

# Gemeinsamer Abschlussbericht

des  
Forschungsvorhabens

## SW.Developer

Entwicklungsumgebung für Stadtwerke zur Bewertung von  
Energietechnologien

Förderkennzeichen: 03EN3014A-B  
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2020 – 31.12.2023  
Zuwendungsempfänger: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten  
Forschung e.V.**, Hansastr. 27C, 80686 München –  
ausführende Stelle: Fraunhofer UMSICHT, Osterfelder Str.  
3, 46047 Oberhausen  
**Stadtwerke Düsseldorf**, Höherweg 100, 40233 Düsseldorf

Autoren: Anne Hagemeyer  
Jana Schneeloch  
Britta Puyn  
Nina Kreuzadler  
Katharina Kolodziej  
Lena Rosin  
Sarah Kerber  
Marlon Weiß  
Henning Jungbluth  
Robert Rogotzki

Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes liegt bei den Autoren

Oberhausen, den 30.06.2024

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stadtwerkeaktivitäten</b>	<b>2</b>
2.1 Äußere Einflüsse .....	3
2.2 Klassische Geschäftsfelder .....	3
2.2.1 Stromvertrieb und Stromnetz.....	4
2.2.2 Gasvertrieb und Gasnetz .....	4
2.2.3 Wärmeversorgung .....	5
2.3 Weitere etablierte Geschäftsfelder .....	5
2.4 Neue Geschäftsfelder .....	6
2.5 Zusammenfassung der Stadtwerkeaktivitäten .....	7
<b>3 Rahmenbedingungen</b>	<b>8</b>
3.1 Rechtliche Rahmenbedingungen .....	8
3.1.1 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG).....	8
3.1.2 Verordnungen im Rahmen des EnWG: ResKV, SysStabV, AbLaV .....	8
3.1.3 Erneuerbare-Energiegesetz (EEG) .....	9
3.1.4 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG).....	10
3.1.5 Gebäudeeffizienzgesetz (GEG).....	11
3.1.6 Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG).....	12
3.1.7 Elektromobilitätsgesetz (EmoG) .....	13
3.1.8 EDL-G: Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen.....	13
3.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen .....	13
3.2.1 Förderprogramme KfW .....	13
3.2.2 BEG und BEW Förderung.....	13
3.3 Klimaschutzkonzepte .....	14
3.3.1 Herkunft und Verantwortung von Klimaschutzkonzepten .....	14
3.3.2 Definition und Aufbau von Klimaschutzkonzepten .....	15
3.3.3 Handlungsfelder der Klimaschutzkonzepte.....	16
3.3.4 Handlungsoptionen Stadtwerke.....	17
3.4 Kommunale Wärmeplanung.....	19
3.4.1 Wärmeplanungsgesetz .....	19
3.4.2 Aufbau einer kommunalen Wärmeplanung.....	20

---

3.4.3 Leitfäden und Best Practices .....	20
<b>4 Bewertungsmethoden für Energietechnologiekonzepte</b> .....	<b>21</b>
4.1 Multi-kriterielle Entscheidungsanalyse .....	21
4.1.1 GEWAnalytic Hierarchy Process .....	21
4.1.2 Nutzwertanalyse .....	23
4.2 Portfolioanalyse .....	24
4.2.1 BCG-Portfolioanalyse .....	24
4.2.2 Technologie-Portfolio-Analyse .....	25
4.2.3 Weitere Portfolioanalysen in Matrixform .....	26
<b>5 SW.Wiki – Informationsplattform für Stadtwerke</b> .....	<b>28</b>
5.1 Steckbriefftypen und -aufbau .....	28
5.2 Grafische Oberfläche zum Aufruf der Steckbriefe .....	31
<b>6 SW.Evaluator – Aufbau und Methodik</b> .....	<b>32</b>
6.1 Ziele und Anforderungen .....	32
6.2 Modularer Aufbau .....	33
6.3 Definition des Versorgungsgebiets.....	34
6.3.1 Einteilung des Versorgungsgebiets – Einzelgebäude .....	34
6.3.2 Einteilung des Versorgungsgebiets – Wohnquartiere .....	35
6.4 Verwendete Lastgänge.....	39
6.4.1 Strom-, Warmwasser- und Heizlastgänge für Wohngebäude nach VDI 4655 39	
6.4.2 Strom- und Wärmelastgänge für Gewerbegebäude nach BDEW .....	40
6.4.3 Mobilitätslastgänge für Wohngebäude .....	41
6.5 Betrachtete Konzepte.....	43
6.6 Szenarien.....	45
6.6.1 Fünf Phasen der Szenario-Entwicklung.....	45
6.6.2 Szenario-Vorbereitung und Einflussanalyse.....	46
6.6.3 Ausprägungen der Schlüsselfaktoren .....	48
6.7 Bewertungsmethodik .....	50
6.7.1 Konzeptebene .....	51
6.7.2 Portfolioebene .....	52
<b>7 SW.Evaluator – Grafische Oberfläche</b> .....	<b>54</b>
7.1 Definition des Versorgungsgebietes .....	55
7.2 Technologiebewertung .....	56
7.3 Portfolio-Analyse.....	59

---

<b>8</b>	<b>SW.Evaluator – Anwendungsfall</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>Veranstaltungsreihe SW.aktiv</b>	<b>67</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>72</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>76</b>
	<b>Anhang</b>	<b>80</b>
	Themen-Steckbrief: Fernwärme .....	80
	Konzept-Steckbrief: Solare Nahwärme .....	84
	Technologie-Steckbrief: dezentrale Wärmepumpe .....	86
	Fördermittelsteckbrief: Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft.....	88



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland [12].....	15
Abbildung 3-2: Treibhausgas-Emissionen der BRD 1990-2020 [11].....	17
Abbildung 3-3: Stand der Wärmeplanung in den deutschen Bundesländern (Darstellung aus [19] ).....	20
Abbildung 4-1: BCG-Matrix der Geschäftsfelder der Continental AG (2007) [1] .....	25
Abbildung 4-2: Technologie-Portfolio nach Pfeiffer [28, S. 334].....	26
Abbildung 4-3: Risikomatrix [32, S. 32] .....	27
Abbildung 4-4: Wesentlichkeitsanalyse von Nachhaltigkeitsaspekten [33].....	27
Abbildung 5-1: Screenshot der Vergleich-Funktion des „SW.Wiki“ .....	32
Abbildung 6-1: Modularer Aufbau des SW.Evaluator mit Einteilung in Konzept- und Portfolioebene .....	33
Abbildung 6-2: Anteile vermieteter Wohnungen am Gesamtbestand in Deutschland (links) und Eigentümerstruktur der Mietwohnungen (rechts) [37] .....	37
Abbildung 6-3: Bebauung und Ortophoto von EST 3 - Zeilenbebauung niedriger bis mittlerer Geschossigkeit [36].....	38
Abbildung 6-4: Bebauung und Ortophoto von EST 4 - Großmaßstäbliche Wohnbebauung hoher Geschossigkeit [36] .....	39
Abbildung 6-5: Ergebnisse des Workshops zur Einflussmatrix.....	47
Abbildung 6-6: Vier-Felder-Matrix der Einflussfaktoren .....	48
Abbildung 6-7: Übersichtsschema zur Energiesystemoptimierung .....	51
Abbildung 6-8: Darstellung der Portfoliomatrix mit den zwei Achsen Technologieattraktivität und Umsetzungswahrscheinlichkeit. Je nach Positionierung in der Matrix sollten entsprechende Marktstrategien für die Konzepte gewählt werden. ....	53
Abbildung 7-1: Toolarchitektur .....	54
Abbildung 7-2: SW.Evaluator – Landing Page .....	55
Abbildung 7-3: SW.Evaluator – Stadtteildefinition .....	55
Abbildung 7-4: SW.Evaluator – Stadt/Bezirksdefinition.....	56
Abbildung 7-5: SW.Evaluator – Versorgungsgebiete Listenansicht .....	56
Abbildung 7-6: SW.Evaluator – Konzeptvorauswahl .....	57
Abbildung 7-7: SW.Evaluator – Konzeptauswahl .....	58
Abbildung 7-8: SW.Evaluator – Konzeptvergleich CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	58
Abbildung 7-9: SW.Evaluator – Konzeptvergleich Gestehungskosten .....	59
Abbildung 7-10: SW.Evaluator – Konzeptvergleich Sensitivität .....	59
Abbildung 7-11: SW.Evaluator – Aggregation .....	60

---

Abbildung 7-12: SW.Evaluator – Portfolio-Bewertung.....	61
Abbildung 7-13: SW.Evaluator – Portfolio-Matrix.....	62
Abbildung 8-1: SW-Evaluator Demo - CO <sub>2</sub> -Emissionen für ein kleines saniertes MFH .....	64
Abbildung 8-2: SW-Evaluator Demo - Gestehungskosten für ein kleines saniertes MFH.....	65
Abbildung 8-3: SW-Evaluator Demo - OPS für ein kleines saniertes MFH .....	65
Abbildung 8-4: SW-Evaluator Demo - Sensitivität des OPS für ein kleines saniertes MFH.....	66
Abbildung 8-5: Portfolio-Matrix der Live-Demo.....	67
Abbildung 9-1: Agenda der SW.aktiv-Veranstaltung zur kommunalen Wärmeplanung .....	69
Abbildung 9-2: Umfrageergebnisse aus der SW.aktiv-Veranstaltung zur kommunalen Wärmeplanung .....	70
Abbildung 9-3: Übersicht über die Entwicklung der Teilnehmerzahlen der SW.aktiv- Veranstaltungen .....	71
Abbildung 9-4: Zusammensetzung der SW.aktiv-Teilnehmenden .....	72

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Zuschusshöhe für KWK-Strom bei Einspeisung des Stroms ins Netz .....	10
Tabelle 3-2: Zuschusshöhe für KWK-Strom ohne Einspeisung des Stroms ins Netz .....	11
Tabelle 4-1: AHP-Skala nach Saaty [27] .....	22
Tabelle 4-2: Paarvergleich Beispiel AHP .....	22
Tabelle 4-3: Umrechnung quantitativer Kriterien in der AHP-Methode .....	23
Tabelle 4-4: Beispielhafte Nutzwertanalyse zur Bewertung von Technologien [28, S. 328] .....	24
Tabelle 6-1: Definition der Typgebäude .....	35
Tabelle 6-2: Definition der Wohnquartiere .....	39
Tabelle 6-3: Benutzte Daten für Wohngebäudelastgänge .....	40
Tabelle 6-4: Jahresverbräuche für Wohngebäudelastgänge .....	40
Tabelle 6-5: Jahresverbräuche für GHD-Lastgänge .....	41
Tabelle 6-6: Definierte Haushaltstypen für Mobilitätskonzepte .....	42
Tabelle 6-7: Annahmen für das Mobilitätsverhalten der Haushalte in MFH in den verschiedenen Szenarien .....	42
Tabelle 6-8: Betrachtete Wärmekonzepte .....	43
Tabelle 6-9: Betrachtete Strom-Wärme-Kopplungs-Konzepte .....	44
Tabelle 6-10: Betrachtete Stromkonzepte .....	44
Tabelle 6-11: Betrachtete Mobilitätskonzepte .....	45
Tabelle 6-12: Ausprägungen der Szenariogrößen .....	50
Tabelle 6-13: Bewertungskriterien auf Portfolioebene .....	52
Tabelle 8-1: Gebäudetypen & Anzahl .....	62
Tabelle 8-2: ausgewählte Konzepte der Live-Demo .....	63
Tabelle 9-1: Übersicht über die SW.aktiv-Veranstaltungen während der Projektlaufzeit von SW.Developer .....	68

---

## Abkürzungsverzeichnis

AbLaV	Verordnung zu abschaltbaren Lasten
AHP	Analytic Hierarchy Process
BSIKO	Bilanzierungs-Systematik Kommunal
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BMUB	Bundesumweltministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
E-Auto	Elektro-Auto
EDLG	Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energiengesetz
EKF	Energie- und Klimafonds
EFH	Einfamilienhaus
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EST	Energetische Stadtraumtypen
GEG	Gebäudeeffizienzgesetz
GEIG	Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz
GGLP	Gemischt-Ganzzahlig-Lineare-Programmierung
GUI	Grafische Oberfläche (engl.: „graphical user interface“)
KSG	Klimaschutzgesetz
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz
LCOE	Jährliche Gestehungskosten
MCDa	Multikriterielle Entscheidungsanalyse
MFH	Mehrfamilienhaus
NetzResV	Netzreserveverordnung
NKI	Nationale Klimaschutzinitiative
NWG	Nichtwohngebäude
NDC	National Determined Contribution
OPS	Overall Performance Score
SysStabV	Systemstabilitätsverordnung
SWD	Stadtwerke Düsseldorf
THG	Treibhausgas

TZB	Teilzeitbeschäftigte
VZB	Vollzeitbeschäftigte
WG	Wohngebäude
WPG	Wärmeplanungsgesetz

# 1 Einleitung

Stadtwerke sind ein wichtiges Element auf dem Weg zum Erreichen der Klimaziele: Durch ihre Tätigkeitsfelder im Strom-, Wärme-, Gas- und Mobilitätsbereich sowie die lokale Verankerung sind Stadtwerke in einer idealen Position, die lokale Energiewende voranzutreiben. Damit Stadtwerke ihrer neuen Rolle gerecht werden können, ist eine Transformation der internen Prozesse und ein Neuaufstellen ihrer Geschäftsfelder nötig. Gleichzeitig geraten Stadtwerke immer mehr unter Druck, da bisherige Geschäftsbereiche wegfallen und so eine Notwendigkeit für eine Neuausrichtung entsteht.

Vor diesem Hintergrund wurde im Vorgängerprojekt TrafoSW untersucht, wie neue technologische Lösungsoptionen von Stadtwerken eingesetzt werden können, um eine tragende Rolle bei der Umsetzung der Energiewende im Bereich der dezentralen Energiesysteme übernehmen zu können. Bestandteil des Projekts war eine Analyse des Status quo für Stadtwerke, die Untersuchung und Bewertung von drei erfolgsversprechender Technologiepfaden in Kooperation mit jeweils einem assoziierten Stadtwerk und die Aktivierung von Stadtwerken. Das Projekt wurde 2020 abgeschlossen und konnte zeigen, dass Stadtwerke weiterhin vor dem Problem stehen, ihr Kerngeschäft weg vom reinen Vertrieb von Strom, Wärme und Gas hin zu neuen Produkten zu entwickeln. Hauptproblem stellte dabei die Komplexität dar, die sich aus der Vielzahl an technologischen Lösungsansätzen im Wechselspiel zu den lokalen Randbedingungen sowie zukünftiger Randbedingungen in den Energiemärkten und im Energiesystem ergeben. Es zeigte sich zudem, dass Datengrundlagen, Methoden und Modelle, die für den Entscheidungs- und Auswahlprozess zur strategischen Neuausrichtung nötig sind, fehlen.

Daraus leitete sich die Motivation für das Projekt SW.Developer ab. Ziel des Projekts war es, ausgehend von den Ergebnissen aus der Betrachtung einzelner Technologien in TrafoSW eine Entwicklungsumgebung zu erarbeiten, mit der die Zusammensetzung verschiedener Technologien zu einem Portfolio als Basis für eine strategische Neuausrichtung von Stadtwerken unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten bewertet werden kann. Diese sollte globale und lokale Rahmenbedingungen einbeziehen.

Eine Voraussetzung für die Entwicklungsumgebung ist die Erstellung einer umfassenden Technologiematrix aktuell verfolgter und zukünftig interessanter technologischer Lösungsansätze für Stadtwerke, die die charakteristischen Eigenschaften, die zur Bewertung einer Technologie und ihrer erfolgreichen, breiten Umsetzung erforderlich sind, strukturiert und konzentriert darstellt. Dies ermöglicht eine erste Bewertung und Vorauswahl.

Ein weiteres, überfachliches Ziel des Projekts war die Aktivierung weiterer Stadtwerke und die Diskussion der Projektergebnisse über gemeinsame Veranstaltungen mit einem thematischen Verbund.

---

Basierend auf den Projektzielen entstanden im Laufe der Projektbearbeitung drei Haupt-Ergebnisse:

- die Entwicklung der online frei verfügbaren Informationsplattform („Technologie-matrix“) **SW.Wiki** zu für Stadtwerke relevanten Lösungsansätzen und Technologien.
- die Entwicklung des **SW.Evaluator** als Bewertungstool („Entwicklungsumgebung“) für Technologien und Technologieportfolien
- die Etablierung der Veranstaltungsreihe **SW.aktiv** als Vernetzungs- und Informationsveranstaltung für Stadtwerke

Diese drei Ergebnisse sowie deren Entwicklungsschritte werden im Verlaufe des Abschlussberichts jeweils ausführlich beschrieben. Dazu wird zunächst eine Zusammenfassung der Hintergründe zu Stadtwerkeaktivitäten (Kapitel 2), relevanten Rahmenbedingungen (Kapitel 3) sowie im SW.Evaluator eingesetzten Bewertungsmethoden (Kapitel 4) gegeben. Die Beschreibung des SW.Wiki findet sich in Kapitel 5, die Entwicklung und Anwendung des SW.Evaluators in Kapitel 6 bis 8 und Erläuterungen zur Veranstaltungsreihe SW.aktiv in Kapitel 9.

Die Projektbearbeitung erfolgte durch Fraunhofer UMSICHT und die Stadtwerke Düsseldorf in einer engen Zusammenarbeit. Während Fraunhofer UMSICHT für die wissenschaftlichen Arbeiten und die Entwicklung der Tools und Methodiken zuständig war, bestand die Rolle der Stadtwerke Düsseldorf in der Anwendung der erarbeiteten Inhalte sowie der Anforderungsanalyse und das Einbringen der Praxisperspektive.

## 2 Stadtwerkeaktivitäten

Stadtwerke stellen eine besondere Form von Versorgungsbetrieben dar. Wie sich durch das vorangegangene Projekt TrafoSW gezeigt hat, gibt es kein klassisches Stadtwerk oder eine konkrete typische Form von Stadtwerken. Besonders die Struktur und Dienstleistungen können sich stark unterscheiden, wobei die sogenannten klassischen Geschäftsfelder, also die Versorgung mit Gas, Elektrizität sowie der Netzbetrieb von Strom, Gas und Wärme, bei den meisten Stadtwerken gegeben sind. Darüber hinaus finden sich auch die Geschäftsbereiche der Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Abfallentsorgung, Stadtreinigung, Schwimmbäder und Krankenhäuser, sowie der Betrieb des ÖPNV oder das Telekommunikationsnetzwerk in vielen Geschäftsportfolios von Stadtwerken. Unter anderem angetrieben durch die Klimakrise, Energiewende sowie Nachhaltigkeitsziele oder dem Wunsch nach erhöhter Effizienz sind in den letzten Jahren neue Geschäftsbereiche für kommunale EVUs und Stadtwerke hinzugekommen. Typische Beispiele sind die Elektromobilität, nachhaltige Stadtplanung, der Verkauf von grünen Erzeugungsanlagen wie PV-Anlagen oder Wärmepumpen oder der Breitbandausbau. [2]

Stadtwerke unterliegen vielen äußeren ökonomischen oder politischen Einflüssen und müssen sich den aktuellen Veränderungen und der zunehmenden Komplexität der Energiesysteme anpassen. Welche Besonderheit bei Stadtwerken gegeben ist und welche äußeren Einflüsse besonders relevant sind, wird in dem folgenden Unterkapitel beschrieben.

## 2.1 Äußere Einflüsse

Zwei Besonderheiten von Stadtwerken sind die kommunale Ansiedlung und Verbundenheit, sowie die Verpflichtung zur öffentlichen Daseinsvorsorge. Die kommunale Verbundenheit bietet Stadtwerken den Vorteil eines großen Vertrauensvorschlusses seitens der Bürger\*innen und damit ihren (potenziellen) Kund\*innen [3, 4].

Die Daseinsvorsorge ist die Verpflichtung zur Versorgung der Bürgerinnen und Bürger mit grundlegenden Leistungen seitens des Staates. Darunter fallen u.a. Abfallentsorgung, Versorgung mit Wasser, Strom und Gas, ÖPNV und weitere Bereiche. Allerdings ist nicht konkret definiert, welche Bereiche genau darunterfallen und inwiefern sich diese mit der Zeit und gesellschaftlichem Wandel ändern können. [5]

Die Stadtwerke und auch ihre Alleinstellungsmerkmale sind historisch gewachsen: Während der Industrialisierung im 19. Jahrhundert wurden viele kommunale Unternehmen gegründet, um die Energie- und Wasserversorgung sowie die Abfall- und Abwasserentsorgung sicherzustellen und die Lebensqualität vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und neuen Technologien zu verbessern. Dies führte zur Entstehung des Begriffs der öffentlichen Daseinsvorsorge und der klassischen Geschäftsfelder von Stadtwerken. Im Laufe der Zeit kamen weitere Veränderungen hinzu, die die Arbeitswelt von Stadtwerken beeinflussen, wie die Liberalisierung des Strommarktes in den 90er Jahren, die Klimakrise, die Energiewende, die Energiekrise der 2020er Jahre, die Digitalisierung und die zunehmende Dezentralität von Energiesystemen. Dies führte u.a. zur Entstehung neuer Geschäftsfelder und auch zu einem dynamischen Verständnis der Daseinsvorsorge, das sich den aktuellen Bedürfnissen der Menschen anpasst. [3]

Die aktuellen Herausforderungen, wie die Energiewende, der Klimaschutz, die Energiekrise, die Veränderungen im Kerngeschäft und Endkundenmarkt durch die Digitalisierung, den demografischen Wandel, die Konnektivität, die Urbanisierung und die Individualisierung beeinflussen die Arbeitswelt der Stadtwerke und erfordern neue Strategien, Handlungsfelder und Dienstleistungen. Dies führt zu einem Wandel der Geschäftsmodelle und -felder von Stadtwerken, der im folgenden Unterkapitel für die einzelnen Geschäftsfelder näher erläutert wird. Die verschiedenen Geschäftsfelder von Stadtwerken können in verschiedene Bereiche aufgeteilt werden, und innerhalb dieser Bereiche gibt es unterschiedliche Einflüsse und Auswirkungen der aktuellen Veränderungen.

## 2.2 Klassische Geschäftsfelder

Die klassischen Geschäftsfelder sind jene, die bereits langjährig in den Geschäftsportfolien von Stadtwerken etabliert sind und auch von den meisten geführt werden. Darunter fallen die Geschäftsfelder des Strom- und Gasvertriebs, sowie des Betriebs derer Netze und die Wärmeversorgung über (Fern-) Wärmenetze. Des Weiteren sind die Geschäftsfelder die, die in der Regel dem Stadtwerk oder kommunalen EVU einen Gewinn einbringen und auch für die Querfinanzierungen anderer Bereiche sorgen, welche unter die Verpflichtung der Daseinsvorsorge fallen, aber sich selbst nicht tragen können [6]. Allerdings, wie sich innerhalb des vorangegangenen Projektes TrafoSW gezeigt hat, stehen auch diese Geschäftsfelder durch die aktuellen gesellschaftlichen Veränderungen und Herausforderungen unter Druck und es nicht gewährleistet, ob diese Bereiche Stadtwerke in Zukunft noch sicher wirtschaftlich tragen können [2].

### **2.2.1 Stromvertrieb und Stromnetz**

Der Verkauf von Strom an Kund\*innen ist eines der größten Geschäftsfelder von Stadtwerken. Hierbei kann der Strom aus eigenen Erzeugungsanlagen stammen oder er wird von den Stadtwerken von anderen Erzeugern gehandelt und an die Kommune verkauft. Um die Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung, wie z.B. die Klimaneutralität 2045, zu erreichen, muss das deutschlandweite Stromangebot aus erneuerbaren Energien stammen oder entsprechend kompensiert werden. Auch Stadtwerke können dazu einen Beitrag leisten. Dies erfordert unter anderem den Ausbau von erneuerbarer Energie, welcher in einem später folgenden Unterkapitel über die neuen Geschäftsfelder näher erläutert wird.

Es kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Mobilität und aufgrund der Digitalisierung die Stromnachfrage von Privathaushalten und Industrien innerhalb der Kommune in Zukunft steigen wird [7]. Zudem wird sich aufgrund der Energiewende durch die Klimakrise und die gesetzlichen Vorgaben die Energiequelle des Stroms von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energien bewegen. Dies hat zur Folge, dass das Stromnetz eine erhöhte Volatilität aufweist und die Investitionskosten für die Strombeschaffung steigen werden. Trotzdem geht der BET in der „Kurzstudie EVU 2030“ für sein Musterstadtwerk davon aus, dass das Betriebsergebnis wegen der erhöhten Stromnachfrage zu Beginn des nächsten Jahrzehntes steigt [8].

Neben dem Vertrieb von Strom, betreiben viele Stadtwerke auch das Stromverteilnetz in ihrer jeweiligen Region. Auch in diesem Bereich sind in den kommenden Jahren Änderungen zu erwarten:

Die zukünftigen Stromnetze müssen vor allem mit der Volatilität erneuerbarer Energien wie Solar- und Windenergie umgehen, sowie mit der steigenden Anzahl an dezentralen Einspeisern und neuen Netznutzern durch die Elektrifizierung anderer Sektoren wie Mobilität und Wärme. Besonders auf der Ebene der Verteilnetze werden starke Veränderungen erwartet, da die Energiewende besonders lokal und dezentral stattfinden wird. Die Veränderungen entstehen zum Beispiel über Prosumer, flexible Verbrauchslasten und auch vermehrt neue „Netznutzer“ wie E-Fahrzeuge oder Wärmepumpen. Durch diese Dezentralität werden zunehmend mehr Erzeugungsanlagen auf der unteren Spannungsebene einspeisen. Demnach muss das Verteilnetz aus- und umgebaut werden und auch die Betriebsweise muss von den Stadtwerken oder anderen Verteilnetzbetreibern der aktuellen Zeit angepasst werden. [3, 9]

In der „Kurzstudie EVU 2030“ geht der BET davon aus, dass sich aus der wirtschaftlichen Perspektive des Netzbetriebes nicht verändern wird, sondern der Gewinn in näherer Zukunft konstant bleibt [8].

### **2.2.2 Gasvertrieb und Gasnetz**

Besonders die Gasversorgung ist von vielen Veränderungen betroffen. Aufgrund der Energiewende hin zu erneuerbaren Energien wird der Bedarf für eine flächendeckende Erdgasversorgung stark sinken und möglicherweise langfristig ganz wegfallen. Dies wird sowohl im privaten Gebäudesektor als auch in Teilen in der Industrie der Fall sein. Damit kann auch ein Rückbau des Gasnetzes oder ein Umbau zur Nutzung von Wasserstoff und anderen grünen Gasen erwartet werden. In diesen Geschäftsbereichen ist durch den Rückgang der Absatzmengen mit einer Senkung der Wirtschaftlichkeit und den Gewinnen zu rechnen [8].

Fällt Erdgas als fossiler Energieträger aus der Wärmeversorgung weg, müssen andere Möglichkeiten für die Wärmeversorgung in Betracht gezogen werden, wie zum Beispiel

---

Wärmepumpen oder grüne Wärmenetze mit erneuerbaren Energien. Daher müssen auch Stadtwerke ihre Geschäftsmodelle dahingehend auslegen.

### 2.2.3 Wärmeversorgung

Da, wo die Wärmeversorgung nicht über Gas, Strom oder andere Energieträger dezentral stattfindet, werden Verbraucher\*innen seitens der Stadtwerke über Fernwärme versorgt. Bestehende Wärmenetze sind ebenfalls von der Energiewende, oder in diesem Fall, der Wärmewende betroffen. In vielen Wärmenetzen ist, bzw. war die Wärmequelle eine auf fossilen Energieträgern basierende KWK-Anlage, so dass in Zukunft eine neue nachhaltige Energiequelle angeschlossen werden muss.

Nachhaltige Energiequellen mit wenigen bis keinen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind für Wärmenetze beispielsweise unvermeidbare Abwärme, Biomasse, Großwärmepumpen und Geo- oder Solarthermie. Wasserstoff-Lösungen für Gas-KWK-Anlagen sind ebenfalls denkbar. In jedem Fall ist klar, dass die Möglichkeiten vielseitig sind und sich keine allgemeingültige Lösung herausstellen wird. Dies ist auch deshalb gegeben, weil nicht in jedem Ort die gleichen Potenziale für erneuerbare Energien vorliegen. Für die Versorgung über Wärmenetze muss daher jeweils lokal eine individuelle Lösung aufgrund der Gegebenheiten gefunden werden. [3]

Neben den Änderungen der möglichen Energiequellen der bestehenden Netze ist auch der intensive Ausbau der Wärmenetze für die Wärmewende erforderlich, damit Anschlüsse an grüne Wärmenetze dezentrale Erdgasheizungen oder andere fossile Heizungsarten substituieren können [3]. Die Umstellung auf grüne Fernwärmeversorgung bedeutet hohe Investitionen, auch wenn dadurch neue Kund\*innen erschlossen werden können. [8] In Hinblick auf die zukünftigen Veränderungen im Wärmemarkt, wie dem zwangsläufigen Wegfallen von Erdgas, stellen Wärmenetze mit der passenden Energiequelle eine regenerative und zukunftsfähige Alternative dar. Beispielsweise geht BET in der „Kurzstudie EVU 2030“ davon aus, dass der Betrieb von Wärmenetzen für Stadtwerke wirtschaftlich sein wird. [8]

## 2.3 Weitere etablierte Geschäftsfelder

Neben den klassischen Geschäftsfeldern von Stadtwerken gibt es Dienstleistungen und Geschäftsbereiche, welche bereits seit Jahrzehnten etabliert sind und auch unter die öffentliche Daseinsvorsorge fallen, aber nicht von allen Stadtwerken betrieben werden. Weiterhin sind viele dieser Geschäftsfelder nicht energiebezogen. Hierunter fallen sehr viele unterschiedliche Bereiche, so dass nicht auf alle in den folgenden Abschnitten eingegangen werden kann.

Die Versorgung mit Wasser, sowie die Entsorgung von Abwasser gehören beide zur Daseinsvorsorge und werden in der Regel von Stadtwerken oder anderen kommunalen Unternehmen betrieben. Die wichtigste Quelle für Trinkwasser ist in Deutschland das Grundwasser. Der Klimawandel und sonstige Umweltverschmutzungen sorgen für verstärkte Verunreinigungen des Wassers sowie einer Verknappung durch u.a. Dürreperioden [10]. Diesen Änderungen müssen sich Wasserversorger unter anderem stellen. Bei der Wasserversorgung kann davon ausgegangen werden, dass sich der Bedarf nur geringfügig verändert, da lediglich ein leichter Bevölkerungsrückgang wahrgenommen werden kann. Deshalb geht in der „Kurzstudie EVU 2030“ der BET davon aus, dass die Wasserversorgung weniger wirtschaftliche Risiken mitbringen kann. [8]

Auch bei der Abwasserentsorgung ist der Einfluss durch die Klimakrise spürbar. Starkregenereignisse sorgen für einen plötzlichen, in fatalen Fällen nicht regulierbaren,

Anstieg an Abwasser. Daher müssen in Zukunft auch Investitionen in die Abwassernetze getätigt werden, um den Bereich den Folgen der Klimakrise anpassen zu können [6].

Abgesehen von den klassischen und neuen möglichen Geschäftsfeldern und Dienstleistungen gibt es viele Bereiche, die schon länger von Stadtwerken betrieben werden, allerdings seltener im typischen Geschäftsportfolio auftreten. Darunter fallen zum Beispiel die Versorgung und der Betrieb von ÖPNV, Krankenhäusern, Schwimmbädern und sonstigen sportlichen oder kommunalen Freizeiteinrichtungen. Auch der Betrieb des Telekommunikationsnetzwerkes gehört bei einigen Stadtwerken zu den Geschäftsfeldern. In der Regel vereint diese Geschäftsbereiche die Tatsache, dass sie defizitär, also nicht kostendeckend sind, aber wichtig, bzw. für den Wohlfühlfaktor und die Lebensqualität der Stadt relevant. Hier muss in der Regel auf Querfinanzierungen zurückgegriffen werden. Dies steht oft in der Diskussion, da es nicht in jedem Fall machbar und mit Schwierigkeiten verbunden ist. [6]

## 2.4 Neue Geschäftsfelder

Um sich den Veränderungen in der Daseinsvorsorge, in der Energieversorgung und im allgemeinen kommunalen Leben anzupassen, müssen Stadtwerke neue Geschäftsfelder erschließen. Diese dienen der Energiewende oder sind durch andere äußere Treiber wie die Digitalisierung oder zunehmende Dezentralität beeinflusst. Sowohl politische Vorgaben als auch gesellschaftliche Entwicklungen beeinflussen, in welchen Bereichen Stadtwerke sich etablieren oder verändern müssen. Neben diesen Faktoren müssen neue Geschäftsfelder evtl. auch die Ertragseinbußen der klassischen Geschäftsfelder durch sinkende Absatzmengen oder hohe Investitionen stemmen [8].

Neue und weitere erneuerbare Stromquellen sind ungemein wichtig, um die von der Bundesregierung geplante Klimaneutralität 2045 zu erreichen. Erneuerbare Energien müssen in Zukunft nicht nur fossile Energieträger substituieren, sondern so stark ausgebaut werden, dass auch neue Stromabnehmer wie Wärmepumpen und E-Mobilität aufgefangen werden und die Wärme und Mobilitätssektoren elektrifiziert werden können. Da erneuerbare Stromquellen wie PV und Windkraft häufig dezentral installiert werden, ist dies eine Aufgabe, der sich kommunale EVUs wie Stadtwerke widmen können. Durch den Aufbau und eigenen Betrieb von EE-Anlagen entsteht hierbei ein neues Geschäftsfeld, das in den bereits etablierten Verkauf von Strom integriert werden kann. Außerdem sind bisher in Deutschland nicht weit verbreitete Verkaufsoptionen wie Power-Purchase-Agreements an größere Abnehmer wie Genossenschaften oder Industrieanlagen denkbar. Hierbei ist mit hohen Investitionen zu rechnen und auch Ressourcenknappheit hinsichtlich der nötigen Bauteile können Stadtwerke vor Herausforderungen stellen. Trotz solcher Herausforderungen hat BET in seiner Kurzstudie 2030 für sein Musterstadtwerk einen Gewinn in diesem Geschäftsfeld errechnet [8].

Neben den nötigen Investitionen und der Ressourcenknappheit gibt es weitere Hemmnisse bei dem Ausbau erneuerbarer Energien wie zum Beispiel den hohen Bürokratieaufwand oder teilweise mangelnde gesellschaftliche Akzeptanz beim Bau von Windrädern [3].

Abgesehen von dem Bau und dem Betrieb eigener regenerativen Anlagen zur Stromerzeugung können Stadtwerke bei dem Ausbau erneuerbarer Energien in der Kommune durch energienahe Lösungen helfen. Der Verkauf von energietechnischen Anlagen und Lösungen, sowie Energieberatungen stellen einen großen Teil neuer Geschäftsbereiche für Stadtwerke dar. So werden Kund\*innen erreicht, die sich selbst an der Energiewende beteiligen wollen oder es durch gesetzliche Vorgaben müssen. Der Verkauf oder die Vermittlung von Energieerzeugern wie PV-Anlagen oder Wärmepumpen oder Produkte wie Wallboxen stellen damit ein für Bürger\*innen interessantes Angebot dar.

Auch das Angebot von Beratungen zur Energie-, Dekarbonisierung oder umweltrelevanten Fragen könnten eine zukünftige Dienstleistung (welche in Teilen bei Stadtwerken schon vorhanden ist) darstellen.

