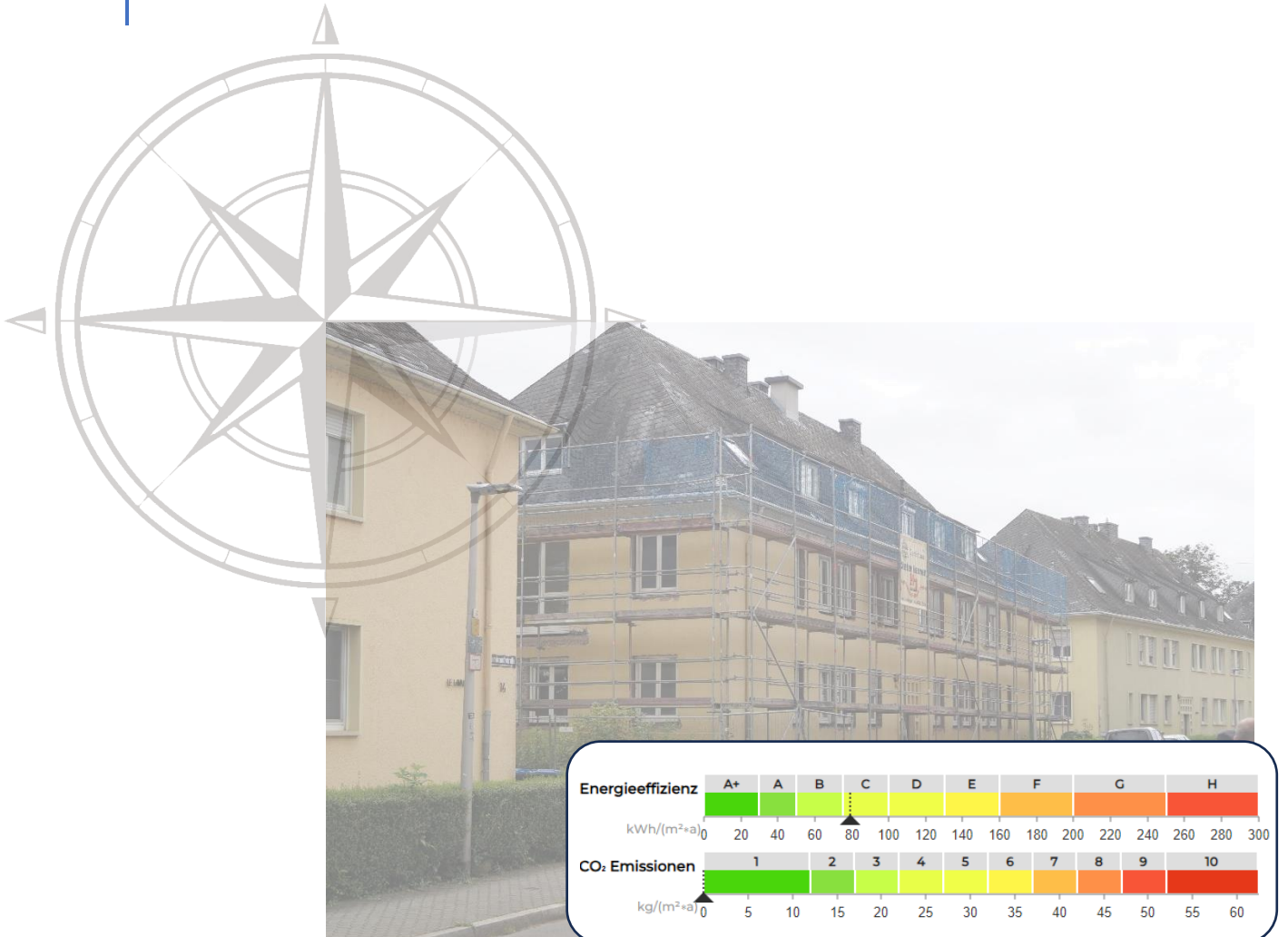


# Planungsleitfaden

- für Bestandshalter und Fachplaner -

## Energetische Modernisierung von Wohngebäuden und Quartieren mit Berücksichtigung des Einsatzes eines Energiemanagementsystems

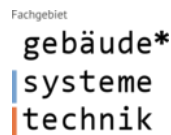
Kurzfassung Projektergebnisse EnEff:Stadt: **ModEMS4Q** für die Praxis  
 7. Energieforschungsprogramm - Gebäude und Quartiere





## Impressum

Erarbeitet von:



Autorinnen und Autoren:

Prof. Dr. Björn-Martin Kurzrock, Dennis Aldenhoff, Prof. Dr.-Ing. Sabine Hoffmann, Daniel Schmidt,  
Prof. Dr. Ping Zhang, Wenyan Ye, Prof. Dr. Steven Liu, Sebastian Bard

Diese Fassung ist eine Kurzfassung der Projektergebnisse EnEff:Stadt: ModEMS4Q für die Praxis. Der vollständige Abschlussberichts des Projekts steht ab März 2024 unter folgendem Link kostenlos zum Download bereit.

[Abschlussbericht ModEMS4Q](#)

**Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU)**

Gottlieb-Daimler-Straße  
D-67663 Kaiserslautern

**Stand: Dezember 2023**

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms.

## Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWK:	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
COP	Coefficient of Performance =Erzeugte Nutzwärme / Elektrische Antriebsenergie
CRREM:	Carbon Risk Real Estate Monitor
DWD:	Deutscher Wetterdienst
EEG:	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EMS:	Energiemanagementsystem
GEG	Gebäudeenergiesetz
KSG:	Klimaschutzgesetz
MFH	Mehrfamilienhaus
MPC:	Model Predictive Control/modellprädiktive Regelung
NF	Nutzfläche (DIN 277:2016)
NUF	Nutzungsfläche (DIN 277:2021)
PV:	Photovoltaik
TGA:	Technische Gebäudeausrüstung
V2G	Vehicle-to-Grid
WLS	Wärmeleitstufe
WP	Wärmepumpe

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	II
1 Einleitung.....	1
2 Wärmebereitstellung .....	2
2.1 Definition der Ziele.....	2
2.2 IST-Analyse .....	2
2.2.1 Differenzierung Energiebedarf und Energieverbräuche .....	2
2.2.2 Wozu eine IST-Analyse durchführen? .....	3
2.2.3 Detaillierte IST-Analyse .....	4
2.3 Energieeffizienzmaßnahmen.....	5
2.3.1 Maßnahmenübersicht .....	5
2.3.2 Identifikation passender Maßnahmen .....	7
2.3.3 Erwartete Energieverbräuche nach Maßnahmenumsetzung (Gebäudehülle) .....	7
2.3.4 Wärmebrücken.....	10
2.3.5 Wirtschaftliche Bewertung von Maßnahmen .....	11
2.4 Contracting.....	12
2.4.1 Was ist Contracting?.....	12
2.4.2 Warum kann Contracting vorteilhaft sein? .....	13
2.4.3 Bewertung Contracting .....	13
2.5 Wärmeversorgungskonzepte .....	14
2.5.1 Zukunftsfähige (empfehlenswerte) Wärmeversorgungskonzepte .....	14
2.5.2 Planung und Identifikation passender Wärmeversorgungskonzepte .....	16
2.5.3 Auslegung von Wärmeversorgungskonzepten.....	17
2.5.4 Wirtschaftliche Bewertung von Wärmeversorgungskonzepten .....	17
2.6 Monitoring.....	19
2.6.1 Wozu ein Monitoring?.....	19
2.6.2 Empfehlungen für ein Monitoring.....	19
3 Photovoltaik (PV).....	20
3.1 IST-Analyse & Machbarkeit .....	20
3.2 Vertriebsmodell.....	20
3.3 Anlagenprojektierung.....	22
4 Energiemanagement .....	23
4.1 Grundsätzliche Energieversorgungsstruktur im Quartier EMS .....	23
4.2 Regelungsstrategien .....	24
4.3 Technische Anforderungen .....	25
4.3.1 Anforderungen an die TGA.....	25

4.3.2	Anforderungen an die Sensorik.....	26
4.3.3	Kommunikationsnetzwerk.....	26
4.4	EMS-Betreiber als Partner.....	26
4.5	Wirtschaftliche Bewertung.....	26
4.5.1	Kostenabschätzung.....	27
4.5.2	Simulativ ermittelte Einsparpotenziale.....	27
4.5.3	Kosten-Nutzen-Analyse.....	28
4.5.4	Weitere Vorteile.....	28
5	Quartiersaspekte.....	30
5.1	Quartiersaspekte in Bezug auf die Wärmebereitstellung:.....	30
5.2	Quartiersaspekte in Bezug auf Photovoltaik und ein EMS.....	32
6	Literaturverweise.....	33

# 1 Einleitung

Dieser Leitfaden ist im Rahmen des Forschungsprojekts EnEff:Stadt: ModEMS4Q<sup>1</sup> entstanden. In dem Projekt wurden wirtschaftliche und zukunftsfähige Modernisierungskonzepte mit besonderem Schwerpunkt auf die Integration eines Energiemanagementsystems (EMS) für Bestandsquartiere untersucht. Der Praxisleitfaden stellt zentrale Erkenntnisse, die relevant für Praktiker sind, in kompakter Form für diese übersichtlich dar.

Der Fokus liegt neben einer Modernisierung der Gebäudehülle und Wärmeversorgung ebenso auf den immer stärker aufkommenden Aspekten integrierter Versorgungskonzepte im Kontext von Quartieren. Integrierten Versorgungskonzepten kommt aufgrund der Energiewende und der Abkehr von auf fossilen Energieträgern basierenden Technologien eine zunehmend bedeutende Rolle zu. Einerseits kommen neue Verbraucher wie E-Autos oder Wärmepumpen vermehrt in Quartieren auf und andererseits auch dezentrale Erzeuger (in Quartieren vornehmlich PV-Anlagen). Daneben weisen erneuerbare Energien wie Sonne und Wind Schwankungen auf, denen mit Energiespeichern und flexiblen Energieverbrauchern begegnet werden kann. Hierbei können Gebäude und Quartiere einerseits durch dezentrale Batteriespeichersysteme für PV-Anlagen als auch durch ein flexibles Lastmanagement, wie z.B. zeitlich variables Laden von E-Autos und die Bereitstellung von Wärme aus thermischen Pufferspeichern durch Wärmepumpen, beitragen. Dass den Speicherfunktionen und dem flexiblen Lastmanagement auch ein großer wirtschaftlicher Effekt beizumessen ist, kann an den hohen Preisdifferenzen im Tagesverlauf am Strommarkt abgelesen werden. Entsprechend ist es sinnvoll, diesen Wandel in der zukünftigen Energieversorgung bei der Modernisierung von Wohngebäuden und Quartieren direkt ganzheitlich mitzudenken. Hierdurch profitiert die Gesellschaft im Ganzen aber auch der Betreiber, der die Dienstleistung entweder wirtschaftlich nutzen oder langfristig durch variable Stromtarife erhöhten Strompreisen entgehen kann.

## **Generelle Hinweise:**

- *Wenn nicht näher spezifiziert, beziehen sich Energieverbräuche oder -bedarfe immer auf **Endenergie**.*
- ***Bei flächenbezogenen Angaben ist stets die Bezugsfläche (z.B. Wohnfläche oder Nutzfläche) zu beachten!** Unterschiedliche Bezugsflächen führen zu fehlerhaften Ergebnissen.*
- *Die Begriffe **Modernisierung und Sanierung** werden vielfach synonym verwendet. In diesem Leitfaden wird der Begriff **Sanierung** für die Wiederherstellung eines Gebäudezustandes genutzt. **Modernisierung** meint die Verbesserung über den Ausgangszustand hinaus.*
- *Zur besseren Lesbarkeit wird das generische Maskulinum gebraucht. Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.*

---

<sup>1</sup> Gefördert durch das BMWK (Laufzeit 2021-2023); Förderkennzeichen: 03EN3039.

## 2 Wärmebereitstellung

Im Folgenden werden zentrale Themenpunkte bei der Modernisierung von Wohngebäuden mit Schwerpunkt auf der Wärmebereitstellung kompakt beschrieben.

### 2.1 Definition der Ziele

**Derzeit absehbare Vorgaben durch den Gesetzgeber:**

- **Nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis 2045 (siehe Klimaschutzgesetz, KSG); möglichst Null CO<sub>2</sub>-Emissionen**
- **Mindestziel Endenergieverbrauch bis 2033: <130 kWh/m<sup>2</sup>a** (Effizienzklasse D und besser, bezogen auf Nutzfläche<sup>2</sup> wie in Energieausweis)

*Wird der spezifische Wert bezogen auf die Wohnfläche berechnet, steigt der Wert, da die Nutzfläche i.d.R. größer ist als die Wohnfläche.*

**Grundlegende Zielsetzung:**

Unabhängig von wechselnden Anforderungen des Gesetzgebers sollte das Ziel von Bestandshaltern Klimaneutralität bis 2045 sein. Grundsätzlich sind dafür die **(1) Gebäudehüllen energetisch zu verbessern** und eine Umstellung auf potenziell **(2) klimaneutrale Wärmeversorgungskonzepte** durchzuführen.

#### **(1) Modernisierung der Gebäudehüllen/Energieeffizienzmaßnahmen**

Die Modernisierung der Gebäudehüllen ist das deutlich kostenintensivere Unterfangen und hat in den letzten Jahren bereits in allen Arten von Beständen stattgefunden. Dies sollte im Rahmen der Kapazitäten der Bestandhalter und einer klugen Priorisierung in Kombination mit Instandhaltungsmaßnahmen weitergeführt werden. Eine deutliche Reduktion der Energiebedarfe ist sinnvoll, aber hierbei sind keine höchsteffizienten Gebäudehüllen zur Erreichung der Energieeffizienzklassen A oder A+ notwendig. Grundsätzlich sollten nur die wirtschaftlichsten Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs durchgeführt werden. Dies kann bereits ausreichen, um die Effizienzklasse D und Klimaneutralität in Kombination mit Wärmepumpen zu erreichen. Je schwieriger die Belastungen der Modernisierungen durch Bestandhalter zu stemmen sind, desto wichtiger werden intelligente begleitende nicht-bauliche Maßnahmen, damit die Gebäude in ihrem jeweiligen Zustand möglichst effizient betrieben werden.

#### **(2) Klimaneutrale Wärmeversorgungskonzepte**

**Klimaneutrale Wärmeversorgungskonzepte** stehen in direkter Abhängigkeit von (1), da sie deutlich effizienter und kostengünstiger in ein Gebäude mit niedrigen Energiebedarfen integriert werden können. Zwar sind diese Konzepte tendenziell deutlich teurer als die Installation neuer Gas- und Ölheizungen, im Vergleich zu (1) sind die Investitionskosten aber um den Faktor 2 bis 6 kleiner.

**Die Modernisierung der Gebäudehüllen ist nur ein erster Schritt. Erst durch die Umsetzung klimaneutraler Wärmeversorgungskonzepte kommen Sie dem übergeordneten Ziel der Klimaneutralität wirklich näher.**

### 2.2 IST-Analyse

#### 2.2.1 Differenzierung Energiebedarf und Energieverbräuche

Es ist entscheidend, tatsächliche **Energieverbräuche** und berechnete **Energiebedarfe** zu unterscheiden. Der Bedarf bewertet die energetische Beschaffenheit des Gebäudes ohne

---

<sup>2</sup> Nutzfläche (NF) nach GEG aus DIN 18599:2018-09, die sich auf DIN 277:2016 beruft. In der aktuellen DIN 277:2021 ist die Fläche als Nutzungsfläche (NUF) definiert.

nutzerbedingte Schwankungen. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, die vielfach gemessenen Unterschiede zwischen Verbräuchen und Bedarfen zu kennen. Während in energetisch sehr schlechten Gebäuden vielfach Verbräuche gemessen werden, die nur der Hälfte des Bedarfs entsprechen (siehe Bedarf 400-450 vs. Verbrauch 210-220 kWh/m<sup>2</sup>a; Abbildung 1), übersteigen die Verbräuche in energetisch sehr guten Gebäuden die Bedarfe um bis zu 10 % (siehe Verbrauchsfaktor für Bedarf 0-40 kWh/m<sup>2</sup>a; Abbildung 1).

