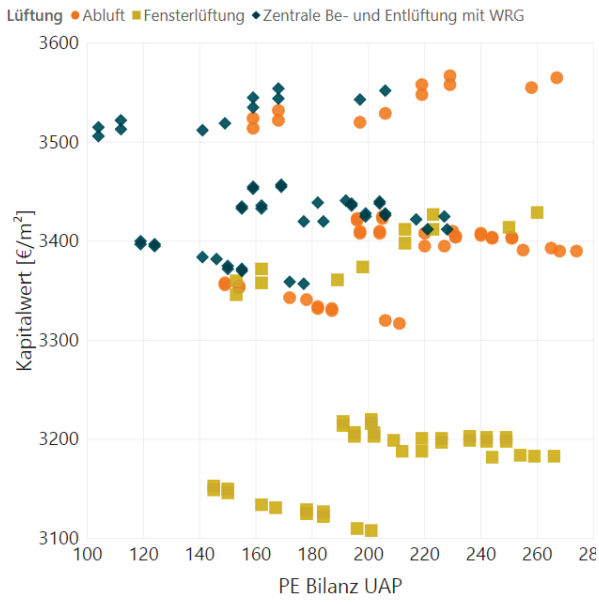
1.2.23. Robustheit

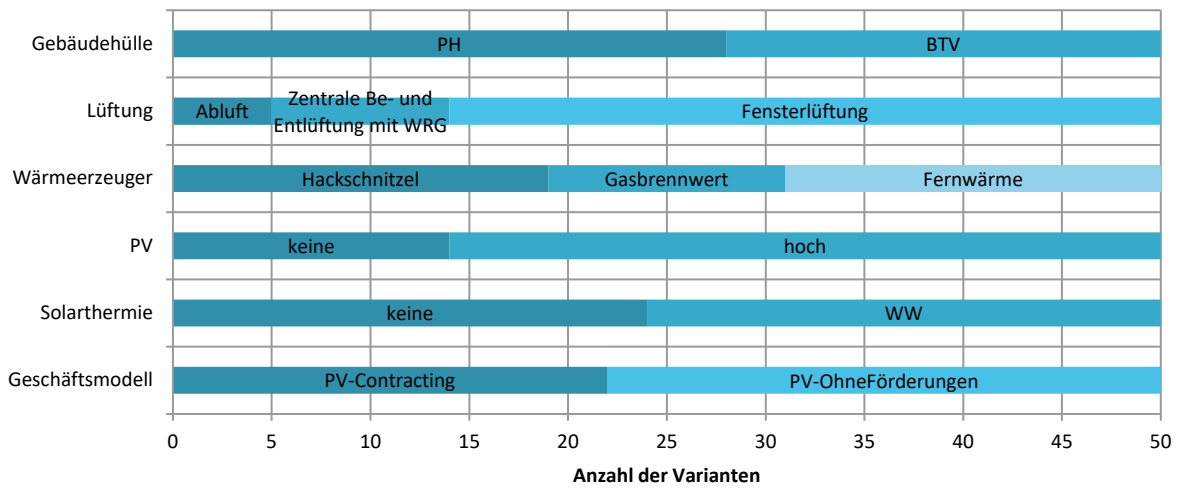
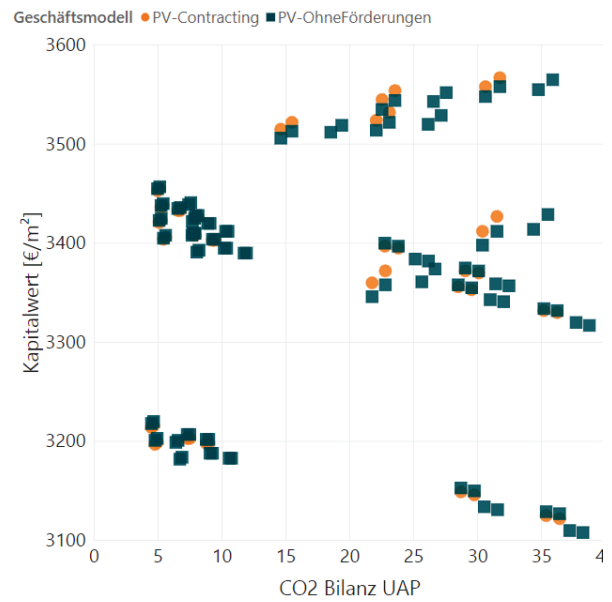