## **2.5 Zusammenfassung der Stadtwerkeaktivitäten**

Es zeigt sich, dass die Aktivitäten von Stadtwerken sich mit der Zeit und den Herausforderungen verändern und wachsen. Auch die Besonderheit von Stadtwerken hinsichtlich der kommunalen Verbundenheit bleibt angesichts der Herausforderungen, insb. der Energiewende, bestehen. Die aktuellen äußeren Veränderungen bringen viele Probleme mit sich und führen zu vielen nötigen Investitionen, wodurch Stadtwerke besonders vor wirtschaftlichen Herausforderungen stehen [8]. Auch die Fülle an Herausforderungen und Krisen, sowie deren Wechselwirkungen untereinander und die damit einhergehende zunehmende Komplexität führt zwangsweise dazu, dass Stadtwerke sich intensiv mit ihren Aktivitäten auseinandersetzen müssen und eine Strategie mit klaren Zielen, wie beispielsweise der Dekarbonisierung oder Digitalisierung, aufgestellt und verfolgt werden sollte. [6]

## 3 Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden die Rahmenbedingungen aufgezeigt, innerhalb derer Stadtwerke agieren. Dabei handelt es sich um äußerst dynamische Rahmenbedingungen, die stark von der aktuellen Gesetzgebung und Politik beeinflusst werden. Es werden zum einen die rechtlichen Rahmenbedingungen beleuchtet, die während der Projektlaufzeit hohe Relevanz für Stadtwerke und Energieversorger hatten. Im Sinne von wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden relevante Förderprogramme vorgestellt. Außerdem werden kommunale Transformationspläne in Form von Klimaschutzkonzepten und kommunaler Wärmeplanung beschrieben.

### 3.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Stadtwerke haben unterschiedliche Aufgaben, wie zum Beispiel die Grundversorgung mit Strom und Gas. Die Rechte und Pflichten von Strom- und Gaslieferanten werden im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) aufgezählt. Auch die Entwicklung des Ausbaus von dezentralen Stromerzeugungsmöglichkeiten betrifft die Stadtwerke. In diesem Zusammenhang müssen unterschiedliche rechtliche Rahmenbedingungen beachtet werden. Die hier relevanten Gesetzestexte werden im Folgenden erläutert.

#### 3.1.1 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) wurde im Juli 2021 novelliert. Zweck des Gesetzes ist eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente, umweltverträgliche und treibhausgasneutrale leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität, Gas und Wasserstoff, die zunehmend auf erneuerbaren Energien beruht. Es enthält u.a. Regelungen für Strom- und Gaslieferverträge für Haushalte und Gewerbekunden. Mit der Novellierung 2021 wurden u.a. neue Regelungen zu Wasserstoffnetzen und zu dynamischen Stromverträgen beschlossen.

Für Energielieferanten (z.B. Stadtwerke) kann der vierte Teil „Energieförderung“ interessant sein. In §36 EnWG ist die Grundversorgungspflicht festgelegt und §40 EnWG bietet wichtige Hinweise für die Gestaltung eines Liefervertrages und der Rechnung, die der Letztverbraucher zahlen muss. Für Quartierskonzepte ist §42a EnWG relevant, da dieser die Rahmenbedingungen für die Belieferung von Strom im Mieterstrommodell beschreibt. Regelungen zur Wegennutzung finden sich im 5. Teil „Planfeststellung und Wegennutzung“ des Gesetzes wieder. In §46 EnWG wird das Recht zur Nutzung von Wegen für die Verlegung und den Betrieb von Leitungen für die Versorgung der Letztverbraucher festgelegt. Umgangssprachlich wird ein solcher Vertrag zwischen den Gemeinden und den Lieferanten auch als Konzessionsvertrag bezeichnet.

Weitere Änderungen kamen mit dem Osterpaket 2022 dazu. Diese verpflichten Energielieferanten, die ihre Tätigkeit beenden, dies mindestens drei Monate vorher bei der BNetzA anzuzeigen, geben der BNetzA zusätzliche Aufsichtsbefugnisse gegenüber Energielieferanten und grenzen die Ersatzversorgung und die Grundversorgung neu voneinander ab.

#### 3.1.2 Verordnungen im Rahmen des EnWG: ResKV, SysStabV, AbLaV

Verschiedene Verordnungen konkretisieren den durch das EnWG aufgespannten gesetzlichen Rahmen. Im Folgenden werden drei relevante Verordnungen vorgestellt.

### **AbLaV: Verordnung zu abschaltbaren Lasten**

Die Verordnung zu abschaltbaren Lasten (AbLaV) regelt die Pflichten der Betreiber von Übertragungsnetzen zur Durchführung von Ausschreibungen nach §13 Abs. 6 S. 1 des EnWG und zur Annahme eingegangener Angebote zum Erwerb von Abschaltleistung aus abschaltbaren Lasten (§1 AbLaV). §13 EnWG bestimmt, unter welchen Umständen und mit welchen Mitteln Übertragungsnetzbetreiber Engpässe in ihrer jeweiligen Regelzone beseitigen können.

### **SysStabV: Systemstabilitätsverordnung**

Die Systemstabilitätsverordnung (SysStabV) soll eine Gefährdung der Systemstabilität des Elektrizitätsversorgungsnetzes durch Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien, Grubengas und aus Kraft-Wärme-Kopplung bei Über- und Unterfrequenzen vermeiden (§1 SysStabV). Eine Netzstabilität wird angenommen, wenn die Frequenz 50 Hertz entspricht. Leichte Schwankungen oder kleinere Abweichungen führen nicht zu einer Gefährdung der Versorgungssicherheit, größere hingegen schon. Die Verordnung verpflichtet Betreiber von Elektrizitätsverteilernetzen dazu, eine Nachrüstung der Frequenzeinstellungen durchzuführen. Die Netzbetreiber sind berechtigt, 50 Prozent der ihnen durch die Nachrüstung entstehenden jährlichen Kosten über die Netzentgelte gelten zu machen.

### **NetzResV: Netzreserveverordnung**

Die Netzreserveverordnung (NetzResV) regelt das Verfahren der Beschaffung der Netzreserve, den Einsatz von Anlagen in der Netzreserve nach §13d Abs.1 EnWG sowie Anforderungen an Anlagen in der Netzreserve auf Grundlage von §13i Abs. 3 Nr. 2 EnWG. Die NetzResV präzisiert zudem die Bestimmungen zum Umgang mit geplanten Stilllegungen von Erzeugungsanlagen oder Anlagen zur Speicherung von elektrischer Energie auf Grundlage von §13a Abs. 1, der §§13b-13d, sowie 13i Abs. 3 Nr. 1 EnWG.

Nach §13a EnWG müssen Betreibende einer Erzeugungsanlage oder eines Batteriespeichers mit einer Nennleistung ab 100 kW, die durch den Übertragungsnetzbetreiber fernregulierbar sind, Anweisungen des Übertragungsnetzbetreibers zur Anpassung der Einspeisung dulden. Die Maßnahmen solcher Anpassung, wie Stilllegung und auch die Entschädigung für solche Anpassungen, werden in den §§13b-d EnWG beschrieben.

### **3.1.3 Erneuerbare-Energiegesetz (EEG)**

Im Jahr 2000 wurde vom deutschen Gesetzgeber das „Gesetz zur Förderung der erneuerbaren Energien (EEG)“ verabschiedet, das durch die Ermöglichung einer nachhaltigen Entwicklung der Stromversorgung unter anderem zum Ziel hat, die Neu- und Weiterentwicklung von Stromerzeugungstechnologien aus erneuerbaren Energien wie der Photovoltaik zu fördern. Dadurch sollen auch die volkswirtschaftlichen Kosten durch Energieimport zu gesenkt und gleichzeitig der Klimaschutz vorangetrieben werden. Ziel dieses Gesetzes ist es, den Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch auf 80 % im Jahr 2030 zu steigern (§1 Abs. 2 EEG). 2021 wurde das EEG zweimal novelliert. Die größte und auch letzte Novellierung trat am 01.01.2023 in Kraft.

Der Zubau von Erneuerbaren Energien wird durch das EEG auf unterschiedlichen Arten gefördert. Zum Beispiel können Anlagenbetreibende einer EE-Anlage einen Zuschuss für die Einspeisung des erzeugten EE-Stroms in das Netz der allgemeinen Versorgung erhalten (Einspeisevergütung). Alternativ ist es für EE-Anlagenbetreibende möglich, den Strom nicht ins Stromnetz einzuspeisen und stattdessen an Mieter\*innen bzw. Nachbar\*innen direkt zu verkaufen (Mieterstrommodell). Diese Alternative wird durch einen Mieterstromzuschlag

unterstützt. Der Mieterstromzuschlag liegt immer unterhalb der Einspeisevergütung, da EE-Anlagenbetreibende im Mieterstrommodell eine zusätzliche Vergütung des verkauften Stroms von ihren Mieter\*innen bzw. Nachbar\*innen erhalten. Sowohl die Einspeisevergütung als auch der Mieterstromzuschlag sinken in den vergangenen Jahren. Durch die neuste Novellierung sind die Einspeisevergütungen zum Jahr 2023 wieder gestiegen und werden ab dem 01.02.2024 halbjährlich um 1,0 % gekürzt. Die Höhe der Einspeisevergütung bzw. des Mieterstromzuschlages sind abhängig von der installierten Leistung der Anlagen. Ab Inbetriebnahme der Anlage wird die entsprechende EEG-Förderung für 20 Jahre gezahlt. Der Mieterstromzuschlag unterliegt unterschiedlichen Voraussetzungen. Zum Beispiel darf bei der Lieferung des erzeugten Stroms nicht das allgemeine Versorgungsnetz genutzt werden. Die 100 Kilowatt-Grenze für den Zuschlag ist inzwischen entfallen.

Eine dritte Möglichkeit, eine Förderung für EE-Strom zu erhalten, ist die Marktprämie. Hier vermarktet der EE-Anlagenbetreibende seinen selbsterzeugten Strom direkt an der Börse. Die Höhe der Förderung ist die Differenz zwischen dem anzulegenden Wert und dem Marktwert.

Die EEG-Umlage wurde im Juli 2022 zunächst auf Null gesetzt und zum Jahr 2023 dann komplett abgeschafft. Seitdem werden die drei Förderungsmöglichkeiten vom Bund durch sogenannte „Energie- und Klimafonds“ (EKF) finanziert.

### 3.1.4 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)

Nach §1 Abs. 1 dient das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) der Unterstützung der Transformation zu einer nachhaltigen und treibhausgasneutralen Energieversorgung in Deutschland. Neben der KWK-Umlage regelt dieses Gesetz z.B. die Abnahme von Strom aus KWK-Anlagen, Zuschlagszahlungen durch die Netzbetreiber und die Vergütung für KWK-Strom aus neuen, modernisierten bzw. nachgerüsteten KWK-Anlagen. Im KWKG werden auch die Zuschlagzahlungen durch die Übertragungsnetzbetreiber für den Neu- und Ausbau von Wärme- und Kältenetzen sowie für den Neubau von Wärme- und Kältespeichern geregelt (§1 Abs. 2 KWKG).

Im KWKG wird geregelt, dass KWK-Anlagen in Kundenanlagen verwendet werden dürfen und dass KWK-Anlagen Strom aus innovativen KWK-Systemen in einem geschlossenen Verteilernetz einspeisen können (§33b Abs.3 KWKG). Die Zuschusshöhe für KWK-Strom ist abhängig vom KWK-Leistungsanteil. Es wird zudem unterschieden, ob der Strom ins Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist wird (s. Tabelle 3-1) oder keine Einspeisung in das allgemeine Versorgungsnetz vorliegt (s. Tabelle 3-2).

**Tabelle 3-1: Zuschusshöhe für KWK-Strom bei Einspeisung des Stroms ins Netz**

<b>KWK-Leistungsanteil</b>	<b>Zuschlagshöhe</b>	<b>Anmerkung</b>
0 kW – 50 kW	8 ct/kWh	Für bestehende Anlagen
0 kW – 50 kW	16 ct/kWh	Für neue Anlagen
50 kW – 100 kW	6 ct/kWh	
100 kW – 250 kW	5 ct/kWh	
250 kW – 2 MW	4,4 ct/kWh	
	3,4 ct/kWh	Für neue KWK-Anlagen
Mehr als 2 MW	3,4 ct/kWh	Für modernisierte KWK-Anlagen
	3,1 ct/kWh	für nachgerüstete KWK-Anlagen

**Tabelle 3-2: Zuschusshöhe für KWK-Strom ohne Einspeisung des Stroms ins Netz**

<b>Art bzw. Verwendung der KWK-Anlage</b>	<b>Bei einem KWK-Leistungsanteil von:</b>	<b>Zuschlagshöhe</b>
Nach §6 Abs. 3 Nr.1 (Elektrische Leistung bis max. 100 kW)	0 kW-50 kW	4 ct/kWh
	50 kW-100 kW	3 ct/kWh
Nach §6 Abs. 3 Nr.2 (Anlagen, die KWK-Strom an Letztverbraucher in einer Kundenanlage oder in einem geschlossenen Verteilernetz liefern, soweit für diesen KWK-Strom die volle EEG-Umlage entrichtet wird)	0 kW-50 kW	4 ct/kWh
	50 kW-100 kW	3 ct/kWh
	100 kW-250 kW	2 ct/kWh
	250 kW-2 MW	1,5 ct/kWh
Nach §6 Abs. 3 Nr.3 (Wenn die Anlage von stromkostenintensiven Unternehmen genutzt wird)	Mehr als 2MW	1 ct/kWh
	0 kW-50 kW	5,41 ct/kWh
	50 kW-250 kW	4 ct/kWh
Bei neuen KWK-Anlagen (ohne Einspeisung ins Netz)	250 kW-2 MW	2,4 ct/kWh
	Mehr als 2 MW	1,8 ct/kWh
	0kW-50 kW	8 ct/kWh

Nach §7a KWKG können Anlagenbetreibende einen Bonus für innovative erneuerbare Wärme erhalten. Der Zuschlag für KWK-Strom erhöht sich ab dem 1. Januar 2020 pro Kalenderjahr für KWK-Anlagen in innovativen KWK-Systemen mit einer elektrischen Leistung von mehr als 10 MW abhängig von dem Anteil innovativer erneuerbarer Wärme an der Referenzwärme. Zum Beispiel beträgt der Zuschlag bei mindestens 5 % innovativer erneuerbarer Wärme an der Referenzwärme 0,4 ct/kWh. Bei mind. 50 % innovativer erneuerbarer Wärme an der Referenzwärme beträgt der Zuschlag 7 ct/kWh.

Das KWKG wurde zuletzt im Dezember 2023 novelliert. Aufgrund des angestrebten Kohleausstiegsgesetz gibt es für KWK-Anlagenbetreibende, dessen Anlagen auf Basis von Stein- oder Braunkohle betrieben werden, eine zusätzliche Ersatzzahlung (§7c KWKG). Die Höhe dieses Bonus richtet sich nach dem Datum, an dem die Anlage in Dauerbetrieb genommen wurde. Für eine solche Anlage, die nach dem 31.12.2029 in Dauerbetrieb aufgenommen wurde, wird dieser Bonus nicht mehr ausgezahlt.

### **3.1.5 Gebäudeeffizienzgesetz (GEG)**

Ziel und Zweck des Gebäudeeffizienzgesetzes (GEG) ist es, den sparsamen Einsatz von Energie in Gebäuden und die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit zu fördern. Das GEG trat am 01.11.2020 in Kraft und bündelt die Regelungen aus der EnEV, dem EEWärmeG und dem EnEG, welche mit in Krafttreten des GEG entfielen. Damit setzte der deutsche Gesetzgeber die EU-Gebäuderichtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“, welche auf Grund der Einführung des EU-Pakets „Saubere Energie für alle Europäer“ (2019) novelliert wurde, um. Das GEG regelt u.a., dass Neubauten nach § 10 Abs. 1 u. 2 GEG dem Grundsatz der Niedrigstenergiegebäude folgen sollen. Ein Niedrigstenergiegebäude wird im GEG als Gebäude mit einer sehr guten Gesamtenergieeffizienz und einem sehr niedrigen Energiebedarf, welcher (soweit es möglich ist) überwiegend aus erneuerbaren Quellen gedeckt wird, definiert (§3 Abs. 1 Nr. 25 GEG).

In den §§15ff. GEG sind Rahmenbedingungen zum jährlichen primären Energiebedarf und baulicher Wärmeschutz bei Neubauten geregelt.

Erneuerbare Energien im Sinne dieses Gesetzes sind nach §3 Abs. 2 GEG:

- Geothermie,
- Umweltwärme,
- die technisch im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude stehenden Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie oder durch solarthermische Anlagen zur Wärme- oder Kälteerzeugung nutzbar gemachte Energie,
- die technisch durch gebäudeintegrierte Windkraftanlagen zur Wärme- oder Kälteerzeugung nutzbar gemachte Energie,
- die aus fester, flüssiger oder gasförmiger Biomasse erzeugte Wärme; die Abgrenzung erfolgt nach dem Aggregatzustand zum Zeitpunkt des Eintritts der Biomasse in den Wärmeerzeuger; oder
- Kälte aus erneuerbaren Energien.

Das GEG wurde zuletzt am 08.09.2023 novelliert. Durch diese Novellierung gibt es eine Verpflichtung, dass neue Heizungsanlagen nur noch eingebaut werden dürfen, wenn sie mindestens 65 % der bereitgestellten Wärme mit erneuerbaren Energien produzieren. Für Bestandgebäude gibt es zum einen pragmatische Übergangslösungen und mehrjährige Übergangsfristen, bis eine zu 65 % klimaneutrale Heizung eingebaut werden muss, andererseits gibt es eine Förderung für diejenigen, die sofort umsteigen. Des Weiteren müssen Kommunen sich bis spätestens 2028 (in Großstädten bis 2026) festlegen, wo in den nächsten Jahren Wärmenetze oder auch klimaneutrale Gasnetze ausgebaut werden. Dies wird durch das Wärmeplanungsgesetz (WPG), welches am 1. Januar 2024 zusammen mit dem neuen GEG in Kraft tritt, mit bundeseinheitlichen Vorgaben befördert.

### **3.1.6 Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG)**

Das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) wurde im Februar 2021 im deutschen Bundestag verabschiedet und richtet sich ebenso wie das GEG nach den Vorgaben der EU-Gebäuderichtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“. Das GEIG hat den Zweck, den Ausbau von Leitungs- und Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität im Gebäudebereich zu beschleunigen. Zum Beispiel gilt nach §6 GEIG, dass in allen Neu-Wohnungsgebäuden, welche über mehr als fünf an dem Gebäude angrenzenden Stellplätze verfügen, jeder dieser Stellplätze mit einer Leitungsinfrastruktur für die Elektromobilität ausgestattet sein muss. Für neue Nicht-Wohngebäude (NWG) gilt nach §7 GEIG, dass jeder dritte Stellplatz mit einer Leitungsinfrastruktur für die Elektromobilität ausgestattet werden soll, wenn das NWG mehr als 6 Stellplätze anbietet. Unter anderem sieht dieses Gesetz auch Regelungen für das Quartier vor. §12 Abs. 1 GEIG regelt die Lade- und Leitungsinfrastruktur im Quartier. Hier ist vorgegeben, dass Bauherr\*innen und Eigentümer\*innen, deren Gebäude im räumlichen Zusammenhang stehen, Vereinbarungen über eine gemeinsame Ausstattung von Stellplätzen mit Leitungsinfrastruktur bzw. Ladepunkten treffen können.

### **3.1.7 Elektromobilitätsgesetz (EmoG)**

Mit dem Elektromobilitätsgesetz (EmoG) erhalten Elektrofahrzeuge eine bevorrechtigte Teilnahme am Straßenverkehr, wenn sie zur Verringerung insbesondere klima- und umweltschädlicher Auswirkungen des motorisierten Individualverkehrs beitragen. Beachtet werden muss, dass durch solche Sonderregelungen für Elektrofahrzeuge die „Sicherheit und Leichtigkeit“ des Straßenverkehrs nicht beeinträchtigt wird (§§1, 3 EmoG).

### **3.1.8 EDL-G: Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen**

Das Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen (EDL-G) soll die Effizienz der Energienutzung durch Endkunden in Deutschland mit Energiedienstleistungen und anderen Energieeffizienzmaßnahmen kostenwirksam steigern. Dazu legt die Bundesregierung Energieeinsparziele fest, die als Energieeinsparziele etappenweise genannt werden. Nach §3 Abs.2 EDL-G sollen solche Maßnahmen wirtschaftlich sein. Das heißt, dass innerhalb ihrer Nutzungsdauer die erforderlichen Aufwendungen durch Einsparungen der effizienten Anlage ausgeglichen werden müssen.

## **3.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen**

Förderprogramme können die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen in entscheidendem Maße beeinflussen. Als relevante Förderprogramme werden hier exemplarisch die Förderprogramme der KfW sowie die Bundesförderungen für effiziente Gebäude und Wärmenetze genannt. Daneben existieren viele weitere Förderprogramme für spezifische Technologien oder auf regionaler Ebene.

### **3.2.1 Förderprogramme KfW**

Die KfW ist eine der Förderbank, die sich im Auftrag des Bundes und der Länder dafür einsetzt, die wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Lebensbedingungen weltweit zu verbessern. Es gibt verschiedene Programme, die durch die KfW mit einem Kredit oder Zuschuss gefördert werden. Darunter fallen zum Beispiel energetische Sanierungsvorhaben für Wohn- und auch Nichtwohngebäude. Je nach Förderprogramm sind zum Beispiel natürliche und juristische Personen, sowie Kommunen, förderfähig.

### **3.2.2 BEG und BEW Förderung**

#### **BEG: Bundesförderung für effiziente Gebäude**

Die Bundesförderung für Gebäude startete im Juli 2021 und bietet einheitliche Fördermöglichkeiten für Wohn- und Nichtwohngebäude. Durch das BEG wurden die Förderprogramme „CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm“ (Programme „Energieeffizient Bauen und Sanieren“ - EBS), „Programm zur Heizungsoptimierung“ (HZO), „Anreizprogramm Energieeffizienz“ (APEE), „Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ (MAP) ersetzt. Die BEG wird in die Bereiche „Energetische Einzelmaßnahmen“, „Neubau von Effizienzhaus und Effizienzgebäude Maßnahmen“, sowie „Maßnahmen für die Sanierung von Effizienzhaus und Effizienzgebäude“ unterteilt.

Die Förderung kann zum Beispiel über einen Zuschuss oder einen Kredit ausgezahlt werden. Im Falle eines Kredits muss der Antrag vor Baubeginn erfolgen. Ansonsten muss der Förderantrag vor Abschluss von Liefer-, Leistungs- oder Kaufverträgen gestellt werden. Die

jeweiligen Fördersätze der Einzelmaßnahmen liegen zwischen 20 und 40 %. Bei einem Neubau oder einer Sanierung eines Wohn- bzw. Nichtwohngebäudes richtet sich die Förderhöhe an die zu erreichende Effizienzklasse des Gebäudes. Je effizienter das Gebäude errichtet wird oder nach einer energetischen Sanierung ist, desto höher fällt die Förderung aus.

### **BEW: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze**

Die BEW trat am 15. September 2022 in Kraft und schafft Anreize für Wärmenetzbetreiber, in den Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien zu investieren und bestehende Netze zu dekarbonisieren. Gefördert werden dabei die Erstellung von Transformationsplänen für bestehende Netze und Machbarkeitsstudien für neue Netze (Modul 1), Investitionen in Erzeugungsanlagen oder Infrastruktur im Rahmen einer systematischen Förderung (Modul 2) oder für Einzelmaßnahmen (Modul 3) und Betriebskosten zum Ausgleich der Wirtschaftlichkeitslücke von Solarthermieanlagen und Wärmepumpen, deren Investitionen über Modul 2 oder 3 gefördert wurden (Modul 4).

Förderberechtigt sind Unternehmen, Kommunen, kommunale Eigenbetriebe und Unternehmen, kommunale Zweckverbände, eingetragene Vereine, eingetragene Genossenschaften und Kontraktoren. Die Förderung für Modul 1 liegt bei bis zu 50 % der förderfähigen Kosten mit einer maximalen Fördersumme von 2 Mio. € pro Antrag. Für die Module 2 und 3 kann die Förderung maximal 40 % der förderfähigen Ausgabe für die Investitionen in Erzeugungsanlagen und Infrastruktur betragen. Die maximale Fördersumme liegt bei 100 Mio. € in Summe pro Antrag nach Modul 2 oder Modul 3. Die Förderung für das Modul 4 wird auf die Gesamtförderung des zu fördernden Projekts angerechnet und ist begrenzt auf die Wirtschaftlichkeitslücke des Projekts.

## **3.3 Klimaschutzkonzepte**

Viele Kommunen haben Klimaschutzkonzepte erstellt, in denen sie Ziele und Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in ihrem Stadtgebiet definieren und die somit die Grundlage für Aktivitäten des kommunalen Klimaschutzes bilden.

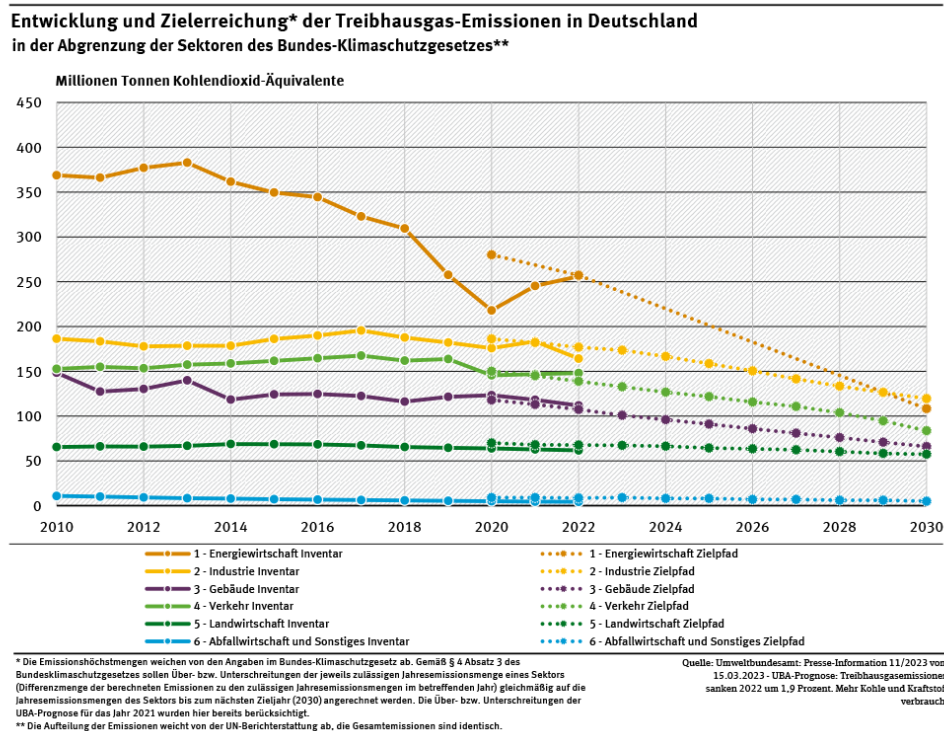
### **3.3.1 Herkunft und Verantwortung von Klimaschutzkonzepten**

Das Pariser Klimaabkommen und dessen Übereinkommen verpflichtet die teilnehmenden Staaten, die globale Klimaerwärmung und dessen Folgen einzudämmen. Ziel ist es, den Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur langfristig unter 1,5°C zu begrenzen.

Der national festgelegte Beitrag (National Determined Contribution, NDC) wird vom europäischen Rat festgelegt und wird in Deutschland vom Bund durch das Klimaschutzprogramm geregelt. Im Rahmen dieses Klimaschutzprogrammes wurde im Dezember 2019 ein verbindliches Ziel der Treibhausgasminderung für die Jahre 2020-2050 in Form des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) verabschiedet [11]. Dieses sieht eine Reduzierung der Treibhausgase um mindestens 65 % bis zum Jahr 2030 und mindestens 88 % bis zum Jahr 2040 vor. Bis zum Jahr 2045 sollen die Treibhausgasemissionen so weit gemindert werden, dass Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird. Nach dem Jahr 2050 sollen dann negative Treibhausgasemissionen erreicht werden.

In Abbildung 3-1 sind die Kohlendioxid-Äquivalente der jeweiligen Sektoren gegenüber den Jahren aufgetragen. Es ist schnell ersichtlich, dass der Sektor der Energiewirtschaft bereits große Einsparungen erzielt hat, aber bis zum Jahr 2030 ungefähr weitere 50 % der jetzigen

Emissionen mindern muss. Auch ist ersichtlich, dass die Sektoren der Gebäude, Industrie und des Verkehrs Potenziale bilden, die es einzuhalten gilt, um den NDC nicht zu gefährden.



**Abbildung 3-1: Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland [12]**

Ein Instrument zur Unterstützung der Zielerreichung im Rahmen des KSG, des Klimaschutzplan 2050 und auch der NDC sind Klimaschutzkonzepte. Diese sollen das nationale Ziel auf regionaler Ebene unterstützen und bieten Kommunen die Möglichkeit, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

### 3.3.2 Definition und Aufbau von Klimaschutzkonzepten

Die Nationale Klimaschutzinitiative (NKI) des Bundesumweltministeriums hat in den Jahren 2008 bis Ende 2022 den Klimaschutz in mehr als 4830 Kommunen mit insgesamt 1,13 Mrd. € gefördert [13]. Mit Hilfe der Kommunalrichtlinie wurden so rund 24.000 Projekte gefördert. Diese kommunale Richtlinie richtet sich an Gemeinden und Landkreise, sowie Städte und kommunale Unternehmen und Einrichtungen.

Ein wichtiger Bestandteil dieser Förderungen sind Klimaschutzkonzepte. Im Merkblatt zur Erstellung von Klimaschutzkonzepten des Bundesumweltministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) heißt es: „Ein Klimaschutzkonzept dient als strategische Entscheidungsgrundlage und Planungshilfe für zukünftige Klimaschutzaktivitäten und eventuelle Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Es soll den Klimaschutz als Querschnittsaufgabe nachhaltig in der Kommune verankern. Hierzu sind die Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten in Politik und Verwaltung festzulegen und die relevanten Akteursgruppen zu ermitteln und einzubinden“ [14].

Durch diese Konzepte soll der Klimaschutz nachhaltig in Gemeinden integriert werden. Dabei ist ein Austausch aller Beteiligten essenziell, um ein größtmögliches Potenzial an technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten zur Emissionsminderung auszuschöpfen. Initiatoren eines

Klimaschutzkonzeptes sind die Kommunen und diese erweitern dadurch ihr klassisches Aufgabenfeld.

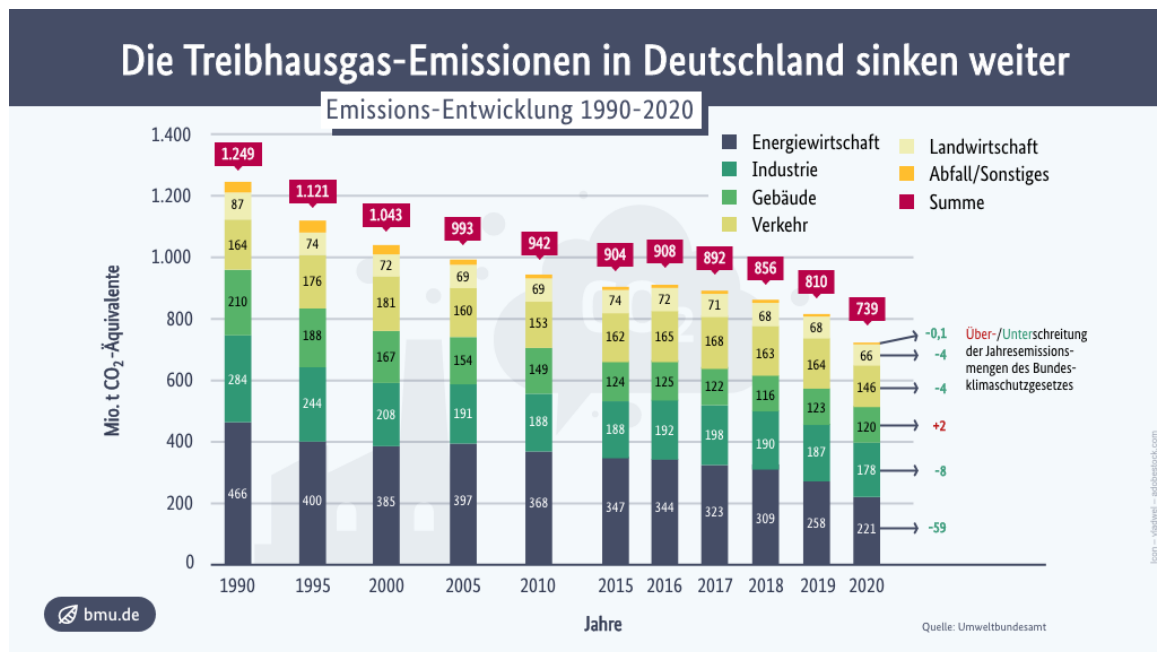
Um sektorenübergreifende Ziele definieren zu können, ist eine qualitative Analyse der Kommunen erforderlich und neben der Struktur, den Kompetenzen und bereits bestehenden Aktivitäten einer Kommune ist eine Akteurs- und Netzwerkanalyse ausschlaggebend [15]. Somit wird die Einflussnahme auf das Klimaschutzkonzept identifiziert und mögliche Handlungsfelder bestimmt, die nach der quantitativen Analyse der THG-Bilanz definiert werden.

Eine Methode zur Bilanzierung von THG-Emissionen ist die Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO) des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) [16]. Auch wenn es kein aktueller Standard zur Bilanzierung ist, so empfiehlt sich dieses Verfahren als standardisierte Methode der Datenverarbeitung mit einer endenergiebasierten Territorialbilanz für Kommunen und dient als Grundlage zur Strategieentwicklung der Klimaschutzkonzepte in Form von Potenzialanalysen. Verschiedene Potenziale können in Szenarien betrachtet und teilweise kombiniert werden. Neben der Bewertung der technischen Möglichkeiten muss auch die wirtschaftliche Komponente betrachtet und ins Verhältnis des einzusparenden Treibhausgases gesetzt werden. Sind verschiedene Szenarien betrachtet und definiert worden, wird ein Maßnahmenkatalog erstellt, welcher die Handlungsfelder der jeweiligen Akteur\*innen beinhaltet [15]

### 3.3.3 Handlungsfelder der Klimaschutzkonzepte

Die Rückgänge der Emissionen, die Abbildung 3-1 zu entnehmen sind, veranschaulichen zwar das Potenzial der Einsparungen der Energiewirtschaft, jedoch sind auch die Sektoren der Gebäude und des Verkehrs entscheidend.

In Abbildung 3-2 sind die THG-Minderungen der jeweiligen Sektoren über die Jahre von 1990 – 2020 aufgezeigt. Die Klimaziele 2020 wurden zwar erreicht, allerdings hat der Gebäudesektor die zulässige Jahresemissionsmenge des Bundesklimaschutzgesetzes verfehlt.



### Abbildung 3-2: Treibhausgas-Emissionen der BRD 1990-2020 [11]

Die Emissionen im Jahr 2020 sind im Vergleich zu 1990 um 40,8 % gesunken, jedoch zeigen die Daten des BMU auf, dass rund einem Drittel aller Minderungen die Folgen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie zu Grunde liegen [11].

Um die Rückgänge der Jahresemissionsmengen in den jeweiligen Sektoren weiter voranzutreiben, gibt es verschiedenste Handlungsmöglichkeiten, die aus Handlungsfeldern innerhalb der betreffenden Sektor(en) bestehen [15]. Anhand der Einteilung in Handlungsfelder lassen sich die zuständigen Akteur\*innen gliedern, um Kompetenzen und Sektoren zu bündeln. Nach Diekelmann [15] sind diese in vier Felder eingeteilt. Das Feld der *kommunalen Verwaltung* beinhaltet die politische Organisation sowie Maßnahmen und die Vorbildfunktion innerhalb der Kommune. Das Handlungsfeld *Energie und Gebäude* vereint alle relevanten Bereiche des Energieverbrauchs der kommunalen Liegenschaften, privaten Haushalte, Gewerbe und Industrie, (regenerative) Energieversorgung und weitere. Bereits bei diesen beiden Handlungsfeldern sind viele Schnittstellen zu erkennen und sie bieten ein breites Feld an Handlungsoptionen. Auch eine Kombination mit dem dritten Handlungsfeld *Mobilität und Transport* birgt weitere Schnittstellen und die Bündelung verschiedener Expertise.