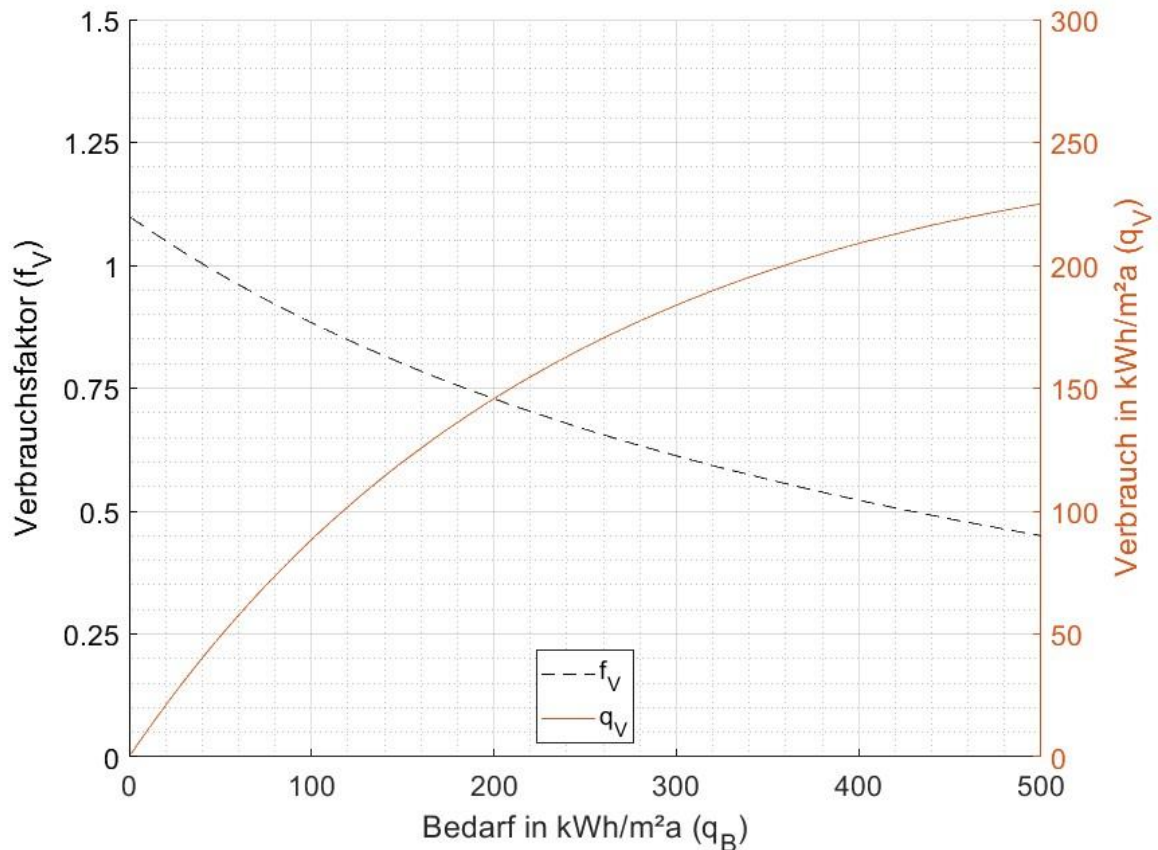


Abbildung 1: Umrechnung von Bedarfs- in Verbrauchswerte auf Basis Gleichung 1

Verbrauchs- und Bedarfswerte lassen sich überschlägig mit Gleichung 1 umrechnen:<sup>3</sup>

$$f_V(q_B) = -0,2 + \frac{1,3}{1 + \frac{q_B}{500}} \quad (\text{Gleichung 1})$$

$$q_V = f_V * q_B$$

mit:

$q_B$ : Flächenspezifischer Bedarf [kWh/m<sup>2</sup>\*a]

$q_V$ : Flächenspezifischer Verbrauch [kWh/m<sup>2</sup>\*a]

$f_V$ : Verbrauchsfaktor zur Umrechnung Bedarf in Verbrauch

### 2.2.2 Wozu eine IST-Analyse durchführen?

Eine IST-Analyse ist essenziell 1. Zur Priorisierung von Liegenschaften für Modernisierungsmaßnahmen und 2. Zur Identifikation von Problemen im Bestand. Letzteres sollte möglichst durch ein jährliches Monitoring (siehe Abschnitt 2.6) verstetigt werden, das auf den Daten der IST-Analyse aufbaut.

<sup>3</sup> Zur Herleitung der Formel siehe Loga et al. (2011).



### 2.2.3 Detaillierte IST-Analyse

#### 1. Gebäudezustand erfassen

Der Sanierungs- bzw. Modernisierungsbedarf ist ein wichtiges Entscheidungskriterium, da Modernisierungs- mit Instandhaltungsmaßnahmen möglichst gekoppelt werden sollten, um wirtschaftlich zu sein (s.a. Kopplungsprinzip). Entsprechend ist eine Bewertung des Gebäudezustandes (für evtl. Kernsanierungen) oder mindestens essenzieller energetischer Gebäudekomponenten für die Priorisierung der Liegenschaften (Sanierungsfahrplan) hilfreich.

#### 2. Bedarf erfassen

**Bei flächenbezogenen Angaben immer die Bezugsfläche beachten!** Unterschiedliche Bezugsflächen führen zu fehlerhaften Ergebnissen.

Es ist sinnvoll, den theoretischen Bedarf zu kennen, um diesen den tatsächlichen jährlichen Verbräuchen gegenüberstellen zu können. Hierdurch werden schnell Probleme und Potenziale für eine aussagekräftige Priorisierung entdeckt. Ein Bedarfsausweis ist hierfür eine gute Grundlage. Allerdings sollte beachtet werden, dass die genormte Berechnungsweise für Bedarfsausweise bekannterweise von den durchschnittlichen Verbräuchen abweicht (Abbildung 1). Um den theoretischen Bedarf trotzdem sinnvoll für einen Abgleich nutzen zu können, kann dieser mit einer auf statistischen Verbrauchswerten beruhenden Formel (Gleichung 1) auf Verbrauchswerte umgerechnet werden.

Sollte kein Bedarfsausweis vorliegen, kann eine Abschätzung getätigt werden. Hierzu können z.B. Werte (verbrauchsbezogene nutzen!) nach Typgebäuden und Modernisierungsständen aus der Tabula Webdatenbank<sup>4</sup> und begleitenden Publikationen<sup>5</sup> genutzt werden.

#### 3. Verbrauch erfassen

**Bei flächenbezogenen Angaben immer die Bezugsfläche beachten!** Unterschiedliche Bezugsflächen führen zu fehlerhaften Ergebnissen.

Die Verbrauchserfassung kann theoretisch über Verbrauchsausweise oder die Jahresangaben in Verbrauchsausweisen erfolgen, wenn darin die Verbräuche der letzten Jahre enthalten sind. Das Monitoring (Abschnitt 2.5) sollte allerdings möglichst jährlich stattfinden, um Probleme und Potenziale (siehe Ursachenanalyse in Abbildung 2) zu identifizieren. Für eine kontinuierliche jährliche Analyse empfiehlt es sich deshalb, die jeweiligen Jahresverbräuche zu nutzen. Im Gegensatz zum Verbrauchsausweis muss beim Bedarfswert auf den jährlichen Verbrauch (nur Raumwärmeanteil) jeweils immer eine Witterungsbereinigung über einen örtlichen Klimafaktor des DWD<sup>6</sup> durchgeführt werden, um Einflüsse durch milde und harsche Winter berücksichtigen zu können.

#### 4. Abgleich & Ursachenanalyse

Nach Schritt 2 und Schritt 3 sind der Bedarf für den derzeitigen Gebäudezustand und jahresbezogene Verbräuche vorhanden. Bei größeren Abweichungen zwischen Bedarf und Jahresverbrauch sollte eine Ursachenanalyse durchgeführt werden. So können Optimierungspotenziale identifiziert werden, die keine baulichen Maßnahmen erfordern und trotzdem substanzielle Energieeinsparungen für Mieter und eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Kosten für Vermieter ermöglichen. Abweichungen bei besonders niedrigen unerklärlichen Verbräuchen sollten ebenso überprüft werden, um bspw. das Risiko für Schimmelbefall zu reduzieren.

---

<sup>4</sup> <https://webtool.building-typology.eu>; geprüft am 12.01.2024.

<sup>5</sup> Loga, et al. (2011), S.113-115.

<sup>6</sup> <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html>; geprüft am 12.01.2024.

Abbildung 2 fasst das schrittweise Vorgehen für eine detaillierte IST-Analyse zusammen.

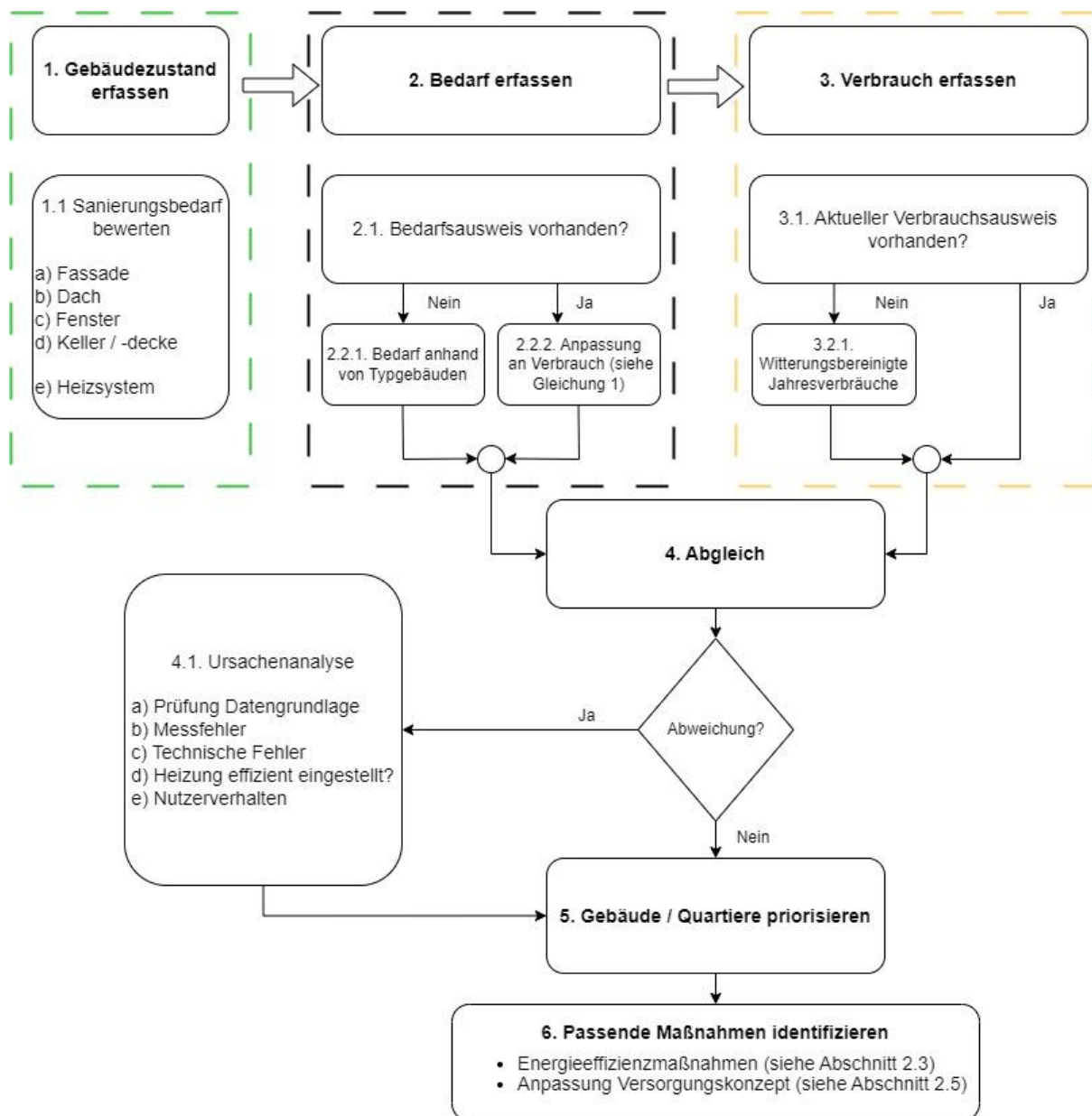


Abbildung 2: Schrittweise Vorgehensweise für eine detaillierte IST-Analyse

## 5. Gebäude/Quartiere Priorisierung

Die erhobenen Daten der IST-Analyse ermöglichen es in einem nächsten Schritt, Gebäude und Quartiere zu priorisieren und passende Optimierungsmaßnahmen zu identifizieren. Die Gewichtung einzelner Faktoren (Zustand Heizung & Gebäudehülle, Energieverbrauch, Energiebedarf) ist je nach Gegebenheiten und Möglichkeiten des Eigentümers individuell zu wählen.

### 2.3 Energieeffizienzmaßnahmen

#### 2.3.1 Maßnahmenübersicht

Folgende Maßnahmen sollten bei der Modernisierung des Bestandes berücksichtigt werden, um den Wärmebedarf zu optimieren.

### **Bauliche Maßnahmen an der Gebäudehülle:**

Mögliche Maßnahmen umfassen die Modernisierung der Außenwand, des Daches und der Fenster. Bei unbeheizten Kellerräumen sollte zudem die Kellerdecke berücksichtigt werden. Bei denkmalgeschützten Gebäuden muss die Umsetzbarkeit geprüft werden; ggf. auf Innendämmung zurückgegriffen werden. Einsparpotenziale der Maßnahmen analysiert Punkt 2.3.3 genauer.

### **Maßnahmen an bestehender Wärmeversorgungsanlage:**

Auch bei der vorhandenen Wärmeerzeugungsanlage kann Optimierungsbedarf bestehen. Hier sollte v.a. die Einstellung hinsichtlich der Vorlauftemperatur überprüft werden, um sicherzustellen, dass diese nicht zu einem erhöhten Energiebedarf führt. Ebenso kann die strömungstechnische Beladung der Heizkörper untersucht werden. Häufig werden Heizkörper, die nahe an der Wärmeerzeugung liegen, üerversorgt und andere entsprechend unterversorgt. Dies kann über einen hydraulischen Abgleich behoben werden.

### **Austausch von Wärmeversorgungsanlagen:**

Weiterhin sollte die grundsätzliche Wärmeversorgung im Zuge einer Modernisierung überprüft werden. Der Bestand ist in Deutschland nach wie vor größtenteils von Gas- oder Ölheizungen abhängig. Im Zuge der Modernisierung können die benötigten Vorlauftemperaturen signifikant abgesenkt werden. Auch wenn auf eine Kernsanierung mit Integration eines Flächenheizsystems verzichtet wird, können die Temperaturen in Heizkörpern/Radiatoren durch Dämmung der Gebäudehülle reduziert werden. Daneben sollte geprüft werden, ob (oftmals bereits überdimensionierte) Heizkörper beibehalten werden können oder durch leistungsstärkere ausgetauscht werden sollten.

Mögliche Versorgungskonzepte, die zu einer effizienteren Wärmeversorgung beitragen können, führt Punkt 2.5.1 auf.

### **Nicht-bauliche Maßnahmen:**

Grundsätzlich ist immer auch das **Nutzerverhalten** für einen wesentlichen Teil des Wärmeverbrauchs verantwortlich. Zeigt sich bei der IST-Analyse ein bedeutend höherer Verbrauch im Vergleich zu dem ermittelten Bedarf oder thermisch ähnlichen Gebäuden und technische Fehler konnten bereits ausgeschlossen werden, ist dies wahrscheinlich auf das Nutzerverhalten zurückzuführen. Falsches Lüftungsverhalten ist weiterhin ein häufiger Grund für zu hohe Wärmeverbräuche. Das Nutzerverhalten zu verbessern, ist ein schwieriges und sensibles Thema. Nachfolgend finden Sie einige Ideen wie Sie eine Sensibilisierung der Mieter und ggf. darüber hinaus auch ein verbessertes Nachbarschaftsverhältnis erreichen können.