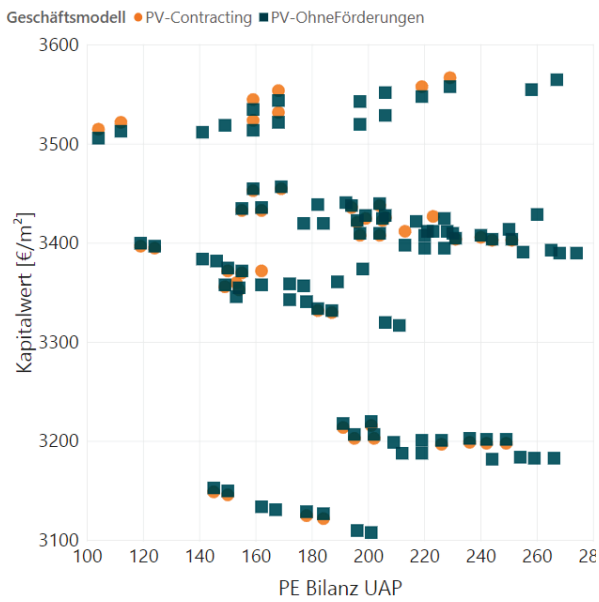
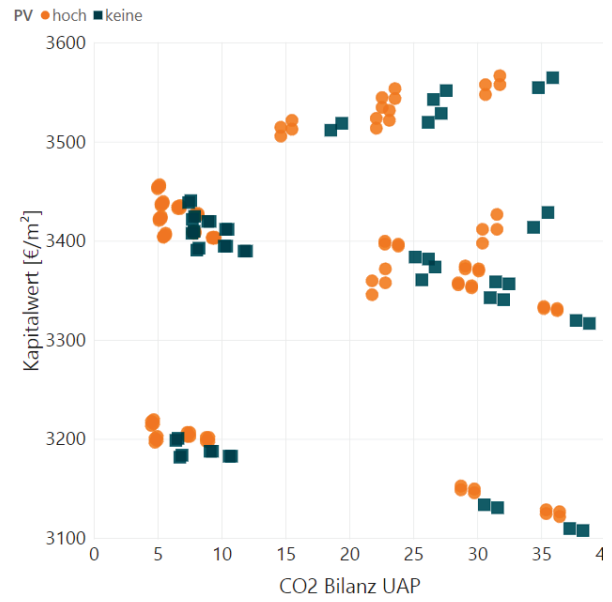
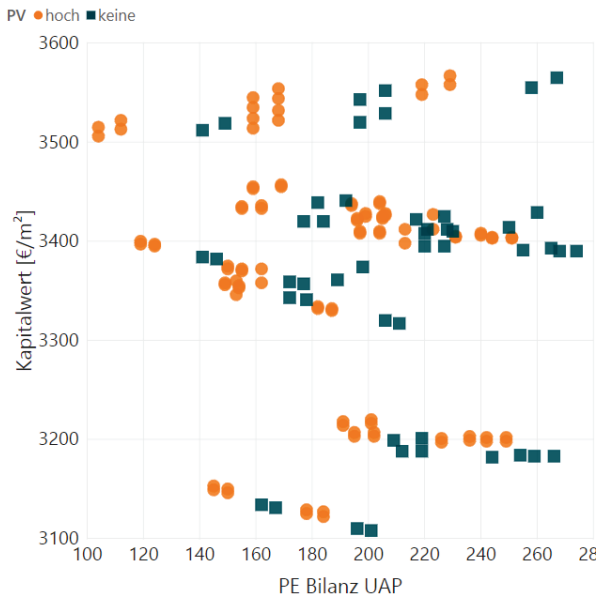