Soll beispielsweise eine Straßenbeleuchtung effizienter und nachhaltiger gestaltet werden, wäre die Kommune verantwortlich, mit den jeweils zuständigen Ämtern diese Maßnahme auf politischer Ebene zu beschließen. Dies kann bereits das Energieversorgungsunternehmen mit einbeschließen, spätestens jedoch bei der Umsetzung müssen diese und weitere Akteur\*innen aktiviert werden, um beispielsweise eine intelligente Straßenbeleuchtung zu planen und mit Hilfe von kompetenten Handlungsoptionen umzusetzen.

Weitere werden als viertes und fünftes Handlungsfeld im Leitfaden für Klimaschutzkonzepte aufgeführt. Das vierte beinhaltet die Abfallwirtschaft und Abwasserwirtschaft und das fünfte beinhaltet die Nachhaltigkeit und Ernährung

#### 3.3.4 Handlungsoptionen Stadtwerke

Um Handlungsoptionen aus diesen Maßnahmen ableiten zu können, bedarf es einer Bewertung der Wirtschaftlichkeit durch die betreffenden Akteur\*innen sowie des Einsparungspotenzials in puncto Emissionen, Energie und Finanzen. Die Stadtwerke selbst besitzen je nach Aufstellung/Struktur viele Handlungsoptionen in den verschiedenen Feldern. In bereits veröffentlichten Maßnahmenkatalogen und dessen Handlungsoptionen ist stets neben den Projektbeteiligten und dem Inhalt der Maßnahme auch eine Auskunft über die eingesparten Emissionen, Kosten/Nutzen-Effekt und die Fristigkeit der jeweiligen Maßnahme aufgeführt.

Innerhalb des Verkehrs ist der motorisierte Individualverkehr (MIV) häufig ein Verursacher der Hauptemissionen. Diese können durch Tempolimits, Umweltpuren oder aber die Erhöhung der Attraktivität des öffentlichen Nahverkehrs gemindert werden. Sind Stadtwerke Betreiber des öffentlichen Personennahverkehrs, wie beispielsweise die Stadtwerke Neuss GmbH, kann eine Maßnahme aus diversen Handlungsoptionen in den Feldern „Energie und Gebäude“, „Mobilität und Transport“ und „kommunale Verwaltung“ erschlossen werden. Die Umrüstung auf klimaschonende Busse für den ÖPNV wäre eine Option, um eine Dekarbonisierung im Verkehrssektor zu erreichen. Neben dem Austausch der Flotte muss in einer weiteren Handlungsoption ein Versorgungskonzept erarbeitet werden, um den Betrieb aufrecht zu erhalten. Die Stadtwerke Wuppertal untersuchen in dem Pilotprojekt „H2 W“ den Einsatz von Wasserstofftechnologien im öffentlichen Personennahverkehr [17]. Als

Ergänzung zu diesen Handlungsoptionen ist eine Schulung des Personals für treibstoffschonendes Fahren denkbar. So kann die Wirtschaftlichkeit als auch Umweltverträglichkeit erhöht werden und durch verschiedene Anreize wie Prämien gesteigert und Kosten gesenkt werden [18]. Durch die Überwachung des Treibstoffverbrauchs und Schulungen des Fahrpersonals wird nicht nur eine betriebswirtschaftlichere Fahrweise durch weniger Verschleiß und Abnutzung, sondern auch eine CO<sub>2</sub>-Minderung erreicht. Mit dieser Maßnahme können auch bereits unabhängig von der Umstellung der Busflotte auf erneuerbare Energien Einsparungen in den THG-Emissionen erreicht werden.

Besteht bereits ein Versorgungskonzept für die Elektromobilität, können Ladepunkte auch für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht und weitere Einnahmen generiert werden. Auf diese Weise lässt sich der interne gewerbliche Nutzen ohne längeren Aufwand für die Öffentlichkeit als Dienstleistung anbieten.

Neben dem Kerngeschäft der Energieversorgung der jeweiligen Kommune(n) rücken immer mehr Dienstleistungen in den Fokus bei Klimaschutzkonzepten. Die Senkung des Primärenergiebedarfs und daraus folgend die Reduzierung der THG-Emissionen hat einen direkten Einfluss auf alle Beteiligten einer Kommune. Dementsprechend sind die Handlungsoptionen der Stadtwerke in dem Handlungsfeld Energie und Gebäude sehr vielfältig und zahlreich. Von Beratungsangeboten für private Haushalte bis hin zu Gremien, die die Stadtplanung in puncto Nachhaltigkeit und Energieeffizienz unterstützen, gibt es diverse Bereiche und Möglichkeiten. Neben kurzfristigen Maßnahmen wie dem Aufbau einer Beratungsabteilung zur Steigerung der Energieeffizienz in privaten Haushalten bieten langfristige Optionen eine deutlich höhere Einsparung an THG-Emissionen. Die Installation von PV-Anlagen auf Bestands- und Neubauten bietet ein hohes Potenzial hinsichtlich der Reduktion der Treibhausgase und weisen sich als neu erschließbare Einnahmequellen aus [18]. Diese Handlungsoption bedarf einer hohen Investition, spart aber auch einen hohen Anteil an Emissionen ein und durch die Langfristigkeit werden zusätzliche planbare Einnahmequellen generiert. Je nach Umsetzung dieser Handlungsoption lassen sich diese Einnahmequellen durch Contracting oder beispielsweise Mieterstrommodelle erschließen.

Auch der Bereich der Wärmeversorgung ist im strukturellen Wandel und erfordert ein Handeln seitens der Stadtwerke. Vor allem saisonale Speicher bieten langfristig betrachtet für viele Kommunen eine effiziente Möglichkeit zur Speicherung von erneuerbaren Energien, die allerdings häufig noch nicht marktfähig sind. Mithilfe von städtischer Beteiligung können Pilotprojekte initiiert werden ([17], Maßnahme Nr. 5.6). Um den Stromverbrauch für die Kühlung von (Nicht-) Wohngebäuden zu reduzieren, kann zudem eine Analyse des bestehenden Kältemarktes essentiell sein, um klimafreundliche Kühlleistung in der Kommune zu verankern [17].

Klimaschutzkonzepte sind somit sehr vielfältig in deren Maßnahmen und bieten ein breites Spektrum an relevanten Akteur\*innen und Handlungsoptionen. Dadurch, dass Konzepte alle klimarelevanten Bereiche abdecken sollen, empfiehlt das BMUB bei Bedarf eine detaillierte Betrachtung eines Bereiches durch Teilkonzepte [14]. Wichtig ist, dass Klimaschutzkonzepte der Nachhaltigkeit und dem Erreichen der nationalen Klimaschutzziele dienlich sind und dabei die lokalen Begebenheiten und alle relevanten Akteur\*innen einbezogen werden. Für die Stadtwerke bedeutet das eine sehr hohe Anzahl an Handlungsoptionen, aus denen sich potenzielle neue Geschäftsfelder entwickeln lassen können. Durch den frühen und vor allem regelmäßigen Austausch der Beteiligten können bei einer transparenten Kooperation früh Chancen und Optimierungsmöglichkeiten identifiziert und Handlungsoptionen gestaltet werden.

## 3.4 Kommunale Wärmeplanung

Innerhalb der Energiewende ist das Thema der Wärmewende in den letzten Jahren immer mehr in den Fokus gerückt. Ein einschlägiges Ereignis war die Gaspreiskrise im Jahr 2022, die durch den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine ausgelöst wurde. Spätestens seit diesem Ereignis gab es einen klaren Aufschwung bezüglich dieses Themas. 80 % der Wärme werden aktuell durch fossile Energien erzeugt und Wärme entspricht mehr als 50 % des Energiebedarfs in Deutschland [19]. Somit gibt es in diesem Bereich einen sehr großen Hebel für die Dekarbonisierung.

Kommunen in Deutschland sind daher aufgefordert, einen Wärmeplan durchzuführen, dessen zentrale Ergebnisse im Anschluss in einen kontinuierlichen Planungsprozess überführt werden. Damit geht die kommunale Wärmeplanung über das Klimaschutzkonzept hinaus, auf dessen Vorarbeiten jedoch aufgebaut werden kann. Die kommunale Wärmeplanung ist damit eine zentrale Grundlage für die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im kommunalen Gebiet und darüber auch eine Schnittstelle zu den kommunalen Aktivitäten der Stadtwerke.

### 3.4.1 Wärmeplanungsgesetz

Am 15.12.2023 wurde das Wärmeplanungsgesetz vom Bundesrat beschlossen. Dieses ist eng verzahnt mit dem GEG (Kapitel 3.1.5) und beide Gesetze sind Anfang 2024 gemeinsam in Kraft getreten. Das Wärmeplanungsgesetz soll die entscheidende Unterstützung bieten, dass Wärmenetze bis 2045 klimaneutral werden [20]. In dem Gesetz ist geregelt, dass Kommunen ab 100.000 Einwohnern bis 30. Juni 2026 und kleinere bis 30. Juni 2028 eine Wärmeplanung vorlegen müssen [20]. Dabei ist klimaneutrale Fernwärme ein zentrales Instrument. Sowohl der Ausbau der Fernwärme als auch dessen Dekarbonisierung müssen dafür angegangen werden. Bis 2030 soll Fernwärme zur Hälfte klimaneutral sein. Um mit dem GEG übereinzustimmen, müssen neue Wärmenetze schon ab Anfang 2024 zu 65% klimaneutral sein [20].

Wie in Abbildung 3-3 (Stand Ende 2023) gezeigt, haben einige Bundesländer bereits Verpflichtungen zur kommunalen Wärmeplanung eingeführt. Die fünf Bundesländer Baden-Württemberg, Hamburg, Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein [21] haben sich dem Thema bereits gesetzlich verpflichtet. Vorreiter war dabei das Land Baden-Württemberg, wo die kommunale Wärmeplanung bereits seit 2020 für Städte und große Kreisstädte eingeführt wurde. Dort war die Erstellung eines Wärmeplans bereits bis zum Ende des Jahres 2023 abzuschließen, was im landesrechtlichen Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz geregelt wurde [22]. Die Wärmepläne auf landesrechtlicher Regelung sind vom bundesweiten Wärmeplanungsgesetz unberührt und gelten weiterhin.



Abbildung 3-3: Stand der Wärmeplanung in den deutschen Bundesländern (Darstellung aus [19] )

### 3.4.2 Aufbau einer kommunalen Wärmeplanung

Ein kommunaler Wärmeplan hat vier Bestandteile [22], die im Folgenden genauer erläutert werden.

1. Bestandsanalyse (§15 WPG): Zunächst werden die Wärmebedarfe und -verbräuche erhoben und die aktuellen Treibhausgasemissionen analysiert. Dazu werden auch Daten zum Gebäudebestand und der aktuellen Versorgungsstruktur erhoben.
2. Potenzialanalyse (§16 WPG): Im nächsten Schritt werden Einsparungspotenziale und Potenziale zur Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energien ermittelt.
3. Zielszenario (§17 WPG): Für das gesamte betroffene Gebiet wird das Szenario für die zukünftige Wärmeversorgung nach den im Gesetz genannten Zielen erstellt. Dabei wird das Gebiet in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete eingeteilt und die geplante Wärmeversorgungsart für das Zieljahr festgelegt.
4. Umsetzungsstrategie (§20 WPG): Im letzten Schritt wird der Transformationsplan zur Erreichung des Zielszenarios auf Basis der Bestands- und Potenzialanalyse entwickelt. Dabei werden Verantwortliche für die Umsetzungsmaßnahmen identifiziert.

Das Wärmeplanungsgesetz sieht außerdem vor, dass das betroffene Gebiet zunächst auf Teilgebiete untersucht werden soll, für welche eine netzbasierte Wärmeversorgung nicht geeignet ist (§14 WPG). Für diese Teilgebiete kann eine verkürzte Wärmeplanung durchgeführt werden.

### 3.4.3 Leitfäden und Best Practices

Da Baden-Württemberg als erstes Bundesland die kommunale Wärmeplanung verpflichtend eingeführt hat, wurden seitens der entsprechenden Ministerien und Agenturen bereits hilfreiche Materialien veröffentlicht. So gibt es vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg einen Handlungsleitfaden für die Erstellung einer Kommunalen Wärmeplanung nach dem in diesem Bundesland geltenden Gesetz [23]. Die

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg hat einen Technikkatalog veröffentlicht, der sämtliche techno-ökonomische Daten für Wärmetechnologien enthält und laufend aktualisiert wird [24].

Ein weiterer Leitfaden aus unabhängiger fachlicher Expertensicht beschreibt die Vorgehensweise einer typischen Wärmeplanung und ordnet die Wärmepläne in bestehende kommunale Strukturen und Transformationspläne ein [25]. Dabei bezieht sich dieser Leitfaden auf die im Jahr 2023 bestehenden Vorgaben aus den Bundesländern und ist angelehnt an die damals existierenden Pläne zur bundesweiten Gesetzgebung.

Auf der Webseite des Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende werden als Best Practice Beispiele die Stadt Rostock und der Landkreis Lörrach genannt. Erstere haben als eine der ersten Großstädte in Deutschland eine kommunale Wärmeplanung vorgelegt. Hierbei hat sich insbesondere bewährt, dass Akteur\*innen frühzeitig eingebunden wurden. Es sollte außerdem berücksichtigt werden, dass Förder- und Vergabeverfahren für den Wärmeplan Zeit in Anspruch nehmen. Bei dem zweiten Praxisbeispiel aus Lörrach handelt es sich um eine kooperative, gemeindeübergreifende Wärmeplanung. Hieraus wurde abgeleitet, dass die Anzahl an beteiligten Gemeinden beschränkt sein sollte, aber insbesondere kleinere Gemeinden von dem Zusammenschluss profitieren können, da sie sonst keine Wärmeplanung gemacht hätten.

## 4 Bewertungsmethoden für Energietechnologiekonzepte

Für die Entwicklung des Bewertungstools wurden verschiedene Methoden zur Bewertung von Energietechnologiekonzepten herangezogen. Hierfür kommen insbesondere die multi-kriterielle Entscheidungsanalyse als auch die Portfolioanalyse in Betracht. Einige spezielle Methoden innerhalb dieser beiden Methodenkategorien, welche für dieses Projekt genutzt wurden, werden im Folgenden vorgestellt.

### 4.1 Multikriterielle Entscheidungsanalyse

Stehen mehrere Alternativen zur Auswahl, die hinsichtlich verschiedener Kriterien bewertet werden sollen, kann auf Methoden der multikriteriellen Entscheidungsanalyse (engl. multi-criteria decision analysis, MCDA) zurückgegriffen werden. Hierzu muss zunächst das Entscheidungsproblem genau definiert und die Entscheidungsalternativen sowie die Kriterien bestimmt werden. Mithilfe unterschiedlicher Methoden kann eine Kennzahl für die jeweiligen Entscheidungsalternativen bestimmt werden, wonach die Alternativen gegeneinander bewertet werden können. Dieser Ansatz nennt sich *Full Aggregation Approach* [26]. Die beiden nachfolgend beschriebenen Methoden sind nach diesem Ansatz aufgebaut.

#### 4.1.1 GEWAnalytic Hierarchy Process

Der Analytic Hierarchy Process (AHP) wurde von Saaty eingeführt [27] und ist eine in der Literatur häufig verwendete MCDA-Methode. Die Methode kann sowohl zur Bestimmung der Kriteriengewichte als auch zur Bewertung der Alternativen benutzt werden. Sie beruht auf

Paarvergleichen. Im ersten Schritt der Kriteriengewichtung werden die Kriterien paarweise miteinander bezüglich der subjektiven Präferenz verglichen. Die Bewertung wird anhand der AHP-Skala (Tabelle 4-1) vollzogen. Es wird eine Paarvergleichsmatrix  $A$  gebildet, deren Einträge oberhalb der Hauptdiagonale den entsprechenden Werten der AHP-Skala entsprechen,  $A_{ij} = v_{AHP}$ . Für die Einträge unterhalb der Hauptdiagonale werden die Kehrrübrüche gebildet,  $A_{ji} = \frac{1}{v_{AHP}}$ . Der Eigenvektor des ersten Eigenwertes dieser Matrix entspricht den Kriteriengewichten.

**Tabelle 4-1: AHP-Skala nach Saaty [27]**

Absolute Skala	Definition
1	Gleich wichtig
3	Moderate Präferenz
5	Wesentliche Präferenz
7	Sehr starke Präferenz
9	Extreme Präferenz
2, 4, 6, 8	Zwischenwerte

Der Algorithmus zur Bewertung der Alternativen ist nach einem ähnlichen Prinzip aufgebaut wie die Bestimmung der Kriterien. Bei qualitativen Kriterien werden die Alternativen ebenfalls gemäß der AHP-Skala paarweise miteinander verglichen hinsichtlich des Kriteriums. Der erste Eigenvektor aus dieser Vergleichsmatrix entspricht dann der Bewertung nach dem Kriterium. Bei quantitativen Kriterien hingegen werden die Werte nach positiv geordneter Skala normiert. Ist das Kriterium optimal bei möglichst niedrigem Wert, werden zunächst die Kehrrübrüche gebildet, um auf die positiv geordnete Skala zu kommen. Die aus den Bewertungen nach den jeweiligen Kriterien resultierenden Vektoren werden schließlich mit den Kriteriengewichten verrechnet und für jede Entscheidungsalternative ergibt sich somit eine Bewertungsgröße. Je höher der Wert dieser Größe, desto besser wurde die Alternative nach dem Verfahren bewertet.

In einem Beispiel soll ein Unternehmen eine neue Anschaffung machen und vergleicht vier Produkte hinsichtlich ihrer Kosten, Verlässlichkeit und Produktivität. Zunächst wird der Paarvergleich aufgestellt zwischen den Kriterien. Dieser ist beispielhaft in Tabelle 4-2 dargestellt. Der Eigenvektor dieser Matrix ist (0,3196; 0,5584; 0,1220). Das entsprechende Gewicht für Kosten ist demnach 0,3196, für Verlässlichkeit 0,5584 und für Produktivität 0,1220.

**Tabelle 4-2: Paarvergleich Beispiel AHP**

	Kosten	Verlässlichkeit	Produktivität
Kosten	1	0,5	3
Verlässlichkeit	2	1	4
Produktivität	0,33	0,25	1

Für die qualitativen Kriterien „Verlässlichkeit“ und „Produktivität“ werden nun auch die Paarvergleiche durchgeführt, und zwar bezogen auf die vier Produkte. Diese Paarvergleichsmatrizen werden ebenfalls in die Eigenvektoren umgewandelt. Das Kriterium „Kosten“ ist hingegen quantitativ und optimal bei möglichst niedrigem Wert. Hier müssen

also zuerst die Kehrwerte gebildet und diese danach normiert werden. Dies ist beispielhaft in Tabelle 4-3 dargestellt.

**Tabelle 4-3: Umrechnung quantitativer Kriterien in der AHP-Methode**

Produkt	Kosten	Kehrwert	Normierung
A	34000	1/34000	0,2044
B	27000	1/27000	0,2575
C	24000	1/24000	0,2896
D	28000	1/28000	0,2483

Die Eigenvektoren bezogen auf die Kriterien „Verlässlichkeit“ und „Produktivität“, sowie der normierte Vektor aus Tabelle 4-3 für das Kriterium der „Kosten“, werden nun mit den Gewichten verrechnet und aufaddiert. Dies ergibt das finale Ranking. Je höher der Wert, desto besser ist das Produkt bewertet. In dem gegebenen Beispiel erreicht das Produkt D mit 0,4329 den höchsten Wert nach der AHP-Analyse.

#### 4.1.2 Nutzwertanalyse

Die folgenden Ausführungen zur Nutzwertanalyse sind an Schuh & Klappert [28, S. 327-329] angelehnt.

Die Nutzwertanalyse ist ein Vorgehen zur Bewertung von Entscheidungsalternativen unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien. Es ist dabei wichtig zu beachten, dass die Kriterien möglichst unabhängig voneinander gewählt werden, um eine Dopplung bei der Bewertung zu vermeiden. Die Kriterien können außerdem gewichtet werden, wobei die Summe der Gewichte insgesamt 100 % ergeben soll. Die anschließende Bewertung erfolgt dann subjektiv für die jeweiligen Alternativen bezogen auf die einzelnen Kriterien. Für die Werte des Erfüllungsgrads wird für gewöhnlich eine Skala von 1 bis 5 oder von 1 bis 10 veranschlagt. Bei der Berechnung der Bewertungsgröße handelt es sich um eine einfache Verrechnung der Erfüllungsgrade mit den Kriteriengewichten. Dies wird je Alternative durchgeführt. Diese Gesamtbewertung wird der Nutzwert der Alternative genannt. Die Besonderheit dieser Bewertungsmethode ist, dass sie ohne monetäre Größen auskommt. Dahingegen muss allerdings beachtet werden, dass die Bewertung subjektiv ist in der Hinsicht, dass die Kriterien subjektiv ausgewählt und gewichtet werden und auch die Erfüllungsgrade subjektiv vergeben werden. Daher ist es ratsam für diese Bewertung auf ein Gremium von Expert\*innen zurückzugreifen.

Eine beispielhafte Nutzwertanalyse, bei der drei verschiedene Technologien bewertet werden, ist in Tabelle 4-4 gezeigt.

Tabelle 4-4: Beispielhafte Nutzwertanalyse zur Bewertung von Technologien [28, S. 328]

Bewertungs-kriterium	Gewichtung	Strategiealternativen					
		Technologie A		Technologie B		Technologie C	
		EG	Wert	EG	Wert	EG	Wert
Technische Machbarkeit	15	4	60	3	45	5	75
Hohe Reife der Lösung	3	1	3	1	3	5	15
Niedriges Risiko	9	3	27	5	45	1	9
Gute Technologiebeherrschung	11	5	55	1	11	2	22
Niedrige Herstellkosten	23	1	23	5	115	2	46
Niedrige Investitionskosten	15	3	45	5	75	1	15
Günstige Technologieposition	24	1	24	3	72	5	120
<b>Summe</b>			<b>237</b>		<b>366</b>		<b>302</b>
<b>Rangliste</b>			<b>3</b>		<b>1</b>		<b>2</b>

## 4.2 Portfolioanalyse

Eine weitere Gruppe von Methoden, die im Bewertungstool zur Bewertung von Energietechnologiekonzepten eingesetzt wurde, folgt dem Portfolioansatz. Hierbei werden die Alternativen als Produkte eines Portfolios betrachtet, die gemeinsam in einer Matrix dargestellt werden. Die den beiden Matrixachsen zugeordneten Größen können frei gewählt werden und auch die Methoden zur Berechnung der Ausprägungen auf den beiden Achsen sind vielfältig. Im Folgenden werden einige typische Verfahren der Portfolioanalyse vorgestellt.

### 4.2.1 BCG-Portfolioanalyse

Eine weit verbreitete Methode zur Produktportfoliobewertung ist die BCG-Analyse. Sie wurde 1970 von Bruce Henderson, dem Gründer der Boston Consulting Group (BCG), entwickelt [1]. Auf den beiden Achsen der Matrix wird jeweils eine unternehmensinterne und eine unternehmensexterne Größe abgebildet. In der ursprünglichen Variante von Bruce Henderson ist die unternehmensinterne Komponente der relative Marktanteil, also der Marktanteil im Vergleich zum stärksten Konkurrenten. Als unternehmensexterne Komponente wurde die relative Marktwachstumsrate gewählt. Für beide Komponenten wird jeweils eine Einteilung in die Felder „niedrig“ und „hoch“ vorgenommen. Der Schwellwert kann für den relativen Marktanteil als 20 % gewählt werden und für das Marktwachstum kann sich nach dem Bruttoinlandsprodukt oder dem Durchschnittswachstum der Branche gerichtet werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, durch den Durchmesser den Umsatz der Produkte darzustellen [1, S. 34].

Mit dieser 2x2 Einteilung ergibt sich somit eine Vier-Felder-Matrix. Aus diesen vier Feldern können vier Marktstrategien abgeleitet werden [1, S. 35]. Produkte durchlaufen häufig in ihrem Lebenszyklus mehrere Phasen, die den vier Feldern zugeordnet werden können. Zu Beginn des Produktlebens ist das Marktwachstum meist hoch, während der relative Marktanteil noch niedrig ist. Diese Produkte werden *Question Marks* genannt. Die geeignete Strategie ist in dem Fall, selektiv zu investieren, sodass der Marktanteil steigt. Die Produkte mit hohem Marktwachstum und hohem Marktanteil werden *Stars* genannt. In diese Produkte sollte investiert werden. Je länger Produkte auf einem Markt leben, desto wahrscheinlicher ist es, dass das Marktwachstum sinkt. Produkte mit hohem Marktanteil und niedrigem Marktwachstum werden *Cash Cows* genannt und diese sollten erhalten werden, da sie noch

viel Geld umsetzen können. Unterschreitet jedoch der Marktanteil den gewählten Schwellenwert, sollte ein Marktaustritt geprüft werden. Diese Kategorie heißt *Poor Dogs*. Es ist auch denkbar, dass Produkte nie die Marktreife entwickeln und direkt von der Kategorie *Question Mark* absinken, wenn das Marktwachstum zu niedrig ist.

Ein Beispiel für die Umsetzung der BCG-Portfoliomatrix ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

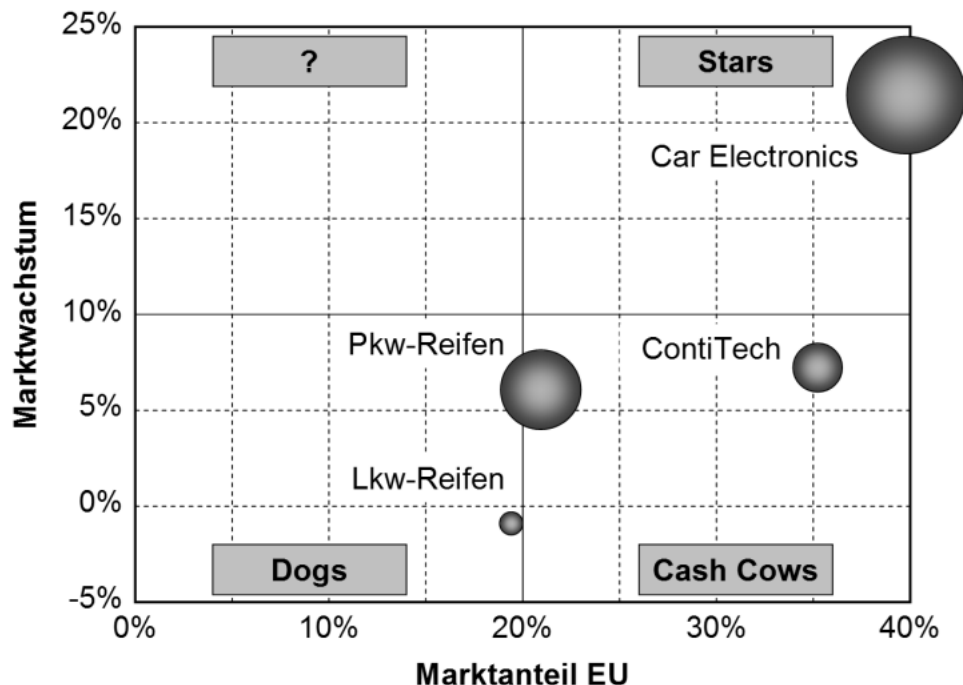


Abbildung 4-1: BCG-Matrix der Geschäftsfelder der Continental AG (2007) [1]

#### 4.2.2 Technologie-Portfolio-Analyse

Um die Portfolioanalyse speziell auf Technologien zu erweitern und mehr als den Produktlebenszyklus zu betrachten, entwickelte Werner Pfeiffer das Technologie-Portfolio. Das grundlegende Modell wurde seitdem vielfach weiterentwickelt, doch wir möchten hier auf das ursprüngliche Modell nach Pfeiffer [29] eingehen.

Dieser Art der Portfolioanalyse besteht ebenfalls aus zwei Dimensionen, die die Technologieattraktivität und die Ressourcenstärke darstellen. Die Technologieattraktivität entspricht dabei der unternehmensexternen Dimension, welche durch mehrere Faktoren von außen beeinflusst werden kann, aber weitgehend nicht vom Unternehmen selbst [30, S. 421-422]. In diese Dimension fließen das Weiterentwicklungspotenzial, die Anwendungsbreite und die Kompatibilität ein [31, S.263]. Das Unternehmen kann hingegen die Ressourcenstärke im Hinblick auf konkurrierende Unternehmen beeinflussen. Hier fließen der technisch-qualitative Beherrschungsgrad, Potenziale der personellen und finanziellen Ressourcen und (Re-)Aktionsgeschwindigkeit auf technische Weiterentwicklungen ein [31, S. 263]. Aus der Positionierung von Technologien in der Matrix lassen sich schließlich Normstrategien ableiten.

Die zwei Dimensionen werden für gewöhnlich in die drei Kategorien *gering*, *mittel* und *hoch* eingeteilt, sodass eine Neun-Felder-Matrix entsteht. Die auf die Einteilung in Felder bezogenen Normstrategien sind eine Desinvestitionsempfehlung, eine Selektionsempfehlung und eine Investitionsempfehlung [31] [29, S. 98-102]. Die aus diesen Bedingungen folgende Matrix ist in Abbildung 4-2: Technologie-Portfolio nach Pfeiffer [28, S. 334] dargestellt.

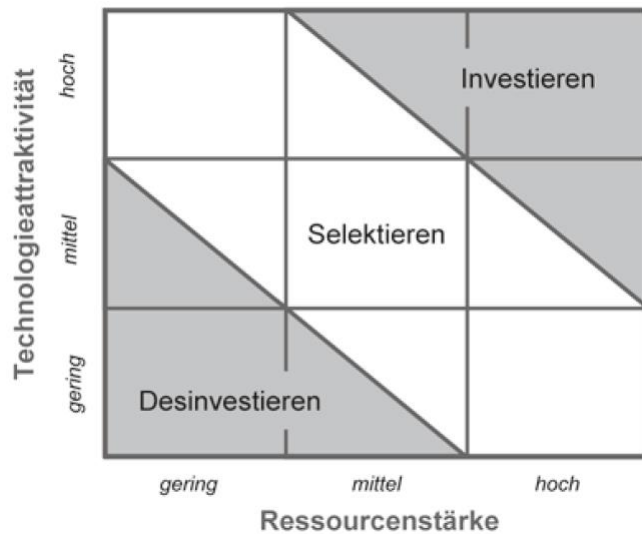


Abbildung 4-2: Technologie-Portfolio nach Pfeiffer [28, S. 334]

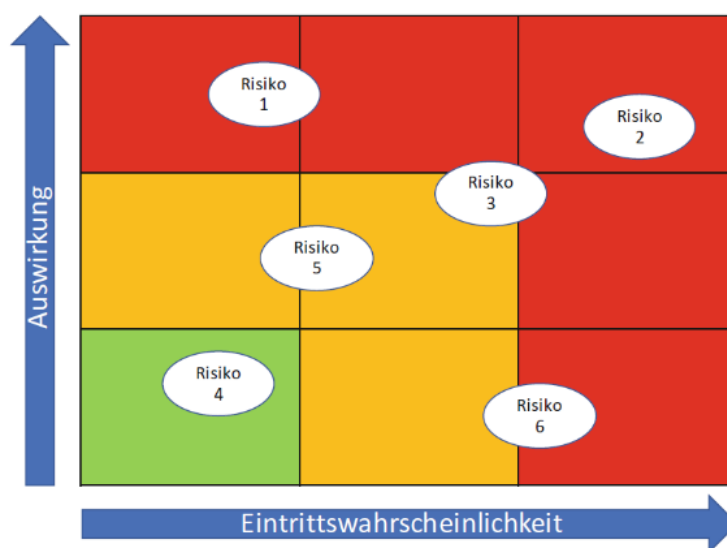
### 4.2.3 Weitere Portfolioanalysen in Matrixform

Prinzipiell können jegliche Kriterien auf den beiden Matrixachsen ausgewählt werden. Es existieren mehrere Ansätze für solche Portfoliomethoden. Ein Überblick über mehrere Methoden ist in Schuh & Klappert [28, S. 331] gegeben. Zwei zusätzliche Methoden werden im Folgenden kurz dargestellt.

Mit der Matrixmethode kann eine Analyse der Risiken durchgeführt werden. Das Risiko ist definiert als

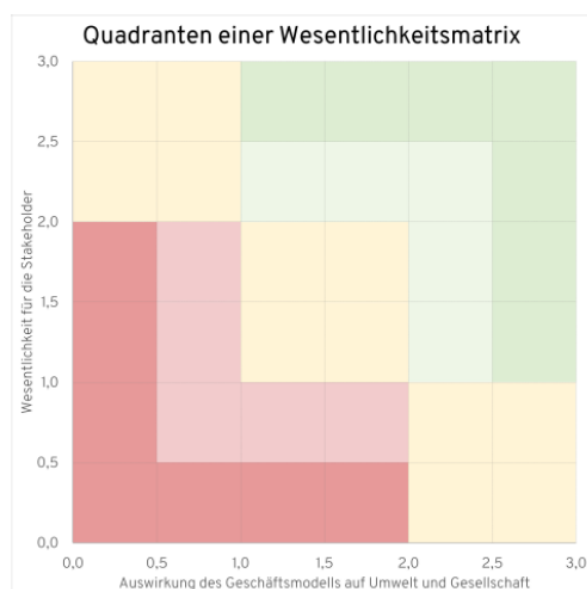
$$\text{Risiko} = \text{Wahrscheinlichkeit} \cdot \text{Auswirkung}$$

Liegen diese beiden Größen jeweils auf den Achsen und werden in Kategorien eingeteilt, entstehen mehrere Matrixfelder mit unterschiedlichen Risikograden. Eine Einteilung in Risikoklassen vereinfacht die Analyse verschiedener Risiken (siehe Abbildung 4-3: Risikomatrix [32, S. 32])



**Abbildung 4-3: Risikomatrix [32, S. 32]**

Ein weiteres Beispiel aus der unternehmerischen Praxis ist ein Leitfaden für Wesentlichkeitsanalysen, welcher von der Nachhaltigkeitsberatung plant values veröffentlicht wurde [33]. Betrachtet werden in dem Fall die Relevanz von Nachhaltigkeitsaspekten für Stakeholder\*innen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft. Diese Analyse wurde bereits mit den Stadtwerken Norderstedt anhand von 27 Nachhaltigkeitsaspekten durchgeführt. Die Datenerhebung geschieht dabei durch Expert\*inneninterviews. Die Wesentlichkeitsanalyse bietet eine Grundlage für die Nachhaltigkeitsstrategie und die Ableitung von Maßnahmen. Die Matrix ist in mehrere Quadranten eingeteilt und die Bewertung der beiden Ebenen ist in diesem Fall qualitativ zwischen 0 und 3, während die Kategorien in 0,5-Schritten eingeteilt sind. Die Einteilung in Quadranten ist in Abbildung 4-4: Wesentlichkeitsanalyse von Nachhaltigkeitsaspekten [33] gezeigt. Aspekte, die sich in den rechten oberen Quadranten finden, werden als wesentlich angesehen. Es kann dennoch zu einer subjektiv unterschiedlichen Einschätzung der Analyse zwischen verschiedenen Interessensgruppen kommen, wovon die Gewichtung der Aspekte abhängt. Daher ist für die Auswertung der Wesentlichkeitsmatrix Transparenz wichtig.