- Sensibilisierung der Mieter durch **gezielte Ansprache, Infoveranstaltungen, Einsparwettbewerbe und Förderung des Austauschs unter Nachbarn**. Infoveranstaltungen können helfen, schnell und einfach Mieter zu informieren und zu sensibilisieren, der Erfolg wird aber meist überschaubar bleiben. Andere Ansätze bieten mehr Aussicht auf Erfolg: Bspw. sollten gezielt Mieter in Gebäuden mit erhöhtem Verbrauch im Vergleich zum Bedarf angesprochen und aufgeklärt werden. Je nach Nachbarschaft kann auch der Austausch unter Mietern ermutigt werden, sodass Mieter mit niedrigen Verbräuchen andere beraten. Einsparwettbewerbe mit einer Auslobung von Preisen können die Motivation abseits etwaiger Energiekosteneinsparungen erhöhen.
- **Smarte Thermostate** können Anwesenheitszeiten und Nachtabsenkungen berücksichtigen.
- Sensibilisierung der Mieter durch Aufzeigen der Energiekosten/-verbräuche im Vergleich zum Bedarf des Gebäudes. Eine Information der Mieter ist nur hilfreich, wenn diese einen guten

**Vergleichswert für das jeweilige Gebäude** erhalten, ansonsten werden Mieter hohe Kosten vielfach mit einem vermeintlich schlechten energetischen Gebäudezustand abtun. Nutzen Sie hierzu den ermittelten Bedarf aus der IST-Analyse.

### 2.3.2 Identifikation passender Maßnahmen

Wird beim Abgleich von Verbrauch und Bedarf eine Abweichung festgestellt, sind entsprechende Schlüsse und Maßnahmen als Resultat der Ursachenanalyse durchzuführen. Sind der Energiebedarf eines Gebäudes und dementsprechend die Jahresenergieverbräuche hoch, sind Maßnahmen an der thermischen Gebäudehülle empfehlenswert. Zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind Wechsel der Wärmeversorgungsanlagen am effektivsten (Abschnitt 2.5).

Daneben sollte bei der Auswahl von Maßnahmen immer ein Gesamtkonzept für Gebäude bestehen, auch wenn nur einzelne Maßnahmen durchgeführt werden. Ansonsten kann es zu Fehlinvestitionen kommen, die nicht in ein Gesamtkonzept passen. Aus diesem Sachverhalt heraus sind die **Sanierungsfahrpläne** entstanden, die zusätzlich gefördert werden.

Tabelle 1: Vereinfachtes Schema zur Identifikation passender Maßnahmen auf Basis der IST-Analyse

	Energiebedarf	Energieverbrauch	Empfehlenswerte Maßnahmenkategorie
1	Hoch	Hoch	! <b>Maßnahmen an Gebäudehülle</b>
2	Hoch	Mittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ggf. Ursachenanalyse (siehe 2.2.3)</li> <li>Maßnahmen an Gebäudehülle</li> </ul>
3	Hoch	Niedrig	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ursachenanalyse (siehe 2.2.3)</li> <li>Ggf. Maßnahmen an Gebäudehülle</li> <li>✓ Niedrige Priorisierung, vorerst keine Maßnahmen</li> </ul>
4	Mittel	Hoch	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ursachenanalyse (siehe 2.2.3)</li> <li>Ggf. Maßnahmen an Gebäudehülle</li> </ul>
5	Mittel	Mittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ggf. Maßnahmen an Gebäudehülle</li> <li>✓ Niedrige Priorisierung, vorerst keine Maßnahmen</li> </ul>
6	Mittel	Niedrig	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Niedrige Priorisierung, vorerst keine Maßnahmen</li> <li>Ggf. Maßnahmen an Gebäudehülle</li> </ul>
7	Niedrig	Hoch	! <b>Ursachenanalyse (siehe 2.2.3)</b>
8	Niedrig	Mittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Niedrige Priorisierung, vorerst keine Maßnahmen</li> <li>Ggf. Ursachenanalyse (siehe 2.2.3)</li> </ul>
9	Niedrig	Niedrig	✓

Tabelle 1 zeigt ein vereinfachtes Schema zur Einteilung empfehlenswerter Maßnahmenkategorien basierend auf der IST-Analyse. Für eine Einteilung in hohe, mittlere und niedrige Energiebedarfe und -verbräuche kann ein Referenzwert von über 130 kWh/m<sup>2</sup>a (Obere Grenze Energieeffizienzklasse D, Ziel bis spätestens 2033) für hohe und unter 60<sup>7</sup> kWh/m<sup>2</sup>a (80 kWh/m<sup>2</sup>a, EFH) für niedrige Werte angenommen werden. Bei mittleren Bedarfswerten (60(80)-130 kWh/m<sup>2</sup>a) besteht derzeit kein Handlungsdruck. Wenn Teile der Gebäudehülle noch nicht gedämmt sind, können dennoch Maßnahmen an diesen Stellen sinnvoll sein. Dies sollte vor allem bei einer Änderung des Versorgungskonzepts stets mitgeprüft werden.

### 2.3.3 Erwartete Energieverbräuche nach Maßnahmenumsetzung (Gebäudehülle)

Abbildungen 3 und 4 zeigen überschlägig die Auswirkungen von energetischen Verbesserungen an der Gebäudehülle auf den Heizwärmeverbrauch für ein Referenzgebäude mit sechs Wohneinheiten und

<sup>7</sup> Zielvorgaben für MFH 60 kWh/m<sup>2</sup>a und für EFH 80 kWh/m<sup>2</sup>a im CRREM Pathway zur Einhaltung der Klimaschutzziele.

typischen Anteilen von Außenwand-, Dach-, Kellerdecken- und Fensterflächen. Die Parameter für die simulierten Heizwärmeverbräuche stehen in den Tabellen 2 und 3.

## Heizwärmeverbräuche: nach einzelner Maßnahme restliche Komponenten unmodernisiert

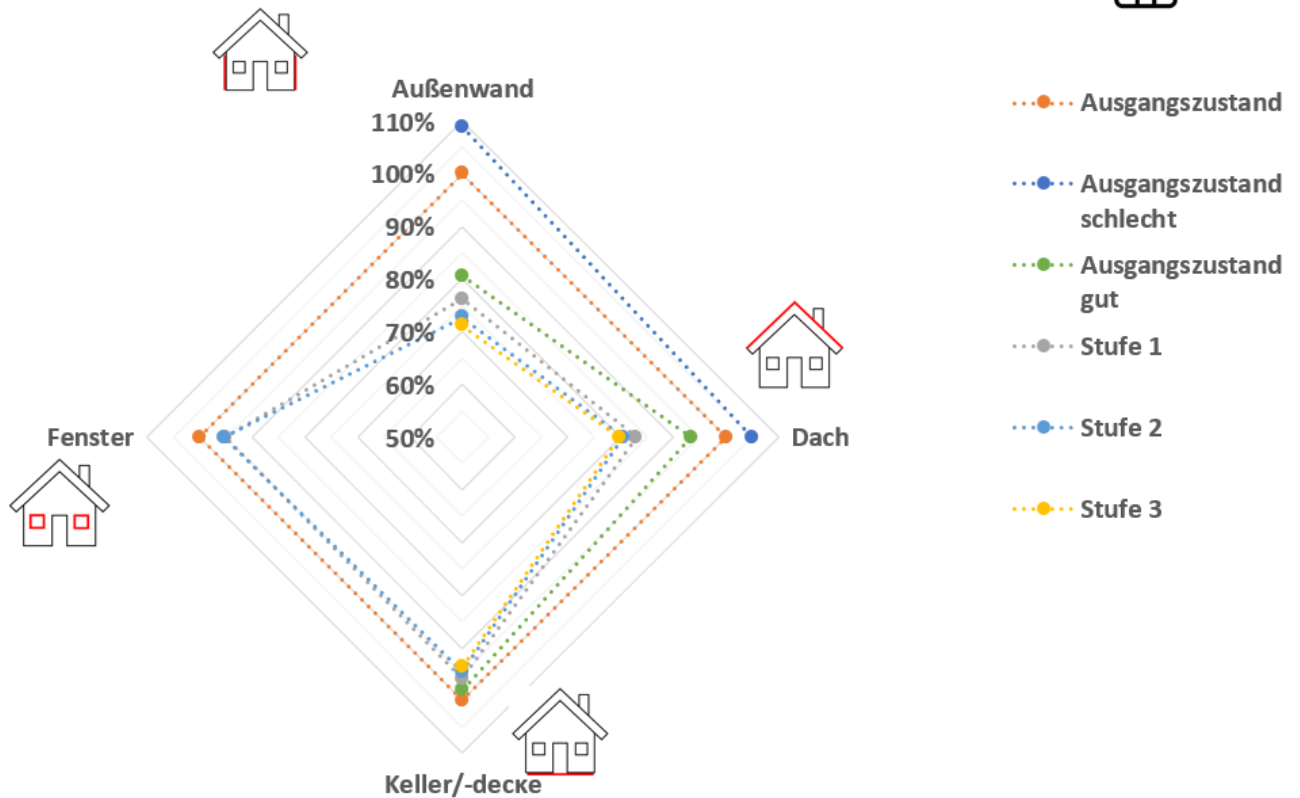


Abbildung 3: Überschlägige Maßnahmenauswirkung auf Heizwärmeverbrauch (restliche Komponenten unmodernisiert) für Referenzgebäude mit 41 % Außenwand-, 32 % Dach-, 20 % Kellerdecken- und 7 % Fensterfläche.

Tabelle 2: Grundlage der simulierten Heizwärmeverbräuche (restliche Komponenten unmodernisiert)

	Ausgangszustand			Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Wärmeleitstufe Dämmstoff
	Schlecht	Normal	gut				
<b>Außenwand</b>	1,6 (U-Wert)	1,2 (U-Wert)	0,8 (U-Wert)	8 cm 0,28 (U-Wert)	16 cm 0,17 (U-Wert)	24 cm 0,12 (U-Wert)	WLS 035
<b>Dach</b>	1,4 (U-Wert)	1,0 (U-Wert)	0,6 (U-Wert)	8 cm 0,26 (U-Wert)	16 cm 0,16 (U-Wert)	24 cm 0,12 (U-Wert)	WLS 035
<b>Keller/-decke</b>		1,2 (U-Wert)	0,8 (U-Wert)	4 cm 0,43 (U-Wert)	8 cm 0,29 (U-Wert)	12 cm 0,22 (U-Wert)	WLS 035
<b>Fenster</b>		Ug-Wert: 2,8		Ug-Wert: 1,7	Ug-Wert: 1,1		

Die Außenwand weist schon bei der ersten Stufe mit 8 cm Dämmung (WLS 035) das größte Einsparpotenzial auf. Schon mit Einzelmaßnahmen können relevante Energieeinsparungen erzielt werden.

# Heizwärmeverbräuche: nach einzelner Maßnahme restliche Komponenten modernisiert

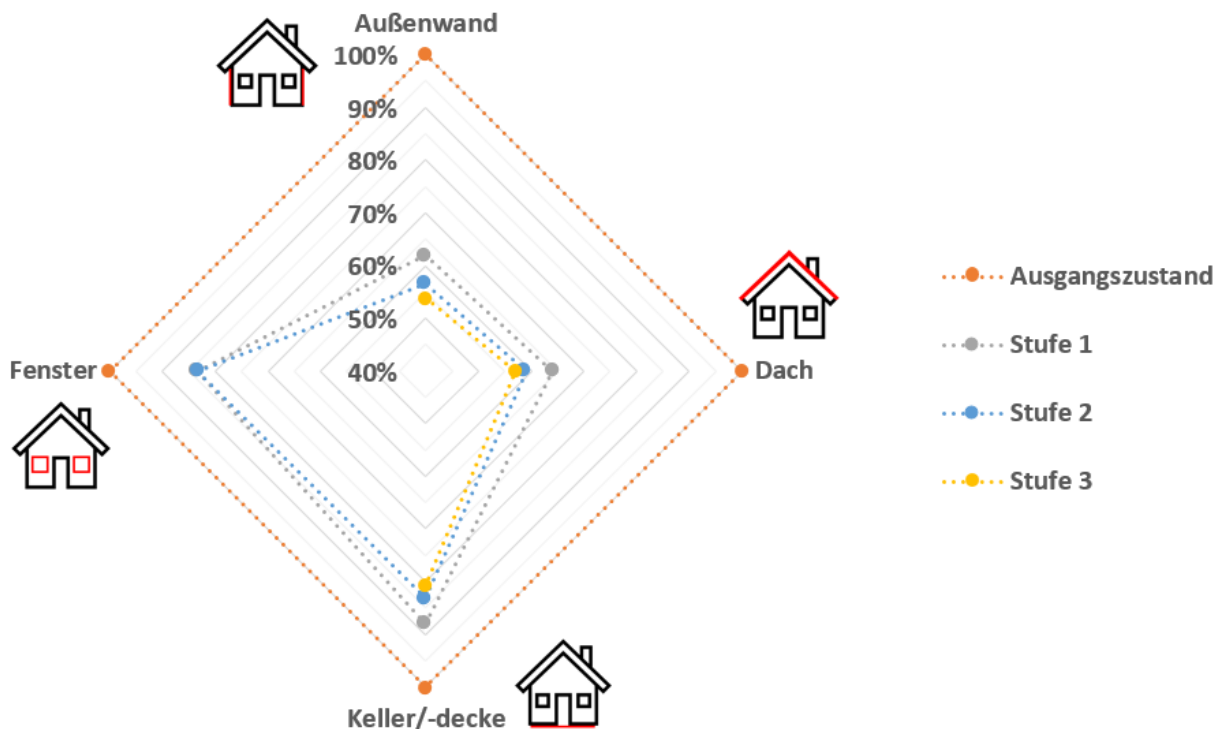


Abbildung 4: Abschätzung Maßnahmenauswirkung auf Heizwärmeverbrauch (restliche Komponenten modernisiert) für Referenzgebäude mit 41 % Außenwand-, 32 % Dach-, 20 % Kellerdecken- und 7 % Fensterfläche.

Tabelle 3: Grundlage der simulierten Heizwärmeverbräuche (restliche Komponenten modernisiert)

	Ausgangszustand (unmodernisiert)	Restliche Komponenten (modernisiert)	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Wärmeleitstufe Dämmstoff
<b>Außenwand</b>	1,2 (U-Wert)	0,12 (U-Wert)	8 cm 0,28 (U-Wert)	16 cm 0,17 (U-Wert)	24 cm 0,12 (U-Wert)	WLS 035
<b>Dach</b>	1,4 (U-Wert)	0,12 (U-Wert)	8 cm 0,26 (U-Wert)	16 cm 0,16 (U-Wert)	24 cm 0,12 (U-Wert)	WLS 035
<b>Keller-/decke</b>	1,2 (U-Wert)	0,22 (U-Wert)	4 cm 0,43 (U-Wert)	8 cm 0,29 (U-Wert)	12 cm 0,22 (U-Wert)	WLS 035
<b>Fenster</b>	Ug-Wert: 2,8	Ug-Wert: 1,1	Ug-Wert: 1,7	Ug-Wert: 1,1		

Bei kompletten Modernisierungen der Gebäudehülle werden naturgemäß die größten Effekte erzielt. Niedrige Modernisierungstiefen aller Komponenten schaffen aber bereits hohe Einsparungen.

Bei der Auswahl eines Maßnahmenbündels sind neben technischen Aspekten (wie Wärmebrücken, Punkt 2.3.4) wirtschaftliche Erwägungen zu treffen (Punkt 2.3.5).

### 2.3.4 Wärmebrücken

Wärmebrücken sorgen u.a. für erhöhte Wärmeverluste und können besonders nach Sanierungsmaßnahmen auftreten. Häufig sind bspw. Balkone betroffen. Wird die gesamte Fassade eines Gebäudes thermisch saniert und die von den Balkonen blockierte Fläche ausgespart, entsteht eine klassische Wärmebrücke, da die entsprechende Fläche nach den umgebenden Sanierungsmaßnahmen einen bedeutend höheren Wärmeverlustkoeffizienten aufweist.

Dies führt nicht nur zu höheren Wärmeverlusten und somit auch zu einem erhöhten Energieeinsatz, sondern kann unter Umständen auch zur Schimmelbildung im Innenraum beitragen. Der kälteste Punkt im beheizten Bereich verschiebt sich i.d.R. an die innenliegenden Ecken und Kanten der Wärmebrücke. Daher sollte grundsätzlich immer darauf geachtet werden, dass diese Flächen und Bereiche nicht von Vorhängen o.ä. verdeckt werden, um eine ordentliche Belüftung sicherzustellen.