Sanierung Neue Mittelschule Rainbach

1.2.24. Kombination von Energie- und Kosteneffizienz

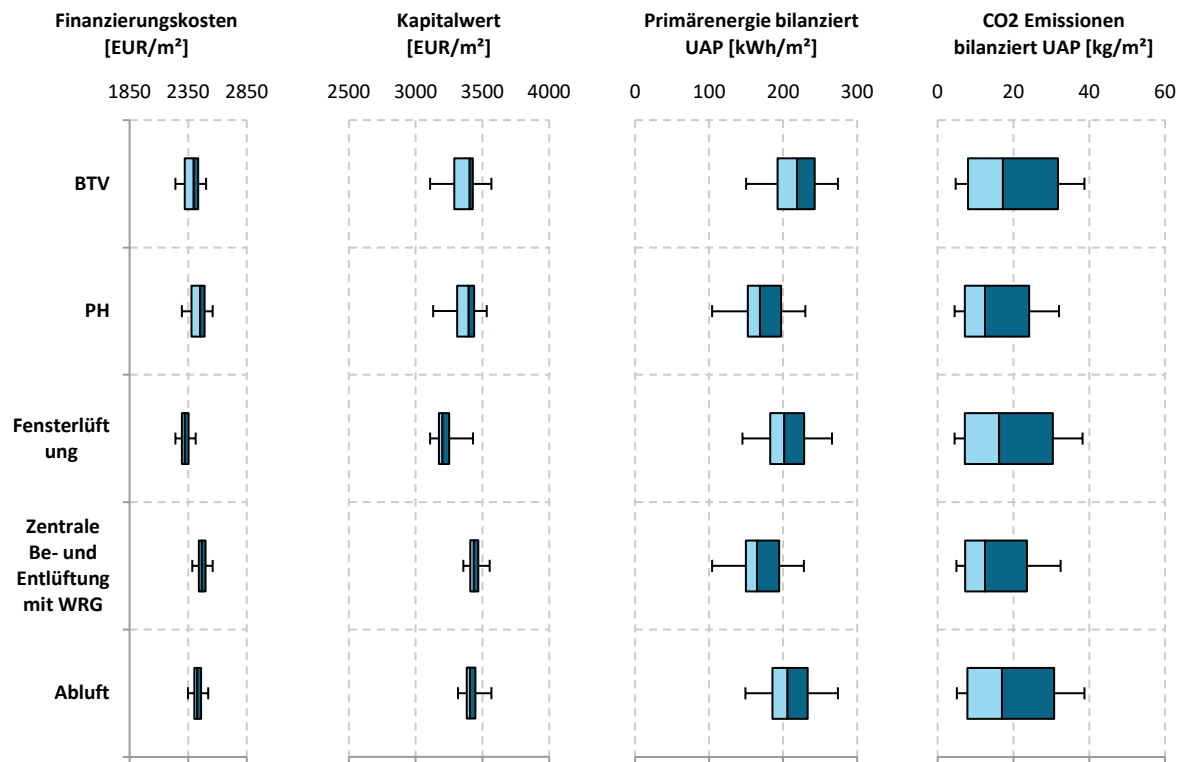




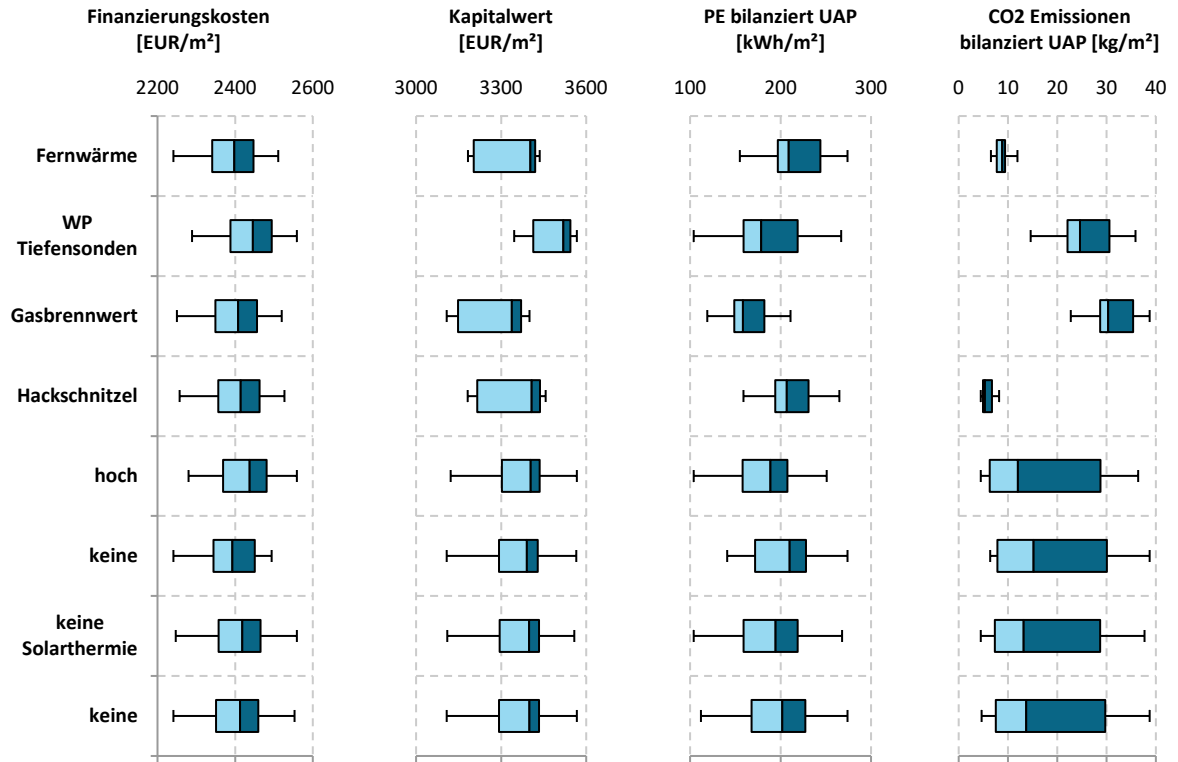


1.2.25. Sensitivitätsanalyse