**Abbildung 4-4: Wesentlichkeitsanalyse von Nachhaltigkeitsaspekten [33]**

## 5 SW.Wiki – Informationsplattform für Stadtwerke

Das im Rahmen des Projektes SW.Developer entwickelte SW.Wiki dient der Bewertung und Auswahl erfolgsversprechender Lösungsansätze für die technologische Entwicklung von Stadtwerken. Die strukturierte und konzentrierte Darstellung unterstützt dabei, die Lösungsansätze anhand verschiedener Kriterien zu beurteilen und ermöglicht so die Einschätzung der Relevanz für die Aufnahme in das Stadtwerke-Portfolio. Die Auswahl der im Wiki enthaltenen Technologien sowie ihrer Bewertungskriterien erfolgte gemeinsam mit den Stadtwerken Düsseldorf als Projektpartnerinstitution. Die dementsprechenden Ergebnisse wurden in Steckbriefen festgehalten. Zudem erfolgte ein Test der Plattform durch verschiedene Nutzer\*innen bei den Stadtwerken Düsseldorf. Deren Feedback aus der Anwendung wurde auf Umsetzbarkeit geprüft und entsprechend in das SW.Wiki eingebaut.

Auf Grundlage der inhaltlichen Erweiterung über die Technologien hinaus sowie den zusätzlichen Funktionalitäten, die im Folgenden beschrieben werden, hat sich herausgestellt, dass der ursprünglich in der Vorhabensbeschreibung verwendete Begriff „Technologiematrix“ nicht umfassend genug ist, um die Inhalte angemessen zu repräsentieren. Daher wird von der Informationsplattform „SW.Wiki“ gesprochen. Diese ist unter [www.sw-wiki.de](http://www.sw-wiki.de) aufrufbar.

Die verschiedenen Typen an Steckbriefen, deren Charakteristika, sowie der allgemeine und jeweils spezifische Aufbau wird im folgenden Kapitel 5.1 beschrieben.

### 5.1 Steckbriefftypen und -aufbau

In gemeinsamen Projektworkshops stellte sich heraus, dass für die Auswahl von erfolgsversprechenden Lösungsansätzen nicht nur Informationen zu Technologien und Technologiekombinationen relevant sind, sondern darüber hinaus auch Wissen zu übergeordneten Themen, Konzepten und Fördermöglichkeiten. Weiterhin sind Querverlinkungen zwischen den Steckbriefen wichtig, um sich über verwandte Themen und Zusammenhänge informieren zu können und eine Einordnung des Anwendungsgebietes vorzunehmen, um gezielt Steckbriefe für eine bestimmte Fragestellung finden zu können.

Im SW.Wiki finden sich daher vier Steckbriefftypen wieder: Themen, Konzepte, Technologien (nochmals unterteilt in Erzeuger, Speicher und Mobilität) und Fördermöglichkeiten. Alle vier Steckbriefftypen enthalten ein Titelbild bzw. Schema, das deutlich macht, auf welchen Inhalt sich der Steckbrief bezieht. Weiterhin sind allen Steckbriefen Schlagworte zugeordnet, über die sie in der Suche gefunden werden können. Am Ende jedes Steckbriefs finden sich Verlinkungen zu verwandten Steckbriefen der gleichen bzw. der anderen Typen. Darunter befindet sich außerdem das Datum der letzten Änderung am Steckbrief, sowie ein Download-Button, über den eine PDF-Version des Steckbriefes aufgerufen wird und heruntergeladen werden kann.

Zusätzlich zu den Verlinkungen am Ende der Steckbriefe können auch im Fließtext eines Steckbriefes andere verwandte Steckbriefe verlinkt werden, wenn diese dort erwähnt werden. Diese sind dann entsprechend farblich markiert und unterstrichen und damit als Link zu erkennen.

Um die Nutzungsfreundlichkeit zu erhalten, sollten die Steckbriefe zudem wenig Fließtext enthalten und nur die wichtigsten Informationen für einen ersten Überblick über den

jeweiligen Inhalt bieten. Für weiterführende Informationen werden in den Steckbriefen gegebenenfalls Links zu Quellen angegeben.

Zusätzlich zu den Datumsangaben der einzelnen Steckbriefe wird bei den jeweiligen Kategorien in der Grafikoberfläche daraufhin gewiesen, dass die Bearbeitung der Steckbriefe zum Ende des Projektes SW.Developer am 31.12.23 eingestellt wurde.

Der verschiedenen Steckbrieftypen und deren spezifischer Aufbau werden in den folgenden Unterkapiteln näher beschrieben.

### **Themensteckbriefe**

Themensteckbriefe dienen zur Einordnung einer Thematik und geben grundlegende Informationen eines größeren Themenbereichs an. Es wurden beispielsweise Steckbriefe zu den Themen Sektorenkopplung, Sanieren im Bestand, Fernwärme, Energieberatung und Wasserstoffstrategien erstellt.

Die Steckbriefe enthalten eine allgemeine Beschreibung in Textform, ggfs. mit kurzen Unterkapiteln, der in der Regel mit einer Zusammenfassung der wichtigsten Vor- und Nachteile endet. Für gewöhnlich folgt dann ein Abschnitt zu aktuellen Fragestellungen und Herausforderungen. Da es in der Kürze nicht möglich ist, ein Thema vollumfassend zu beleuchten, wird im Abschnitt „Weiterführende Informationen“ ggfs. auf relevante Quellen und Hintergrundinformationen verwiesen.

Der typische Aufbau der Themen-Steckbriefe ist im Steckbrief zum Thema „Fernwärme“ im Anhang zu sehen.

Als übergeordnete Steckbriefe bieten die Themen einen guten Startpunkt für Informationssuchende und bündeln eine Vielzahl von Steckbriefen der anderen Typen, die in engem thematischem Zusammenhang stehen.

### **Konzeptsteckbriefe**

Ziel der Konzeptsteckbriefe ist die Darstellung von erfolgsversprechenden Technologiekombinationen und deren Eigenschaften.

Die Konzeptsteckbriefe enthalten eine Kurzbeschreibung, in der die im Konzept berücksichtigten Technologien genannt werden und der Mehrwert der Kombination kurz erläutert wird. In dem nachfolgend dargestellten Schema wird deutlich, wie die Anlagen zusammenwirken bzw. verschaltet werden. Die Vor- und Nachteile werden in der Regel stichpunktartig aufgelistet. Ebenso werden mögliche Konzept-Erweiterungen genannt. Damit sind weitere Technologien gemeint, die sich für die Kombination anbieten (siehe auch Kapitel 6.5). Bei den meisten Konzeptsteckbriefen werden unter „Geschäftsmodelle“ Vermarktungswege, Produkte und Dienstleistungen aufgelistet, die im Zusammenhang mit dem Konzept denkbar sind.

Im Anhang befindet sich als Beispiel für die Konzeptsteckbriefe der Steckbrief „solare Nahwärme.“

Die in den Konzeptsteckbriefen beschriebenen Technologiekombinationen komplementieren die im folgenden Abschnitt beschriebenen Technologiesteckbriefe. So werden nicht nur einzelne Technologien und deren Charakteristika aufgelistet, sondern es werden ebenfalls praxisnahe Anwendungsmöglichkeiten erklärt und dargestellt.

## Technologiesteckbriefe

Die Technologiesteckbriefe enthalten Detailinformationen zur Charakterisierung einzelner Technologien. Sie verfügen über eine Kurzbeschreibung, der Fokus liegt aber auf der tabellarischen Aufbereitung von Kennzahlen aus den Bereichen Technische Parameter, Ökonomische Bilanz sowie CO<sub>2</sub>-Bilanz.

Unterschiedliche Technologie-Varianten, zum Beispiel Luft-, Erdreich- und Grundwasser-Wärmepumpen, für die die Kennzahlen auch teilweise anders ausfallen, werden getrennt voneinander betrachtet, sodass viele Technologiesteckbriefe entsprechend mehrere Spalten beinhalten.

Die Technologiesteckbriefe werden zu Technologien aus den Bereichen Erzeuger, Speicher und Mobilität bereitgestellt. Die Vergleichbarkeit von Technologien derselben Kategorie wird durch das Vergleichs-Tool des SW.Wiki (Kapitel 5.2) gewährleistet.

Über die Verlinkungen zu anderen Steckbriefen werden Verknüpfungen zu ähnlichen Technologien, Konzepten, in denen die Technologien verwendet werden, sowie passende Themen und Fördermöglichkeiten für die jeweilige Technologie geschaffen. Zur Anschauung ist der Technologie-Steckbrief „dezentrale Wärmepumpe“ dem Anhang hinzugefügt.

## Fördermittelsteckbriefe

Die Fördermittelsteckbriefe sollen dabei unterstützen, einen Überblick über Fördermöglichkeiten im Zusammenhang mit den Technologien und Konzepten zu erhalten.

Die Steckbriefe der behandelten Fördermittel können unterschiedliche Detailierungsgrade annehmen. So wird zwischen Oberprogrammen und konkreten Fördermitteln unterschieden. In Oberprogrammen werden allgemeine Informationen vermittelt. Beispielsweise sind hier die Steckbriefe zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zu nennen. In den konkreten Fördermittel-Steckbriefen werden Teilaspekte der Oberprogramme aufgegriffen und im Detail beschrieben, wie beispielsweise die Einspeisevergütung oder die Direktvermarktung als Teile des EEG.

Grundsätzlich enthalten alle Fördermittelsteckbriefe eine kurze Beschreibung in Textform. In der Regel werden darauffolgend stichpunktartig die Fragen „Was wird gefördert?“, „Kombination mit anderen Zuschüssen?“, „Wer wird gefördert?“, „Wie hoch ist die Förderung?“ sowie die Frage nach dem Fördermittelgeber beantwortet. Bei jedem Steckbrief findet sich jeweils ein oder mehrere Links zu der Website der jeweiligen Förderung. Anschließend sind wie bei jeder Steckbrief-Kategorie die Verlinkungen zu verwandten Steckbriefen zu finden.

In der Beschreibung der Kategorie der Fördermittel-Steckbriefe ist zudem der Hinweis vorhanden, dass der Inhalt aller Steckbriefe sich auf den Zeitpunkt des jeweils unten im Steckbrief genannten Datums bezieht. Gegebenenfalls muss die Aktualität der Förderung auf den Websites des jeweiligen Bundesamtes nachgelesen werden.

Der Steckbrief „Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft“ ist als Beispiel für die Fördermittel-Steckbriefe im Anhang zu finden

Im folgenden Kapitel wird die GUI des SW.Wiki beschrieben. Zuerst wird auf die verschiedenen Aufrufmöglichkeiten der Steckbriefe eingegangen und der Vergleichsmechanismus der Technologie-Steckbriefe beschrieben.

## 5.2 Grafische Oberfläche zum Aufruf der Steckbriefe

Die Steckbriefe bieten viele Informationen und verschaffen dem Leser einen guten Überblick über Themen, Konzepte, Technologien und Fördermittel. Der große Mehrwert der Steckbriefe ergibt sich aber erst durch eine Verknüpfung untereinander. Anstelle einer losen Sammlung an Steckbriefen soll durch eine grafische Oberfläche (GUI) der Aufruf einzelner bzw. verwandter Steckbriefe ermöglicht werden. Dadurch können beispielsweise zu einer Technologie passende Konzepte und Fördermöglichkeiten direkt und unkompliziert gefunden oder Technologien durch die Schlagwortsuche in Verbindung gebracht werden.

Die im Verlauf des Projektes realisierte GUI kann unter [www.sw-wiki.de](http://www.sw-wiki.de) aufgerufen werden. Über die GUI können die Steckbriefe auf mehreren Wegen aufgerufen werden. Die verschiedenen Suchoptionen ermöglichen den Aufrufenden der Steckbriefe mit oder ohne Vorstellung des konkreten Suchergebnisses.

Zum einen können alle Steckbriefe in einer Übersicht getrennt nach den Steckbriefftypen *Thema, Konzept, Technologie: Erzeuger, Technologie: Speicher, Technologie: Mobilität* sowie *Fördermittel* angezeigt werden. Diese Option verschafft einen Überblick über die je Steckbriefftyp erstellten Steckbriefe. Die angezeigten Steckbriefe lassen sich einzeln aufrufen.

Zum anderen können die Steckbriefe über die Kategorie „Steckbriefe A-Z“ aufgerufen werden. Dies eignet sich sehr gut, um einen Gesamtüberblick über die Vielzahl an Steckbriefen zu erhalten. Hier sind alle vorhandenen Steckbriefe in alphabetischer Reihenfolge gelistet. Durch einen Klick auf den Steckbrief-Titel wird dieser direkt aufgerufen.

Steckbriefe können ebenfalls über die Stichwortsuche gefunden und aufgerufen werden. Als Suchergebnis werden alle Steckbriefe angezeigt, die das Suchwort im Titel oder als Schlagwort enthalten. Die Suche nach einer Lösung für „Nahwärme“, liefert beispielsweise als Ergebnis den Themen-Steckbrief „Nahwärme im Quartier“, sowie die Konzeptsteckbriefe „Solare Nahwärme“, „Kalte Nahwärme“ und „Nahwärme“, da diese das Suchwort im Titel enthalten. Darüber hinaus werden unter anderem auch der Themen-Steckbrief „Fernwärme“ sowie der Fördermittel-Steckbrief „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ angezeigt, da diesen der Suchbegriff als Schlagwort zugeordnet ist. Auf diese Weise ist es möglich, für verschiedene Versorgungsaufgaben oder Anwendungsfälle gezielt nach Steckbriefen zu suchen.





Zusätzlich zu den oben genannten Aufrufmöglichkeiten der Steckbriefe besteht bei den Technologiesteckbriefen die Möglichkeit, diese dem Vergleich hinzuzufügen.

Wird der Vergleich aufgerufen, werden die ausgewählten Technologien getrennt nach Erzeuger, Speicher und Mobilität gegenübergestellt. Dies erfolgt anhand einer Vergleichstabelle, in der für Erzeuger, Speicher und Mobilität spezifische Kennzahlen miteinander verglichen werden. Über das Feld „Leeren“ können jederzeit die Vergleichstabelle oder über „x Remove“ einzelne Technologien aus dem Vergleich gelöscht werden. Abbildung 5-1 zeigt exemplarisch den Vergleich verschiedener Erzeuger-Technologien.

## Vergleich

**Kategorie Filter**  
Technologie: Erzeuger, Technologie: Speicher

LEEREN

PRODUCT INFO	X REMOVE 	X REMOVE 	X REMOVE 	X REMOVE 
	Dezentrale Wärmepumpe	Heizkessel dezentral in Wohngebäuden	Heizkessel zentral in Wärmenetzen und Industrie/Gewerbe	PV für Gebäude (Technologie)
TYPISCHE ANLAGENGRÖSSE	5-15 kW (EFH), 15-35 kW (MFH)	5-35 kW (EFH/ZFH) bis 1000 kW (MFH, Gebäudekomplexe)	0,1-16 MW (Thermoölkessel), 0,2-55 t/h (Dampfkessel), 0,6-38 MW (Heißwasserkessel)	3 – 1000 kW
WIRKUNGSGRAD	-	-	70-80% (Thermoölkessel), 86-88% (Heißwasserkessel), Ca. 95% (Dampfkessel)	-

● ● ●

Abbildung 5-1: Screenshot der Vergleich-Funktion des „SW.Wiki“.

## 6 SW.Evaluator – Aufbau und Methodik

Ziel der Entwicklung des SW.Evaluators war die Schaffung eines Tools für die übersichtliche Bewertung einzelner Energieversorgungslösungen sowie die umfassende Betrachtung dieser Lösungen im Rahmen Stadtwerke-Produktportfolios. Somit bietet das Tool eine Basis für den Vergleich von Versorgungsoptionen und deren Eignung als mögliche Geschäftsmodelle für Stadtwerke. Die Bewertung erfolgt hierbei multikriteriell hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Kriterien.

Der ursprünglich in der Vorhabensbeschreibung verwendete Begriff „Entwicklungsumgebung“ wird hierfür nicht mehr genutzt. Es stellte sich heraus, dass der Begriff „Bewertungstool“ für die geplante Umsetzung passender ist, und dem während der Projektlaufzeit stetig entwickelten Prototypen besser entspricht. Der Name „SW.Evaluator“ wurde dem Tool gegeben, um den Bewertungscharakter des Tools zu beschreiben.

### 6.1 Ziele und Anforderungen

Zu Beginn wurde im Rahmen eines projektinternen Workshops eine Anforderungsanalyse durchgeführt. Dabei wurden gewünschte Funktionen und Ziele des Bewertungstools erarbeitet.

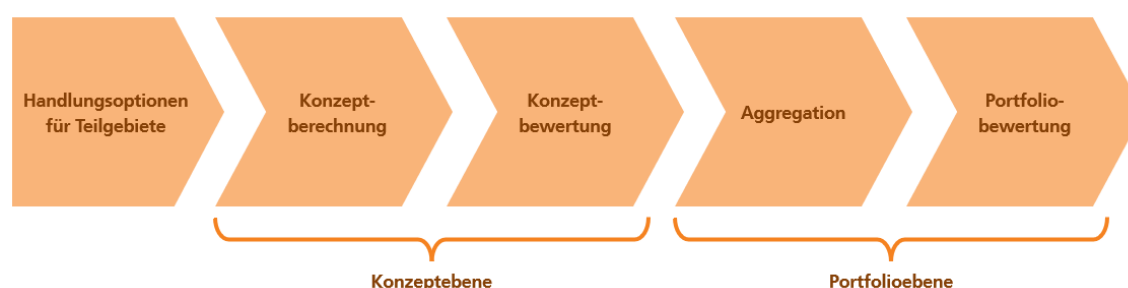
Als übergeordnete Ziele haben sich die Bewertbarkeit von neuen Technologieprodukten und die Möglichkeit, verschiedene Strategiepfade auszutesten, herauskristallisiert. Eine einfache Bedienbarkeit mit einer möglichst grafischen Oberfläche war gewünscht. Vordefinierte

Konzepte sollen anhand von wirtschaftlichen Kennzahlen miteinander verglichen werden. Als essenziell wurde zudem die Betrachtung von Szenarien bzw. unterschiedlichen Rahmenbedingungen erachtet, deren Auswirkungen auf die Kennzahlen mithilfe des Tools darstellbar gemacht werden sollen. Außerdem wurde im Workshop bereits diskutiert, dass das Tool von unterschiedlichen Personen nutzbar sein sollte, die unterschiedliche Ziele verfolgen könnten.

Auf Basis dieser Anforderungen wurde daraufhin ein erstes Prozessschema entwickelt, welches das Tool in einzelne Schritte einteilt und zudem die notwendigen Eingangsdaten definiert. Dieses Schema wurde kontinuierlich weiterentwickelt und der finale modulare Aufbau des Tools ist im Weiteren detailliert erläutert.

## 6.2 Modularer Aufbau

Der modulare Aufbau des Bewertungstools ist in Abbildung 6-1 dargestellt. Daraus wird die grundsätzliche Unterteilung des Tools in eine Konzept- und eine Portfolioebene deutlich. Auf beiden Ebenen findet jeweils eine Bewertung statt.



**Abbildung 6-1: Modularer Aufbau des SW-Evaluators mit Einteilung in Konzept- und Portfolioebene**

In einem ersten Schritt werden die sogenannten Teilgebiete definiert. Teilgebiete sind die Gebäude- und Quartierstypen, in die das Versorgungsgebiet des Anwendungsfalles eingeteilt wird. Dies ist der erste Schritt zur Vereinfachung der Berechnung. Für den bestimmten Anwendungsfall wird jeweils spezifiziert, wie viele Gebäude/Quartiere der jeweiligen Typen im betrachteten Versorgungsgebiet vorkommen. Somit wird das gesamte Versorgungsgebiet auf einzelne Gebäude bzw. Quartiere heruntergebrochen.

Je nach Anwendungsfall wird vom Nutzenden eine bestimmte Strategie verfolgt. Eine solche Strategie könnte darin bestehen, dass ausschließlich Quartierslösungen verglichen werden sollen. In diesem Fall wird das Versorgungsgebiet ausschließlich in Quartiere eingeteilt. Ein anderer denkbarer Anwendungsfall wäre es, nur einen Sektor, zum Beispiel den Wärmesektor, zu betrachten. So würden im Tool nur Wärmelösungen ausgewählt.

Dies wiederum leistet die Überleitung zum nächsten Schritt, in dem neben den Teilgebieten Versorgungskonzepte eingeführt werden. Diese Konzepte bedienen die Sektoren Wärme, Strom und Mobilität und werden detaillierter in Kapitel 6.5 beschrieben. Konzepte werden den Teilgebieten zugeordnet und nicht jedes Konzept kann für jeden Gebäude-/Quartierstyp umgesetzt werden. Für die ausgewählten Gebäude-/Quartierstypen können auf der Konzeptebene die einzelnen Konzepte miteinander verglichen und hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Kriterien bewertet werden. Dafür sind für die Konzepte zuvor Kennzahlen berechnet wurden. Die Methode dieser Berechnung und Bewertung wird in Kapitel 6.7 vorgestellt.

Im Anschluss an diese erste Ebene der Bewertung können die bewerteten Konzepte mit dem ausgewählten Versorgungsgebiet übereinandergelegt und somit zu einem Portfolio

aggregiert werden. Dabei spielen nun weitere unternehmerische Kriterien eine Rolle. Außerdem werden die Konzepte hier im Sinne von Produkten anstatt als Versorgungslösungen betrachtet. Die Methode, die zur Aggregation und Bewertung auf Portfolioebene umgesetzt wurde, ist in Kapitel 6.7.2 beschrieben. Auf die Umsetzung im Tool wird in Kapitel 7 eingegangen.

### **6.3 Definition des Versorgungsgebiets**

Ein Versorgungsgebiet ist der relevante Kundenbereich, der durch das zu bewertete Produktportfolio bedient werden soll. Dies kann ein gesamtes Stadtgebiet oder ein Stadtteil sein. Innerhalb des Versorgungsgebiets sind sogenannte Teilgebiete definiert. Diese unterteilen das Versorgungsgebiet in einzelne Gebäude und Quartiere. Eine Gruppierung von ähnlichen Gebäudetypen und die Definition von typischen Quartieren für die Realisierung von zentralen Konzepten ermöglicht es, die Berechnungen auf diese jeweiligen Typgebäude und -quartiere zu beschränken und reduziert damit den Berechnungsaufwand in dem Bewertungstool erheblich.

Die Definition des Versorgungsgebiets und somit auch die Bestimmung der Teilgebiete orientiert sich exemplarisch an der Stadt Düsseldorf. Daher wird im Folgenden auf die Wohnungsstruktur in Düsseldorf eingegangen.

#### **6.3.1 Einteilung des Versorgungsgebiets – Einzelgebäude**

Zur Bestimmung der Teilgebiete wird auf erster Ebene zwischen den drei Sektoren Wohnen, Gewerbe und Industrie unterschieden. Gebäude, die den Einsatz gleicher Technologien versprechen, werden dabei zusammengefasst.

Der Industriesektor zeichnet sich durch heterogene Bedarfsstrukturen aus. Die Bedarfe für Strom, Wärme und Kälte können auch innerhalb eines Industriesektors bezüglich Energie, Leistung und Zeitraum sehr unterschiedlich ausfallen. Technologielösungen und Konzepte müssen daher individuell ausgelegt werden. Eine pauschale Berechnung und Übertragung sind nur schwer möglich. Daher entfällt die Betrachtung dieses Sektors im Bewertungstool.

Im Gewerbe kann zwischen einer Vielzahl von Betrieben unterschieden werden. Eine Zusammenfassung ähnlicher Bedarfsstrukturen für Strom und Wärme kann dennoch vorgenommen werden und ist auch in der Energiewirtschaft üblich. Die Standardlastprofile des BDEW [34, 35] repräsentieren die Stromnachfrage unter anderem für sieben gewerbliche Kundengruppen. Für Gas liegen 14 Verbrauchsprofile vor, davon elf für den GHD-Sektor. Um den Berechnungsaufwand gering zu halten, wird in dem Bewertungstool auf diese Gruppierung zurückgegriffen. Zur Verwendung im SW.Evaluator wurden insgesamt 13 Gewerbetypen definiert, denen entsprechende Gas- und Stromprofile zugeordnet wurden. Diese Zuordnung kann in Tabelle 6-5 nachvollzogen werden.

Konzepte für den Wohnungssektor können auf zwei Arten berechnet werden. Zum einen besteht die Möglichkeit, jedes Gebäude individuell zu betrachten, auf der anderen Seite können dieselben Gebäude auch durch eine gemeinsame Lösung versorgt werden. Der Wohnungssektor wird daher durch die beiden Teilgebietstypen der Einzelgebäude und Quartiere abgebildet. Wichtig zu beachten ist, dass somit ein bestimmtes Gebäude auf der Konzeptebene sowohl einzeln als auch als Teil eines Quartiers betrachtet werden kann, das Gebäude in der Portfolioanalyse jedoch nur einmal auftauchen darf.

Bei den Einzelgebäuden erfolgt auf nächster Ebene eine Unterteilung in Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH). Einfamilienhäuser werden im SW.Evaluator als

ausreichend ähnlich in ihren Eigenschaften angesehen, sodass keine weitere kleinteiligere Segmentierung bezogen auf Strombedarf und Dachfläche durchgeführt wird. Unterschieden wird jedoch zwischen zwei Energieeffizienzklassen, für die unterschiedliche Wärmebedarfe und unterschiedliche Vorlauftemperaturen definiert sind. Die Vorlauftemperaturen sind entscheidend für die Eignung bestimmter Technologien und Konzepte. Die beiden Energieeffizienzklassen werden plakativ als „saniert“ und „unsaniert“ bezeichnet und spiegeln einen niedrigeren bzw. höheren Raumwärmebedarf wider. Im Einfamilienhausbereich werden somit die zwei Teilgebiete W1.A: Wohngebäude-EFH-saniert und W1.B: Wohngebäude-EFH-unsaniert unterschieden.

Die Unterteilung nach der Energieeffizienz wird bei den Mehrfamilienhäusern analog vorgenommen. Zusätzlich wird weiter zwischen Gebäuden mit mittlerer und Gebäuden mit hoher Geschossigkeit unterschieden. Dies ist erforderlich, da sich der absolute Wärmebedarf je nach Größe des MFH erheblich unterscheiden kann und damit auch Einfluss auf die Auswahl der einsetzbaren Technologien hat. Somit ergeben sich für Einzelgebäude die vier weiteren Teilgebiete W2.A1, W2.B1, W2.A2 und W2.B2, mit den in der Übersicht in Tabelle 6-1 bzw. detaillierter in Tabelle 6-3 dargestellten Spezifikationen.

**Tabelle 6-1: Definition der Typgebäude**

<b>Index</b>	<b>Teilgebietstyp</b>	<b>Bezeichnung</b>
<b>W1.A</b>	Wohngebäude	EFH - saniert
<b>W1.B</b>	Wohngebäude	EFH - unsaniert
<b>W2.A1</b>	Wohngebäude	MFH klein - saniert
<b>W2.B1</b>	Wohngebäude	MFH klein - unsaniert
<b>W2.A2</b>	Wohngebäude	MFH groß - saniert
<b>W2.B2</b>	Wohngebäude	MFH groß - unsaniert
<b>G1</b>	Gewerbe	Gaststätten
<b>G2</b>	Gewerbe	Einzelhandel
<b>G3</b>	Gewerbe	Büro
<b>G4</b>	Gewerbe	Rechenzentrum
<b>G5</b>	Gewerbe	Großhandel
<b>G6</b>	Gewerbe	Hochschulen
<b>G7</b>	Gewerbe	Hotels
<b>G8</b>	Gewerbe	Krankenhaus
<b>G9</b>	Gewerbe	Pflegeheim
<b>G10</b>	Gewerbe	Schule
<b>G11</b>	Gewerbe	Verein/Kultur
<b>G12</b>	Gewerbe	Museen
<b>G13</b>	Gewerbe	Veranstaltungszentrum

### **6.3.2 Einteilung des Versorgungsgebiets – Wohnquartiere**

Für die Festlegung der Typen innerhalb des Teilgebietstyp der Wohnquartiere stellte sich zunächst die Frage, in welchen Gebäudestrukturen Quartierslösungen umsetzbar sind. Dazu ist es nötig, einen gemeinsamen Handlungsraum zu definieren. Je kleinteiliger die Eigentümerstruktur ist, desto komplexer ist die Bildung eines solchen gemeinsamen

Handlungsraums. Kleinteilige Eigentümerstruktur treten insbesondere im Einfamilienhausbereich auf. Hier müssen für die Realisierung von Quartierslösungen viele Eigentümer\*innen mit unterschiedlichen Interessen, Meinungen und Prioritäten zusammengebracht werden, was einen enormen Aufwand mit sich bringt. Außerdem kann auch die technische Umsetzung zentraler Lösungen durch große Abstände zwischen den Gebäuden erschwert werden. Im Folgenden werden daher ausschließlich Mehrfamilienhaussiedlungen als Gebäudestrukturen innerhalb derer potenzielle Quartierslösungen umgesetzt werden können, betrachtet.

In der Literatur werden für die Gruppierung von Gebäuden unterschiedliche Begrifflichkeiten und Definitionen verwendet. Für dieses Forschungsvorhaben wurden die in dem Buch „Energetische Stadtraumtypen – Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen“ [36] definierten Energetischen Stadtraumtypen (EST), die auf dem Projekt UrbanReNet aus dem Jahr 2009-2014 basieren, herangezogen.

Bei den EST handelt es sich um Siedlungsräume als Stadtbausteine, in denen Energieerzeugungspotenziale zu untersuchen sind. Charakteristische Bedarfe und Potenziale sind für die einzelnen Siedlungsräume in Steckbriefen festgehalten. Die Steckbriefe enthalten Daten zur baulichen Dichte, Nutzung, Grundfläche und Hüllfläche sowie klimatologische Eigenschaften, Potenziale für erneuerbare Energien und Energiebedarfe.

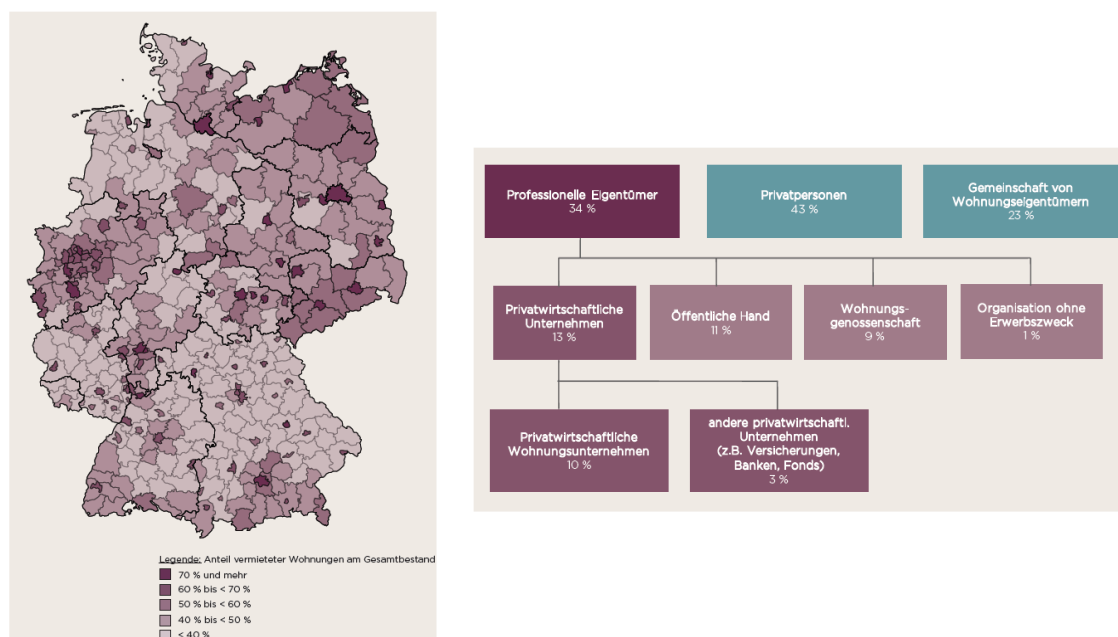
Die EST unterscheiden sich in ihrer Nutzung, Baudichte, Geschossigkeit und Lage im Stadtgebiet. Der Fokus in diesem Projekt wird auf Wohnquartiere gelegt, daher sind insbesondere die EST mit überwiegender Wohnnutzung interessant. Eine Analyse der Wohnungsstruktur in Düsseldorf wurde der Entscheidung bezüglich der Wahl der EST zur Basis gelegt.

### **Untersuchungen des Wohnungsmarktes und der Eigentümerstruktur in Düsseldorf**

Um einzuschätzen, welche der EST in Düsseldorf besonders oft vertreten sind und auch für gemeinschaftliche Lösungen in Frage kommen, wurde die Struktur am deutschen Wohnungsmarkt und speziell in Düsseldorf untersucht.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Deutschland über einen sehr großen Mietwohnungsmarkt verfügt, dessen Eigentümerstruktur sich regional stark unterscheidet. Aktuelle Zahlen und Informationen zum Wohnungsmarkt sind nicht verfügbar. Die Erkenntnisse des Zensus 2011 bei dem die Wohnungsnutzung und Eigentümerstruktur in Deutschland flächendeckend untersucht wurden, geben aber bis heute einen guten Überblick.

In kreisfreien Städten sind im Schnitt 65 % aller Wohnungen Mietwohnungen, während es in Landkreisen nur 40 % sind. Die genaue Verteilung ist in Abbildung 6-2 links zu sehen. Düsseldorf zählt mit einem Mietwohnungs-Anteil von 74,3 % zu den 15 Städten mit dem höchsten Anteil an Mietwohnungen [37].



**Abbildung 6-2: Anteile vermieteter Wohnungen am Gesamtbestand in Deutschland (links) und Eigentümerstruktur der Mietwohnungen (rechts) [37]**

Die Aufteilung der Mietwohnungen in Deutschland auf unterschiedliche Eigentümer\*innen ist in Abbildung 6-2 rechts dargestellt. Es wird deutlich, dass der größte Teil der Mietwohnungen in privater Hand liegt. Auch Gemeinschaften von Wohnungseigentümer\*innen verfügen über eine Vielzahl von Wohnungen. Für die Umsetzung von gemeinschaftlichen Lösungen kommen die Wohnungen dieser Eigentümer\*innen eher nicht in Frage. Je mehr Personen involviert sind, desto mehr steigt der Koordinationsaufwand und die Einigung auf eine gemeinsame Handlungsentscheidung ist schwer zu realisieren.

Privatwirtschaftliche Unternehmen in Deutschland verfügen in Summe über 2,7 Millionen und damit lediglich 13 % der Mietwohnungen. Die Bedeutung dieser Unternehmen ist für Düsseldorf dennoch relevant, da Düsseldorf in das Cluster fällt, bei dem die Privatwirtschaft im Mittel einen Marktanteil von 24 % beim vermieteten Wohnraum besitzt [37].

Daher wurde im Folgenden der von in Düsseldorf tätigen, professionellen Wohnungseigentümer\*innen angebotene Wohnraum genauer untersucht. Bei diesen Gebäuden haben Stadtwerke lediglich eine Ansprechperson, was die Umsetzung von zentralen Lösungen sowie das großflächige Ausrollen dieser stark vereinfacht.

### **Untersuchung der Immobilien von professionellen Wohnungseigentümer\*innen in Düsseldorf im Kontext der Energetischen Stadtraumtypen**

Ausgewertet wurden die Internetauftritte von zwei Wohnungsgesellschaften sowie fünf Genossenschaften mit Tätigkeitsschwerpunkt in Düsseldorf. Dabei wurden stichpunktartig zum einen die Bestandsbauten aber auch Neubauprojekte in Hinblick auf Gebäudetyp, Größe und Standort analysiert.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass alle Eigentümer\*innen mehr oder weniger ausgeprägt über das gesamte Stadtgebiet agieren. Die Immobilien liegen teilweise verstreut, teilweise in räumlicher Nähe zueinander. Gebäude, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft befinden, sind oftmals vom selben Typ und bilden einen zusammenhängenden

Gebäudekomplex bzw. ein einheitliches Straßenbild. Im Besitz der untersuchten Eigentümer\*innen sind weitestgehend Mehrfamilienhäuser mittlerer Geschossigkeit.