Grundsätzlich sind Wärmebrücken in jedem Anwendungsfall einzeln zu betrachten und zu bewerten. Bei Untersuchungen innerhalb des Projekts wurde der Fall an einem konkreten Beispiel analysiert. In Abbildung 5 ist ein entsprechendes Ergebnis mit der Software THERM zu sehen.

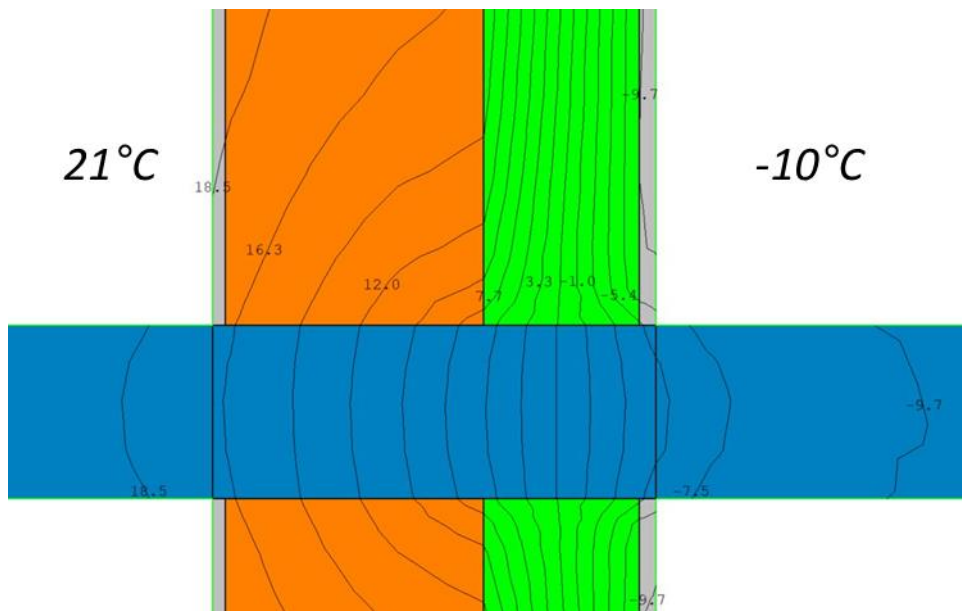


Abbildung 5: Untersuchung Wärmebrücken bei Sanierung der Außenwand mit Bestandsbalkonen (Software: THERM 7.8)

In Orange dargestellt ist die Ausgangswand, die im Zuge der Sanierung mit einem Wärmedämmverbundsystem (grün) ergänzt wird. In Blau zeigt sich die Decke, die als Balkon in den Außenbereich ragt. Ebenfalls dargestellt sind die Randbedingungen, sowohl Außen-, als auch Innentemperatur. Zu sehen sind weiterhin die Isothermen innerhalb des Bauteils. Es zeigt sich der Einfluss der Wärmebrücke, der zu einem ausgeprägten Temperaturabfall über die ungedämmte Balkon- bzw. Deckenfläche führt. Dennoch beträgt die minimale Temperatur innerhalb der Ecken ca. 16-17 °C. Bei einer angenommenen Luftfeuchte von 50 % müsste die Temperatur auf unter 14 °C sinken, um zu Kondenswasserbildung und somit erhöhtem Schimmelrisiko zu führen. Dies könnte sich allerdings bei falschem Nutzer- bzw. Lüftungsverhalten und deutlich höherer Luftfeuchtigkeit ändern. So würde die kritische Temperatur bereits über 16°C betragen, wenn von 60 % statt 50 % Luftfeuchtigkeit ausgegangen wird. Entsprechende Berechnungen können mit Hilfe der *DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung* durchgeführt werden.

Auch unter **energetischen Gesichtspunkten** wurde der Einfluss der Wärmebrücken untersucht. Im betrachteten Fall bedecken die Balkonflächen weniger als 1 % der gesamten Außenwandfläche. Bei einem Rückbau der Balkone und vollständiger Sanierung der Außenwände könnte der **Heizwärmebedarf um etwa 2-3 % gesenkt** werden. Wenn Balkonflächen einen größeren Teil der Außenwand bedecken, ist entsprechend mit einem höheren Einfluss auf den Wärmebedarf zu rechnen.

Unter den untersuchten Randbedingungen ist ein Rückbau der Balkone im Zuge der Sanierung weder aus Sicht eines erhöhten Schimmelrisikos noch energetisch ratsam. Dies ist allerdings individuell im Einzelfall zu prüfen. Grundsätzlich sollten Wärmebrücken und ihre potenziellen Einflüsse im Sanierungsfall immer berücksichtigt und untersucht werden.

### 2.3.5 Wirtschaftliche Bewertung von Maßnahmen

**Die hinterlegten Einsparpotenziale sind erwartete Verbrauchswerte, um eine realistische Abschätzung zu ermöglichen. D.h. das Einsparpotenzial wird nicht durch die Nutzung von Bedarfswerten überschätzt.**

Energieeffizienzmaßnahmen bieten, abgesehen von den anteiligen CO<sub>2</sub>-Kosten, vornehmlich finanzielle Einsparpotenziale für Mieter. Bei der wirtschaftlichen Bewertung der Maßnahmen wird im Folgenden keine Unterscheidung gemacht, welcher Akteur profitiert. Stattdessen werden die Investitionskosten dem energetischen Einsparpotenzial gegenübergestellt.

Es gibt eine große Anzahl möglicher Ausgangssituationen, Ausführungsvarianten pro Maßnahmenkategorie und regionale Unterschiede, sodass keine allgemeingültige Bewertung möglich ist. Dennoch ähneln sich i.d.R. Kosten und Effizienz der Maßnahmen. In Tabelle 4 sind Anhaltspunkte für eine schnelle Einschätzung der Maßnahmeneffizienz gegeben. Hierüber können Maßnahmen an der Gebäudehülle priorisiert werden. Mit den typischen Kennwerten lässt sich die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen anhand des Wärmepreises pro kWh abschätzen. Die Einflussfaktoren für Kosten und das Einsparpotenzial helfen, eine Einordnung in der Preisspanne der Kennwerte zu treffen.

*Tabelle 4: Maßnahmen an der thermischen Gebäudehülle; aufgrund der Verallgemeinerung sind hier vereinfachte qualitative Angaben gegeben, die mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren sind!*

Bauteil	Einsparpotenzial/ Kostenintensität (Investitionen in €/ eingesparte kWh/a)	Erläuterung	Einflussfaktoren Kosten	Einflussfaktoren Einsparpotenzial
Fassade	<b>Hoch/kostenintensiv</b>  Typische Kennwerte im Projekt: <b>3,74 - 13,05</b> (€*a)/kWh	Fassade bietet aufgrund der umschließenden Fläche und geringem Modernisierungs- grad die größten Potenziale.  (!) Probleme mit aufsteigender Feuchte im Mauerwerk beachten	(-) Unebene Form, viele Fenster/ Hindernisse	(+) Große Fassadenfläche im Vergleich zur Wohnfläche



<b>Dach/oberste Geschossdecke</b>	<b>Mittel – hoch/ gering – mittel</b> (kombiniert mit Dachsanierung)  Typische Kennwerte im Projekt: <b>1,98 - 7,19</b> (€*a)/kWh	Das Dach befindet sich aufgrund rechtlicher Anforderungen und notwendiger Instandhaltung oftmals in einem akzeptablen Zustand.	(+) Dämmung Geschossdecke Dachboden (-) Dachgauben (-) Dachfenster	(+) Dach umschließt Wohnraum
<b>Kellerdecke</b>	<b>Gering/ kosteneffizient</b>  Typische Kennwerte im Projekt: <b>3,47 - 5,11</b> (€*a)/kWh	Ist die Kellerdecke ausreichend hoch, kann hier kostengünstig Energie eingespart werden.	(-) Verwinkelte und hohe Anzahl Kellerräume	(-) Hohe Anzahl Zwischenwände
<b>Fenster</b>	(Meist) <b>gering/ kostenintensiv</b>  Typische Kennwerte im Projekt: <b>8,37 - 45,38</b> (€*a)/kWh	Fenster werden aufgrund der geringen Lebensdauer regelmäßig ausgetauscht und sind dadurch oftmals in einem akzeptablen Zustand  (!) Undichte Stellen können vielfach auch kostengünstig behoben werden	(-) Sonderformen (-) Kleine Fenster	(+) Fenster undicht  [[+] Sommerlicher Wärmeschutz]

### Weiterführende Literatur 2.3 Wärmebereitstellung - Energieeffizienzmaßnahmen:

- **Illge, Lydia und Norbert Krauß.** Energiespareffekte und Kosten-Nutzen-Relationen der energetischen Gebäudesanierung. Endbericht zum TA-Projekt »Energiespareffekte im Gebäudesektor«, 2022. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000148048>; geprüft am 14.01.2024).
- **IWU Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.):** *Tabula Webtool*, 2017. <https://webtool.building-typology.eu/#bm> geprüft am 14.01.2024.

## 2.4 Contracting

### 2.4.1 Was ist Contracting?

Durch Contracting kann die Energieversorgung bzw. Wärmeerzeugung an einen Contractor/Versorger übertragen werden. Im Fokus von ModEMS4Q ist die am häufigsten vorzufindende Contracting-Art, das Energieliefer-Contracting (auch: Wärmecontracting oder Wärmeliefer-Contracting). Hierbei liefert der Contractor Nutzenergie zu vertraglich geregelten Konditionen über eine eigene Anlage. In diese Anlage wird selbständig durch den Contractor investiert oder zum Teil eine bestehende Anlage übernommen.

Mögliche Dienstleistung durch Contractor:

Nutzenergielieferung, Finanzierung, Planung und Errichtung bzw. Übernahme der Energieanlage, Betriebsführung, insbesondere Instandhaltung und Bedienung, Energieträgereinkauf.

## 2.4.2 Warum kann Contracting vorteilhaft sein?

Nachfolgend sind zentrale Punkte aufgezählt, warum Contracting vorteilhaft sein kann.

### **Immobilien-Bestandshalter:**

- Erhöhte Versorgungssicherheit
- Geringerer Aufwand (Planung, Wartung etc.)
- I.d.R. keine Investitionskosten für Anlagen
- Kein internes Know-how für immer komplexer werdende Versorgungskonzepte erforderlich (+ Sicherstellung eines effizienten Anlagenbetriebs)

Contracting kann vor dem Hintergrund komplexer werdender Anlagenkomponenten sicherstellen, dass diese durch Experten installiert, überwacht und betrieben werden. Dadurch kann sich der Bestandshalter auf sein Hauptgeschäft fokussieren.

### **Contractor/Versorger:**

- Neues Geschäftsmodell für Energieversorger
- Kundenbindung
- Nutzung der Flexibilitäten der Wärmenutzung

*In Verbindung mit einem EMS wie in ModEMS4Q ergeben sich weitere Vorteile, da der Contractor (ggf. ein Energieversorger) die Steuerung der Anlagen eigenverantwortlich vor dem Hintergrund seiner Energiebeschaffung durchführen kann. Damit ist es ihm auch möglich, Preisschwankungen in die Betriebsführung zu integrieren, die Energiebeschaffung zu optimieren und netzdienliche Dienstleistungen anzubieten. Dies kann im besten Fall dazu führen, dass die Wärmebereitstellung günstiger angeboten werden kann.*

### **Nachteile/Hemmnisse:**

Contracting ist im laufenden Mietverhältnis nur erlaubt, wenn keine Kostensteigerung für Mieter zu erwarten ist (**Grundsatz der Kostenneutralität**, §556c BGB). Jedoch:

1. Anlagen müssen amortisiert werden. Der Preis hierfür ist bei einer bereits bestehenden Wärmeversorgung in der Kaltmiete enthalten. Die Contracting-Anlagen werden vom Contractor bezahlt und i.d.R. über eine Grundgebühr als Teil der Energiekosten vom Mieter (zusätzlich) finanziert.
2. Der Contractor/Versorger unterliegt marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und muss für seine Dienstleistung entsprechend entlohnt werden.

## 2.4.3 Bewertung Contracting

Contracting hat ein hohes Potenzial zur Beschleunigung der Wärmewende, da hierdurch Planung und Bau-/Umbaumaßnahmen bei großen spezialisierten (regionalen) Anbietern gebündelt werden können. Einer breiten Anwendung stehen zum derzeitigen Zeitpunkt eine geringe Anzahl spezialisierter Anbieter und die notwendige Abschreibung der Anlagenkosten entgegen. Letztere kann über einen Grundpreis an Mieter weitergegeben werden. Bei neu abzuschließenden Mietverträgen ist die Umlage an eine Vereinbarung im Mietvertrag geknüpft. Bei bestehenden Mietern gilt der Grundsatz der Kostenneutralität (§556c BGB).

## 2.5 Wärmeversorgungskonzepte

### 2.5.1 Zukunftsfähige (empfehlenswerte) Wärmeversorgungskonzepte

#### Nah-/Fernwärme

**Nah- und Fernwärme** sind eine effiziente und potenziell kostengünstige Möglichkeit zur Wärmeversorgung in Gebäuden. Dementsprechend sollte bei einer Sanierung oder Modernisierung immer geprüft werden, ob Wärmenetze vorhanden oder im Zuge der kommunalen Wärmeplanung angedacht sind. Bestehende Wärmenetze sind i.d.R. warme Wärmenetze, sodass die Wärme direkt im Gebäude genutzt werden kann.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Investitionskosten</li> <li>• Reduktion Emissionen in Verantwortung der Betreiber</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abhängigkeit vom Betreiber:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ggf. hoher Wärmepreis bei Ausnutzung von Monopolstellung (gegenwärtig oder zukünftig)</li> <li>- Bestandhalter hat keinen Einfluss auf Umstellung zu emissionsarmem bzw. -freiem Betrieb des Wärmenetzes (Umstellung ggf. sehr kostenintensiv, Kosten werden auf Energiekosten umgelegt)</li> </ul> </li> </ul>

#### Zentrale Quartierslösung

Wenn mehrere Gebäude eines Quartiers innerhalb eines gewissen Zeitraums modernisiert werden sollen, bietet sich für die Wärmeversorgung möglicherweise eine **Quartierslösung** an. Denkbar wäre die selbstständige Installation eines (**kalten**) **Wärmenetzes**. Hierfür sind v.a. die Gegebenheiten vor Ort zu überprüfen. In eng bebauten Stadträumen ist bei Wärmenetzen und zentralen Quartierslösungen mit höheren Investitionskosten zu rechnen als im ländlichen Raum. Andererseits ist die Dichte der Abnehmerstruktur tendenziell höher, so dass eine reduzierte Leitungslänge für die gleiche Wärmeleistung benötigt wird.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung einer zukunftsfähigen Wärmequelle und hierdurch hohe Effizienz von Wärmepumpen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Möglichst hohes Temperaturniveau</li> <li>- Gleichbleibendes Temperaturniveau</li> </ul> </li> <li>• Nutzung von Synergien unterschiedlicher Wärmeangebote und -bedarfe</li> <li>• Potenziell geringere Betriebskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Komplexität und tendenziell höhere Investitionskosten</li> <li>• Bei kalten Wärmenetzen wird weiterhin Wärmepumpe benötigt, um das Temperaturniveau anzuheben</li> <li>• Bei warmen Wärmenetzen wird entsprechende Wärmequelle benötigt, die entweder:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- nicht klimaneutral ist (fossile Brennstoffe),</li> <li>- nur begrenzt in Deutschland zur Verfügung steht (z.B. Holz, Pellets) und Gefahr entsprechender Kostensteigerung beinhaltet</li> <li>- oder hohes Maß an Expertenwissen benötigt (z.B. tiefe Geothermie)</li> </ul> </li> </ul>

## Dezentrale Lösungen

Häufig sind die bisher genannten Lösungen für Bestandshalter nicht verfügbar bzw. realisierbar. In diesem Fall sind dezentrale Systeme anzustreben. Die jeweilige Eignung für ein Gebäude ist im Einzelfall zu prüfen.