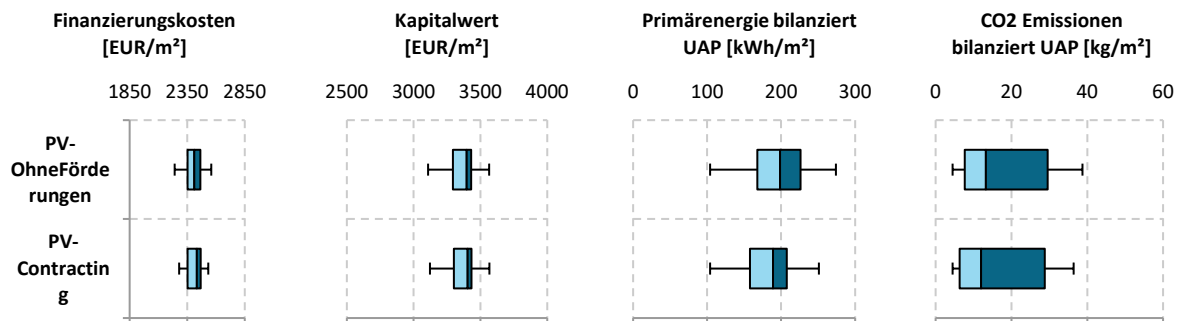
Passive Maßnahmen



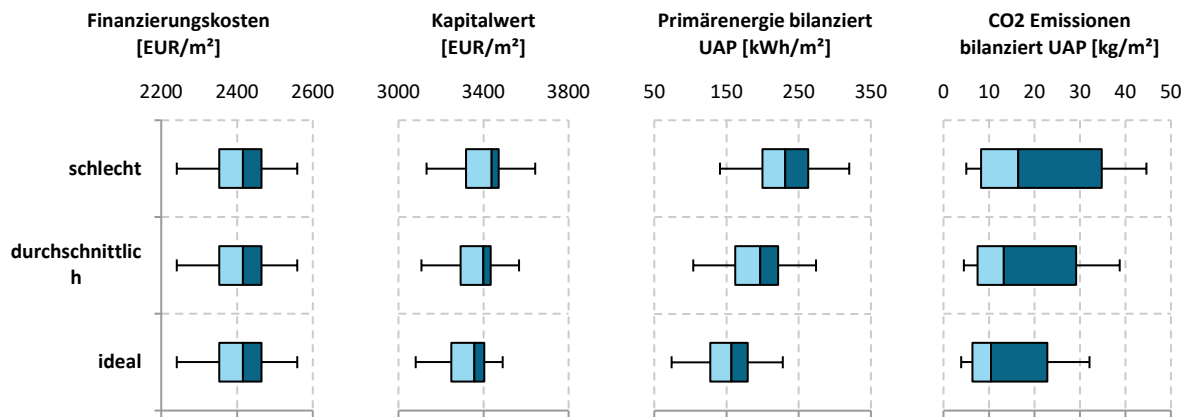
Aktive Maßnahmen




Sonstige Maßnahmen



1.2.26. Robustheit





Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)