Neben der Verwaltung der Bestandsbauten beschäftigt sich ein Großteil der untersuchten Eigentümer\*innen auch mit Neubau und Modernisierung von Wohnraum. Informationen diesbezüglich werden auf den Internetseiten in der Regel prominent platziert. Bei den Bauprojekten handelt es sich weitestgehend ebenfalls um Mehrfamilienhäuser, vereinzelt sind auch Einfamilienhäuser sowie öffentliche Einrichtungen wie beispielsweise Kindertagesstätten dabei. Die Mehrfamilienhäuser weisen auch hier eine mittlere Geschossigkeit auf, sind aber tendenziell etwas höher als die Bestandsbauten. Typischerweise werden die Neubauten mit einem Flachdach realisiert.

Zu den größten deutschen Wohnungseigentümer\*innen gehören Vonovia und die Deutsche Wohnen, die beide auch in NRW tätig sind. Weiterhin halten die Aktive Immobilien-AG LEG sowie Vivawest in NRW mehr als 100.000 Wohnungen. Details zum Wohnraum speziell in Düsseldorf liegen leider nicht vor. Stichproben des derzeit angebotenen freien Wohnraums zeigten aber, dass Mehrfamilienhäuser mittlerer Geschossigkeit auch unter diesen Eigentümer\*innen am verbreitetsten sind.

### Definition der Quartierstypen

Die bei der Untersuchung gewonnen Erkenntnisse wurden im nächsten Schritt mit den bereits vorgestellten Energetischen Stadtraumtypen (EST) abgeglichen. Die in der Untersuchung vermehrt aufgetretenen Gebäude lassen sich dem Energetischen Stadtraumtypen *EST 3: Zeilenbebauung niedriger bis mittlerer Geschossigkeit* sowie dem *EST 4: Großmaßstäbliche Wohnbebauung hoher Geschossigkeit* zuordnen. Eine bildliche Darstellung der Bebauungstypen sowie eine Orthophotographie sind in Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4 gezeigt.

Für die Definition der Quartiere wird auf die zuvor definierten Typgebäude zurückgegriffen. Für EST 3 werden die Mehrfamilienhäuser mittlerer Geschossigkeit übernommen und für EST 4 die Mehrfamilienhäuser hoher Geschossigkeit. In beiden Fällen werden unsanierte Zustände angenommen. Die Definitionen der Wohnquartiere inklusive der festgelegten Anzahl an Gebäuden sind in Tabelle 6-2 gegeben.



Abbildung 6-3: Bebauung und Orthophoto von EST 3 - Zeilenbebauung niedriger bis mittlerer Geschossigkeit [36]



Abbildung 6-4: Bebauung und Ortophoto von EST 4 - Großmaßstäbliche Wohnbebauung hoher Geschossigkeit [36]

Tabelle 6-2: Definition der Wohnquartiere

Index	Teilgebietstyp	Bezeichnung	Gebäudetyp	Anzahl Gebäude
Q1.A	Wohnquartier	Zeilenbebauung klein	MFH klein unsaniert	3
Q1.B	Wohnquartier	Zeilenbebauung mittel	MFH klein unsaniert	10
Q1.C	Wohnquartier	Zeilenbebauung groß	MFH klein unsaniert	16
Q2.A	Wohnquartier	Hochhaussiedlung klein	MFH groß unsaniert	2
Q2.B	Wohnquartier	Hochhaussiedlung mittel	MFH groß unsaniert	5
Q2.C	Wohnquartier	Hochhaussiedlung groß	MFH groß unsaniert	8

## 6.4 Verwendete Lastgänge

Zur Berechnung der einzelnen Konzepte werden Lastgänge für den Strom-, Warmwasser und Heizungsbedarf sowie Fahrprofile für die Elektromobilität benötigt. Die verwendeten Lastgänge werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

### 6.4.1 Strom-, Warmwasser- und Heizlastgänge für Wohngebäude nach VDI 4655

Synthetische Lastgänge für Strom, Warmwasser und Raumwärme in Wohngebäuden wurden nach VDI 4655 (2021) [38] erstellt. In der Norm sind Referenzlastprofile in einer Auflösung von 15 Minuten für drei Gebäudetypen und zehn Typtagkategorien hinterlegt. Bei den Gebäudetypen, für die die Norm anwendbar ist, handelt es sich um Niedrigenergie-Einfamilienhäuser, Bestands-Einfamilienhäuser und Bestands-Mehrfamilienhäuser. Die zehn Typtagkategorien werden anhand der 7-Tage-Mittel-Temperatur, des Bedeckungsgrads und des Wochentags unterschieden. Dabei handelt es sich um die Kombinationen aus Wintertag/Übergangstag/Sommertag, bedeckt/heiter und Werktag/Sonn- oder Feiertag. Die Unterscheidung des Bedeckungsgrads fällt bei einem Sommertag jedoch weg. Die Referenzprofile werden außerdem mit einem Energiefaktor verrechnet, der sich auf den Standort des Gebäudes bezieht. Der Gesamtjahresbedarf wird dadurch auf die einzelnen Zeitpunkte verteilt. Alle Lastgänge wurden zu stündlichen Lastgängen aggregiert.

Um eine zu starke Überlappung von Lastspitzen bei einer Profilaggregation, zum Beispiel für Quartiere, zu vermeiden, können die Lastgänge zusätzlich randomisiert werden. Die Randomisierung spielt dabei auf drei Variablen ein: die Veränderungen eines individuellen Wertes, die Stauchung oder Streckung aller Werte eines Tages und die zeitliche Verschiebung aller Werte eines Tages. Bei der Erstellung der aggregierten Quartierslastgänge wurde diese Randomisierung berücksichtigt.

Die Daten, die zur Bestimmung der Jahresbedarfe der einzelnen Wohngebäudetypen, angenommen wurden, sind in Tabelle 6-3 angegeben. Die daraus resultierenden Jahresverbräuche, die direkt in die Lastgangsimulation einfließen, sind in Tabelle 6-4 übersichtlich dargestellt.

**Tabelle 6-3: Benutzte Daten für Wohngebäudelastgänge**

	Anzahl Wohnun- gen [39, 40]	Personen je Woh- nung [39, 40]	Wohnfläche je Wohnung in m <sup>2</sup> [41]	Heizwärme- bedarf in kWh/m <sup>2</sup> /a [42]	Trinkwasser- erwärmung in kWh/a pro Person [43]	El. Energie in kWh/a pro Wohnung [44]
<b>EFH unsaniert</b>	1	4	140	150	700	4000
<b>EFH saniert</b>	1	4	140	55	700	4000
<b>MFH klein unsaniert</b>	8	1.7	70	100	700	1790
<b>MFH klein saniert</b>	8	1.7	70	45	700	1790
<b>MFH groß unsaniert</b>	20	1.5	70	80	700	1650
<b>MFH groß saniert</b>	20	1.5	70	40	700	1650

**Tabelle 6-4: Jahresverbräuche für Wohngebäudelastgänge**

	Heizwärmebedarf in kWh	Trinkwassererwärmung in kWh	El. Energie in kWh
<b>EFH unsaniert</b>	21000	2800	4000
<b>EFH saniert</b>	7700	2800	4000
<b>MFH klein unsaniert</b>	56000	9520	14320
<b>MFH klein saniert</b>	25200	9520	14320
<b>MFH groß unsaniert</b>	112000	21000	33000
<b>MFH groß saniert</b>	56000	21000	33000

#### 6.4.2 Strom- und Wärmelastgänge für Gewerbegebäude nach BDEW

Die Lastgänge für Gewerbegebäude wurden mit einer anderen Methodik erstellt. Synthetische Stromlastprofile beruhen auf den Standardlastprofilen nach BDEW [34]. Dies sind errechnete, hinreichend genaue Prognosen des Strombedarfs in 15-minütiger Auflösung. Auch hier beruht die Erstellung des Lastgangs auf Referenzprofilen. Diese sind für drei Jahreszeiten (Winter/Sommer/Übergangszeit), Wochentage (Werktag/Samstag/Sonn- und

Feiertag) und unterschiedliche Gewerbetypen gegeben. Alle Lastgänge wurden zu stündlichen Lastgängen aggregiert.

Die synthetischen Wärmelastgänge basieren ebenfalls auf Standardlastprofilen. Hierzu wurden Gasabnahmeprofile gewählt, bzw. deren Weiterentwicklung nach FfE [35, 45], die eine Korrektur der Profile auf Basis von Untersuchungen realer Abnehmer enthält. Auch hier sind Referenzprofile hinterlegt, die von der Außentemperatur und dem Wochentag abhängig sind, und in stündlicher Auflösung für verschiedene Abnahmetypen vorliegen. Anders als bei Wohngebäuden wird beim Gewerbe nicht in Heiz- und Warmwasserbedarf unterschieden. Die Gasprofile wurden 1:1 in Wärmeprofile verrechnet.

Die angenommenen Jahresverbräuche und die Profiltypen sind in Tabelle 6-5 angegeben. Für die Werte der Jahresverbräuche wurde maßgeblich ein veröffentlichter Forschungsbericht verwendet. Zusätzlich wurden die Verbräuche für Museen und Veranstaltungszentren aus tatsächlichen Messdaten in Düsseldorf abgeleitet.

**Tabelle 6-5: Jahresverbräuche für GHD-Lastgänge**

	<b>El. Energie in kWh</b>	<b>Wärmebedarf in kWh</b>	<b>Stromprofil</b>	<b>Gasprofil</b>
<b>Gaststätten [46]</b>	32166	62376	G2	GGA
<b>Einzelhandel [46]</b>	33000.5	49552.75	G4	GHA
<b>Büro [46]</b>	51159.5	128380.5	G1	GKO
<b>Rechenzentrum</b>	8666667 [47]	0	G3	GKO
<b>Großhandel [46]</b>	59893.8	114152.5	G1	GHA
<b>Hochschulen [46]</b>	710368	3041184	G1	GKO
<b>Hotels [46]</b>	164421	164421	G2	GBH
<b>Krankenhaus [46]</b>	2190826	4331558	G3	GKO
<b>Pflegeheim [46]</b>	118480	389680	G2	GBH
<b>Schule [46]</b>	104251	446313	G1	GKO
<b>Vereine/Kultur [46]</b>	31400	53000	G2	GGA
<b>Museen</b>	2599802 [Messdaten aus Düsseldorf]	3899703 [=1.5* Strombedarf]	G1	GKO
<b>Veranstaltungszentrum [Messdaten aus Düsseldorf]</b>	4003554	3883095	G2	GGA

### 6.4.3 Mobilitätslastgänge für Wohngebäude

Die im Projekt verwendeten Mobilitätslastgänge wurden mit Hilfe eines Fahrprofilsimulationstools erstellt, welches im Rahmen einer Masterarbeit am UMSICHT [48] entwickelt wurde. Dieses Tool beruht auf dem Datensatz B1 der Mobilitätsumfrage in Deutschland 2017 [49]. Auf Basis dieses Datensatzes wurde ein stochastisches Simulationsmodell gebildet, mit dem Fahrprofile unterschiedlicher Nutzungstypen erstellt werden können. Diese Fahrprofile können im Optimierungsmodell in Form von einzelnen Nutzenden eines Autos (Wallbox), gemeinsamer Nutzung eines Autos von mehreren Personen (Carsharing) oder gemeinsame Nutzung von Ladepunkten (öffentliche Ladesäule) eingepflegt werden. Dabei kann ein direktes oder ein gesteuertes Laden dargestellt werden.

In diesem Projekt greifen wir auf folgende Nutzungstypen mit folgendem Fahrverhalten zurück:

- Vollzeitbeschäftigte (VZB) mit einem Arbeitsweg und zwei Nicht-Arbeitswegen pro Tag
- Teilzeitbeschäftigte (TZB) mit einem Arbeitsweg und zwei Nicht-Arbeitswegen pro Tag
- Hausfrauen/-männer (H) mit zwei Nicht-Arbeitswegen pro Tag
- Schüler\*innen (S) mit zwei Nicht-Arbeitswegen pro Tag

Basierend auf den Nutzungstypen wurden spezifische Haushaltskonstellationen definiert. In der Auswahl gibt es Haushalte mit 1-3 Nutzer\*innen, die sich jeweils 1-2 E-Autos teilen. Wenn sich in einem Haushalt ein Auto bzw. zwei Autos geteilt werden, ist dies in der Fahrprofilsimulation als Carsharing umgesetzt. Die Haushaltstypen sind in Tabelle 6-6 definiert.

**Tabelle 6-6: Definierte Haushaltstypen für Mobilitätskonzepte**

	<b>Nutzungstypen</b>	<b>Anzahl Wallboxen</b>	<b>Als Carsharing implementiert</b>
<b>H1</b>	1 VZB	1	✗
<b>H2</b>	1 VZB und 1 H	1	✓
<b>H3</b>	1 VZB und 1 TZB	2	✓
<b>H4</b>	1 VZB und 1 TZB und 1 S	2	✓

Für Einfamilienhäuser werden die Haushaltstypen H1, H2 und H4 modelliert. In Mehrfamilienhäusern sollen die Typen H1 und H3 vorkommen. Während im Einfamilienhaus für jedes Szenario die gleichen drei Haushaltstypen modelliert werden, ist für die Mehrfamilienhäuser-Gebäudetypen zusätzlich definiert, wie viele Haushalte für das Mobilitätskonzept mitbetrachtet werden. Dabei wird einerseits eine Zunahme an E-Autos in zukünftigen Jahren angenommen und andererseits, dass im sanierten Gebäudetyp mehr Platz für Ladesäulen vorhanden ist, sodass dort mehr Haushalte im Mobilitätskonzept berücksichtigt werden als im unsanierten Gebäudetyp. Eine Übersicht über die Annahmen der Haushalte in MFH in den jeweiligen Szenarien (siehe Kapitel 6.6) ist in Tabelle 6-7 aufgeführt.

**Tabelle 6-7: Annahmen für das Mobilitätsverhalten der Haushalte in MFH in den verschiedenen Szenarien**

	<b>2021</b>	<b>2035</b>	<b>2050</b>
<b>MFH klein saniert</b>	3 × H1	4 × H1 und 2 × H3	4 × H1 und 2 × H3
<b>MFH klein unsaniert</b>	2 × H1	2 × H1 und 1 × H3	4 × H1 und 2 × H3
<b>MFH groß saniert</b>	7 × H1	10 × H1 und 5 × H3	10 × H1 und 5 × H3
<b>MFH groß unsaniert</b>	4 × H1	5 × H1 und 2 × H3	10 × H1 und 5 × H3

Für die jeweiligen Gebäudetypen und Szenariojahre werden die simulierten Haushaltsprofile aggregiert. Die simulierten Fahrprofile ergeben einen zusätzlichen stündlich-aufgelösten Stromverbrauch für die Gebäude, der für das Laden der E-Autos anfällt. Über die

Modellierung kann die Aufladung der E-Autos über zwei Ladestrategien implementiert werden. Beim direkten Laden wird ein Auto geladen, sobald eine vorherige Fahrt beendet ist, und das Auto wieder an den Gebäudestromkreis angeschlossen ist. Das gesteuerte Laden wird über den Strompreis geregelt. Mit perfekter Voraussicht kann das System entscheiden, in welchem Zeitraum ein Auto geladen werden soll, sodass die benötigte Energie für die nächste Fahrt rechtzeitig im Auto verfügbar ist.

## 6.5 Betrachtete Konzepte

Die Energieversorgung der Gebäude und Quartiere kann über verschiedene vordefinierte Konzepte realisiert werden. Die Energieversorgungskonzepte beziehen sich dabei auf ein bis zwei Sektoren (aus Wärme, Strom und Mobilität). Ein Konzept enthält eine festgelegte Kombination von Technologien, die das Gebäude oder das Quartier versorgen. Die Konzepte sind jeweils lokale Versorgungslösungen, wobei die Technologien am Gebäude oder im Quartier installiert werden. Es ist darüber hinaus festgelegt, für welche Gebäudetypen die Lösungen umgesetzt werden können. Es handelt sich bei den Konzepten mehrheitlich um innovative Lösungen, die zumeist erneuerbare Energien beinhalten und daher eine effiziente, klimafreundliche Energieversorgung gewährleisten.

Bedingt durch die aktuellen Entwicklungen in der Wärmewende wurde ein starker Fokus auf Wärmekonzepte gelegt. Diese Konzepte bedienen ausschließlich den Wärmesektor. In Tabelle 6-8 sind die im Projekt betrachteten Wärmekonzepte dargestellt. Die Auflistung zeigt die jeweiligen installierten Technologien und die Anwendungsbereiche, die sich auf die definierten Gebäude-/Quartierstypen beziehen (siehe Kapitel 6.3).

**Tabelle 6-8: Betrachtete Wärmekonzepte**

<b>Name</b>	<b>Technologien</b>	<b>Anwendungstyp</b>
<b>Gaskessel</b>	Gaskessel + Wärmespeicher	Alle Wohngebäude, alle GHD-Typen
<b>Gaskessel mit Solarthermie</b>	Gaskessel (Bestand) + Wärmespeicher + Solarthermie	Alle Wohngebäude, Gaststätten, Hotels, Krankenhaus, Pflegeheim, Verein
<b>Pelletkessel</b>	Pelletkessel + Wärmespeicher	Alle Wohngebäude, alle GHD-Typen
<b>Pelletkessel mit Solarthermie</b>	Pelletkessel + Wärmespeicher + Solarthermie	Alle Wohngebäude, Gaststätten, Hotels, Krankenhaus, Pflegeheim, Verein
<b>Hybride Wärmepumpe</b>	Wärmepumpe + Gaskessel (Bestand) + Wärmespeicher	Unsanierete Wohngebäude
<b>Wärmepumpe</b>	Wärmepumpe + Wärmespeicher	Alle Wohngebäude, alle GHD-Typen
<b>Wärmepumpe mit Sperrzeittarif</b>	Wärmepumpe + Wärmespeicher	Alle Wohngebäude, alle GHD-Typen außer Krankenhaus und Pflegeheim
<b>Wärmepumpe mit Solarthermie</b>	Wärmepumpe + Wärmespeicher + Solarthermie	Alle Wohngebäude, Gaststätten, Hotels, Krankenhaus, Pflegeheim, Verein

<b>Zentrale Wärmepumpe</b>	Wärmepumpe + Wärmespeicher + Nahwärmenetz	Wohnquartiere
<b>Kalte Nahwärme</b>	Dezentrale Wärmepumpen + dezentrale Wärmespeicher + kaltes Nahwärmenetz	Wohnquartiere
<b>Zentraler Pelletkessel</b>	Pelletkessel + Wärmespeicher + Nahwärmenetz	Wohnquartiere

Neben den reinen Wärmekonzepten wurden auch Konzepte betrachtet, die die Sektoren Strom und Wärme bedienen und dabei koppeln. Hier werden also Konzepte herangezogen, die sowohl Strom- als auch Wärmebedarfe decken und dabei Technologien verwenden, die Energie von einem Sektor in einen anderen umwandeln. Diese gekoppelten Konzepte sind in Tabelle 6-9 aufgeführt.

**Tabelle 6-9: Betrachtete Strom-Wärme-Kopplungs-Konzepte**

<b>Name</b>	<b>Technologien</b>	<b>Anwendungstyp</b>
<b>Wärmepumpe mit PV</b>	Wärmepumpe + Wärmespeicher + PV + Batterie + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude, alle GHD-Typen
<b>PV mit Heizstab für Wärmespeicher</b>	Gaskessel (Bestand) + Wärmespeicher (Bestand) + PV + Heizstab + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude
<b>BHKW</b>	Gas-BHKW + Gaskessel + Wärmespeicher + Stromnetzanschluss	Mehrfamilienhäuser, Alle GHD-Typen außer Gaststätten, Rechenzentrum und Verein
<b>iKWK</b>	Gas-BHKW + Elektrokessel + Solarthermie + Stromnetzanschluss + Nahwärmenetz	Wohnquartiere

Des Weiteren wurden reine Stromkonzepte betrachtet. Dies bezieht sich primär auf Konzepte mit PV-Anlagen für die Stromversorgung. Auch hier gibt es Konzepte auf Gebäude-, und ein Konzept auf Quartiersebene. Aufgelistet sind sie in Tabelle 6-10.

**Tabelle 6-10: Betrachtete Stromkonzepte**

<b>Name</b>	<b>Technologien</b>	<b>Anwendungstyp</b>
<b>Stromnetzanschluss</b>	Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude, alle GHD-Typen
<b>PV</b>	PV + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude, alle GHD-Typen
<b>PV mit Batterie</b>	PV + Batterie + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude, alle GHD-Typen
<b>Quartiersbatterie</b>	Dezentrale PV + Zentrale Batterie	Wohnquartiere

Für Wohngebäude wurden darüber hinaus Mobilitätskonzepte betrachtet (Tabelle 6-11). Diese sind genaugenommen ebenfalls reine Stromkonzepte, da das modellierte Mobilitätsverhalten in Strombedarfe umgerechnet wird (siehe Kapitel 6.4.3). Daher werden die Mobilitätskonzepte mit PV-Anlage und Batterie verbunden. Hier finden sich also die Stromkonzepte aus Tabelle 6-10 wieder, diesmal mit Betrachtung von E-Mobilität über direktes oder gesteuertes Laden.

**Tabelle 6-11: Betrachtete Mobilitätskonzepte**

<b>Name</b>	<b>Technologien</b>	<b>Anwendungstyp</b>
<b>Direktes Laden</b>	Wallbox + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude
<b>Gesteuertes Laden</b>	Wallbox + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude
<b>Direktes Laden mit PV</b>	Wallbox + PV + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude
<b>Gesteuertes Laden mit PV</b>	Wallbox + PV + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude
<b>Direktes Laden mit PV und Batterie</b>	Wallbox + PV + Batterie + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude
<b>Gesteuertes Laden mit PV und Batterie</b>	Wallbox + PV + Batterie + Stromnetzanschluss	Alle Wohngebäude

## 6.6 Szenarien

Mit dem Bewertungstool soll eine szenarienbasierte Analyse für neue Energieprodukte für Stadtwerke möglich sein. Mithilfe der Szenariobetrachtung soll es den Stadtwerken ermöglicht werden, Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Energiesystemprodukte zu treffen und auf die Bewertung der Energiesystemprodukte in Abhängigkeit der Entwicklung der jeweiligen Rahmenbedingungen zurückzugreifen. Um die abhängigen Schlüsselfaktoren zu bestimmen, wird eine Analyse anhand der ersten beiden Schritte der Szenario-Entwicklung nach Gausemeier und Kosow & Gaßner [50, 51] durchgeführt. Insbesondere für stark abhängige Faktoren wird auf Daten aus Fundamentalmodellen zurückgegriffen, um sicherzustellen, dass ein konsistentes Gesamtszenario verwendet wird.

### 6.6.1 Fünf Phasen der Szenario-Entwicklung

In der Theorie der Szenario-Entwicklung nach Gausemeier [50] erfolgt diese in fünf einzelnen Stufen:

1. Szenario-Vorbereitung: umfasst die Definition des Projekts sowie des zeitlichen und geografischen Rahmens.
2. Szenario-Analyse: beinhaltet die Bestimmung der Einflussfaktoren und die Analyse des gegenseitigen Einflusses dieser Faktoren aufeinander mit dem Ziel, die wesentlichen Schlüsselfaktoren zu identifizieren.
3. Szenario-Prognostik: umfasst die Bestimmung der Schlüsselfaktorausprägungen.
4. Szenario-Bildung: mithilfe der Cross-Impact-Bilanz bzw. einer Konsistenzmatrix werden Basis- und Extremszenarien gebildet.
5. Szenario-Transfer: beinhaltet die Auswertung der Szenarien mit Bezug auf das Projekt.

Hier werden nur die ersten beiden Schritte durchgeführt und daraus die Ausprägungen bestimmt, für die Szenariowerte definiert werden müssen. Im ersten Schritt der Vorbereitung wird festgelegt, für welche Jahre und welchen geografischen Raum die Szenario-Ausprägungen gegeben sein sollen.

Im zweiten Schritt werden die Einflussfaktoren, welche für die Berechnungen der Energiesystemkennzahlen, bzw. die Optimierungsrechnungen, relevant sind, gesammelt und eine Einflussanalyse [51] durchgeführt. In einer Einflussmatrix wird die Wirkung der einzelnen Faktoren aufeinander analysiert, wobei insbesondere die Stärke des Einflusses auf einer Skala von 0 (kein Einfluss) bis 3 (starker Einfluss) angegeben wird. Anschließend werden die Einflüsse in einer 4-Felder-Analyse weiter untersucht. Hierfür werden die Aktiv- und Passivsummen der Einflussfaktoren bestimmt. Diese setzen sich aus der Summe der bewerteten Einflüsse zusammen. Die Aktivsumme ist also die Summe über alle Faktoren aus den Bewertungen, wie stark ein Faktor andere Faktoren beeinflusst und die Passivsumme ist die Summe über alle Faktoren aus den Bewertungen, wie stark ein Faktor von anderen Faktoren beeinflusst wird. Aus den Aktiv- und Passivsummen werden für die einzelnen Faktoren die folgenden Werte bestimmt:

$$Q\text{-Wert} = \text{Aktivsumme} / \text{Passivsumme} \quad (1)$$

$$P\text{-Wert} = \text{Aktivsumme} \cdot \text{Passivsumme} \quad (2)$$

Die Faktoren werden anschließend in vier Kategorien eingeteilt:

- $Q < 1, P < (n-1)^2$  : Puffer
- $Q > 1, P < (n-1)^2$  : Hebel
- $Q < 1, P > (n-1)^2$  : Indikator
- $Q > 1, P > (n-1)^2$  : Dynamisch

$n$  ist dabei die Anzahl der Einflussfaktoren. Pufferfaktoren könnten in einer weiteren Analyse isoliert werden, Hebel haben eine lenkende Wirkung, Indikatoren eignen sich, um Situationen zu beobachten und dynamische Faktoren sollten auf jeden Fall weiter betrachtet werden.

## 6.6.2 Szenario-Vorbereitung und Einflussanalyse

In der Szenario-Vorbereitung wurde festgelegt, dass die Szenarien für Deutschland und je nach Detaillierungsmöglichkeit für die Stadt Düsseldorf bestimmt werden sollen. Die Ausprägungen der Einflussgrößen sollten sowohl für das Szenario 2021 als auch für die

Stichjahre 2035 und 2050 angegeben werden, da diese Jahre für die Klimaschutzziele der Stadt Düsseldorf relevant sind.

Der Hauptfokus bei der Szenario-Entwicklung lag auf der Einflussanalyse. So wurden zunächst Einflussfaktoren gesammelt. Dafür wurden die notwendigen Eingabegrößen für die Optimierungsrechnungen betrachtet und diese durch weitere, für die ausgewählten Konzepte relevanten, Größen ergänzt. Anhand dieser Liste wurde mit den Stadtwerken Düsseldorf in einem Workshop die Einflussmatrix aufgestellt. Die Wahl der Einflussfaktoren wurde dabei basierend auf Expert\*inneneinschätzungen der Teilnehmenden getroffen. Dabei wurde für einige Faktoren bereits festgestellt, dass sie keinen Einfluss auf jeglichen anderen Faktor haben. In Abbildung 6-5 sind die Ergebnisse des Workshops dargestellt. In den Zeilen ist jeweils dargestellt, wie groß der Einfluss des jeweiligen Faktors auf die anderen Faktoren ist und somit stellen die Spalten dar, wie sehr die Faktoren von welchen anderen Faktoren beeinflusst werden. Haben Faktoren keinen Einfluss aufeinander, wurde das Feld leer gelassen.

	Wetterdaten	CO2-Faktor	CO2-Steuer	CO2-Preis ETS-Handel	Verbraucher-Strompreis	Einspeisevergütung	Börsenstrompreis	Gaspreis	Gaszusammensetzung	Holzpreis	H2-Preis	CO2-Faktor H2	Fernwärme-Erzeugerpark	Fernwärmeausbau	CAPEX	Invest-Förderungen	WACC	Aktivsumme
Wetterdaten		1		1	1		1	1										5
CO2-Faktor Strommix					1	1	2											4
CO2-Steuer		1			1	1	1	1										5
CO2-Preis ETS-Handel		1			1		2				1							5
Verbraucher-Strompreis		1				1												2
Einspeisevergütung		2																2
Börsenstrompreis		2			2			1	1		3							9
Gaspreis							2											2
Gaszusammensetzung								1										1
Holzpreis																		0
H2-Preis				1				1	1									3
CO2-Faktor H2																		0
Fernwärme-Erzeugerpark																		0
Fernwärmeausbau																		0
CAPEX																		0
Invest-Förderungen																		0
WACC																		0
Passivsumme	0	8	0	2	6	3	8	5	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0

**Abbildung 6-5: Ergebnisse des Workshops zur Einflussmatrix**

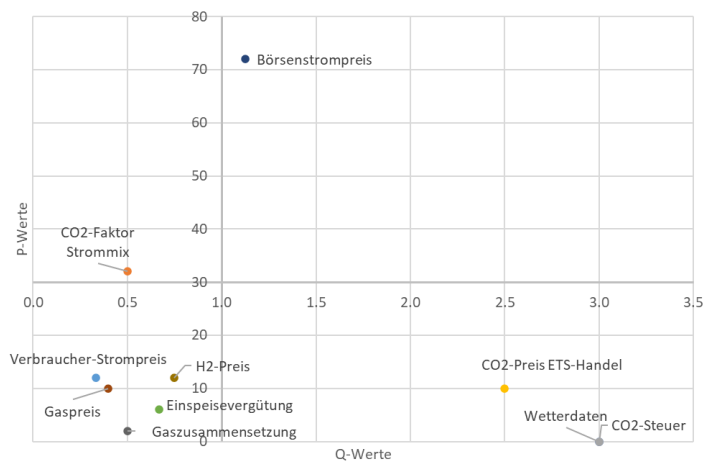
Aus (1) und (2) wurden anschließend Q-Wert und P-Wert der Einflussfaktoren, für die Einflüsse ermittelt wurden, bestimmt. Dadurch lässt sich in der Vier-Felder-Matrix (Abbildung 6-6) analysieren, welchem Faktortyp die Einflussfaktoren zuzuordnen sind. Die Grenze des P-Wertes für die Einteilung der Faktoren wurde dabei nach unten korrigiert, sodass deutlich voneinander abweichende Faktoren in unterschiedlichen Kategorien landen.

**Indikatoren:**

Faktor wird stärker beeinflusst, als dass er selbst beeinflussend wirkt.  
Gute Indikatoren zur Beobachtung einer Situation

**Puffer:**

Faktor beeinflusst schwach und wird selbst nur schwach beeinflusst.  
Diese Faktoren sind eher isoliert.

**Dynamisch:**

Faktor beeinflusst stark und wird stark beeinflusst  
Diese Faktoren sind mit anderen Faktoren vernetzt und dürfen nicht aus dem Blick gelassen werden

**Hebel:**

Faktor nimmt mehr Einfluss auf das Feld, als dass er selbst beeinflusst wird  
Diese Faktoren haben eine lenkende Wirkung

**Abbildung 6-6: Vier-Felder-Matrix der Einflussfaktoren**

Für die Wahl der Schlüsselfaktoren war ausschlaggebend, dass die Faktoren, die eine gegenseitige Abhängigkeit aufweisen, aus einheitlichen Datensätze herausgezogen werden. Dies betrifft insbesondere die Angaben zum Börsenstrompreis, Gaspreis, CO<sub>2</sub>-Preis und CO<sub>2</sub>-Faktor des Strommixes. Die Ausprägungen für den Verbraucherpreis, die Einspeisevergütung, den Holzpreis, die Gaszusammensetzung (H<sub>2</sub>-Beimischung im Erdgas oder nicht) wiederum hängen zwar teilweise von diesen Größen ab, haben aber selbst keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die anderen Größen und werden daher aus anderen Quellen entnommen, mit den zusammenhängenden Werten für die Preise und den CO<sub>2</sub>-Faktor kombiniert und erhöhen so die Anzahl der betrachteten Szenarien. Die Wetterdaten haben zwar einen großen Einfluss auf viele der anderen Größen, jedoch wurde bewusst entschieden, diese aus einem unabhängigen Datensatz zu wählen, um eine realistische Abbildung, insbesondere der Zukunftsszenarien, zu gewährleisten. Weiterhin werden für die Berechnung der Energiekonzepte noch unterschiedliche Angaben zur Zusammensetzung der Fernwärme und der CAPEX Werte betrachtet.

### 6.6.3 Ausprägungen der Schlüsselfaktoren

Für die Schlüsselfaktoren wurden insgesamt bis zu fünf Ausprägungen festgelegt. Dabei gibt es zum einen das Szenario 2021, zum anderen werden die Jahre 2035 und 2050 betrachtet, für die jeweils bis zu zwei Ausprägungen aufgestellt wurden. Die gewählten Ausprägungen sind in Tabelle 6-12 gelistet.

Am Anschluss an die Analyse aus 6.6.2 wurden Anpassungen an den Schlüsselfaktoren vorgenommen, um die für die Berechnungen benötigten Größen vollständig abzubilden. In Tabelle 6-12 werden keine Angaben zu Fernwärmepreisen und Primärenergie-/Erneuerbare Energien-Faktoren und dem CAPEX gemacht. Da die Fernwärme in der Berechnung der Nicht-Fernwärmekonzepten keine Rolle spielt, kann diese als Vergleichswert jeweils selbst definiert werden. Der CAPEX ist abhängig von der jeweiligen Technologie. Außerdem werden die Ausprägungen für den CO<sub>2</sub>-Preis nicht gelistet, da dieser nur indirekt in die Berechnungen einspielt. Hinzu kamen, neben den Verbraucheraufpreisen für Strom, noch die Verbraucheraufpreise für Gas. Dies sind die jeweiligen Aufschläge, die auf den Börsenpreis addiert werden. Bei den Verbraucheraufpreisen wird außerdem in Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG) unterschieden, da diese unterschiedliche Strom- bzw. Gstarife beziehen. Neben dem CO<sub>2</sub>-Faktor für den Strommix wird zudem der CO<sub>2</sub>-Faktor für Erdgas einbezogen. Für das Szenario mit einer H<sub>2</sub>-Beimischung wird von einer 20%-Beimischung

ausgegangen, welche ab dem Jahr 2035 betrachtet wird. Hierfür werden Ausprägungen für die Kosten und den CO<sub>2</sub>-Faktor angegeben. Einspeisevergütungen betreffen zum einen die PV-Einspeisevergütung, welche zum jetzigen Zeitpunkt einen gestaffelten Wert hat, welcher von der Größe der installierten Leistung abhängt. Zum anderen wird die KWK-Einspeisevergütung betrachtet.

Die Ausprägungen für die Jahre 2035 und 2050 der Faktoren Strompreis, Gaspreis und CO<sub>2</sub>-Faktor Strommix stammen aus Datensätzen von Fundamentalmodellen<sup>1</sup>. Dadurch sind zwei Ausprägungen für die Faktoren in den jeweiligen Jahren gegeben. Für den Gaspreis ergibt sich im jeweiligen Jahr der gleiche Wert. Die Werte der anderen Faktoren unterscheiden sich jedoch. Die Ausprägungen für den Preis im Szenario „Grünes Gas“ basieren auf den Daten für reines Erdgas, sowie [52] und [53].

Die Ausprägung für den durchschnittlichen Day Ahead-Strompreis aus 2021 entstammt [54], der durchschnittliche TTF Gaspreis [55], der CO<sub>2</sub>-Faktor des Strommixes [56] und der CO<sub>2</sub>-Faktor von Erdgas [57]. Letzterer bleibt über alle betrachteten Jahre gleich und fließt in die Berechnung für den CO<sub>2</sub>-Faktor des grünen Gases anteilig mit dem gravimetrischen Anteil von 97.24 %, was dem volumetrischen Anteil von 80 % entspricht, ein. Der Wasserstoff hat in dem Szenario keinen Anteil am CO<sub>2</sub>-Faktor, da das Szenario der Annahme von grünem H<sub>2</sub> unterliegt.