**Wärmepumpen** werden zukünftig eine der wichtigsten Technologien zur Wärmeerzeugung darstellen. Wenn die Vorlauftemperaturen des jeweiligen Gebäudes durch Modernisierungsmaßnahmen auf unter 60°C (möglichst 50-55°C) gesenkt werden können, stellen Wärmepumpen eine verlässliche und effiziente Option dar. Umso geringer die Differenz zwischen Wärmequellen- und Senktemperatur, desto höher die zu erwartende Effizienz.

In Gebäuden mit höheren benötigten Vorlauftemperaturen können Festbrennstoffkessel eingesetzt werden, die mit **Biomasse** betrieben werden. Dies bildet eine CO<sub>2</sub>-neutrale Möglichkeit zur Wärmeerzeugung. Die Betriebskosten sind allerdings abhängig von der Entwicklung des Biomassepreises.

Die Nutzung von **Wasserstoff** über Brennstoffzellen zur Erzeugung von Wärme und Strom stellt aktuell keine wirtschaftliche Alternative dar. Zudem ist in den nächsten Jahren davon auszugehen, dass „grüner“ Wasserstoff, der mit erneuerbarem Strom erzeugt wird, v.a. in der Industrie für Hochtemperaturprozesse oder im Verkehrssektor benötigt wird.

**Solarthermie** bietet eine weitere nachhaltige Möglichkeit zur Wärmeerzeugung. Durch die asynchrone Erzeugung im Vergleich zum Wärmebedarf wird Solarthermie nur unterstützend zu einem weiteren Wärmeerzeuger eingesetzt, kann im Sommer allerdings wesentlich zur Trinkwarmwasser-Erzeugung beitragen. In jedem Fall ist stets zu prüfen, ob die vorhandenen Flächen nicht effizienter mit PV-Anlagen belegt werden sollten.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Geringere Komplexität und damit tendenziell geringere Investitionskosten (v.a. Planungskosten)</li><li>• Zeitlich entkoppelt je Gebäude durchführbar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zugang zu notwendigen Wärmequellen (Platz für Erdsonden, Aufstellort Luft-WP) kann ggf. nicht gewährleistet werden</li><li>• Keine Skaleneffekte</li></ul>

2.5.2 Planung und Identifikation passender Wärmeversorgungskonzepte  
 Abbildung 6 fasst die Schritte für die Planung eines Wärmeversorgungskonzeptes zusammen.

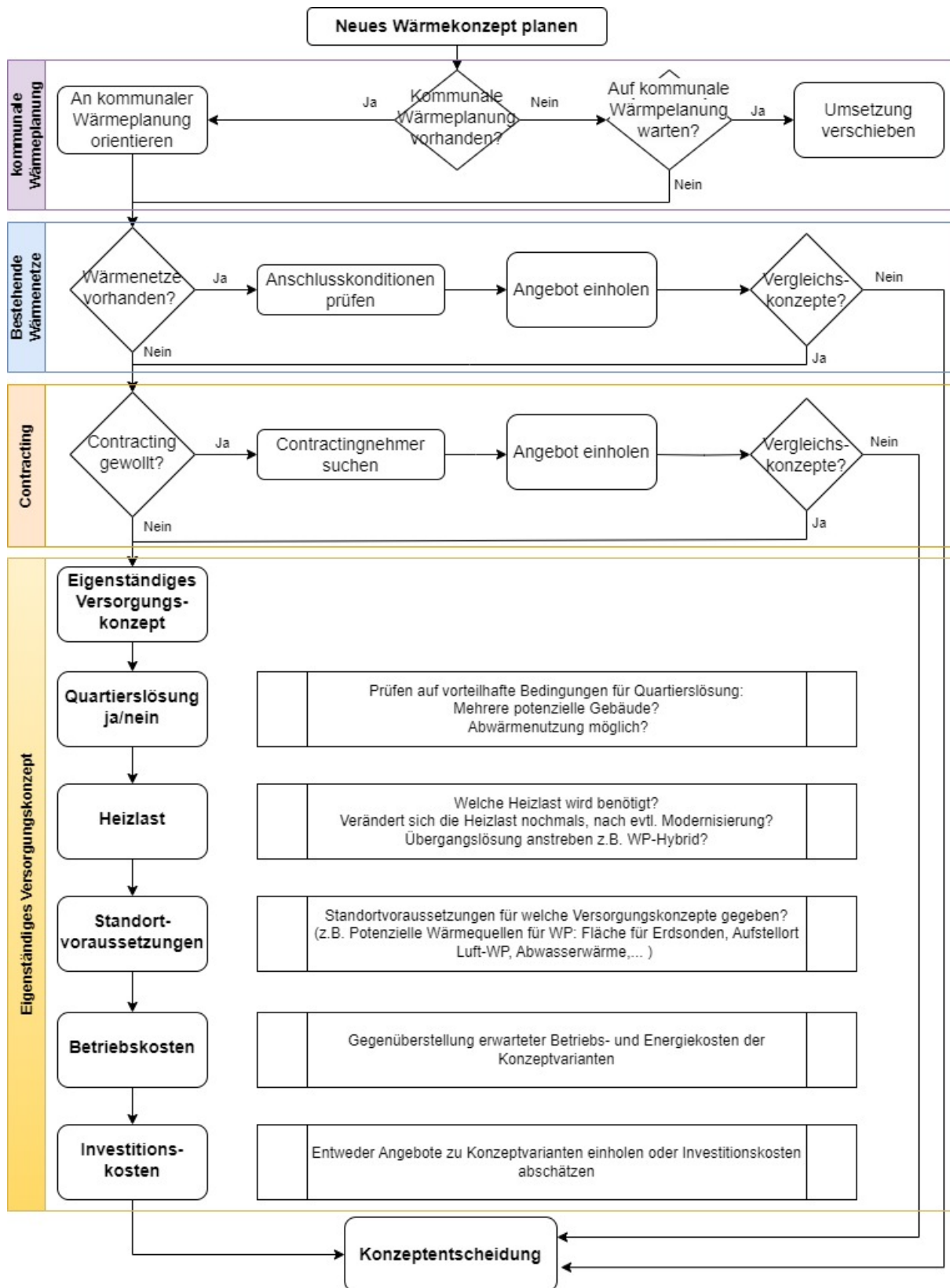


Abbildung 6: Schrittweise Vorgehensweise neues Wärmeversorgungskonzept

### 2.5.3 Auslegung von Wärmeversorgungskonzepten

Der Auslegung von Versorgungskonzepten sollte mittlerweile deutlich höhere Beachtung geschenkt werden. Bei der Auslegung von Gas- und Ölheizungen konnte ohne Probleme und zu geringen Mehrkosten mit Sicherheitsaufschlägen eine größere Anlage installiert werden. Bei Wärmepumpen ist dies nicht der Fall. Eine schlechte bzw. zu große Auslegung der Wärmepumpe kann zu deutlich höheren Investitionskosten und einer schlechteren Effizienz im Betrieb führen (auch „Takten“ genannt). Auf der anderen Seite ist eine zu geringe Auslegung ebenso nachteilig, da dann ein Heizstab häufig unterstützen muss. Dies führt zu einer geringeren Effizienz und somit deutlich höheren Stromkosten. Womöglich kann bei einer Unterdimensionierung sogar der Wohnraum nicht mehr auf die gewünschte Temperatur geheizt werden. Diese Problematik wird zusätzlich erschwert, da die Wärmeleistung der Wärmepumpe im Fall der am häufigsten genutzten Luft-WP<sup>8</sup> nicht konstant ist. Weiterhin müssen auch Abschaltzeiten durch den Netzbetreiber bei der Auslegung beachtet werden.

**Die VDI-Richtlinie 4645 unterstützt bei einer systematischen Auslegung von Wärmepumpen für Wohngebäude.**

### 2.5.4 Wirtschaftliche Bewertung von Wärmeversorgungskonzepten

Die spezifischen Investitionskosten sinken tendenziell mit der Gebäudegröße. Dieser Effekt ist bei Brennertechnologien wie Biomasse<sup>9</sup>, BHKWs und besonders bei Gasheizungen stärker ausgeprägt. Eine Übersicht über spezifische Investitionskosten unterschiedlicher Wärmeversorgungskonzepte gibt Abbildung 7. Die Streuung der Kosten bei den Nahwärmenetzen ist geringer, weil die Kosten für den Netzbau bezogen auf die Wohnfläche umgelegt werden. Die kleineren betrachteten Gebäude weisen so geringere und größere Gebäude höhere spezifische Kosten gegenüber dezentralen Konzepten auf.

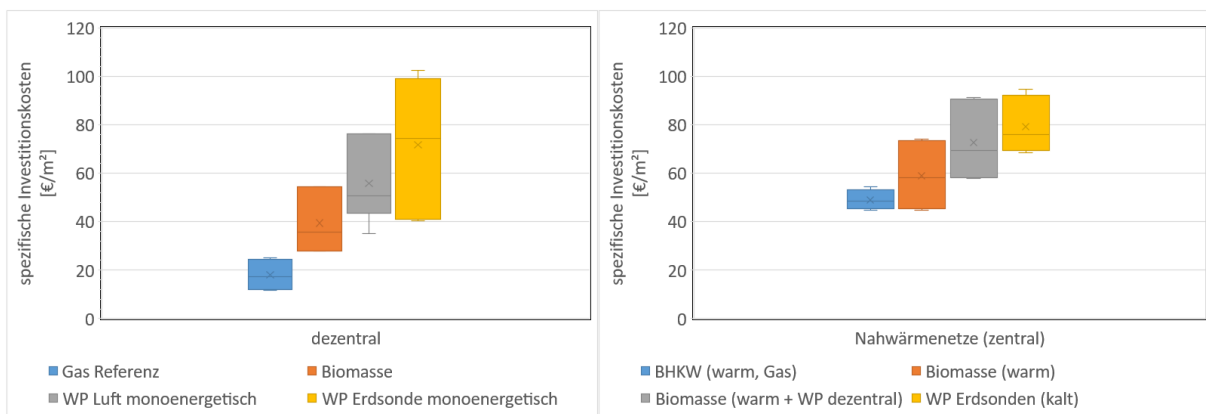


Abbildung 7: Spezifische Investitionskosten (m<sup>2</sup> Wohnfläche) inkl. Förderung im Forschungsprojekt

Nicht unerwartet sind die Investitionskosten für potenziell klimaneutrale und damit zukunftsfähige Konzepte deutlich höher als Standardkonzepte mit Gas. Die Investitionskosten sind aber nur ein Teil der finanziellen Bewertung. Was zukunftsfähige Konzepte an zusätzlichen Investitionskosten benötigen, sollten diese möglichst durch niedrigere Betriebskosten und eine höhere Effizienz wieder ausgleichen. Ob dies geschieht, ist aber hauptsächlich abhängig von den zukünftigen Beschaffungspreisen der entsprechenden Energieträger.

<sup>8</sup> Luft-Wasser Wärmepumpen nutzen als Wärmequelle die Außenluft und geben die Wärme an einen Wasserkreislauf weiter.

<sup>9</sup> Der Begriff Biomasse umfasst Technologien, die organische Substanzen als energetisches Ausgangsprodukt nutzen. Hier sind Anlagen auf Basis von Holz (z.B. Hackschnitzel, Pellets) gemeint, die auch als kleinere Einheiten in Wohngebäuden eingesetzt werden können.

## Einflüsse auf die Entwicklung der Energiekosten

Eine Glaskugel, mit der Preisentwicklungen vorhergesagt werden können, gibt es nicht. Ein Vergleich bestehender Tarife ist ebenso wenig zielführend, da diese regional und binnen geringer Zeiträume sehr unterschiedlich sein können. Desweiteren sind sie nicht aussagekräftig für eine Entscheidung, die für mehrere Dekaden getroffen werden sollte. Folgende Überlegungen sollten aber in der Konzeptentscheidung berücksichtigt werden.

- Vor dem Hintergrund weltweiter Klimaschutzabkommen ist eine Investition in Anlagen auf Basis **fossiler Brennstoffe (z.B. Gas & Heizöl)** ein wirtschaftliches Risiko, da die Energieträger ggf. durch politische Entscheidungen verteuert (z.B. CO<sub>2</sub>-Steuer) oder im Extremfall verboten werden.
- **Strom** wird als zentraler Energieträger der Zukunft gesehen und dieser kann auch innerhalb Deutschlands erzeugt werden. Daneben ist durch die Hebelwirkung der Wärmepumpe die Abhängigkeit reduziert. Hierdurch ist das Risiko, auch der Importabhängigkeit, am geringsten. Dies wird auch vom Markt honoriert, denn Gebäude mit Wärmepumpen haben tendenziell einen höheren Marktwert.
- **Biomasse** kann eine sinnvolle Lösung für Gebäude mit hohen Temperaturanforderungen (z.B. Denkmalschutz) sein. Biomasse ist aber ebenso wie der Einsatz fossiler Energieträger in einem Konzept mit Bedacht einzuplanen. Hintergrund ist, dass Biomasse derzeit eine kostengünstige klimaneutrale (je nach Definition) Variante ist, die auch für hohe Temperaturniveaus eingesetzt werden kann. Wer auf Biomasse setzt wird deshalb auch mit einer schnell wachsenden Nachfrage aus Industrie und für Fernwärmenetze rechnen und konkurrieren müssen.
- Ein Anschluss an **bestehende Fernwärmenetz** ist in den meisten Fällen sehr kosteneffizient möglich. Allerdings begeben sich Bestandshalter hierdurch in eine neue Abhängigkeit. Daneben besteht die Gefahr der Kostensteigerung durch notwendige Modernisierungsmaßnahmen zur Dekarbonisierung der Fernwärme.

**Prüfen Sie die Möglichkeit eines Anschlusses an ein Wärmenetz, und fragen Sie den Betreiber nach seinen Plänen zur Dekarbonisierung. Wenn kein Anschluss möglich ist, sind Konzepte mit Wärmepumpen eine zukunftssicherere Investition.**

## Weiterführende Literatur 2.5 Wärmebereitstellung – Wärmeversorgungskonzepte:

- **Bockelmann et al.** Energetische und wirtschaftliche Bewertung von Wärmequellen für Wärmepumpen. Braunschweig 2018.  
[https://siz-energieplus.de/documents/Abschlussberichte-Projektarchiv/190131\\_futurehp\\_AB\\_1\\_Abschlussbericht\\_FKZ03ET1273A.pdf](https://siz-energieplus.de/documents/Abschlussberichte-Projektarchiv/190131_futurehp_AB_1_Abschlussbericht_FKZ03ET1273A.pdf); geprüft am 12.01.2024.
- **Bockelmann et al.** EnOB: future:heatpump\_II - Erweiterung und Ausbau des Vordimensionierungsprogrammes. Braunschweig 2022.  
[https://siz-energieplus.de/documents/221219\\_SIZ10024\\_FHP\\_II\\_Abschlussbericht\\_BMWK\\_FKZ\\_03ET1605.pdf](https://siz-energieplus.de/documents/221219_SIZ10024_FHP_II_Abschlussbericht_BMWK_FKZ_03ET1605.pdf); geprüft am 12.01.2024.
- **BBSR (Hrsg.)**. Themenheft Gebäudetechnik - Energieeffiziente Gebäudetechnik im Baudenkmal Wissenschaftliche Begleitung der Modellvorhaben "Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz) in der Umsetzungsphase, Bonn 2017.  
[https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/weitere/ktf/ModellvorhabenGebaeudebestand/01\\_Start.html?pos=4](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/weitere/ktf/ModellvorhabenGebaeudebestand/01_Start.html?pos=4); geprüft am 12.01.2024.
- **Glaesmann, Nicolas**. "Politische und gesetzliche Rahmenbedingungen von Wärmepumpenheizungen." *Wärmepumpenheizungen: Planungshilfe und Ratgeber für Neubauten und Bestandsgebäude*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2023. 5-15.  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-39031-0>; geprüft am 12.01.2024.

## 2.6 Monitoring

### 2.6.1 Wozu ein Monitoring?

Die Umsetzung von Maßnahmen und Modernisierungen garantiert keinen Erfolg. Gerade nach erfolgter Modernisierung oder Installation neuer Anlagen können Probleme und erhöhte Verbräuche auftreten. Deshalb ist ein Monitoring immer sinnvoll. Es gilt fortlaufend technische Fehler, schlecht eingestellte Anlagen, Nutzerfehlverhalten und auch Erfolge zu monitoren. Letzteres ist besonders wichtig, um auch einen Überblick über die Effizienz durchgeführter Maßnahmen zu erhalten und im Endeffekt (auch für künftige Maßnahmen im Bestand) ableiten zu können, was funktioniert und was nicht.

### 2.6.2 Empfehlungen für ein Monitoring

Ein Monitoring kann hinsichtlich der Detailtiefe sehr unterschiedlich durchgeführt werden.

*Je höher die Detailtiefe, desto besser lassen sich direkt Schlussfolgerungen ziehen. Gleichzeitig steigen der Aufwand und damit die entstehenden Kosten.*

Ein guter Kompromiss kann deshalb sein, das Monitoring möglichst niederschwellig zu halten. Detailliertere Untersuchungen werden dann nur angestoßen, wenn über das Monitoring Unregelmäßigkeiten und Handlungsbedarf entdeckt werden.

**Ein niederschwelliges Monitoring kann durch einen Vergleich der klimabereinigten Jahresverbräuche mit dem Bedarf aus der IST-Analyse geschehen.**



### 3 Photovoltaik (PV)

#### 3.1 IST-Analyse & Machbarkeit

Auf den meisten Mehrfamilienhäusern findet sich noch keine Photovoltaik (PV). Hintergrund dürfte die komplizierte bzw. aufwändige Art der Mieterstromkonzepte sein, was der Notwendigkeit der genauen Bestimmung und Abrechnung der Energiemengen hinsichtlich Herkunft und Ort der Nutzung geschuldet ist. Daneben wird das Thema durch die Möglichkeit der Mieter, den Stromanbieter frei zu wählen, erschwert. Für viele Bestandshalter und Betreiber steht so am Ende einer Machbarkeitsbetrachtung kein positives Nutzen-Aufwand-Verhältnis. Entsprechend stellt sich die Frage

1. Ist es wirtschaftlich sinnvoll, eine PV-Anlage auf Gebäuden eines Bestandhalters zu installieren?

Hierauf lässt sich, wie so oft, keine allgemeingültige Antwort geben. Potenzial für Mieterstrommodelle wird vor allem bei größeren Liegenschaften gesehen. Dienstleister sehen eine **Wirtschaftlichkeit** vor allem **bei großen Liegenschaften mit mehr als 15 oder sogar 30 Wohneinheiten** gegeben. Es hängt hierbei von den einzelnen Rahmenbedingungen des Projektes, stetig wechselnden rechtlichen wie auch wirtschaftlichen Gegebenheiten und den Anforderungen des Eigentümers ab.

Neben der Frage, ob der wirtschaftliche Ertrag den Aufwand rechtfertigt, stellen sich grundlegende technische Fragen, die einer Installation entgegenstehen können und den wirtschaftlichen Ertrag beeinflussen.

2. Ist die gegebene Dachstatik ausreichend?
3. Gibt es Verschattung und Einschränkungen
  - a. durch angrenzende Bebauung und Flora?
  - b. durch Dachelemente (z.B. Kamine, Gauben oder Dachfenster)?

#### 3.2 Vertriebsmodell

Grundlegend ist zwischen der Voll-Einspeisung und Mieterstrommodellen zu unterscheiden. Bei den Mieterstrommodellen gibt es zudem unterschiedliche Varianten. Im Folgenden sind grundlegende Vor- und Nachteile der Vertriebsmodelle aufgezählt.

Um die Mieterstrommodelle attraktiver zu gestalten, werden und wurden zuletzt immer wieder Änderungen durch den Gesetzgeber vorgenommen. Deshalb ist es unumgänglich, sich **bei Beginn der Projektplanung über die aktuell geltenden Regelungen und Möglichkeiten zu informieren**.

##### 1. Voll-Einspeisung

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Unkompliziert und sicher kalkulierbar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Niedrige Vergütung</li><li>• Mieter profitieren nicht von Anlage</li></ul>

##### 2. Mieterstrommodelle

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Einsparungen durch entfallende Netzentgelte, Konzessionsabgaben und Stromsteuer</li><li>• Direktverkaufserlöse deutlich über Einspeisevergütung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mieter sind nicht verpflichtet, am Modell teilzunehmen (unternehmerisches Risiko)</li><li>• Reststrommenge muss von einem Energieversorger beschafft werden</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mieter spart mindestens 10 % im Vergleich zum örtlichen Vergleichstarif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhter Aufwand (rechtliche Anforderungen &amp; Abrechnungen)</li> <li>• Keine ^^Steuerbefreiung mehr, wenn &gt;20 % Umsatz nicht aus Mieteinnahmen</li> </ul>
---	--

Varianten von Mieterstrommodellen:

- a. Mit EEG-Mieterstromzuschlag und Einspeisevergütung
  - Mieterstromzuschlag<sup>10</sup> für Mieterstrom-Liefermengen
  - Einspeisevergütung für Überschusseinspeisung ins Netz
- b. EEG-geförderte Mieterstromlieferung des Anlagenbetreibers
  - Anlagenbetreiber verkauft selbsterzeugten Strom an Mieter
  - Zusätzlich benötigter Strom wird vom Anlagenbetreiber eingekauft
- c. Lieferkettenmodell: EEG-geförderte Mieterstromlieferung über Dritten

Es ist auch möglich, einen auf Mieterstrommodelle spezialisierten Dienstleister zu engagieren, der die Anlagen plant, baut und betreibt. Der Mehrwert für den Gebäudeeigentümer besteht in geringeren Stromkosten für die Mieter sowie ggf. eine kleine zusätzliche Vergütung für den Eigentümer.

Ein passender Anbieter kann ein regionales Energieversorgungsunternehmen sein oder ein spezialisierter deutschlandweiter Anbieter.

**Empfehlungen** (Stand: September 2023):

**Mieterstrommodelle sind aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoller als eine Volleinspeisung.**

Wichtige wirtschaftliche Rahmenbedingungen für den Erfolg eines Projektes sind die **spezifischen Investitionskosten**, die **Direktverbrauchsquote** bzw. der Anteil des Solarstroms, der an Mieter verkauft wird und die Beschaffung der **benötigten Reststrommenge** für die Mieter. Grundsätzlich sind drei Herangehensweisen denkbar:

1. Mieterstrommodell in **Eigenregie** mit lokalem Partner (PV-Installateur, Energieversorger)  
*Das größte Potenzial bieten grundsätzlich Projekte, die in Eigenregie durchgeführt werden. Allerdings ist ein nicht unerheblicher Aufwand für Einarbeitung in die Thematik, Planung, Umsetzung und den Betrieb zu erwarten.*
2. Mieterstrommodell mit **spezialisiertem Dienstleister**  
*Um den Aufwand gering zu halten, kann es sinnvoll sein die Planung, Umsetzung und den Betrieb einem hierauf spezialisierten Unternehmen zu überlassen. Einen passenden Anbieter können Sie unter folgendem [Link](#) oder durch eine einfache Internetsuche finden.*
3. **Verschieben** und weitere Gesetzesanpassungen für Mieterstrommodelle durch Gesetzgeber abwarten  
*Wenn Sie bei den derzeitigen Rahmenbedingungen für Ihr Projekt zu einem negativen Aufwand-Nutzen-Verhältnis kommen und Sie keinen Dienstleister beauftragen wollen, könnten Sie etwaige Projekte in Erwartung entscheidender Änderungen der Rahmenbedingungen pausieren wollen.*

<sup>10</sup> Aktuell 1,67-2,67 Cent/kWh abhängig von Größe der Anlage.

### 3.3 Anlagenprojektierung

Die Größe einer potenziellen Anlage können Sie im Vorfeld einfach selbst abschätzen. Ist die Dachstatik ausreichend und gibt es keine weitere Einschränkung, können Sie folgende Anhaltspunkte nutzen, um die Anlage abzuschätzen.

*Die höheren Werte ( $m^2/kWp$  und dadurch auch der Jahresertrag in  $kWh/a$ ) in Tabelle 5 sind dabei jeweils realistisch, sofern es keine Beeinträchtigung gibt.*

Tabelle 5: (Vor-)Abschätzung von PV-Anlagen

Satteldach	Flachdach
6-10 $m^2/kWp$	10-14 $m^2/kWp$
1.000 $kWh/(a*kWp)^{11}$	1.000 $kWh/(a*kWp)$
<b>Beispiel 100 <math>m^2</math> Dachfläche</b>	
10,00-16,67   10.000-16.670 $kWh/a$	7,14-10,00 $kWp$   7.140-10.000 $kWh/a$

Mit sinkender Einspeisevergütung wird der Direktverbrauch am Standort wichtiger, da das wirtschaftliche Potenzial in der Differenz zwischen Einspeisevergütung und Strombezugspreis liegt. Damit ist die wirtschaftliche Größe der PV-Anlage auch von den Abnahmemengen am Standort abhängig (je mehr Teilnehmer/Abnehmer desto größer kann die Anlage ausgelegt werden).

#### Stationäre Batteriespeicher

Ein stationärer Batteriespeicher dient der zeitlichen Flexibilität des selbsterzeugten Stroms und kann so die Direktverbrauchsquote erhöhen. Ob die Investition sinnvoll ist, hängt neben den spezifischen Projektparametern hauptsächlich von den spezifischen Kosten des Speichers ab.

**Detailliertere Projektplanungen führen Sie sinnvollerweise in Kooperation mit dem Fachunternehmen aus, das Sie als Umsetzungspartner oder als Dienstleister engagieren.**

**Weiterführende Literatur 3 PV** (inkl. Mieterstrom & Batteriespeicher):

- **Behr, Iris und Marc Großklos.** *Praxishandbuch Mieterstrom: Fakten, Argumente und Strategien.* Springer Fachmedien Wiesbaden 2017. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-17540-5>; geprüft am 12.01.2024.
- **Stiftung Warentest 2023 (Hrsg.).** <https://www.test.de/shop/eigenheim-miete/photovoltaik-batteriespeicher-sp0618>; geprüft am 12.01.2024.
- **Forum Verlag (Hrsg.).** *Handbuch Planung und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Anlagen.* Forum Verlag Herkert 2023. <https://www.forum-verlag.com/alle-produkte/elektrosicherheit-und-elektrotechnik/29697/handbuch-planung-und-wirtschaftlichkeit-von-photovoltaik-anlagen>; geprüft am 12.01.2024.
- **Bucher, Christof.** *Photovoltaikanlagen–Planung, Installation, Betrieb.* Faktor Verlag 2021. Faktor Verlag 2021. <https://faktor.ch/produkt/photovoltaikanlagen>; geprüft am 12.01.2024.

<sup>11</sup> Der Ertrag pro  $kWp$  variiert je nach Region um ca. (+/-)5 % und Ausrichtung der Module.

## 4 Energiemanagement

Ein Energiemanagementsystem (EMS), wie es in ModEMS4Q entwickelt wurde, ist ein integriertes System, das den Energieverbrauch in Gebäuden und Quartieren überwacht, regelt und optimiert. Es nutzt Sensoren, Datenanalysen und Regelungssysteme, um den Energieverbrauch zu minimieren und die Energieeffizienz zu steigern.

Ein gebäudeübergreifendes EMS kann mehrere Vorteile bieten, darunter die Reduzierung von Energiekosten, Optimierung von Energieflüssen und Lastspitzen, die Senkung von CO<sub>2</sub> Emissionen und Steigerung des Komforts der Bewohner/Mieter. Der Nutzen steht dabei in Abhängigkeit der angeschlossenen und regelbaren Energieflüsse im Gebäude bzw. Quartier (siehe Abbildung 8).

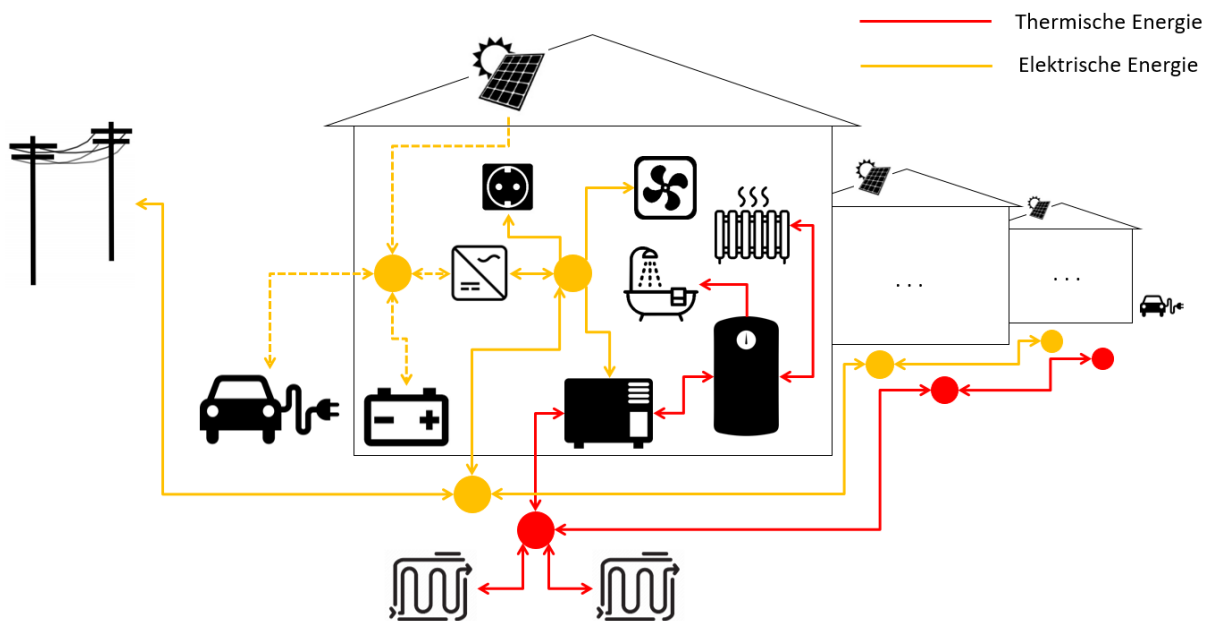


Abbildung 8: Schematischer Überblick der Energieflüsse in Gebäude und Quartier

### 4.1 Grundsätzliche Energieversorgungsstruktur im Quartier EMS

Die Erfassung und Analyse der Energieflüsse in Gebäuden oder Quartieren ist eine Grundlage für die Implementierung eines effektiven EMS. Bevor ein EMS eingesetzt wird, sollten folgende fünf Punkte evaluiert werden, um ein passendes System identifizieren und optimal implementieren zu können.