Der Holzpreis, welcher für Konzepte mit einem Biomassekessel relevant ist, bezieht sich hier auf den Pelletpreis. Der aktuelle Pelletpreis für 2021 ist [58] entnommen und die zukünftigen Pelletpreise wurden aus [59] und [60] abgelesen bzw. abgeschätzt.

Der Verbraucheraufpreis von Gas für Wohngebäude entstammt [61]. Dabei wurden die Aufschläge auf den Beschaffungspreis von Gas für Mehrfamilienhäuser betrachtet. Der Aufschlag für 2021 wurde direkt abgelesen und die Aufschläge für 2035 und 2050 wurden aus den gegebenen Daten extrapoliert und zwei Ausprägungen bestimmt. Für Nichtwohngebäude wurde nach demselben Prinzip vorgegangen und der Datensatz aus [62] verwendet. Ebenso wurde der Verbraucheraufpreis von Strom für Wohngebäude aus [63] genommen bzw. berechnet und der für Nichtwohngebäude aus [64].

Die PV-Einspeisevergütungen für 2021 sind [65] entnommen, als durchschnittlicher Wert aus den monatlichen Angaben. Für die zukünftigen Jahre wird mit den Börsenstrompreiszeitreihen gerechnet, da davon ausgegangen wird, dass die Einspeisung direkt über den Börsenpreis vergütet werden wird. Die KWK-Einspeisevergütung für 2021 ist ein Durchschnitt der Quartalsindexe der European Energy Exchange AG [66]. Für die zukünftigen Jahre wird der Jahresdurchschnitt des Börsenpreises angenommen und daher entsprechen diese Ausprägungen jeweils den beiden Ausprägungen aus den Fundamentalmodellen.

Als Wetterdaten, welche direkt in die Konzeptberechnungen einfließen, werden die TRY-Datensätze vom Deutschen Wetterdienst [67] verwendet. Diese Daten sollen ein repräsentatives Wetterjahr darstellen und sind für jeden Quadratkilometer in Deutschland verfügbar. Es gibt einen Datensatz, der aus den historischen Daten von 1995-2012 erzeugt wurde und für die Modellierung des 2021-Szenario verwendet wird und einen Datensatz, welcher mithilfe von regionalen Klimamodellen die Wetterlage der Jahre 2031-2060 repräsentieren soll. Für das Projekt werden die Datensätze aus der Düsseldorfer Stadtmitte benutzt und der Zukunftsdatensatz wird für die Szenarien 2035 und 2050 verwendet.

---

<sup>1</sup> Enervis: Marktstudie zur Strompreisentwicklung 2050 – Szenario Q2/2021 und Q3/2021

Tabelle 6-12: Ausprägungen der Szenariogrößen

	2021	2035		2050	
		Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 1	Ausprägung 2
<b>Strompreis [€/kWh]</b>	0.097	0.076	0.062	0.067	0.053
<b>Gaspreis [€/kWh]</b>	0.048	0.024	0.024	0.028	0.028
<b>Holzpreis [€/kWh]</b>	0.048	0.066	0.077	0.081	0.144
<b>Verbraucher- aufpreis Strom [€/kWh]</b>	0.24 (WG) / 0.14 (NWG)	0.26 (WG)/ 0.15 (NWG)	0.29 (WG)/ 0.17 (NWG)	0.305 (WG)/ 0.18 (NWG)	0.335 (WG)/ 0.196 (NWG)
<b>PV-Einspeise- vergütung [€/kWh]</b>	0.075/0.073/ 0.057 (je nach inst. Leistung)	Börsenpreis- zeitreihe	Börsenpreis- zeitreihe	Börsenpreis- zeitreihe	Börsenpreis- zeitreihe
<b>KWK-Einspeise- vergütung [€/kWh]</b>	0.096	0.076	0.062	0.067	0.053
<b>CO<sub>2</sub>-Faktor Strommix [kg/kWh]</b>	0.42	0.09	0.121	0.055	0.046
<b>Verbraucher- aufpreis Gas [€/kWh]</b>	0.035 (WG)/ 0.018 (NWG)	0.045 (WG) /0.023 (NWG)	0.055 (WG)/ 0.028 (NWG)	0.06 (WG)/ 0.031 (NWG)	0.07 (WG)/ 0.036 (NWG)
<b>CO<sub>2</sub>-Faktor Erdgas [kg/kWh]</b>	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201
<b>Grünes Gas [€/kWh] (Erdgas mit 20% H<sub>2</sub>-Beimischung)</b>	---	0.029	0.029	0.030	0.030
<b>CO<sub>2</sub>-Faktor Grünes Gas [kg/kWh]</b>	---	0.187	0.187	0.187	0.187

## 6.7 Bewertungsmethodik

Die Bewertungsmethodik folgt einem zweistufigen Verfahren entsprechend dem modularen Aufbau des Tools. Auf der Konzeptebene werden die einzelnen Konzepte zunächst mathematisch optimiert und dann mithilfe einer MCDA-Analyse gegeneinander gerankt. In einem nachfolgenden Schritt werden sie auf der Portfolioebene mittels Portfolioanalyse bewertet.

### 6.7.1 Konzeptebene

Zur Auswahl der optimalen Anlagenauslegung und Betriebsweise für ein Energiesystem wird der Ansatz der mathematischen Modellierung in Form einer Gemischt-Ganzzahlig-Linearen-Programmierung (GGLP) herangezogen. Dabei wird das Energiesystem als Strukturoptimierungsproblem modelliert. Die Umsetzung erfolgt unter Einsatz der frei verfügbaren Optimierungsbibliothek oemof in Python. Für die Erstellung der Anlagenmodelle wird zusätzlich das UMSICHT-interne Softwaretool ESyOpT<sup>®</sup> genutzt.



**Abbildung 6-7: Übersichtsschema zur Energiesystemoptimierung**

Wie in Abbildung 6-7 dargestellt wird, besteht das Gesamtmodell neben den notwendigen Anlagenmodellen auch aus der Abbildung der jeweiligen Versorgungssituationen als Energiesystem sowie festgelegten Zielfunktionen. Die Zielfunktion entspricht hierbei den Gesamtkosten des Systems.

Vor Beginn der eigentlichen Berechnungen lag zunächst eine intensive Phase der Datenbeschaffung. Die Stadtwerke Düsseldorf lieferten möglichst viele Daten zu Verbräuchen, Preisen, Anlagendaten und weiteren Parametern der Modellierungen. Da in der gewählten Optimierungsmethodik neben der Betriebsfahrweise auch die Anlagengröße optimiert wird, liegt ein besonderes Augenmerk auf den Kostenmodellen. Durch die verschiedenen Investitions- und Wartungskosten sowie unterschiedliche Marktpreise und größenabhängigen Einspeisevergütungen entsteht ein komplexes System an Kostenfunktionen. Auch die zuvor erstellten Lastgänge (siehe Kapitel 6.4) fließen in die Optimierungsrechnungen ein.

Für die Konzeptbewertung wurden zwei relevante Bewertungskriterien ausgewählt. Aus ökonomischer Sicht sollen hier die jährlichen Gestehungskosten (engl. Levelised Costs of Energy, LCOE) betrachtet werden. Diese bestehen aus den jährlichen Gesamtkosten je Energieeinheit im System:

$$\text{LCOE} = \sum_{\text{Technologien}} \frac{\text{Annuität der Investkosten} + \text{jährliche Wartungskosten} + \text{jährliche Betriebskosten}}{\text{Energiebedarf des Systems} + \text{ggfs. erzeugte Energie aus PV oder Solarthermie}}$$

Für die Berechnung der Annuitäten der Investkosten werden die Gesamtinvestkosten auf ein Jahr diskontiert. Alle Angaben zu den Kosten fließen in die Optimierungsrechnungen ein und die Werte werden entsprechend den optimierten Systemen entnommen. Verrechnet werden die Kosten mit der Energiemenge, die im System verbraucht bzw. erzeugt wird (sofern es im System eine Eigenerzeugung durch PV oder Solarthermie gibt). Die Berechnung ist so

aufgebaut, dass die Kosten jeweils für die im System enthaltenen Technologien einzeln berechnet werden und dann für das Gesamtsystem über die Technologien hinweg aufaddiert werden.

Das zweite Kriterium, mit dem eine Bewertung aus ökologischer Sicht erfolgt, sind die direkten CO<sub>2</sub>-äq. Emissionen, die durch den Energiebezug aus dem Strom- bzw. Gasnetz entstehen:

$$\text{direkte CO}_2\text{-äq. Emissionen} = \sum_{\text{Bezugsnetze}} \text{CO}_2\text{-Faktor}_{\text{Bezugsnetz}} \cdot \text{jährlicher Energiebezug}_{\text{Bezugsnetz}}$$

Die beiden Kriterien werden mittels der AHP-Methode (4.1.1) zu einer Bewertungskennzahl zusammengefasst, sodass die Konzepte jeweils nach dieser Kennzahl sortiert werden können.

### 6.7.2 Portfolioebene

Für die Portfoliobewertung werden deutlich mehr Kriterien zur Bewertung der Konzepte herangezogen. Während die Kriterien auf Konzeptebene quantitativ waren, werden hier auch qualitative Kriterien berücksichtigt. Die zugrunde liegende Bewertungsmethode ist eine eigenständig entwickelte Portfoliomatrix, die an das Technologie-Portfolio von Pfeiffer (4.2.2) angelehnt ist. Als unternehmensexterne Achse wird hier ebenfalls die Technologieattraktivität gewählt. Diese Kennzahl setzt sich aus ökologischen, ökonomischen und Kriterien zur Wettbewerbssituation zusammen. Auf der unternehmensinternen Achse ist die Umsetzungswahrscheinlichkeit dargestellt, welche aus der internen Durchführbarkeit und (strategischen) Konsistenz besteht. Die Aggregation über die Kriterien hinweg wird für beide Achsen mittels der Nutzwertanalyse (4.1.2) vollzogen. Die berücksichtigten Kriterien sind in Tabelle 6-13 aufgelistet.

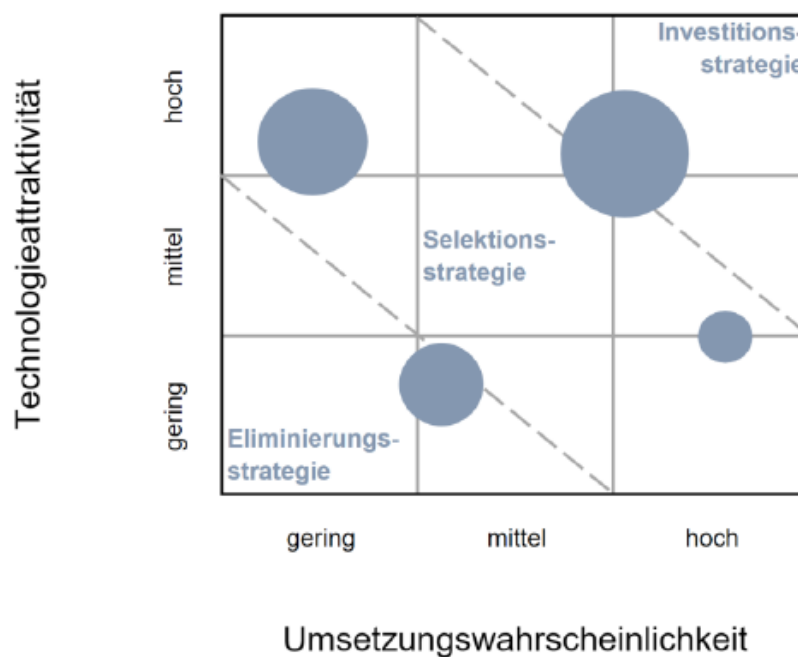
**Tabelle 6-13: Bewertungskriterien auf Portfolioebene**

Achse	Kriteriumskategorie	Kriterium
Technologie-attraktivität	Ökologie	Direktes CO <sub>2</sub> -Äquivalent
		Indirektes CO <sub>2</sub> -Äquivalent
	Ökonomie	Return On Investment
		Amortisationsdauer
	Wettbewerbsintensität	Anzahl der größten konkurrierenden Unternehmen
		Stärke konkurrierender Unternehmen
Leichtigkeit des Markteintritts in derselben Branche		
Umsetzungswahrscheinlichkeit	Interne Durchführbarkeit	Komplexität der Umsetzung
		Mitarbeiterkapazität
		Kompetenz der Mitarbeitenden
	Konsistenz	Strategischer Fit

Mittels Nutzwertanalyse werden also die jeweiligen Kriterien zu je einer Kennzahl für die beiden Kategorien Technologieattraktivität und Umsetzungswahrscheinlichkeit aggregiert. Dafür wird für die Kriterien eine Skala von 1 bis 5 festgelegt. Die qualitativen Kriterien werden direkt auf dieser Skala bewertet und die Ausprägungen der quantitativen Kriterien werden in die Skala übersetzt. Die Kriteriengewichte sind flexibel und können bei jedem Bewertungsvorgang angepasst werden.

Aus der sich daraus ergebenden Portfoliomatrix, wie sie in Abbildung 6-8 dargestellt ist, können Marktstrategien für die Konzepte abgeleitet werden. Je nachdem wie hoch die Bewertung in den beiden Kriterien ausfällt, sollte das Konzept aus dem Portfolio eliminiert, differenzierter betrachtet, oder gefördert werden. Die Matrixdarstellung dient dem einfachen Überblick, wie sich die einzelnen Konzepte in einem Gesamtportfolio zueinander verhalten. Die Position in der Matrix bestimmt die Marktstrategie. Der Durchmesser der Kreise spiegelt den Gewinn wider, woraus sich weitere Schlussfolgerungen schließen lassen.

Zur Berechnung des Gewinns werden für jedes Konzept zwei Geschäftsmodelle unterschieden – entweder ein Contractingangebot oder der Verkauf der entsprechenden Technologien. Die Gewinnmarge, welche bei der Bewertung angegeben werden muss, wird mit der zu erwartenden Anzahl an Verträgen durch Verkauf bzw. Contracting verrechnet. Die erwartete Anzahl an Verträgen wird berechnet mittels der angegebenen Anzahl an Gebäuden/Quartieren eines speziellen Typs und dem geschätzten Marktanteil am Gebäude-/Quartierstyp für das Konzept bei Verkauf bzw. Contracting. Die Anzahl der Gebäude/Quartiere ist dabei über das angegebene Versorgungsgebiet definiert und der Marktanteil des Konzepts ist im Bewertungstool anzugeben. Der schließlich berechnete Gewinn ist also eine Größe, die sich auf das Konzept bezieht und über die verschiedenen Gebäude/Quartiere aufaddiert ist, in denen sich das Konzept anwenden lässt.



**Abbildung 6-8:** Darstellung der Portfoliomatrix mit den zwei Achsen Technologieattraktivität und Umsetzungswahrscheinlichkeit. Je nach Positionierung in der Matrix sollten entsprechende Marktstrategien für die Konzepte gewählt werden.

## 7 SW.Evaluator – Grafische Oberfläche

Die grafische Oberfläche („graphical user interface“, kurz: GUI), stellt Nutzenden die in Kapitel 6.1 und 6.2 beschriebenen Funktionen für die Anwendung des SW.Evaluator zur Verfügung. Es handelt sich dabei um eine Web-Application auf Basis eines Django-Frameworks, die über einen Browser geöffnet und bedient werden kann. Die Architektur der Anwendung ist in Abbildung 7-1 dargestellt.

Die GUI beinhaltet die folgenden wesentlichen Bereiche, welche in diesem Kapitel beschrieben werden:

- Definition des Versorgungsgebiets
- Technologiebewertung
- Portfolioanalyse

Darüber hinaus wurden die folgenden Funktionen für die Anwendung des Tools implementiert:

- Usermanagement: Erstellen von Accounts, Login und Logout-Funktion
- Anlegen, ändern und importieren von Projekten
- Datenbank mit allen Optimierungsergebnissen
- Export von Grafiken und Daten

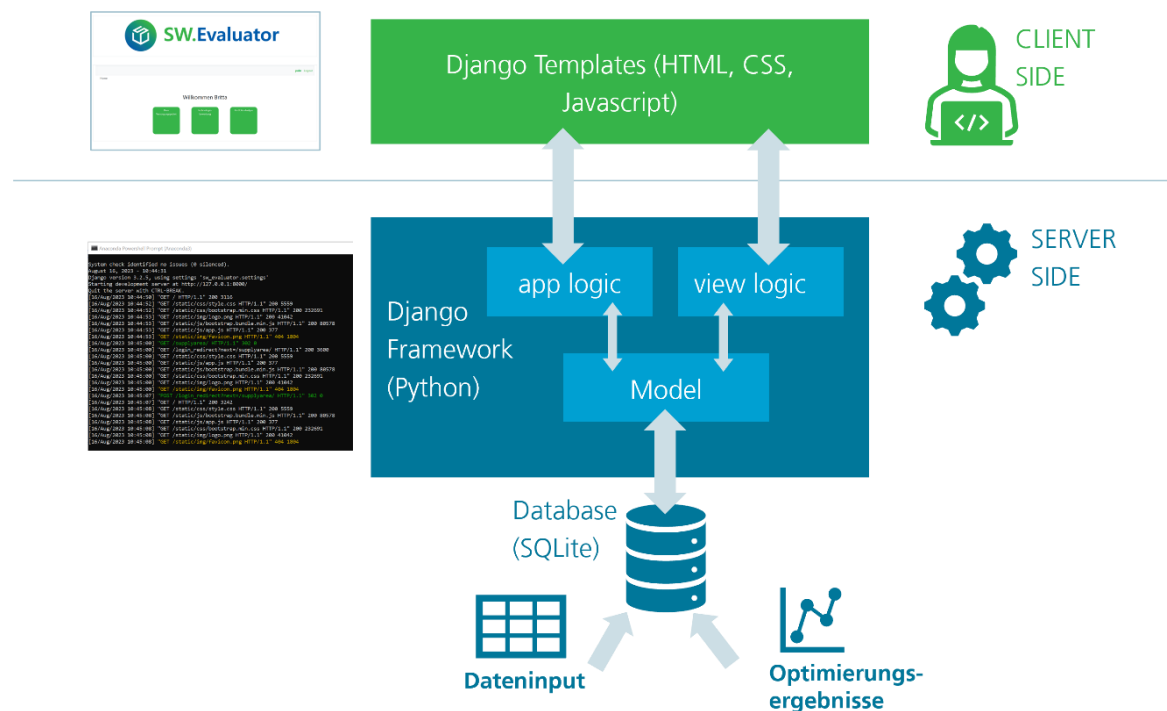


Abbildung 7-1: Toolarchitektur

Abbildung 7-2 zeigt die Landing-Page des SW.Evaluator mit dem User-Management und den drei Hauptbereichen.



Abbildung 7-2: SW.Evaluator – Landing Page

## 7.1 Definition des Versorgungsgebietes

Im Bereich „Definition des Versorgungsgebiets“ können unterschiedliche Versorgungsgebiete angelegt werden. Dies dient der Vorbereitung auf die Aggregation in der Portfolio-Analyse, da dort Angaben über die Charakteristik des Versorgungsgebiets, sowie der Anzahl an zu versorgenden Objekten benötigt werden.

Ein Versorgungsgebiet besteht aus Wohngebäuden, Quartieren und Nicht-Wohngebäuden (siehe Kapitel 6.3.1). Die kleinste Einheit eines Versorgungsgebietes wird in der GUI selbst als ein Stadtteil definiert. Abbildung 7-3 zeigt die Maske in der GUI, um einen Stadtteil zu definieren. Über die Navigationsleiste können Quartiere, Wohngebäude und GHD-Gebäude gewählt und entsprechende Elemente hinzugefügt, quantifiziert, bearbeitet und gelöscht werden. Stadtteile selbst werden vorbereitend für die spätere Portfolio-Analyse in den folgenden Kategorien, basierend auf dem Flächennutzungsplan der Stadt Düsseldorf charakterisiert:

- Zentrales Wohnen
- Innenstadt/Kerngebiet
- Stadtrand
- Mischnutzung
- Sondernutzung

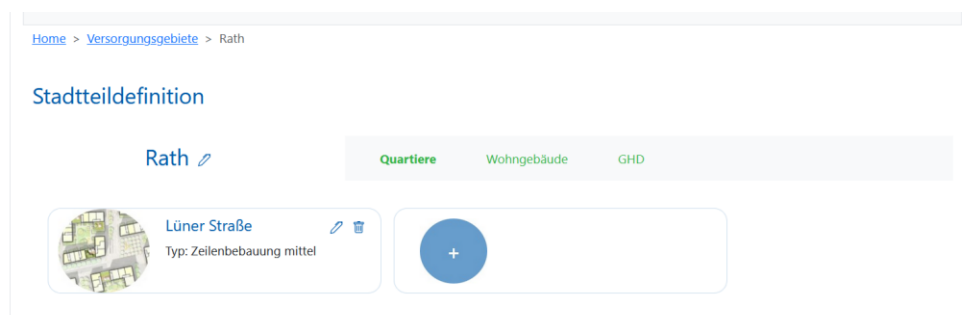


Abbildung 7-3: SW.Evaluator – Stadtteildefinition

Die Stadtteile können anschließend zusammengefasst werden, wodurch Bezirke, Stadtbereiche oder die gesamte Stadt als Versorgungsgebiet abgebildet werden. Dafür werden im Bereich Stadt-/Bezirksdefinition Stadtteile ausgewählt und hinzugefügt (siehe Abbildung 7-4). Die Maske in der GUI ähnelt der Stadtteildefinition, jedoch gibt es in der Navigationsleiste zusätzlich den Bereich „Stadtteile“. Die anderen Bereiche sind „read-only“ und fassen die entsprechenden Objekte aller gewählten Stadtteile zusammen. Abbildung 7-5 zeigt eine Übersicht von angelegten Stadtteilen und Bezirken im Tool.

Die Definition des Versorgungsgebietes erfolgt nicht user-spezifisch, da es möglich sein sollte, dass mehrere Nutzende auf ein Versorgungsgebiet zugreifen können. Die definierten Versorgungsgebiete dienen der Portfolio-Analyse und wurden als separater Bereich ausgelagert, damit beide Bereiche unabhängig voneinander bearbeitet werden können.

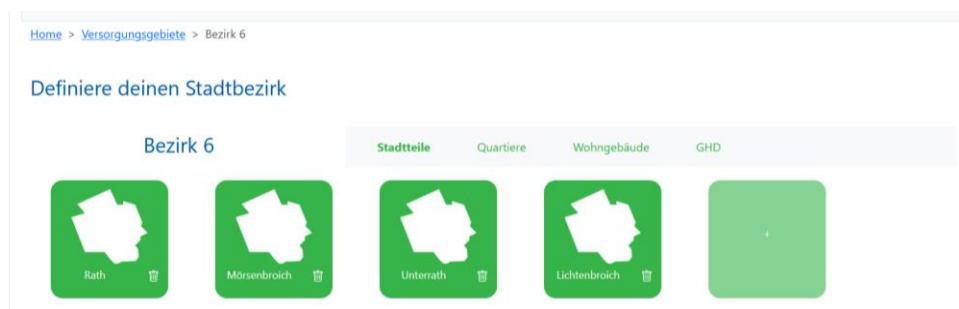


Abbildung 7-4: SW.Evaluator – Stadt/Bezirksdefinition

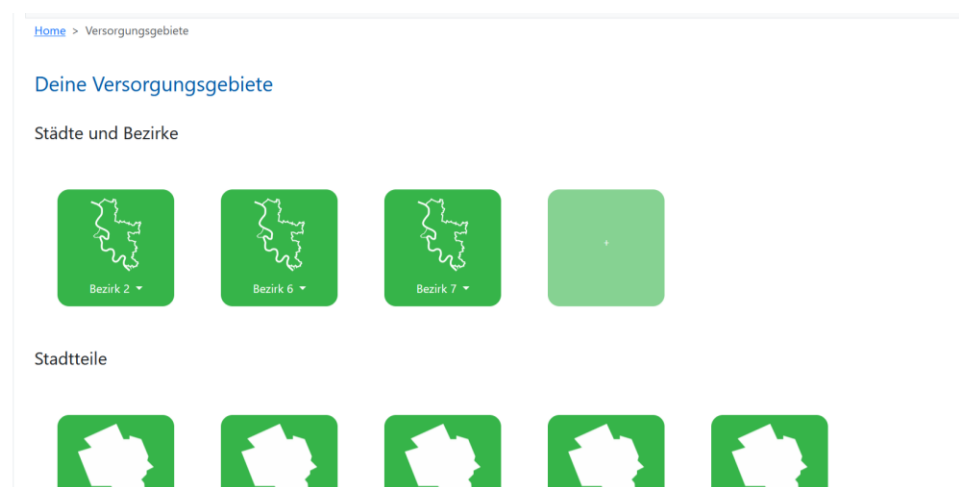


Abbildung 7-5: SW.Evaluator – Versorgungsgebiete Listenansicht

## 7.2 Technologiebewertung

In dem Bereich „Technologiebewertung“ werden die Technologie-Konzepte aus Kapitel 6.5 für eine Versorgungsaufgabe anhand eines konkreten Anwendungsfalls ermittelt und deren Bewertungskriterien für heute und verschiedene Zukunftsszenarien (siehe Kapitel 6.6) miteinander verglichen. Dies ermöglicht Nutzenden, eine fundierte Entscheidung zu treffen, welche Technologien für ihre Versorgungsaufgabe am besten geeignet sind. Ziel in diesem

Bereich ist es, eine Auswahl an Technologien zu treffen, die im nächsten Schritt „Portfolio-Analyse“ im Unternehmenskontext weiter bewertet werden können.

Um eine Technologiebewertung zu starten, muss diese zunächst angelegt werden. Dabei wird ein individueller Project-Key vergeben. Die Technologiebewertung in der GUI des SW.Evaluators ist ein mehrschrittiger Prozess mit den folgenden Bearbeitungsschritten.

Im **ersten Schritt** werden Gebäude und/oder Quartiere ausgewählt, für die eine Versorgungsaufgabe gelöst werden soll. Das Tool ermittelt aus der Datenbank, welche Technologiekonzepte für diese Objekte zur Verfügung stehen. Im **zweiten Schritt** wird eine Vorauswahl von Konzepten getroffen und eine Gewichtung für die Kriterien Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen (siehe Kapitel 6.7.1) angegeben, damit eine Bewertungszahl (im Folgenden OPS für „Overall Performance Score“) gemäß Kapitel 4.1 ermittelt werden kann. Abbildung 7-6 zeigt die Eingabemaske für diesen Schritt in der GUI. Über die Navigationsleiste links oben können die Versorgungsobjekte gewählt werden. Darunter werden die verfügbaren Konzepte nach der Versorgungsart sortiert aufgelistet und können über eine Checkbox ausgewählt werden. Über den Schieberegler auf der rechten Seite werden die Gewichtungen eingestellt.

The screenshot shows the 'Konzeptvorauswahl' (Concept Selection) step in the SW.Evaluator GUI. At the top, there are three tabs: 'EFH saniert', 'MFH groß unsaniert' (selected), and 'MFH klein unsaniert'. Below the tabs, there are three main categories: 'Strom', 'Wärme', and 'Mobilität'. The 'Wärme' category is expanded, showing a list of heating technologies with checkboxes: Pelletkessel mit Solarthermie, Pelletkessel (checked), Gaskessel mit Solarthermie, Gaskessel, Hybride Luft-Wärmepumpe (checked), Luft-Wärmepumpe mit Solarthermie, Luft-Wärmepumpe mit Sperrzeittarif (checked), Luft-Wärmepumpe, Hybride Erd-Wärmepumpe, Erd-Wärmepumpe mit Solarthermie, Erd-Wärmepumpe mit Sperrzeittarif, and Erd-Wärmepumpe. To the right, under 'Ziele', there is a slider for 'CO<sub>2</sub>-Reduktion' (0.4) and 'Kosten' (0.6). A green button 'Vorauswahl bestätigen' is located at the bottom right.

**Abbildung 7-6: SW.Evaluator – Konzeptvorauswahl**

Nach Bestätigung der Vorauswahl werden die gewählten Konzepte für jedes Versorgungsobjekt gerankt und **im dritten Schritt** „Konzeptauswahl“ als OPS dargestellt (siehe Abbildung 7-7). Hier werden über Checkboxes die finalen Konzepte ausgewählt, die anschließend in einer Portfolio-Analyse betrachtet werden sollen.

Über die Navigationsleiste können zudem CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abbildung 7-8) und Kosten (Abbildung 7-9) der Konzepte genauer analysiert und visualisiert sowie die Sensitivität (Abbildung 7-10) des OPS auf die Gewichtungsfaktoren dargestellt werden. Außerdem gibt es eine Exportfunktion für die in den Grafiken dargestellten Daten, welche aus der Datenbank der Optimierungsergebnisse stammen.

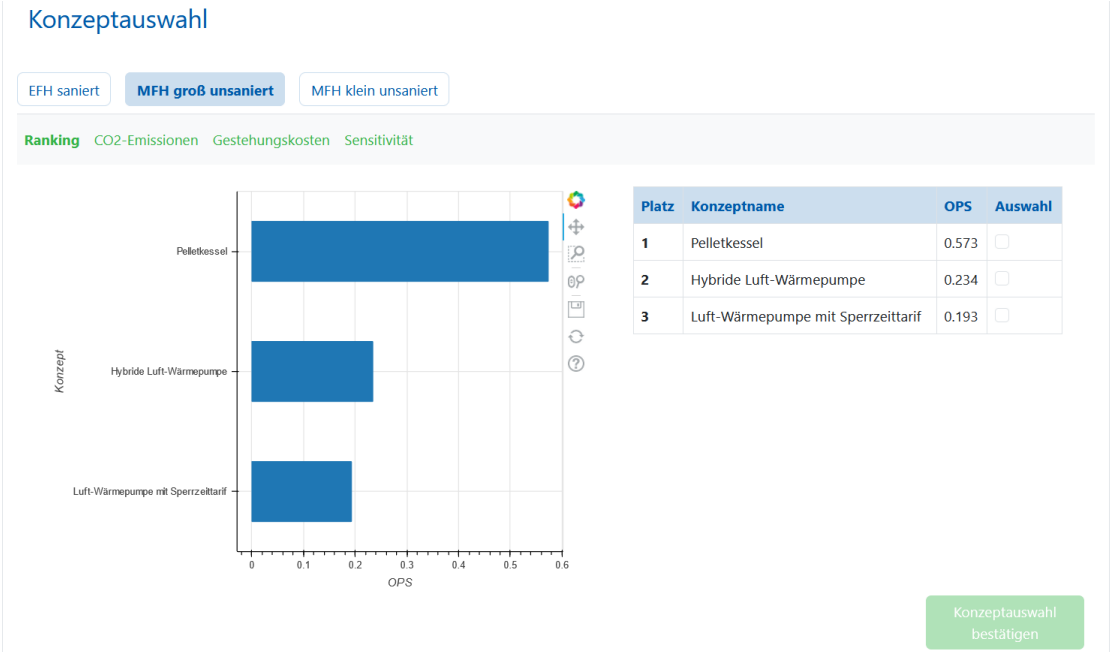


Abbildung 7-7: SW.Evaluator – Konzeptauswahl

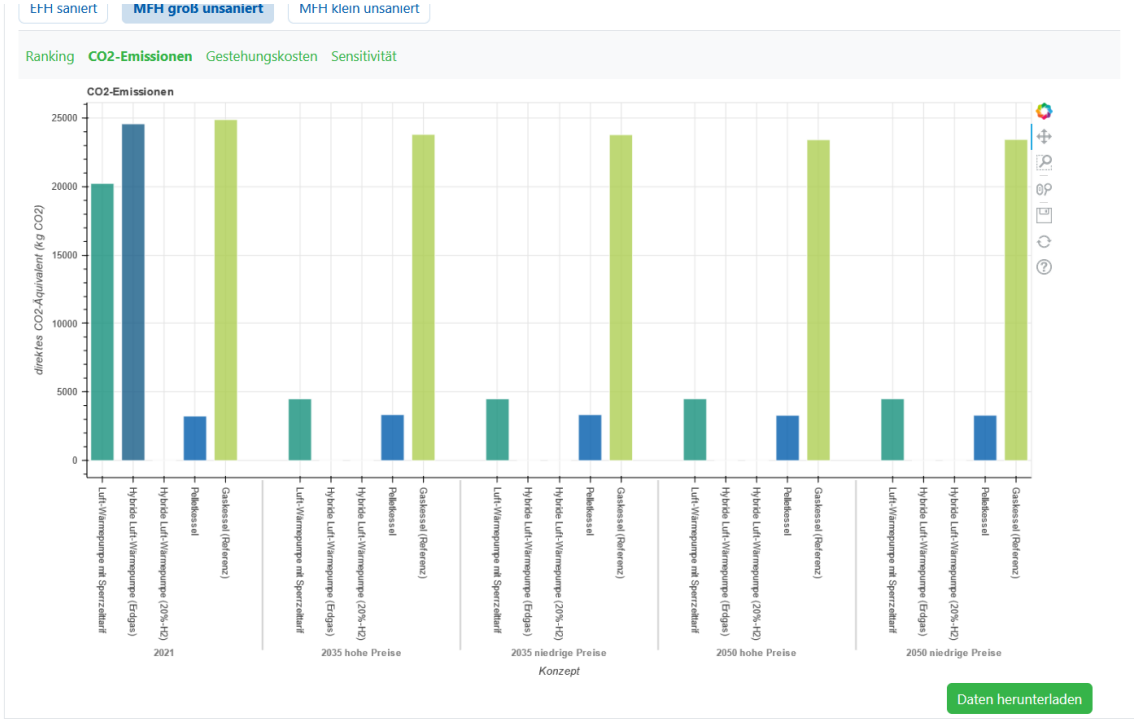


Abbildung 7-8: SW.Evaluator – Konzeptvergleich CO2-Emissionen



Abbildung 7-9: SW.Evaluator – Konzeptvergleich Gesteuerungskosten

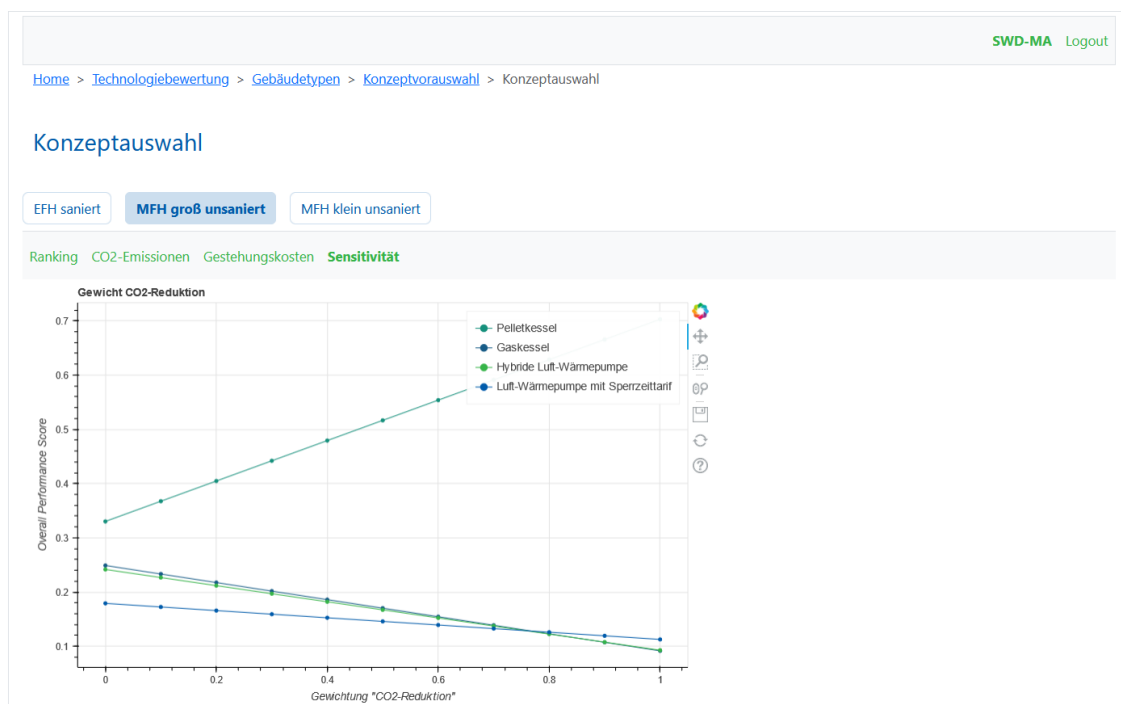


Abbildung 7-10: SW.Evaluator – Konzeptvergleich Sensitivität

### 7.3 Portfolio-Analyse

In dem Bereich der Portfolio-Analyse werden die zuvor ausgewählten Konzepte als potenzielle Produkte im Portfolio des Stadtwerks betrachtet und bewertet. Eine zentrale Funktion ist die Aggregation der Kosten und Emissionen der Konzepte auf ein Versorgungsgebiet. Ein

weiterer zentraler Punkt ist die Aufteilung der Konzepte in die beiden Produktarten „Contracting“ und „Verkauf“. Das Ziel ist die Darstellung der Produkte in einer Portfolio-Matrix.