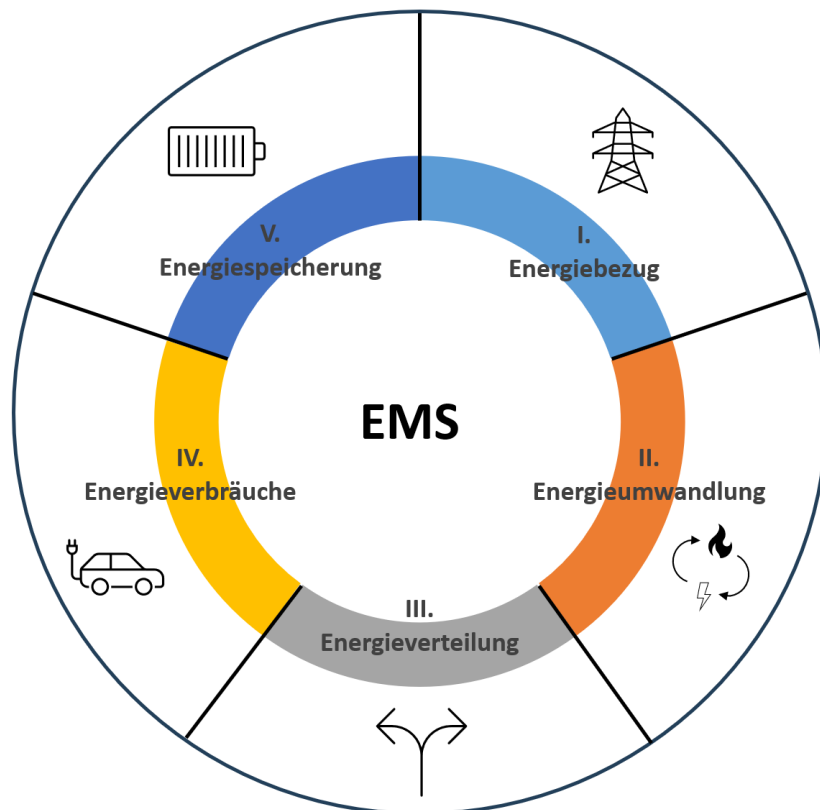


Abbildung 9: Kategorisierung der Energieversorgungsstruktur in einem Quartier

- I. Arten des Energiebezuges
  - Stromnetz: Energie wird aus öffentlichem Stromnetz bezogen.
  - Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen: Solarenergie (PV-Anlage), Windenergie oder andere erneuerbare Energiequellen, die direkt vor Ort genutzt werden können.
- II. Arten der Energieumwandlung:
  - Elektrizität wird in Wärme (Power-to-Heat, durch Heizsysteme z.B. Wärmepumpe) oder Kälte (durch Klimaanlage) umgewandelt.
  - Brennstoffe wie Erdgas oder Öl werden in Wärme (Heizung) und Strom (Kraft-Wärme-Kopplung) umgewandelt.
- III. Möglichkeiten der Energieverteilung (im Quartier):
  - Austausch lokal erzeugter elektrischer Energie
  - Zentrale Wärme/Kälte-Verteilungssysteme
- IV. Arten der Energieverbräuche:
  - Arten und Mengen von steuerbaren Lasten (z.B. Wärmepumpe, ggf. E-Auto, ...)
  - Messung und Prognose von nicht-steuerbaren Lasten
- V. Arten der Energiespeicherung:
  - Energiespeichersysteme wie Batterien oder Pufferspeicher können überschüssige Energie speichern, um sie zu einem späteren Zeitpunkt zu nutzen.

## 4.2 Regelungsstrategien

Die Regelungsstrategie ist ein wesentlicher Bestandteil eines EMS. Bei der Auswahl der geeigneten Regelungsstrategie sollten die Anforderungen und Einsatzbereiche sorgfältig beachtet werden. Im Folgenden wird die modellprädiktive Regelung aus dem Forschungsprojekt ModEMS4Q mit dem Standard, einer regelbasierten Regelung, verglichen.

Regelbasierte Regelung:

- Regelung der Energieflüsse anhand von Wenn-Dann-Entscheidungsabfolgen
- Einfache Implementierung (für einzelne Gebäude) aber schlechte Skalierbarkeit (für Quartiere)
- Bedingte Erweiterbarkeit und Übertragbarkeit

Modellprädiktive Regelung (MPC):

- Stetige Optimierung der Energieflüsse anhand von Modellvorhersagen
- Gezielte Reduzierung von Betriebskosten, Energieflüssen und Lastspitzen
- Berücksichtigung von Nutzungslastprofilen und Wetterprognosen
- Unterschiedliche Anforderungen und Bedürfnisse der Anwender können leicht angepasst werden
- Gute Erweiterbarkeit und Übertragbarkeit
- Gezielte Nutzung der Flexibilitäten unter Berücksichtigung aller technischer Sicherheitsaspekte

Tabelle 6: Merkmale regelbasierter und modellprädiktiver Regelungsstrategien für EMS im Vergleich

	Einfach	Intelligent
Regelungsstrategien	Regelbasierte Regelung	Modellprädiktive Regelung
Einfachheit	✓	✗
Echtzeitfähig	✓	✓
Optimierung	✗	✓
Berücksichtigung von Nebenbedingungen	✗	✓
Erweiterbarkeit	✓	✓
Skalierbarkeit	✗	✓
Bessere Kosten- und Energieeffizienz	✓	✓

### 4.3 Technische Anforderungen

Damit die Energieflüsse im Gebäude durch das EMS optimiert werden können, müssen die verschiedenen elektrischen und thermischen Energieflüsse gemessen werden. Dies geschieht zum einen durch die verbaute technische Gebäudeausrüstung (TGA: Wechselrichter, Batteriespeicher, Wärmepumpe, ...) zum anderen durch zusätzlich zu installierende Sensoren. Alle Komponenten werden über ein Kommunikationsnetzwerk mit dem EMS verbunden.

#### 4.3.1 Anforderungen an die TGA

Bei der Auswahl der TGA-Komponenten gilt es zu beachten, dass diese über eine geeignete Kommunikationsschnittstelle verfügen, um einerseits erfasste Messdaten an das EMS zu melden und andererseits Steuerungsbefehle des EMS entgegenzunehmen. Eine Übersicht empfohlener Kommunikationsprotokolle ist in Tabelle 7 zu finden. Je nach TGA-Komponente sind die marktüblichen Geräte bereits standardmäßig mit einer solchen Schnittstelle ausgestattet (i.d.R. Wechselrichter,

Batteriespeicher) oder es ist eine zusätzliche Ausstattungskomponente hierfür beim Hersteller erhältlich (typisch bei Wärmepumpen).

#### 4.3.2 Anforderungen an die Sensorik

Neben der verbauten TGA, welche bereits viele der erforderlichen Messgrößen erfasst, wird üblicherweise nur ein elektrischer Wandler-Zähler für den Stromverbrauch des gesamten Gebäudes (idealerweise ohne Strombedarf der Wärmepumpe) benötigt. Eine Aufteilung der Verbrauchsmessung auf die einzelnen Nutzungseinheiten/Verbraucher ist nicht erforderlich, sodass nur ein einziger Sensor unabhängig von der Gebäudegröße benötigt wird. Marktübliche Sensoren verfügen i.d.R. über sogenannte serielle Kommunikationsschnittstellen (siehe untere Zeile Tabelle 7)

*Tabelle 7: Übersicht geeigneter Kommunikationsprotokolle*

Protokollklassifizierung	Kommunikationsprotokolle	Typische Geräteunterstützung
TCP/IP-basiert	<b>Modbus TCP</b> , BACnet IP, HTTP-Webserver, KNXnet	Wechselrichter, Batteriespeicher, Wärmepumpe
Seriell	<b>Modbus RTU, M-Bus</b> , BACnet, KNX	Elektrischer Energiezähler, Wärmepumpe, Wechselrichter

#### 4.3.3 Kommunikationsnetzwerk

Die Recheneinheit des EMS wird in einem kleinen 10-Zoll-Netzwerkschrank (ungefähre Größe: 30 x 50 x 30 cm) untergebracht. Dieser wird idealerweise in einem zentralen Technikraum installiert, da hier alle Kommunikationsleitungen von den einzelnen TGA-Komponenten und Sensoren zusammenlaufen. Es wird eine Anbindung per Kabel empfohlen, da diese gegenüber einer WLAN-Anbindung deutlich weniger anfällig für Störungen ist, und ggf. auch größere Entfernungen überbrückt werden können. Darüber hinaus ist eine Internet-Anbindung des EMS erforderlich, um Wetterprognosen für den Gebäudestandort abzurufen und Serviceleistungen wie Ferndiagnose und -wartung zu ermöglichen.

#### 4.4 EMS-Betreiber als Partner

Der Betrieb des EMS erfordert besonderes technisches Fachwissen, weshalb er sinnvollerweise durch ein spezialisiertes Dienstleistungsunternehmen erfolgt. Dies kann bspw. ein Energieversorger (insbesondere in Verbindung mit einem Wärmeliefer-Contracting) oder ein spezialisierter externer Dienstleister sein. Das Betreiberunternehmen des EMS kann den Immobilien-Bestandshalter durch das Angebot unterschiedlicher Dienstleistungen gezielt unterstützen:

- Bei der Installation
  - Beratung bei Sensor- und TGA-Auswahl bezüglich kommunikationsfähiger Geräte
  - Aufbau des Kommunikationsnetzwerkes & Installation der EMS-Recheneinheit
  - Konfiguration & Inbetriebnahme des EMS
- Während des Betriebs
  - Automatisiertes Monitoring von TGA & Energieflüssen im Gebäude mit integrierter „Alarm“-Funktion
  - Software-Wartung und -Support für EMS

#### 4.5 Wirtschaftliche Bewertung

Die folgende Kosten-Nutzen-Analyse für den Einsatz eines EMS soll Immobilien-Bestandshalter durch eine einfache Abschätzung des wirtschaftlichen Potenzials bei einer grundlegenden ersten Einschätzung unterstützen. Dazu werden die Kosten für die Installation und den Betrieb des EMS den aus Simulationsstudien ermittelten möglichen Energiekosteneinsparungen gegenübergestellt.

#### 4.5.1 Kostenabschätzung

Für die Installation und Inbetriebnahme eines EMS fallen schätzungsweise 650 € (pro Gebäude) an. Diese können zukünftig geringer ausfallen, wenn bspw. der Hersteller des Batteriespeichers das EMS in diesen integriert. Im laufenden Betrieb werden Kosten von rund 320 €/a (pro Gebäude) erwartet. Diese fallen vor allem durch eine Nutzungslizenz inklusive Software-Wartung und Support, aber auch geringfügig durch Strom- und Internetnutzung an. Wird das EMS durch einen Energieversorger (bspw. in Kombination mit einem Wärmeliefer-Contracting) betrieben, kann dieser die Flexibilitätspotenziale der Gebäude zur Optimierung der eigenen Energiebeschaffung und zum netzdienlichen Betrieb der Anlagen nutzen, weshalb deutlich geringere laufende Kosten für den Betrieb des EMS entstehen können.

#### 4.5.2 Simulativ ermittelte Einsparpotenziale

Die Nutzung einer modellprädiktiven Regelung (MPC) bietet die Möglichkeit, die Energieeffizienz zu steigern und Kostenersparnisse zu erzeugen. Grundlage der nachfolgenden Erkenntnisse und Empfehlungen sind Ergebnisse aus Simulationsstudien. Dies bedeutet, dass alle Berechnungen und Prognosen auf Modellen und angenommenen Parametern basieren, die die tatsächlichen Bedingungen in einem Gebäude repräsentieren sollen.

Mehrere Einflussfaktoren können das Einsparpotenzial eines MPC-gesteuerten Energiemanagementsystems erheblich beeinflussen. Nachfolgend sind einige der wichtigsten Faktoren aufgeführt (siehe auch Abschnitt 4.1 Grundsätzliche Energieversorgungsstruktur im Quartier EMS):

- **Speicherkapazitäten:** Die Verfügbarkeit und Kapazität von Energiespeichern wie Batterien und Pufferspeichern sind entscheidend. Eine größere Speicherkapazität bedeutet eine bessere Fähigkeit des Systems zur Lastverschiebung und ermöglicht einen höheren Eigenverbrauch.
- **Verbrauchsverhalten:** Das Verhalten der Nutzer spielt eine Schlüsselrolle (Lastprofil für Wärme und Strom). Die Eigenverbrauchsquote, also der direkte Verbrauch selbst erzeugter Energie, kann abhängig vom Nutzerverhalten variieren. Darüber hinaus sind die Prognosegenauigkeit und das wiederkehrende Verbrauchsmuster wichtig, da sie die Vorhersagbarkeit des Systems beeinflussen.
- **Wetterverhältnisse:** Einsparungen sind abhängig von der Vorhersagegenauigkeit der Wetterdaten, da hierüber Wärmeverbrauch und PV-Ertrag prognostiziert und eingeplant werden.

Basierend auf Simulationsstudien kann ein EMS bei perfekter Prognosegenauigkeit (Heizwärmebedarf, Außentemperatur und Sonneneinstrahlung) im Vergleich zur regelbasierten Steuerung bis zu 25 % Energie einsparen. Da eine perfekte Prognosegenauigkeit realistisch nie zu erzielen ist, wurde im Projekt ModEMS4Q eine Sensitivitätsstudie durchgeführt. Basierend auf den Simulationsergebnissen mit Prognoseungenauigkeiten kann das MPC-gesteuerte Energiemanagementsystem (je nach Prognoseungenauigkeitsfall) 0-8 % Energie durch Integration des zeitlich variierenden COP der Luft-WP, Batterieverluste und thermische Speicherverluste in den Betriebsfahrplan gegenüber einer regelbasierten Steuerung einsparen.

Kostenersparnisse sind bei derzeit üblichen konstanten Stromtarifen direkt proportional zur eingesparten Energiemenge. Darüber hinaus besteht ein deutliches zusätzliches Potenzial durch flexible Strompreistarife. Diese werden derzeit noch spärlich angeboten. 2025 soll aber laut EU-Richtlinie<sup>12</sup> ein dynamischer Tarif verpflichtend angeboten werden, der die Preisschwankungen an der Strombörse abbildet. Ein MPC kann basierend hierauf die Verbräuche dann möglichst so planen, dass neben Eigenstrom am Standort auch die günstigen Strompreise im Verlauf des Tages genutzt sowie die kostenintensiven Zeitfenster gemieden werden.

---

<sup>12</sup> Richtlinie (EU) 2019/944 mit gemeinsamen Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt



#### 4.5.3 Kosten-Nutzen-Analyse

Zur einfachen Abschätzung des wirtschaftlichen Potenzials eines EMS ist in Tabelle 8 eine Übersicht der jährlichen Einsparungen abzüglich Kosten (inkl. anteiliger Investitionskosten abgeschrieben über 5 Jahre) für ein Gebäude dargestellt. Dieser ist aufgeschlüsselt nach jährlichen Energiekosten und erzielter anteiliger Energiekosteneinsparung durch Nutzung des EMS. Ein wirtschaftlicher Einsatz ist ohne einen dynamischen Stromtarif oder einen Contractor, der die Flexibilität auch ohne dynamische Tarife nutzen kann, nur in großen Liegenschaften mit hohen jährlichen Energiekosten zu erwarten.

*Tabelle 8: Jährliche Einsparungen abzüglich Kosten durch Einsatz des EMS*

Prozentuale Einsparungen	5 %	10 %	15 %	20 %
Jährliche Energiekosten (€/a)	Jährliche Einsparungen abzgl. laufender Kosten und anteiliger Investitionskosten (€/a)			
40.000	1.550	3.550	5.550	7.550
20.000	550	1.550	2.550	3.550
8.000	- 50	350	750	1.150
4.000	- 250	- 50	150	350
2.000	- 350	- 250	- 150	- 50
1.000	- 400	- 350	- 300	- 250

#### 4.5.4 Weitere Vorteile

Neben den bereits bekannten Vorteilen, die EMS bieten, wie z.B. die Reduzierung von Energiekosten, Optimierung von Energieflüssen und Lastspitzen, die Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und mehr Komfort für Bewohner/Mieter, bieten EMS eine Vielzahl weiterer Vorzüge, die den Betrieb von Gebäuden und Anlagen in unterschiedlichen Bereichen verbessern.

- **Performance-Assessment:** EMS ermöglicht eine umfassende Überwachung und Analyse des Energieverbrauchs und -verhaltens in Echtzeit. Dies ermöglicht eine genaue Leistungsbeurteilung und Identifizierung von Effizienzverbesserungen im Gebäudebetrieb.
- **Ferndiagnose und -wartung:** Durch die Vernetzung und Digitalisierung können Betreiber und Techniker ferngesteuerte Diagnosen und Wartungsarbeiten durchführen. Dies minimiert Ausfallzeiten und senkt die Wartungskosten.
- **Mietersensibilisierung:** EMS ermöglicht es Gebäudeverwaltern, Energieverbrauchsdaten transparent und leicht verständlich für Mieter darzustellen. Dies fördert ein bewusstes Energieverhalten und trägt zur Energieeffizienz bei.
- **Ausgangsinfrastruktur für die Integration weiterer Systeme:** EMS kann mit weiteren Gebäudeautomatisierungssystemen verbunden werden, einschließlich Lüftungsanlagen, Beleuchtung, Sicherheitssysteme und mehr. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Steuerung und Optimierung des Gebäudebetriebs.
- **Marktwertsteigerung und bessere Vermietbarkeit:** Das Gebäude wird durch ein installiertes EMS attraktiver für Mieter (in Erwartung besserer Übersicht und geringerer Kosten) und Investoren, was in einer besseren Vermietbarkeit oder einer höheren erzielbaren Miete resultieren kann.
- **Kombination und Integration mit anderen Systemen:** EMS können nahtlos in andere Gebäudeautomatisierungssysteme integriert werden, wie bspw. für Lüftungsanlagen, Verschattungssysteme, Beleuchtung, Sicherheitssysteme und mehr. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Steuerung und Optimierung des Gebäudebetriebs.

#### Weiterführende Literatur 4 Energiemanagement:

- **Agarwal, Yuvraj, et al.** Occupancy-driven energy management for smart building automation. *Proceedings of the 2nd ACM workshop on embedded sensing systems for energy-efficiency in building*. 2010.
- **Figueiredo, João, and Joao Martins.** Energy production system management–renewable energy power supply integration with building automation system. *Energy Conversion and Management* 51.6 (2010): 1120-1126.
- **Xu, Zhanbo, et al.** Performance analysis and comparison on energy storage devices for smart building energy management. *IEEE Transactions on Smart Grid* 3.4 (2012): 2136-2147.
- **Marinakis, Vangelis, et al.** A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption. *Sustainable Cities and Society* 6 (2013): 11-15.
- **Aghemo, Chiara, et al.** Management and monitoring of public buildings through ICT based systems: Control rules for energy saving with lighting and HVAC services. *Frontiers of Architectural Research* 2.2 (2013): 147-161.
- **Manic, Milos, et al.** Building energy management systems: The age of intelligent and adaptive buildings. *IEEE Industrial Electronics Magazine* 10.1 (2016): 25-39.
- **Drgoña, Ján, et al.** All you need to know about model predictive control for buildings. *Annual Reviews in Control* 50 (2020): 190-232.

## 5 Quartiersaspekte

Der Quartiersansatz wird regelmäßig als sinnvolle Betrachtungs- und Entwicklungseinheit für die moderne Immobilienwirtschaft genannt. Hierbei werden Vorteile wie neue potenzielle Konzeptansätze und Skaleneffekte durch die integrierte Betrachtungsweise von Liegenschaften erwartet. Nachfolgend sind übersichtlich vorteilhafte und nachteilige Schnittpunkte von Quartiersaspekten auf die Schwerpunkte der Kapitel Wärmebereitstellung, PV und EMS aufgeführt.

### 5.1 Quartiersaspekte in Bezug auf die Wärmebereitstellung:

Vorteilhafte Aspekte:	Nachteilige Aspekte:
<b>Wärmenetze und zentrale Wärmeversorgungskonzepte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch die Nutzung von Wärmenetzen können der Wärmeerzeugungsort und der Wärmeverbrauchsort entkoppelt werden. Dies ist besonders bei Platzmangel (z.B. städtische Quartiere), hohem Platzbedarf der Wärmequelle (Erdkollektoren &amp; Erdsonden) oder größeren Entfernungen einer potenziellen Wärmequelle (z.B. Abwärmequelle oder Fluss) zum Verbrauchsort vorteilhaft oder gar notwendig.</li> <li>• Nutzung von Synergieeffekten durch Vernetzung unterschiedlicher Last- und Angebotsprofile sowie verschiedener Energieträger (Sektorkopplung)</li> </ul>	<p>! Bestandsquartiere: Komplizierte Umstellung der Wärmeversorgung durch sukzessive Modernisierungen (ganzes Quartier auf einmal nicht zu leisten; finanziell, Fachkräfte, Mieterbelastung). Hierdurch Umstellung Wärmeversorgung auf ein variables Wärmeanforderungsprofil. Besonders für WP weniger geeignet. Modernisierungs- oder Sanierungsmaßnahmen i.d.R. nach und nach und nicht gleichzeitig, dadurch unterschiedliche Energiebedarfe und v.a. Bedarf an unterschiedlichen Vorlauftemperaturen.</p> <p>→ <b>Bestandsquartiere schwierig für moderne (meist Niedertemperatur) zentrale Wärmeversorgung und Wärmenetze</b></p>
<p>✓ <b>Möglicher Lösungsansatz:</b> Um den Problemen von zentralen Konzepten und Wärmenetzen in Bestandsquartieren zu begegnen, bieten sich <b>Hybridlösungen</b> an. Durch eine zentrale oder dezentrale Spitzenlastdeckung können für (noch) nicht gedämmte Gebäude notwendige höhere Vorlauftemperaturen bereitgestellt werden.</p> <p>Beispiel: Kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen WP und Gasheizungen in (noch) schlecht gedämmten Gebäuden. Das Nahwärmenetz dient als Wärmekollektor und zur Bereitstellung der Wärme aus den jeweiligen Wärmequellen (bspw. Abwärme, Erdwärme, Solarthermie). Die WP decken den gesamten Wärmebedarf in gedämmten Gebäuden und die Grundlast in schlecht gedämmten Gebäuden.</p>	

Vorteilhafte Aspekte:	Nachteilige Aspekte:
<b>Skaleneffekte und Contracting</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Größere (kosten-)günstigere Anlagen nutzbar</li> <li>• Reduzierte Kosten durch Großaufträge und -bestellungen</li> <li>• Ggf. verringerte oder bei Kooperation/ Contracting ausgelagerte Planungskosten (einerseits komplexer, andererseits können Planungsschritte kombiniert werden)</li> <li>• Schnellere Umsetzung in Kombination mit starkem Partner</li> <li>• Verantwortung für die Wärmebereitstellung wird an kompetenten (Contracting-)Partner abgegeben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>! Auch wenn Quartierskonzepte potenziell geringere spezifische Kosten und eine höhere Effizienz aufweisen, besteht ein hoher Planungsbedarf vorab und ein hoher Investitionsbedarf bei Quartierslösungen. Dies erschwert Bestandshaltern eine Umsetzung von Quartierslösungen in Eigenregie. Sinnvoll ist also die Kooperation mit einem starken Umsetzungspartner wie lokalen Stadtwerken.</li> <li>! Die Umsetzung und auch das Zurückgreifen auf Stadtwerke wird derzeit erschwert, da die kommunale Wärmeplanung verpflichtend ist und deren Ausarbeitung von den entscheidenden Akteuren erst abgewartet wird.</li> </ul>
<p><i>Modernisierungen der Gebäudehülle können unabhängig von den Ergebnissen der kommunalen Wärmeplanung durchgeführt werden.</i></p>	
<p>✓ <b>Mögliche Lösungsansätze:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Auf kommunale Wärmeplanung warten und nur notwendige Investitionen in Wärmeversorgungsanlagen tätigen.</li> <li>b) Soll eine Liegenschaft zeitnah modernisiert werden (z.B. hohe Priorität und Heizung sehr alt), kann auf Eigeninitiative mit oder ohne Kooperationspartner eine dezentrale oder zentrale Lösung erarbeitet werden. Im Vorfeld sollte in Absprache mit der Kommune und lokalem Energieversorger abgeklärt werden, ob ein Wärmenetz bzw. Fernwärmeanschluss an der entsprechenden Liegenschaft zu erwarten ist.</li> </ul>	

## 5.2 Quartiersaspekte in Bezug auf Photovoltaik und ein EMS

Vorteilhafte Aspekte:	Nachteilige Aspekte
<b>Mieterstrom und EMS im Quartier</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mieterstrommodelle werden attraktiver, wenn viele Abnehmer vorhanden sind.</li> <li>• Eine Vielzahl von Abnehmern steigert, durch unterschiedliche Bedarfsprofile, die Chance für eine möglichst umfängliche Nutzung des Angebots von dezentral erzeugter Energie.</li> <li>• Ladestationen im Quartier können bevorzugt mit PV-Strom geladen werden. Durch die Nutzung von Vehicle-to-Grid (V2G), also der Nutzung der Autobatterien auch zum Einspeisen in das lokale Stromnetz, kann das lokale Angebot an elektrischer Energie zusätzlich besser an den Bedarf angepasst werden.</li> <li>• Je größer die betriebene Liegenschaft, desto größer die Flexibilität und damit die Einsparpotenziale (Energie wie auch Energiekosten) und das netzdienliche Potenzial.</li> <li>• Skaleneffekte für Investitions- und Betriebskosten der Komponenten für das EMS (beim Betreiben einer Vielzahl von Gebäuden können Kosten durch die Nutzung eines zentralen Servers/Steuerungseinheit gespart werden).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>! Sobald öffentliche Leitungen genutzt werden, entfällt der Mieterstromzuschlag. D.h. für Mieterstrommodelle müssen eigene Stromleitungen bestehen, oder es muss auf den Zuschlag verzichtet werden.</li> <li>! Steuerung von Energieströmen benötigt eine Verknüpfung der Liegenschaften (eigenes Quartiersstromnetz, Wärmenetz).</li> <li>! Erhöhte Sicherheitsanforderungen durch Kommunikation der verschalteten Anlagen untereinander und erhöhtes Risiko für Missbrauch.</li> <li>! Zusätzliche Investitionskosten für Kommunikation der Gebäude untereinander (entweder für Sicherheit bei Kommunikation über das Internet oder Kosten für Vernetzung der Gebäude).</li> <li>! Hohes Expertenwissen in unterschiedlichen Bereichen notwendig (von Wärmeversorgung bis Cybersecurity), das derzeit kaum durch einzelnen Partner erfüllt werden kann.</li> </ul>
<p>✓ <b>Möglicher Lösungsansatz:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der Komplexität empfiehlt sich bei dem Einsatz eines EMS eine Kooperation mit einem Fachpartner. Gleiches gilt in kleinerem Maße für Mieterstrommodelle.</li> <li>• Smartes Quartier mit EMS und Mieterstrom: Hierfür muss eine eigene Infrastruktur gelegt werden (Stromkabel, Kommunikationsinfrastruktur, ggf. Wärmenetze), das über einen Umsetzungsdienstleister möglichst zusammen verlegt werden sollte. Dies kann ein zukunftsfähiger Leistungsbereich von lokalen Energieversorgern sein, die allerdings die informationstechnologische Komponente (noch) nicht in Eigenregie leisten können. → <b>Kooperation zwischen lokalen Versorger und EMS-Spezialisten.</b></li> </ul>	

### Weiterführende Literatur 5 Quartiersaspekte:

- **SWIVT:** Siedlungsbausteine für bestehende Wohnquartiere: Impulse zur Vernetzung energieeffizienter Technologien
- **SWIVT II:** Umsetzungsphase zu Siedlungsbausteinen für bestehende Wohnquartiere. Projekte **SWIVT & SWIVT II** sowie **Publikationen** im Rahmen der Projekte unter: <https://www.swivt.tu-darmstadt.de/swivt/index.de.jsp>; geprüft am 12.01.2024.

## 6 Literaturverweise

**Loga, Tobias, et al.** Deutsche Wohngebäudetypologie: Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. *Institut Wohnen und Umwelt (IWU) (Hrsg.)*: Darmstadt, Germany 18 (2011), 2. erw. und akt. Auflage 2015.

[https://www.episcope.eu/downloads/public/docs/brochure/DE\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_IWU.pdf](https://www.episcope.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf); geprüft am 12.01.2024.

**Richtlinie (EU) 2019/944** mit gemeinsamen Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944>; geprüft am 12.01.2024.

### Weiterführende Literatur 2.3 Wärmebereitstellung - Energieeffizienzmaßnahmen:

- **Illge, Lydia und Norbert Krauß.** Energiespareffekte und Kosten-Nutzen-Relationen der energetischen Gebäudesanierung. *Endbericht zum TA-Projekt »Energiespareffekte im Gebäudesektor«*. 2022. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000148048>; geprüft am 12.01.2024.
- **IWU Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.)**: Tabula Webdatenbank, 2017. <https://webtool.building-typology.eu/#bm>; geprüft am 12.01.2024.

### Weiterführende Literatur 2.5 Wärmebereitstellung – Wärmeversorgungskonzepte:

- **Bockelmann et al.** Energetische und wirtschaftliche Bewertung von Wärmequellen für Wärmepumpen. Braunschweig 2018. [https://siz-energieplus.de/documents/Abschlussberichte-Projektarchiv/190131\\_futurehp\\_AB\\_1\\_Abschlussbericht\\_FKZ03ET1273A.pdf](https://siz-energieplus.de/documents/Abschlussberichte-Projektarchiv/190131_futurehp_AB_1_Abschlussbericht_FKZ03ET1273A.pdf); geprüft am 12.01.2024.
- **Bockelmann et al.** EnOB: future:heatpump\_II – Erweiterung und Ausbau des Vordimensionierungsprogrammes. Braunschweig 2022. [https://siz-energieplus.de/documents/221219\\_SIZ10024\\_FHP\\_II\\_Abschlussbericht\\_BMWK\\_FKZ\\_03ET1605.pdf](https://siz-energieplus.de/documents/221219_SIZ10024_FHP_II_Abschlussbericht_BMWK_FKZ_03ET1605.pdf); geprüft am 12.01.2024.
- **BBSR (Hrsg.)**. Themenheft Gebäudetechnik - Energieeffiziente Gebäudetechnik im Baudenkmal Wissenschaftliche Begleitung der Modellvorhaben "Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)" in der Umsetzungsphase, Bonn 2017. [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/weitere/ktf/ModellvorhabenGebaeudebestand/01\\_Start.html?pos=4](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/weitere/ktf/ModellvorhabenGebaeudebestand/01_Start.html?pos=4); geprüft am 12.01.2024.
- **Glaesmann, Nicolas.** Politische und gesetzliche Rahmenbedingungen von Wärmepumpenheizungen. *Wärmepumpenheizungen: Planungshilfe und Ratgeber für Neubauten und Bestandsgebäude*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2023. 5-15. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-39031-0>; geprüft am 12.01.2024.

### Weiterführende Literatur 3 PV (inkl. Mieterstrom & Batteriespeicher):

- **Behr, Iris und Marc Großklos.** *Praxishandbuch Mieterstrom: Fakten, Argumente und Strategien*. Springer Fachmedien Wiesbaden 2017. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-17540-5>; geprüft am 12.01.2024.
- **Stiftung Warentest 2023 (Hrsg.)**. <https://www.test.de/shop/eigenheim-miete/photovoltaik-batteriespeicher-sp0618/>; geprüft am 12.01.2024.
- **Forum Verlag Herkert (Hrsg.)**. Handbuch Planung und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Anlagen. 2023; geprüft am 12.01.2024. <https://www.forum-verlag.com/alle-produkte/elektrosicherheit-und-elektrotechnik/29697/handbuch-planung-und-wirtschaftlichkeit-von-photovoltaik-anlagen>; geprüft am 12.01.2024.

- **Bucher, Christof.** *Photovoltaikanlagen–Planung, Installation, Betrieb.* Faktor Verlag 2021. <https://faktor.ch/produkt/photovoltaikanlagen>; geprüft am 12.01.2024.

#### **Weiterführende Literatur 4 Energiemanagement:**

- **Agarwal, Yuvraj, et al.** Occupancy-driven energy management for smart building automation. *Proceedings of the 2nd ACM workshop on embedded sensing systems for energy-efficiency in building.* 2010.
- **Figueiredo, João, and Joao Martins.** Energy production system management–renewable energy power supply integration with building automation system. *Energy Conversion and Management* 51.6 (2010): 1120-1126.
- **Xu, Zhanbo, et al.** Performance analysis and comparison on energy storage devices for smart building energy management. *IEEE Transactions on Smart Grid* 3.4 (2012): 2136-2147.
- **Marinakis, Vangelis, et al.** A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption. *Sustainable Cities and Society* 6 (2013): 11-15.
- **Aghemo, Chiara, et al.** Management and monitoring of public buildings through ICT based systems: Control rules for energy saving with lighting and HVAC services. *Frontiers of Architectural Research* 2.2 (2013): 147-161.
- **Manic, Milos, et al.** Building energy management systems: The age of intelligent and adaptive buildings. *IEEE Industrial Electronics Magazine* 10.1 (2016): 25-39.
- **Drgoña, Ján, et al.** All you need to know about model predictive control for buildings. *Annual Reviews in Control* 50 (2020): 190-232.

#### **Weiterführende Literatur 5 Quartiersaspekte:**

- **SWIVT:** Siedlungsbausteine für bestehende Wohnquartiere: Impulse zur Vernetzung energieeffizienter Technologien.
- **SWIVT II:** Umsetzungsphase zu Siedlungsbausteinen für bestehende Wohnquartiere  
Projekte **SWIVT & SWIVT II** sowie **Publikationen** im Rahmen der Projekte unter: <https://www.swivt.tu-darmstadt.de/swivt/index.de.jsp>; geprüft am 12.01.2024.