Um eine Portfolio-Analyse zu starten, müssen Nutzende entweder die vorgelagerte Technologiebewertung selbst durchgeführt haben oder diese über den individuellen Project-Key importieren. Auch die Portfolio-Analyse ist ein mehrschrittiger Prozess.

Zunächst wird im **ersten Schritt** ein Versorgungsgebiet ausgewählt. Hier werden alle bisher angelegten Versorgungsgebiete zur Auswahl angeboten und auch eine Mehrfachauswahl ist möglich.

Im **zweiten Schritt** folgt das Aggregationsformular (siehe Abbildung 7-11). Hier werden alle Angaben gemacht, die benötigt werden, um Gewinne und Emissionen auf das gesamte Versorgungsgebiet gemäß Kapitel 6.7.1 zu aggregieren. Neben dem Marktanteil sind das die Anteile für Contracting- und Verkaufs-Produkte sowie die dazugehörigen Erlöse. Der Marktanteil entspricht dabei der Umsetzungswahrscheinlichkeit innerhalb der geeigneten Gebäudetypen. Wird hingegen ein Marktanteil von 100 % angegeben, wird eine Potenzialanalyse für das Produkt durchgeführt, indem die Umsetzung in der Gesamtheit der geeigneten Gebäude angenommen wird.

Home > Portfolio-Analyse > Auswahl Versorgungsgebiet > Aggregation

pubr Logout

## Aggregation

Mache hier angaben, für die verschiedenen Stadtteil-Charakteristika deines Versorgungsgebiets.

Wohnen

**Wohnen**

In deinem Versorgungsgebiet sind die folgenden Stadtteile dem Typ "Wohnen" zugeordnet:

Rath, Mörsenbroich, Unterrath, Lichtenbroich

Quartiere Wohngebäude GHD

EFH unsaniert EFH saniert **MFH klein unsaniert** MFH klein saniert MFH groß unsaniert MFH groß saniert

**Pelletkessel**

direktes CO<sub>2</sub>-Äquivalent 24.39 g CO<sub>2</sub>/kWh

Investkosten 924 €/a

Gesamtkosten 4836 €/a

Marktanteil in %

100

**Hybride Luft-Wärmepumpe**

direktes CO<sub>2</sub>-Äquivalent 183.92 g CO<sub>2</sub>/kWh

Investkosten 992 €/a

Gesamtkosten 6632 €/a

Marktanteil in %

**Luft-Wärmepumpe mit Sperrzeittarif**

direktes CO<sub>2</sub>-Äquivalent 152.71 g CO<sub>2</sub>/kWh

Investkosten 2653 €/a

Gesamtkosten 8423 €/a

Marktanteil in %

0

**Abbildung 7-11: SW.Evaluator – Aggregation**

Im **dritten Schritt** werden die Produkte hinsichtlich der Kriterien auf Portfolioebene nach dem im Kapitel 6.7.2 beschriebenen Ansatz bewertet. Es folgt ein Formular pro Konzept und Produktkategorie, wie in Abbildung 7-12 dargestellt. Die direkten und indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden durch die Aggregation ermittelt. Die restlichen Kriterien werden über das Dropdown-Menü bewertet. Die Gewichtung ist voreingestellt, kann aber geändert werden, sodass hier die individuellen strategischen Präferenzen des Stadtwerks berücksichtigt werden können.

pubr Logout

[Home](#) > [Portfolio-Analyse](#) > [Auswahl Versorgungsgebiet](#) > [Aggregation](#) > Bewertungskriterien Portfolio-Ebene

## Bewertungskriterien Portfolio-Ebene

Deine gewählten Konzepte sind nun potenzielle Produkte in deinem Unternehmensportfolio. Bewerte die folgenden Kriterien zu Technologieattraktivität und Umsetzungswahrscheinlichkeit und erhalte im nächsten Schritt deine Portfoliobewertung.

Technologieattraktivität		Bewertung	Gewichtung
<b>Ökologie</b>	Direktes CO2-Äquivalent	sehr günstig	14
	Indirektes CO2-Äquivalent	sehr günstig	8
<b>Ökonomie</b>	Return-On-Investment (ROI)	günstig	18
	Amortisationsdauer	günstig	16
<b>Wettbewerbsintensität</b>	Anzahl größter konkurrierender Unternehmen	Bitte auswählen...	3
	Stärke konkurrierender Unternehmen	sehr ungünstig	3
	Markteintritt	ungünstig	4
<b>Umsetzungswahrscheinlichkeit</b>		günstig	4
<b>Interne Durchführbarkeit</b>		sehr günstig	
<b>Interne Durchführbarkeit</b>	Komplexität der Umsetzung	einfach	6
	Mitarbeiterkapazität	nicht ausreichend	4
<b>Konsistenz</b>	Mitarbeiterqualifikation	sehr gute Qualifikation	6
	Strategischer Fit	teilweise passend	18

**Abbildung 7-12: SW.Evaluator – Portfolio-Bewertung**

Im **vierten und letzten Schritt** werden alle Produkte in einer Portfolio-Matrix dargestellt (siehe Abbildung 7-13). Jeweils eine Blase steht für ein Produkt. Die Lage der Blasen auf den Achsen Technologieattraktivität und Umsetzungswahrscheinlichkeit ergibt sich durch die Berechnung aus Bewertung und Gewichtung der Kriterien im Schritt zuvor. Die Blasengröße stellt den Gewinn der Produkte dar. Das Diagramm ist interaktiv und es stehen diverse Funktionen zur genaueren Betrachtung zur Verfügung. Hier können Nutzende die verschiedenen Produkte hinsichtlich ihres Potenzials im Portfolio bewerten.

## Portfolio-Matrix

Das Portfolio-Potenzial für deine Produkte kannst du in der Portfolio-Matrix ablesen.

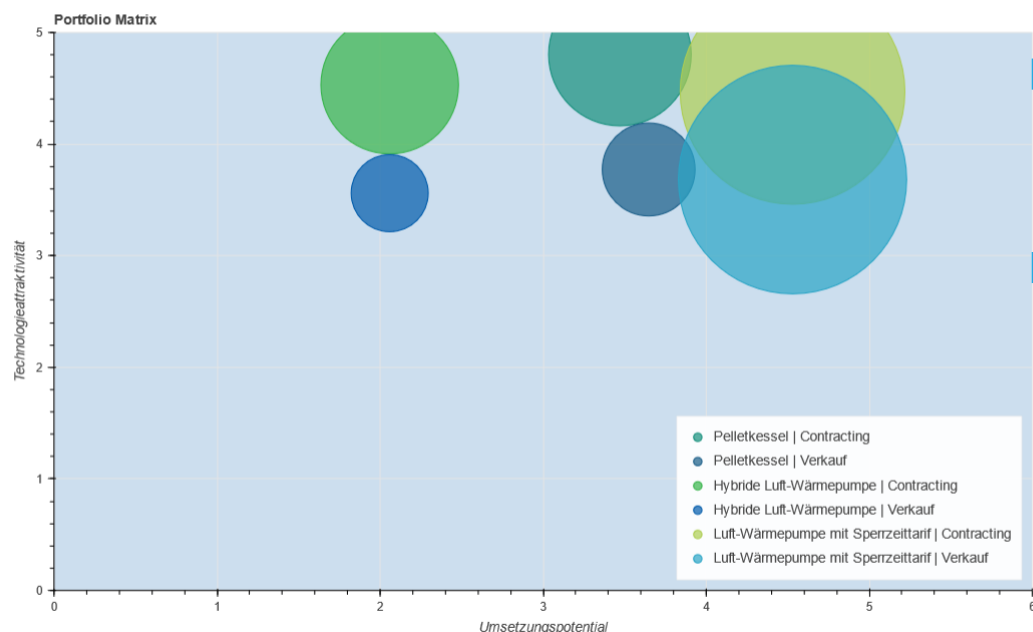


Abbildung 7-13: SW.Evaluator – Portfolio-Matrix

## 8 SW.Evaluator – Anwendungsfall

Im Rahmen des Projekts wurde das Tool SW.Evaluator anhand eines Anwendungsfalls für eine Wärmeplanung der Stadtwerke Düsseldorf in Form einer Live-Demo demonstriert. Dabei wurde eine Potenzialanalyse für verschiedene Wärmeversorgungslösungen durchgeführt.

### Versorgungsgebietsdefinition

Zunächst wurden vier Stadtteile definiert, die zusammen einen Versorgungsbezirk ergeben. Für die vier Stadtteile wurden jeweils die Anzahl der Wohn- und Nicht-Wohngebäude eingegeben. Quartiere wurden in diesem konkreten Anwendungsfall nicht betrachtet. Insgesamt besteht der betrachtete Versorgungsbezirk aus den in Tabelle 8-1 dargestellten Versorgungsobjekten.

Tabelle 8-1: Gebäudetypen & Anzahl

Gebäudetyp	Anzahl
Unsanieretes EFH	2923
Sanieretes EFH	620

<b>Kleines MFH unsaniert</b>	995
<b>Kleines MFH saniert</b>	355
<b>Großes MFH unsaniert</b>	436
<b>Großes MFH saniert</b>	575
<b>Pflegeheim</b>	1
<b>Krankenhaus</b>	2
<b>Büro</b>	18
<b>Gaststätte</b>	14
<b>Einzelhandel</b>	12
<b>Schule</b>	12
<b>Großhandel</b>	8

### Technologiebewertung

Als konkrete Versorgungsobjekte wurden im Bereich der **Gebäude- und Quartiersauswahl** alle Wohngebäude ausgewählt. Anschließend wurden in der **Konzeptvorauswahl** aus der Auswahl geeigneter Technologien Pelletkessel, Luftwärmepumpen mit Sperrzeittarif, sowie hybride Luftwärmepumpen-Gaskessel-Systeme (nur für unsanierte Gebäude verfügbar) für eine dezentrale Wärmeversorgung für die weitere Analyse gewählt. Als Referenz wurde zusätzlich das Gaskesselkonzept hinzugefügt (siehe Tabelle 8-2).

**Tabelle 8-2: ausgewählte Konzepte der Live-Demo**

<b>Konzepte für sanierte Gebäude</b>	<b>Konzepte für unsanierte Gebäude</b>
Pelletkessel	Pelletkessel
Luftwärmepumpen mit Sperrzeittarif	Luftwärmepumpen mit Sperrzeittarif
Gaskesselkonzept (Referenz)	hybride Luftwärmepumpen-Gaskessel-Systeme
	Gaskesselkonzept (Referenz)

Die Gewichtungsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Reduktion und Wirtschaftlichkeit wurden wie folgt bestimmt:

$$w_{\text{CO}_2} = 0.47 \text{ und } w_{\text{Kosten}} = 0.53.$$

Das Ergebnis des Rankings in der **Konzeptauswahl** zeigte, dass der Pelletkessel für alle Versorgungsobjekte den höchsten OPS aufwies, gefolgt vom hybriden Luftwärme-Gaskessel-System für die unsanierten Gebäude. Die Luftwärmepumpe mit Sperrzeittarif wies für alle Betrachtungen den geringsten OPS auf.

Im Folgenden wird näher auf die Ergebnisse für ein saniertes kleines Mehrfamilienhaus eingegangen. Abbildung 8-1 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen der ausgewählten Konzepte sowie des Referenzkonzepts Gaskessel für 2021 sowie für die definierten Zukunftsszenarien. Der Gaskessel weist in allen betrachteten Szenarien die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf, während der Pelletkessel überall die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Luftwärmepumpe mit Sperrzeittarif nehmen in den Zukunftsszenarien verglichen mit 2021

deutlich ab, was an der Annahme eines höheren Anteils erneuerbarer Energien im Strommix und somit einem niedrigeren CO<sub>2</sub>-Faktor liegt.

In Abbildung 8-2 sind die Gestehungskosten für die Konzepte dargestellt, aufgeteilt in Investgestehungskosten und Betriebsgestehungskosten. Für die Luftwärmepumpe mit Sperrzeittarif bleiben die Investgestehungskosten über alle Szenarien konstant, während die Betriebsgestehungskosten für die Zukunftsszenarien verglichen mit 2021 ansteigen, jedoch ähnlich sind. Die Betriebsgestehungskosten des Pelletkessels nehmen zu, besonders hoch sind sie mit 0.17 €/kWh im Szenario ‚2050 hohe Preise‘. Die Investgestehungskosten des Pelletkessels bleiben hingegen konstant. Die Gestehungskosten für den Gaskessel verändern sich nicht so stark wie die der anderen Konzepte. Hier kann im Szenario ‚2035 niedrige Preise‘ ein leichter Rückgang der Betriebsgestehungskosten beobachtet werden, während sie in 2050 leicht ansteigen. Die Investgestehungskosten bleiben auch hier konstant, da die Investkosten als unverändert angenommen wurden.

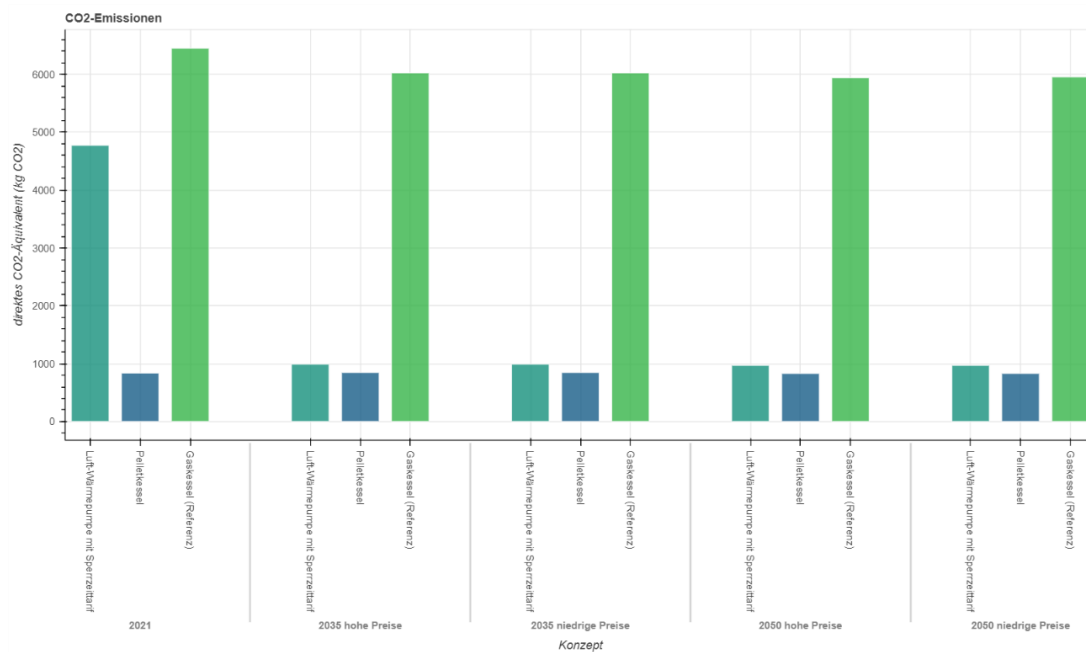


Abbildung 8-1: SW-Evaluator Demo - CO<sub>2</sub>-Emissionen für ein kleines saniertes MFH

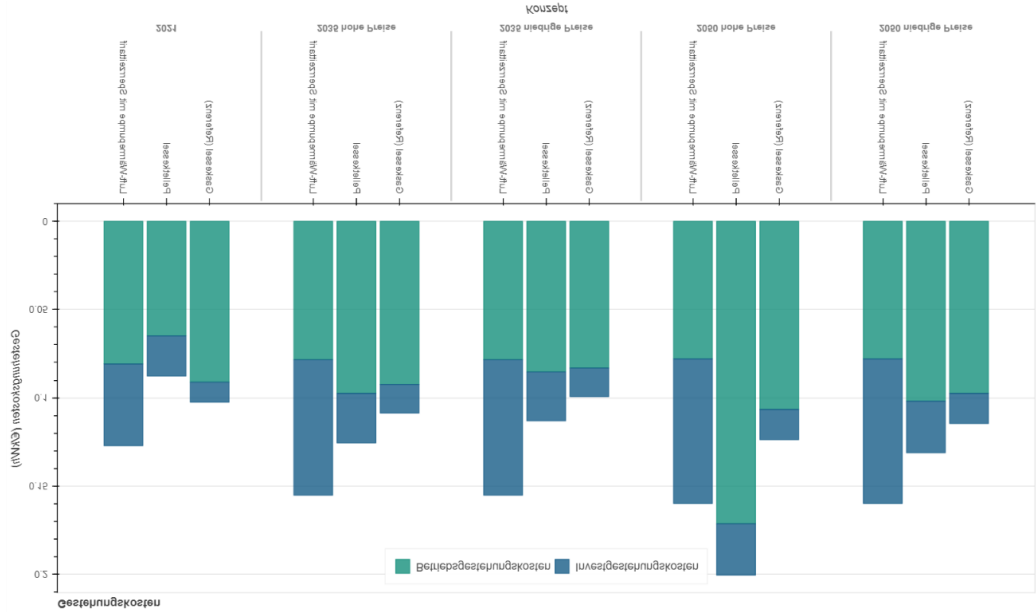


Abbildung 8-2: SW-Evaluators Demo - Gestehungskosten für ein kleines saniertes MFH

Abbildung 8-3 zeigt das Ergebnis des OPS basierend auf den gewählten Gewichtungen für die Konzepte Pelletkessel und Luftwärmepumpe mit Sperrzeittarif für ein kleines saniertes MFH. Der Pelletkessel weist einen deutlich höheren OPS auf, als die Luftwärmepumpe mit Sperrzeittarif, was auf die geringeren Gestehungskosten sowie die niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Jahr 2021 zurückzuführen ist. In Abbildung 8-4 ist erkennbar, dass der OPS des Pelletkessel mit zunehmender Gewichtung für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ansteigt, während der OPS für die Luftwärmepumpe mit Sperrzeittarif sinkt. Unabhängig von den Gewichtungsfaktoren erreicht das Pelletkesselkonzept einen höheren OPS als das Wärmepumpenkonzept.

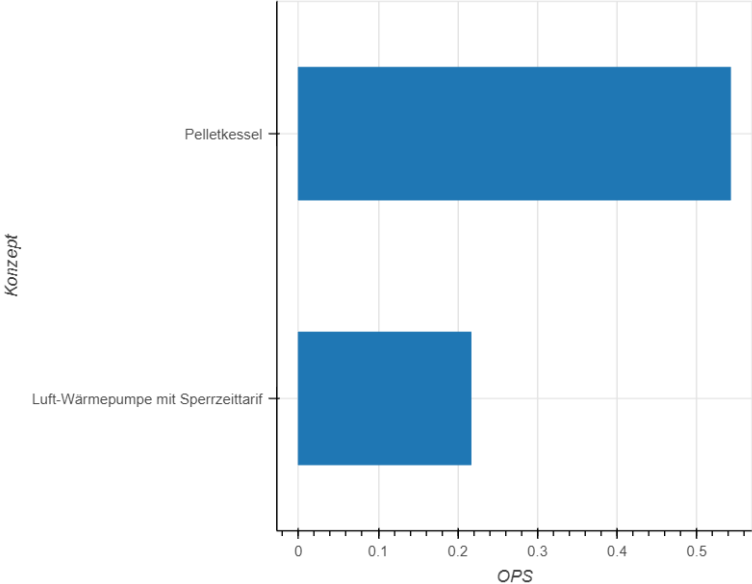
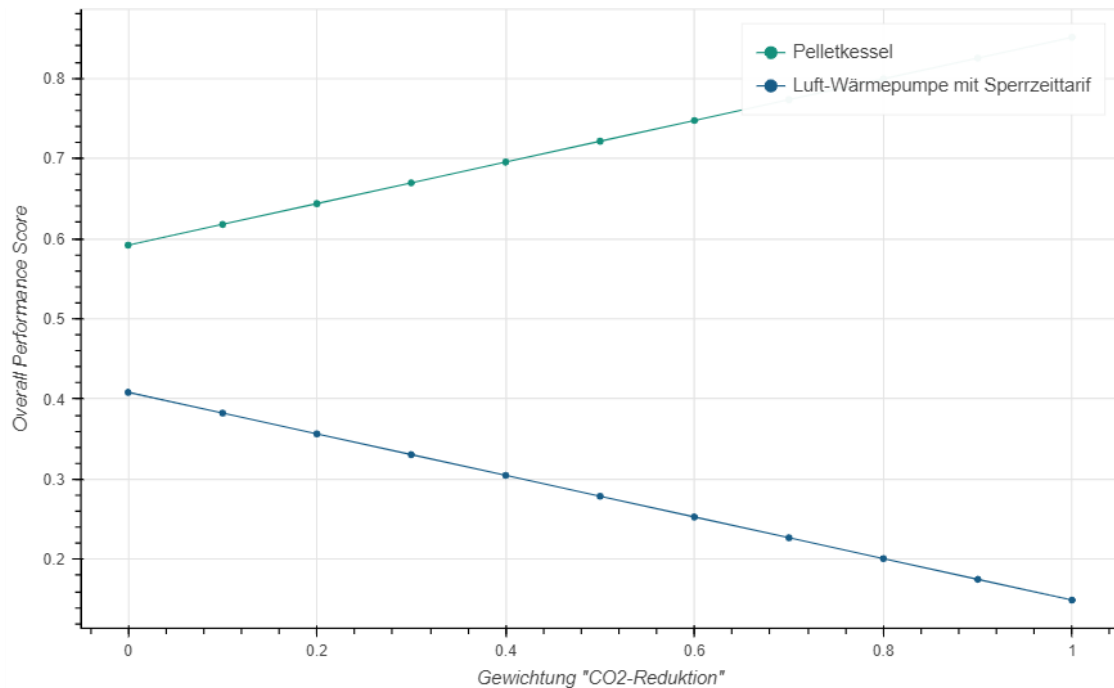


Abbildung 8-3: SW-Evaluators Demo - OPS für ein kleines saniertes MFH



**Abbildung 8-4: SW-Evaluator Demo - Sensitivität des OPS für ein kleines saniertes MFH**

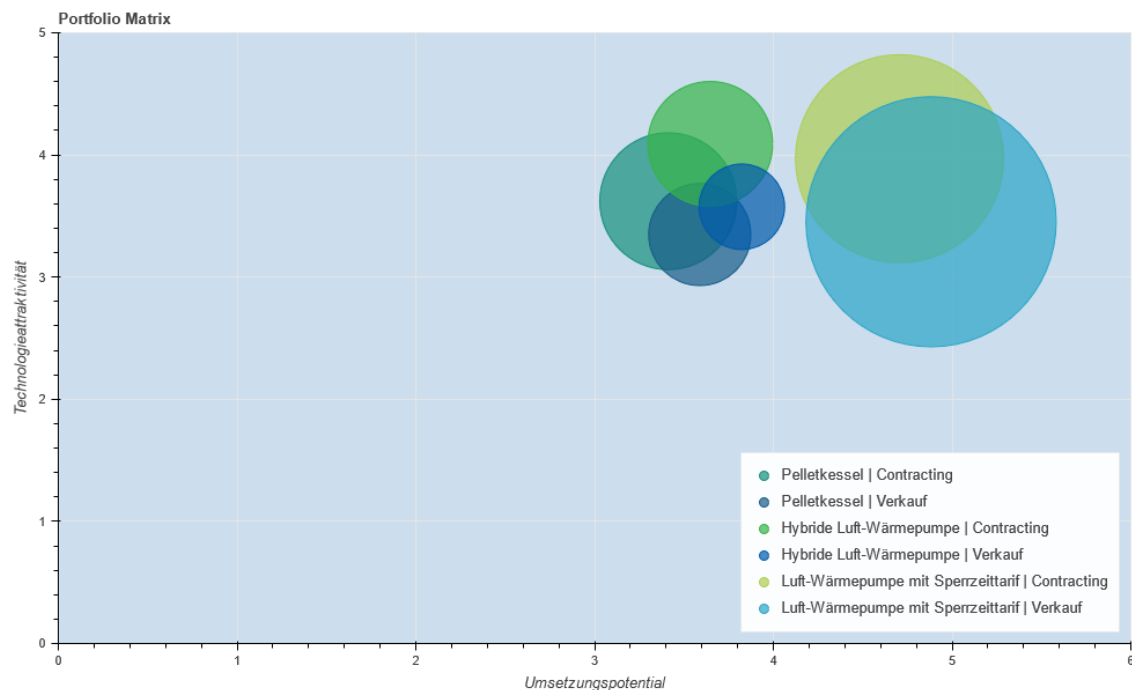
Die Wahl des Gebäudetyps hat in der Technologiebewertung keinen signifikanten Einfluss auf das Ranking der einzelnen Konzepte. Die ermittelten Werte für die Kosten und Emissionen sind abhängig von dem Energiebedarf des Gebäudes, aber die Bewertung der Konzepte bleibt über die Gebäudetypen hinweg gleich.

Für die weitere Betrachtung in der Portfolio-Analyse wurden alle Konzepte aus Tabelle 8-2 bis auf das Referenzkonzept Gaskessel ausgewählt.

### Portfolioanalyse

Als Betrachtungsraum für die Portfolio-Analyse wurde der zuvor definierte Versorgungsbezirk gewählt. Der Anwendungsfall war eine Potenzialanalyse, weshalb im **Aggregationschritt** für alle Konzepte ein Marktanteil von 100 % angenommen wurde und somit der maximal mögliche Gewinn betrachtet wird. Der Anteil der Konzepte als Contracting-Produkt wurde abhängig von Konzept und Versorgungsobjekt zwischen 5 und 30 % angenommen, der Anteil für Konzepte als Verkaufs-Produkte lag demnach zwischen 70 und 95 %.

Nach Bewertung aller Produkte hinsichtlich der **Bewertungskriterien** auf Portfolio-Ebene, ergab sich für die gewählten Konzepte die in Abbildung 8-5 dargestellte **Portfolio-Matrix**.



**Abbildung 8-5: Portfolio-Matrix der Live-Demo**

Es zeigt sich, dass alle Konzepte eine hohe Technologieattraktivität sowie ein hohes Umsetzungspotenzial aufweisen. Die Luft-Wärmepumpe mit Sperrzeittarif weist dabei ein höheres Umsetzungspotenzial aus als die anderen Konzepte, was vor allem an der hohen Gewichtung und Bewertung des strategischen Fits liegt, da die Luftwärmepumpe als eine potenziell CO<sub>2</sub>-neutrale Wärmeversorgung hier hoch bewertet wurde.

Die Contracting-Produkte der Konzepte Pelletkessel und Hybride-Luftwärmepumpe weisen einen größeren Gewinn auf als die entsprechenden Verkaufs-Produkte, da für Contracting im Allgemeinen eine höhere Gewinnmarge angenommen wurde. Der Gewinn der Luftwärmepumpen-Produkte ist höher als der der anderen Konzepte, da der Gewinn prozentual auf Basis der Gesamt- bzw. Betriebskosten berechnet wird, welche für die Luftwärmepumpenkonzepte i.d.R. höher sind als für die anderen Konzepte. Aufgrund der Annahme, dass der Anteil von Verkaufs-Produkten am Marktanteil verhältnismäßig hoch ist, ist hier der Gewinn etwas größer als bei den Contracting-Produkten.

## 9 Veranstaltungsreihe SW.aktiv

Neben der Entwicklung von Methoden und Tools für die Transformation von Stadtwerken im Rahmen der Energiewende war die Aktivierung und Sensibilisierung weiterer Stadtwerke ein Ziel des Projekts SW.Developer. Dazu wurde mit zwei weiteren Forschungspartnerinstitutionen, die sich mit der Transformation von Stadtwerken beschäftigen, der Themenverbund »Aktivierung der Stadtwerke« gegründet. Aus diesem Themenverbund heraus entwickelten die drei Mitglieder des Themenverbunds, Fraunhofer UMSICHT, AGFW und DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut gemeinsam das

Konzept der Online-Veranstaltungsreihe SW.aktiv, die im Mai 2021 mit der Auftaktveranstaltung startete.

Das Ziel der Veranstaltungsreihe ist es, Stadtwerke zu motivieren, den Transformationsprozess zu wagen, Ergebnisse aus der Forschung in die Anwendung zu bringen, sowie eine Plattform für Austausch und Vernetzung zu schaffen. Die Veranstaltungen finden in etwa alle zwei Monate über Microsoft Teams statt, jeweils am Dienstagnachmittag von 15 bis 16:30 Uhr, wobei nach Veranstaltungsende eine Fortsetzung der Diskussion im virtuellen Raum möglich ist. Bis zum Projektende wurden insgesamt 14 Veranstaltungen durchgeführt. Eine Übersicht über die Themen der Veranstaltungen liefert Tabelle 9-1.

**Tabelle 9-1: Übersicht über die SW.aktiv-Veranstaltungen während der Projektlaufzeit von SW.Developer**

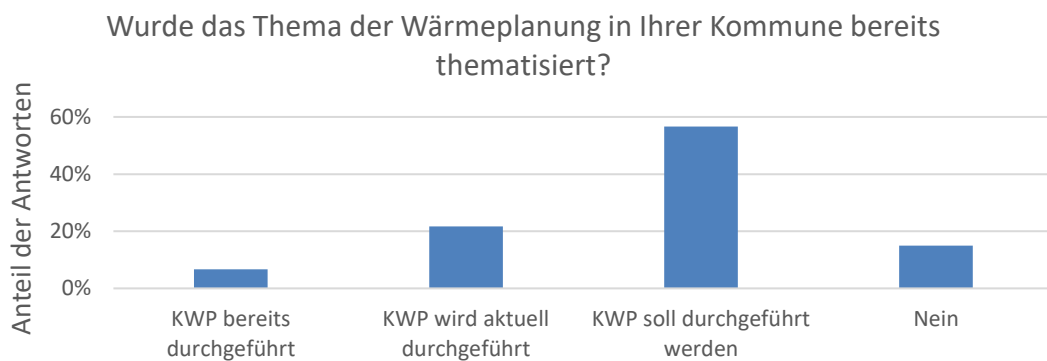
<b>Datum</b>	<b>Titel</b>	<b>Organisator</b>
11.05.2021	»Transformation zum Stadtwerk von morgen«	Fraunhofer UMSICHT
13.07.2021	»Klimaneutrale Wärme – Konzepte, Erfahrungen und Lessons Learned aus Forschung und Praxis«	AGFW
13.09.2021	»Wasserstoff – Eine gute Idee für die Energiewende?«	DVGW-Forschungsstelle
09.11.2021	»Integrale Quartiersprojekte – Ein Lösungsansatz für die Praxis?«	Fraunhofer UMSICHT
08.02.2022	»Digitalisierung – Beispiele aus und für die Praxis«	AGFW
05.04.2022	»Kommunale Wärmeplanung – Was heißt das für Stadtwerke?«	Fraunhofer UMSICHT
14.06.2022	»Sektorenkopplung – Energiesystemmodellierung als integrales Planungswerkzeug«	DVGW-Forschungsstelle
04.10.2022	»Großwärmepumpen – Potenziale, Praxisbeispiele und Randbedingungen«	AGFW
06.12.2022	»Tiefe Geothermie: Große Potenziale – Wer kann sie nutzen?«	Fraunhofer UMSICHT
07.03.2023	»Infrastruktur - Herausforderungen bei der kommunalen Energiewende?«	DVGW-Forschungsstelle
02.05.2023	»Abwärmenutzung für die Wärmeversorgung«	AGFW
04.07.2023	»Nahwärme - Baustein für eine nachhaltige lokale Wärmeversorgung«	Fraunhofer UMSICHT
10.10.2023	»Wasserstoff - Umstellung von Verteilnetzen in der Praxis«	DVGW-Forschungsstelle
05.12.2023	»Ausbau der Wärmenetze - Wie innovativer Leitungsbau unterstützen kann«	AGFW

Wie Abbildung 9-1 zu entnehmen ist, werden in den Veranstaltungen sowohl technologische, methodische als auch systemische Fragestellungen der Energiewende abgedeckt. In den Veranstaltungen liegt der Fokus auf der Vermittlung von Forschungsergebnissen und Praxiserfahrungen. In jeder Veranstaltung kommen Stadtwerke zu Wort, die von Erfahrungen in der praktischen Umsetzung berichten. Als Beispiel ist die Agenda der Veranstaltung zur kommunalen Wärmeplanung vom 05.04.2022 in Abbildung 9-1 dargestellt.

15:00-15:20	<b>Begrüßung und Einführung</b> Dr. Anne Hagemeyer, Fraunhofer UMSICHT
	<b>Impuls</b> <b>Die Bedeutung der kommunalen Wärmeplanung aus Sicht des BMWK</b> Dr. Dominik Schäuble, BMWK
15:20-15:35	<b>Kommunale Wärmeplanung als Navigationsinstrument für die Wärmewende vor Ort</b> Jan Walter, Deutsches Institut für Urbanistik
15:35-15:50	<b>Vom Energienutzungsplan zur strategischen Wärmenetzplanung</b> <b>Erfahrung mit der kommunalen Wärmeplanung in Konstanz</b> Niklas Reichert, Stadtwerke Konstanz GmbH Lorenz Heublein, Stabsstelle Klimaschutz Stadt Konstanz
15:50-16:05	<b>Wärmeplanung-Erfahrungen in Düsseldorf</b> <b>Weitere Perspektiven vor dem Hintergrund einer Bundesinitiative</b> Dr. Susanne Stark, Stadtwerke Düsseldorf
16:05-16:25	<b>Fragen an die Vortragenden &amp; Erfahrungsaustausch</b>
16:25-16:30	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> Dr. Anne Hagemeyer, Fraunhofer UMSICHT

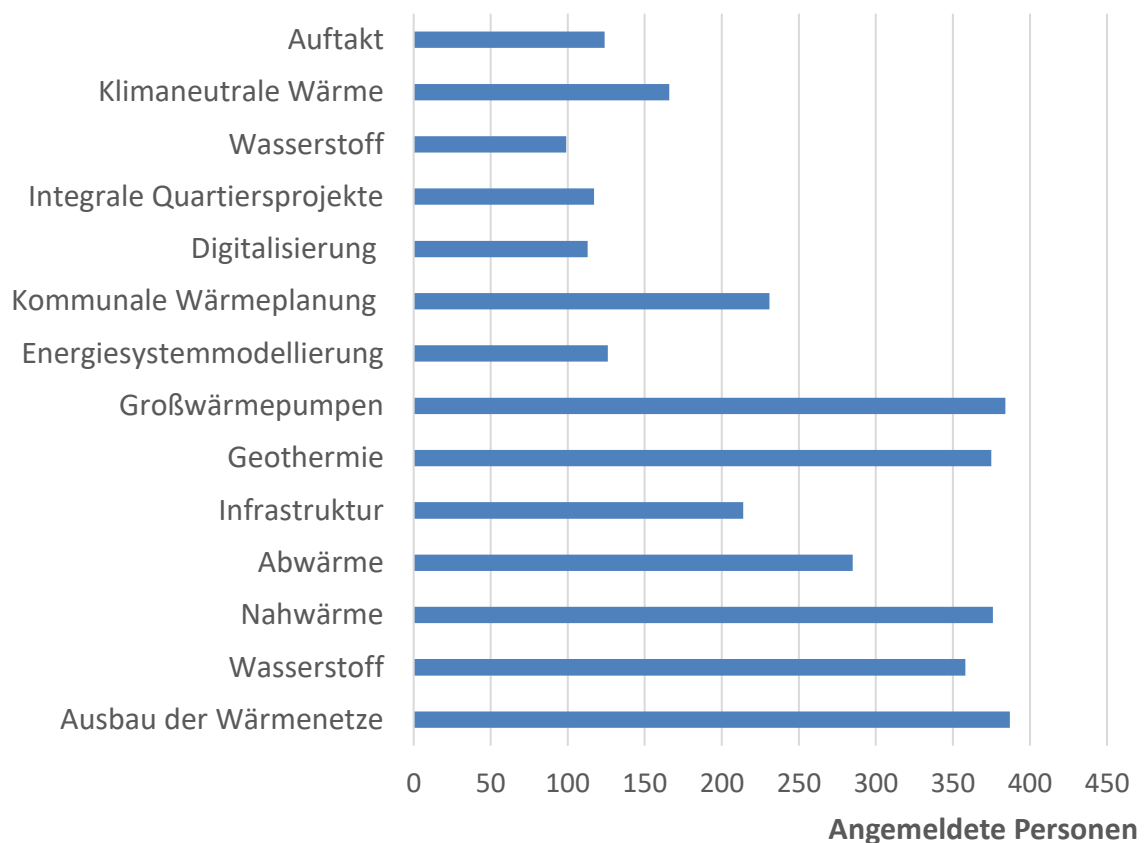
**Abbildung 9-1: Agenda der SW.aktiv-Veranstaltung zur kommunalen Wärmeplanung**

Ein weiterer Bestandteil der meisten Online-Veranstaltungen ist eine Umfrage unter den Teilnehmenden unter Verwendung von Tools wie Mentimeter oder Forms, um die Perspektive der Teilnehmenden zu dem jeweiligen Thema abzufragen. So entsteht jeweils ein Überblick über den aktuellen Stand bei der Umsetzung der betrachteten Technologie oder Methode sowie Hemmnisse und Forschungsbedarfe zu dem jeweiligen Thema. Als Beispiel sind die Ergebnisse zweier Fragen aus der Veranstaltung zur kommunalen Wärmeplanung in Abbildung 9-2 dargestellt.



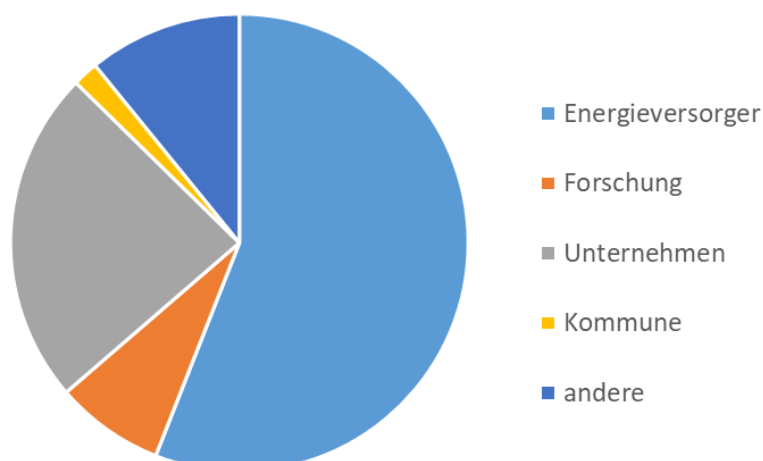
**Abbildung 9-2: Umfrageergebnisse aus der SW.aktiv-Veranstaltung zur kommunalen Wärmeplanung**

Bereits bei der Auftaktveranstaltung wurden dreistellige Anmeldezahlen erreicht und über den Verlauf der Veranstaltungen stieg die Zahl der angemeldeten Teilnehmenden kontinuierlich an, sodass sich die Veranstaltungsreihe inzwischen als wichtige und nachgefragte Veranstaltung in der Stadtwerkewelt etablieren konnte. Einen Überblick über die Anmeldezahlen der einzelnen Veranstaltungen gibt Abbildung 9-3.



**Abbildung 9-3: Übersicht über die Entwicklung der Teilnehmerzahlen der SW.aktiv-Veranstaltungen**

Bei Betrachtung der Anmeldezahlen wird deutlich, dass insbesondere bei Veranstaltungen zu dem Themenbereich der Wärmeversorgung (Großwärmepumpen, Geothermie, Nahwärme und Wärmenetze) hohe Anmeldezahlen erreicht werden, was die hohe Relevanz dieser Themen im Bewusstsein der Stadtwerke verdeutlicht. Die Zusammensetzung der Teilnehmenden ist in Abbildung 9-4 dargestellt.



**Abbildung 9-4: Zusammensetzung der SW.aktiv-Teilnehmenden**

Während Stadtwerke und Energieversorger mit 56 % die deutliche Mehrheit der Teilnehmenden stellen, finden sich auch Angehörige von Forschungseinrichtungen, Unternehmen (v. a. Dienstleister und Beratungsunternehmen) unter den Teilnehmenden.

Die Veranstaltungsreihe wird auch nach Projektende durch die Themenverbundpartner fortgeführt. Aktuelle Informationen zur Veranstaltungsreihe sowie eine Übersicht der vergangenen Veranstaltungen können unter [https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/events/de/sw\\_aktiv](https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/events/de/sw_aktiv) eingesehen werden.

## 10 Zusammenfassung und Fazit

Ziel von SW.Developer war es einerseits, Stadtwerke bei der Umsetzung der lokalen Energiewende zu unterstützen und andererseits, die Aktivierung von Stadtwerken sowie den Austausch von Stadtwerken untereinander und mit der Forschung über entsprechende Veranstaltungen zu befördern.

Seit dem Projektbeginn hat sich bei vielen Stadtwerke eine Bewusstseins-Änderung ergeben. Zu Beginn des Projekts galt noch die Situation nach dem Vorgängerprojekt [Trafo.SW](#), in der der Großteil der Stadtwerke ihrer Rolle als ein zentraler Akteur der lokalen Energiewende nicht gerecht wurden. Während der Projektlaufzeit von SW.Developer führten unter anderem die Auswirkungen der Corona-Pandemie sowie die Energiekrise als Folge des Ukrainekriegs zu hohen Auswirkungen auf Energieverbrauch, Energiepreise und die Wahrnehmung der Energiewende in der Öffentlichkeit. Viele Stadtwerke haben seitdem erkannt, dass das Erschließen neuer Geschäftsfelder und ein neues Rollenverständnis unerlässlich sind, um weiterhin am Markt bestehen zu können. Die Gründe dafür liegen beispielsweise in gesetzlichen Anforderungen (z.B. die Verpflichtung zum Einsatz von erneuerbaren Energien in der Wärmeversorgung oder die Pflicht zur Durchführung einer kommunalen Wärmeplanung), einem geänderten Stimmungsbild in der Bevölkerung und daraus resultierenden Erwartungen der Kund\*innen aber auch durch die wirtschaftliche Notwendigkeit für eine Neuausrichtung. Umso wichtiger ist die Verfügbarkeit von Tools und

Methoden, die Stadtwerke bei der Neuausrichtung unterstützen, ebenso wie positive Handlungsbeispiele und Erfahrungsberichte von erfolgreich umgesetzten Lösungsoptionen. Dies stand im Fokus von SW.Developer.

Dazu wurden im Projektverlauf drei Haupt-Ergebnisse erarbeitet: das SW.Wiki als Informationsplattform für Stadtwerke, der SW.Evaluator als Bewertungstool für die Auswahl von Lösungsoptionen sowie die Veranstaltungsreihe SW.aktiv, zur Information und Vernetzung von Stadtwerken. Die Projektbearbeitung erfolgte durch Fraunhofer UMSICHT und die Stadtwerke Düsseldorf, wobei die Praxisperspektive und das Feedback der Stadtwerke insbesondere in der konzeptionellen Entwicklung und in der Unterstützung bei der Erhebung der nötigen Datenbasis wertvollen Input lieferte.

Auf der Wissensplattform SW.Wiki sind für Stadtwerke relevante technologische Lösungsoptionen für die Wärme- und Stromversorgung steckbriefartig dargestellt, um Kennzahlen für die Bewertung und den Vergleich verschiedener Technologien übersichtlich zur Verfügung zu stellen. Neben diesen Technologiesteckbriefen sind Beschreibungen der Technologiekonzepte, in die die Technologien eingebunden werden können, Übersichten zu Fördermitteln für die einzelnen Technologien sowie Informationen zu breiteren Themengebieten in Form von Konzept-, Fördermittel- und Themensteckbriefen enthalten.

Auf der Plattform können die Steckbriefe über eine Suchfunktion oder aber über Verlinkungen zwischen verwandten Steckbriefen aufgefunden werden. Die Plattform kann somit als Nachschlagewerk für technologische Kennzahlen als Hilfestellung für die Bewertung sowie als grundsätzliche Informationssammlung zum Einarbeiten in Energiewendethemen verwendet werden. Die Verlinkung von Technologien, Technologiekonzepten, Fördermitteln und Themen erlaubt es, sich mit verschiedenen Lösungsoptionen zu befassen und auch verwandte Konzeptvarianten in Betracht zu ziehen. Das SW.Wiki ist unter [www.sw-wiki.de](http://www.sw-wiki.de) verfügbar.

Der SW.Evaluator ist ein Tool für die Bewertung von integralen Versorgungslösungen mit einer zweistufigen Bewertungsmethodik, die auf eine umfangreiche Datenbank mit Berechnungsergebnissen für verschiedene Typgebäude und Typquartiere zurückgreift. Die Berechnungen basieren auf einer mathematischen Optimierung sowohl der Auslegung der Technologien innerhalb der Konzepte als auch deren Betriebsweise. Insgesamt wurden sechs Wohngebäudetypen und 13 Gewerbegebäudetypen definiert. Für jeden dieser Verbrauchstypen wurden insgesamt 20 verschiedene Technologiekonzepte berechnet, wobei nicht alle Konzepte für alle Gebäudetypen anwendbar waren. Darüber hinaus wurden sechs Quartierstypen definiert, für die wiederum jeweils fünf verschiedene Technologiekonzepte berechnet wurden. Für die Rahmenbedingungen, die in die Konzeptberechnung einfließen (Energiepreise, CO<sub>2</sub>-Faktoren, etc.), wurden neben den historischen Werten aus dem Jahr 2021 auch Szenarien für die Jahre 2035 und 2050 in jeweils zwei Ausprägungen erstellt.

Die Bewertungsergebnisse können über die grafische Oberfläche dargestellt, verglichen und bewertet werden. Dies erfolgt auf zwei Ebenen: der Konzept- und der Portfolioebene.

Auf der Konzeptebene können Technologiekonzepte für einzelne Typgebäude oder -quartiere verglichen werden. Dazu wird zunächst eine Auswahl getroffen, welche Typgebäude betrachtet werden und welche der dafür relevanten Konzepte in den Vergleich einbezogen werden sollen. Zudem wird eine nutzerspezifische Gewichtung von Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen vorgenommen, aus der ein Performance Score mittels der Analytic Hierarchy Process Methode berechnet wird. Aus diesem ergibt sich ein Ranking der ausgewählten

Konzepte. Zudem werden die Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen getrennt nach den Typgebäuden/-quartieren für die einzelnen Szenarien grafisch dargestellt.

Auf der Portfolioebene werden Technologieattraktivität, Umsetzungswahrscheinlichkeit und erwarteter Gewinn durch Verkauf und Contracting ausgewählter Technologiekonzepte in einer Portfoliomatrix dargestellt. Dazu müssen Nutzende Marktanteile und Erlöse angeben, das Konzept nach verschiedenen qualitativen Kriterien bewerten und Gewichtungsfaktoren definieren.

Damit dient der SW.Evaluator als eine Entscheidungshilfe, sowohl für die Auswahl konkreter Technologien für einen Anwendungsfall als auch bezüglich der Aufnahme neuer Technologieprodukte in das eigene Portfolio. Über die Berücksichtigung unterschiedlicher Szenarien sowie unterschiedlicher Versorgungsobjekte zeigt das Tool zudem Sensitivitäten auf, bzw. lädt dazu ein, diese zu untersuchen. So kann zum Beispiel bewertet werden, wie sich KPIs unter zukünftigen Bedingungen ändern oder wie sich unterschiedliche Gewichtungen von Kosten und Emissionen auf die Ergebnisse auswirken. Der Fokus liegt auf der Bewertung dezentraler Lösungen, beispielsweise für die Gebiete, die innerhalb der kommunalen Wärmeplanung nicht als Fernwärmegebiet ausgewiesen wurden.

Ein Nachteil des Tools ist es, dass Eingangsdaten, Annahmen und Szenariorahmenbedingungen durch den Nutzenden nicht angepasst werden können, da auf vorberechnete Daten zurückgegriffen wird. Diese Vereinfachung musste getroffen werden, um den Berechnungsaufwand handhabbar zu machen. Im Nachgang sollte also eine detailliertere Berechnung erfolgen. Für eine erste Entscheidungsgrundlage ist der SW.Evaluator jedoch gut geeignet. Weiterentwicklungspotenziale gäbe es zudem in der Betrachtung der Quartiere, z.B. durch die Berücksichtigung von Mischquartieren und der Bewertung weiterer Energiedienstleistungen für das Stadtwerkeportfolio, die bislang keine Beachtung finden, da lediglich unterschiedliche Versorgungslösungen betrachtet werden.

Die Online-Veranstaltungsreihe SW.aktiv, die gemeinsam mit den beiden weiteren Mitgliedern des neugegründeten Themenverbunds »Aktivierung der Stadtwerke«, AGFW und DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut während der Projektlaufzeit initiiert wurde, konnte sich als beliebtes Format etablieren, das auch nach Ende der Projektlaufzeit weiter fortgeführt wird. Das hohe Interesse und gute Feedback der Teilnehmenden zeigt, dass die Themen und die Gestaltung der Veranstaltungsreihe auf einen Bedarf der Praxisakteur\*innen treffen: Erfolgreiche Praxisbeispiele aus (Forschungs-)Projekten, übergeordnete Wissensvermittlung zu technologischen Inhalten rund um die Energiewende sowie Erfahrungsberichte von Stadtwerken für Stadtwerke werden in einem kompakten Format vermittelt. Die Termine, bei denen die höchsten Anmeldezahlen erreicht wurden, waren die Veranstaltungen zu Großwärmepumpen, zur tiefen Geothermie, zu Nahwärmenetzen und zum Ausbau der Wärmenetze, was insbesondere das hohe Interesse an Technologien für die Wärmewende aufzeigt.

Mit der Wissensdatenbank SW.Wiki, dem Bewertungstool SW.Evaluator und der Veranstaltungsreihe SW.aktiv zur Aktivierung und Vernetzung von Stadtwerken wurden somit im Projekt Werkzeuge und Formate geschaffen, die Stadtwerke dabei unterstützen, sich neu aufzustellen und ihre Rolle als lokaler Energiewendeakteur einzunehmen.

Die Entwicklung von Werkzeugen für die Transformation von Stadtwerken wird im Nachfolgeprojekt [Roadmap.SW](#) (FKZ 03EN3069A) fortgesetzt. Im Rahmen dieses Projekts werden Dekarbonisierung und Digitalisierung gemeinschaftlich betrachtet und sowohl ein

Reifegradmodell zur Bewertung des Status Quo der Transformation als auch Empfehlungen für Transformationsmaßnahmen und Hilfestellungen für die Entwicklung einer Roadmap gegeben.

## Literaturverzeichnis

- [1] A. Daum, W. Greife und R. Przywara, Hg., *BWL für Ingenieurstudium und -praxis*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [2] C. Beier, L. Grunwald, A. Hagemeier, B. Hunstock, J. Krassowski und S. Witkowski, "Abschlussbericht des Forschungsvorhabens TrafoSW: Transformation von Stadtwerken als wichtige Säule der Energiewende", Jan. 2020.
- [3] I. Liebing, "Stadtwerke: Zwischen energiewirtschaftlichen Megatrends und moderner Daseinsvorsorge" in *Klimaschutz und Energiewende in Deutschland*, U. Sahling, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, S. 1–17, doi: 10.1007/978-3-662-62081-6\_19-1.
- [4] M. Sonnberger und M. Ruddat, "Die gesellschaftliche Wahrnehmung der Energiewende : Ergebnisse einer deutschlandweiten Repräsentativbefragung", 2016.
- [5] K. Mause, "Daseinsvorsorge" in *Handbuch Staat*, R. Voigt, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 415–421, doi: 10.1007/978-3-658-20744-1\_37.
- [6] P. Kuhn, *Struktur und strategische Handlungsoptionen deutscher Stadtwerke*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2023.
- [7] F. Sensfuß *et al.*, "Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3. Kurzbericht: 3 Hauptszenarien", 2021.
- [8] O. Unruh, D. Thies, J. Hüllenkremer, F. Barth und T. Ronkartz, "Kurzstudie EVU 2030: Die wirtschaftliche Perspektive", Mai 2023.
- [9] J. Kleemann, K. Neumann und A. Zehm, "Herausforderungen einer klimafreundlichen Energieversorgung" in *Klima*, V. Wittpahl, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, S. 148–163, doi: 10.1007/978-3-662-62195-0\_8.
- [10] A. Cullmann, G. Sundermann, N. Wägner, C. von Hirschhausen und C. Kemfert, "Wertvolle Ressource Wasser auch in Deutschland zunehmend belastet und regional übermäßig genutzt", 2022.
- [11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, "Treibhausgasemissionen sinken 2020 um 8,7%", Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 16. März 2021.
- [12] Umweltbundesamt, "Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland: In der Abgrenzung der Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes" in *Presse-Information 11/2023 vom 15.03.2023*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2\\_abb\\_thg-emissionen-zielpfade-de\\_2023-05-02.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_thg-emissionen-zielpfade-de_2023-05-02.pdf)
- [13] Nationale Klimaschutzinitiative des Bundesumweltministeriums, *Die Nationale Klimaschutzinitiative* (Zugriff am: 26. November 2020).
- [14] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, "Merkblatt Erstellung von Klimaschutzkonzepten", 2018.
- [15] P. Diekelmann, Hg., *Klimaschutz in Kommunen: Praxisleitfaden*, 3. Aufl. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH, 2018.
- [16] Beni, "BISKO\_Methodenpapier\_kurz\_ifeu\_Nov19" [Online]. Verfügbar unter: [https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BISKO\\_Methodenpapier\\_kurz\\_ifeu\\_Nov19.pdf](https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BISKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf)
- [17] Stadt Wuppertal, Hg., "Klimaschutzkonzept mit integriertem Handlungsfeld Klimafolgeanpassung", Gertec GmbH; EPC; K.Plan, Wuppertal, 19. Mai 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wuppertal.de/microsite/klimaschutz/konzept/index.php>.

- 
- [18] J. Bleckmann, "entwurf-integriertes-klimaschutzkonzept" [Online]. Verfügbar unter: <https://www.neuss.de/leben/umwelt-und-gruen/klimaschutzkonzept/entwurf-integriertes-klimaschutzkonzept.pdf>
- [19] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, "Kommunale Wärmeplanung", *Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen*, 2. Nov. 2023, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/stadt-wohnen/WPG/WPG-node.html>. Zugriff am: 12. Dezember 2023.
- [20] Die Bundesregierung, *Kommunale Wärmeplanung für ganz Deutschland*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/waermeplanungsgesetz-2213692> (Zugriff am: 19. Dezember 2023).
- [21] KWW, *Aktueller Blick in die Bundesländer*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.kww-halle.de/wissen> (Zugriff am: 12. Dezember 2023).
- [22] Umweltministerium Baden-Württemberg, *Kommunale Wärmeplanung*. [Online]. Verfügbar unter: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energieeffizienz/in-kommunen/kommunale-waermeplanung> (Zugriff am: 16. Januar 2024).
- [23] Umweltministerium Baden-Württemberg, *Kommunale Wärmeplanung: Handlungsleitfaden*. [Online]. Verfügbar unter: [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf) (Zugriff am: 16. April 2024).
- [24] KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, *Technikkatalog zur Kommunalen Wärmeplanung*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikkatalog> (Zugriff am: 16. April 2024).
- [25] AGFW e. V. und DVGW e. V., *Kommunale Wärmeplanung: Praxisleitfaden*.
- [26] A. Ishizaka und P. Nemery, *Multi-criteria decision analysis: Methods and software*. Chichester West Sussex United Kingdom: Wiley, 2013.
- [27] R. W. Saaty, "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used", *Mathematical Modelling*, Jg. 9, 3-5, S. 161–176, 1987, doi: 10.1016/0270-0255(87)90473-8.
- [28] G. Schuh und S. Klappert, *Technologiemanagement*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [29] Pfeiffer, W., Metzger, G., Schneider, W. & Amler, R., *Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder, 6. durchgesehene Auflage*, 6. Aufl. Vandenhoeck & Ruprecht, 1991.
- [30] J. Weber und U. Schäffer, *Einführung in das Controlling*, 16. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2020.
- [31] H.-G. Baum, A. G. Coenenberg, T. Günther und P. M. Hamann, *Strategisches Controlling*, 5. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2013. [Online]. Verfügbar unter: <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1578857>
- [32] J. Bränzel, D. Engelmänn, M. Geilhausen und O. Schulze, *Energiemanagement*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019.
- [33] M. Jenkner, T. Kiel, S. Grundig und F. Kramer, "Wesentlichkeitsanalysen effektiv umsetzen und strategisch nutzen", plant values, 2020.
- [34] BDEW, *Standardlastprofile Strom: Profile*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/energie/standardlastprofile-strom/> (Zugriff am: 7. Oktober 2022).
- [35] BDEW, VKU, GEODE, "BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden: Abwicklung von Standardlastprofilen Gas", 31. März 2022.

- 
- [36] J. Dettmar, C. Drebes und S. Sieber, Hg., *Energetische Stadtraumtypen: Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen*, 2. Aufl. Fraunhofer IRB Verlag, 2020.
- [37] Savills, "Eigentümerstruktur am deutschen Wohnungsmarkt", 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.savills.de/insight-and-opinion/savills-news/275662-0/spotlight---eigentumerstruktur-am-deutschen-wohnungsmarkt>. Zugriff am: 5. Dezember 2023.
- [38] V. e. V, "VDI-Richtlinie 4655", 2021.
- [39] Statistische Ämter des Bundes und der Länder, "Zensus 2011, Düsseldorf: Gebäude und Wohnungen", 2011.
- [40] Landeshauptstadt Düsseldorf - Amt für Statistik und Wahlen, "Wohnen in Düsseldorf und Situationen von Menschen mit einer Wohnproblematik", 2016.
- [41] Statistisches Bundesamt, "Bautätigkeit und Wohnungen: Bestand an Wohnungen", 2020.
- [42] Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf, "Hausdatenblätter der Gebäudetypologie", 2010. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.duesseldorf.de/saga/sanierung/gebaeudetypologie.html>. Zugriff am: 7. Oktober 2022.
- [43] Selectra SAS, *Energieverbrauch Warmwasser: Mit 7 praktischen Tipps sparen!* [Online]. Verfügbar unter: <https://energiemarie.de/energietipps/wissenswert/energieverbrauch/warmwasser> (Zugriff am: 7. Oktober 2022).
- [44] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH, *Stromverbrauch 1 Person: Durchschnitt & Rechner*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-singlehaushalt/> (Zugriff am: 7. Oktober 2022).
- [45] FfE München, "Weiterentwicklung des Standardlastprofilverfahrens Gas", 2015.
- [46] Fraunhofer ISI, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE) TUM, GfK Retail and Technology GmbH, IREES GmbH, "Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013: Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)", 2015.
- [47] Vogel IT-Medien GmbH, *Die Energie-Bilanz von Rechenzentren fällt negativ aus: Teuer und teurer*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/die-energie-bilanz-von-rechenzentren-faellt-negativ-aus-a-328335/?p=2> (Zugriff am: 7. Oktober 2022).
- [48] Sebastian Degen, "Entwicklung eines generischen Simulationsmodells zur energetischen Analyse von Elektroautos im Quartier: Masterarbeit", 2022.
- [49] Clearingstelle für Verkehr, *Mobilität in Deutschland 2017 / Zeitreihendatensatz: Standard-Datensatzpaket der MiD*. [Online]. Verfügbar unter: <https://daten.clearingstelle-verkehr.de/279/>.
- [50] J. Gausemeier, "Zukunftsszenarien in der Retrospektive - was bringt die Szenario-Technik wirklich?", *Konstruktion*, Nr. 5, S. 75–82, 2011.
- [51] H. Kosow und R. Gaßner, *Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse: Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien*. Berlin: IZT, 2008.
- [52] Statista, *Wasserstoff: Produktionskosten nach Typ bis 2050 | Statista*. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1195863/umfrage/produktionskosten-von-wasserstoff-nach-wasserstofftyp-in-deutschland/> (Zugriff am: 2. Juni 2022).
- [53] World Energy Council, "Working Paper | Hydrogen Demand And Cost Dynamics", 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working\\_Paper\\_-\\_Hydrogen\\_Demand\\_And\\_Cost\\_Dynamics\\_-\\_September\\_2021.pdf?v=1634916141](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working_Paper_-_Hydrogen_Demand_And_Cost_Dynamics_-_September_2021.pdf?v=1634916141)

- 
- [54] FfE München, *Deutsche Strompreise an der Börse EPEX Spot in 2021*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/deutsche-strompreise-an-der-boerse-epex-spot-in-2021/> (Zugriff am: 2. Juni 2022).
- [55] Investing.com, *Dutch TTF Natural Gas Futures Historische Preise*. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.investing.com/commodities/dutch-ttf-gas-c1-futures-historical-data> (Zugriff am: 2. Juni 2022).
- [56] Umweltbundesamt, *Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen#Strommix> (Zugriff am: 2. Juni 2022).
- [57] Umweltbundesamt, Hg., "CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe", Dessau-Roßlau, Climate Change 27/2016, 2016. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren\\_fur\\_fossile\\_brennstoffe\\_korrektur.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf).
- [58] Gmbh, Ökofen Heiztechnik, "Pellets Preis Juni 2020 | Aktuelle Pelletspreise - ÖkoFEN", *ÖkoFEN Forschungs- und Entwicklungs Ges.m.b.H.*, 16. Juni 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oekofen.com/de-de/aktueller-pelletspreis/>. Zugriff am: 2. Juni 2022.
- [59] D. Thrän et al., Hg., *BioplanW: Systemlösungen Bioenergie im Wärmesektor im Kontext zukünftiger Entwicklungen: Schlussbericht*. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH - (DBFZ), 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://edocs.tib.eu/files/e01fn20/1737522829.pdf>
- [60] A. Müller, S. Fritz und L. Kranzl, "Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher: Abschlussbericht", 2017.
- [61] BDEW, *BDEW-Gaspreisanalyse April 2022*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-gaspreisanalyse/> (Zugriff am: 3. Juni 2022).
- [62] Statistisches Bundesamt, *Erdgaspreise für Nicht-Haushalte: Deutschland, Jahre, Jahresverbrauchsklassen, Preisbestandteile*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1655195937013&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=61243-0015&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb> (Zugriff am: 14. Juni 2022).
- [63] Boston Consulting Group, "Klimapfade 2.0: Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft", 2021.
- [64] Statistisches Bundesamt, *Strompreise für Nicht-Haushalte: Deutschland, Jahre, Jahresverbrauchsklassen, Preisbestandteile*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1655195866485&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=61243-0006&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb> (Zugriff am: 14. Juni 2022).
- [65] Bundesnetzagentur, *Veröffentlichung von EEG-Registerdaten*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG\\_Registerdaten/start.html#doc732052bodyText1](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/start.html#doc732052bodyText1) (Zugriff am: 2. Juni 2022).
- [66] EEX, *KWK Index*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eex.com/de/marktdaten/strom/kwk-index> (Zugriff am: 3. Juni 2022).
- [67] DWD, *Testreferenzjahre (TRY)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html> (Zugriff am: 3. Juni 2022).

# Anhang

## Themen-Steckbrief: Fernwärme



### Fernwärme

Thema

**Stichworte:** Fernwärme, Wärmespeicher, Primärenergiefaktor, zentrale Versorgung, Nahwärme, Wärmenetz



**Beschreibung:**

In der netzgebundenen Wärmeversorgung (Nah-/Fernwärmenetz) erfolgt die Wärmebereitstellung durch zentrale Wärmeerzeugung und eine dezentrale Wärmeabgabe über ein Rohrleitungsnetz mit einem darin befindlichem Wärmeträger. Bei kleineren Netzen, in der Regel für die Quartiersversorgung, spricht man von Nahwärme, bei größeren von Fernwärme, der Übergang zwischen Fern- und Nahwärme ist jedoch fließend und nicht klar abgegrenzt. Die Art der Wärmeerzeugung kann pro Netz variieren und auch aus mehreren unterschiedlichen Anlagen bestehen. Typisch ist aktuell die Verwendung der Wärme aus KWK-Anlagen, welche auf fossilen Primärenergiequellen basiert. Der Anteil erneuerbarer Energien ist noch gering.

Genauer gesagt lag der Anteil fossiler Energiequellen bei der Fernwärme 2021 bei 67,7 % und nur 17,3 % (Stand 2021) stammen aus erneuerbaren Energiequellen. ([https://www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht\\_2021\\_UPDATE\\_Juni\\_2022.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht_2021_UPDATE_Juni_2022.pdf), Kapitel 6 „Die Fernwärmeversorgung 2021“). Doch durch den zentralen Aufbau von Fernwärmenetzen gibt es große Potenziale, den Anteil grüner Fernwärme zu erhöhen und viele Wärmenetzbetreiber befassen sich aktuell mit der Transformation ihrer Netze.

Des Weiteren ist ein wichtiger Aspekt der Fernwärme die Anschlussrate. Damit ein Fernwärmenetz wirtschaftlich und effizient ist, müssen genug Abnehmer angeschlossen sein. Damit die Effizienz des Netzes gewährleistet wird, kann es vorkommen, dass in einigen Kommunen für Gebäude einen Anschluss- und Benutzungszwang gibt.

Eine wesentliche Charakteristik eines Fernwärmenetzes ist zudem der Primärenergiefaktor (PEF). Dieser gibt das Verhältnis von dem Primärenergiebedarf zum Endenergiebedarf wieder. Je kleiner der Wert ist, desto geringer ist der Einsatz von Primärenergien, beispielsweise durch geringe Verluste oder einem hohen Einsatz erneuerbarer Energien. Laut dem Gebäudeenergiegesetz darf der PEF nicht unterhalb von 0,3 liegen. Eine Ausnahme stellt ein Wärmenetz mit einem erhöhten Anteil an erneuerbarer Energie oder Abwärme dar. In dem Fall lässt sich der Wert bis auf 0,2 herabsenken. Diese gesetzliche Mindestgrenze bedeutet, dass wenn ein Wärmenetz einen Primärenergiefaktor unter 0,3 (bzw. 0,2) hat, dann muss bei den angeschlossenen Gebäuden dennoch der Wert 0,3 (bzw. 0,2) verwendet werden.

Eine Wärmeversorgung über Fernwärme bietet verschiedene **Vorteile:**

- Mit Hilfe von Wärmenetzen kann eine große Anzahl an Verbrauchern schnell erschlossen und beispielsweise über Abwärme, KWK-Wärme und erneuerbare Energien versorgt werden.



## Fernwärme

### Thema

- Indem die Versorgung über zentrale Anlagen erfolgt, können große und effiziente Erzeuger, in der Regel mit Kraft-Wärme-Kopplung, eingesetzt werden. Zudem ermöglicht die zentrale Wärmeerzeugung eine Einbindung von Abwärme und/oder Umweltwärme (Solarthermie, Geothermie), wodurch (fossile) Brennstoffe eingespart werden können.
- Der ganzjährige Wärmebedarf ermöglicht die Einbindung von Solarenergie, insbesondere, wenn saisonale Speicher zum Einsatz kommen.
- Neue Konzepte können einfacher umgesetzt werden, als wenn viele dezentrale Erzeuger ersetzt werden müssen. Das erleichtert den Umstieg auf erneuerbare Wärmequellen und somit auch die Wärmewende
- Die zentrale Wärmeerzeugung bietet gegenüber der individuellen Wärmeerzeugung zudem den Vorteil eines flexibleren Betriebs der Wärmeerzeuger mit der Möglichkeit, flexibel auf Rohstoff- und Strompreise zu reagieren.
- Beim Abnehmer können die Ausgaben für die hauseigene Heizungstechnik gespart werden. Ebenso wird kein Platz mehr für einen eigenen Heizkessel, Kamin etc. benötigt und Wartungen für die Technik entfallen auch.
- Für Verbraucher lohnt sich der Bezug grüner Fernwärme mit einem geringen Primärenergiefaktor, da somit die GEG-Vorgaben für den Einsatz erneuerbarer Energien erfüllt werden.

Neben den Vorteilen bringt die Fernwärme auch einige **Nachteile** mit sich:

- Die auftretenden Leitungsverluste in den Verteilungsnetzen führen dazu, dass Fernwärme bei einer geringen Wärmebedarfsdichte ineffizienter und weniger wirtschaftlich ist als die dezentrale Wärmeerzeugung.
- Jedes Fernwärmenetz stellt ein lokales Monopol dar, da zu einem anderen Fernwärmeanbieter kein Wechsel möglich ist
- Bei einem Wechsel zur Fernwärme fallen für den Anschluss hohe Investitionskosten für den Verbraucher an und nicht in jedem Gebiet ist ein Wechsel zur Fernwärme möglich



#### Aktuelle Fragestellungen & Herausforderungen

Herausforderungen ergeben sich durch die Anforderungen der Energiewende an eine möglichst CO<sub>2</sub>-neutrale Erzeugung, durch Veränderungen in den Abnahmestrukturen und die Umstellung auf Netze der 4. Generation mit geringeren Temperaturen und dezentraler Einspeisung. Der **sinkende Raumwärmebedarf** des Gebäudesektors stellt neue Anforderungen an Wärmenetze, da die Wärmebedarfsdichte sinkt und somit die Wärmeverluste einen relativ höheren Anteil einnehmen und die Wirtschaftlichkeit einer zentralen Wärmeversorgung sinkt.

Für die sogenannte vierte Generation von Wärmenetzen werden die Betriebstemperaturen gesenkt, um somit z. B. die Einbindung von **Niedertemperaturwärmequellen** (Grubenwasser, Solarthermie, Abwasser o. ä.) zu ermöglichen und infolgedessen Wärmeverluste und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken. Gleichzeitig werden **Synergien zwischen dem Wärme- und Stromsektor** ausgenutzt, um die Energieeffizienz und den Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmebereitstellung zu steigern (Sektorenkopplung). Die Schwierigkeit besteht hierbei darin, dies in Bestandsnetzen umzusetzen, da die Abnehmer und Netze in der Regel auf höhere Temperaturen ausgelegt sind.

Neben der zentralen Erzeugung werden zunehmend **dezentrale Einspeiser** (Abwärme, Prosumer) relevant, die zusätzliche Herausforderungen an die Hydraulik der Netze stellen.

#### Weiterführende Informationen

- **Leitfaden Nahwärme** von Fraunhofer UMSICHT
  - Der Leitfaden soll den Anwender in die Lage versetzen, Varianten der Nahwärmeversorgung zu beurteilen, sowie technisch und wirtschaftlich interessante Optionen zu erkennen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der systemübergreifenden Optimierung, die die technischen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen Wärmeerzeugung, -verteilung und -verbrauch berücksichtigen muss. Der Leitfaden will und kann - nicht zuletzt wegen seines beschränkten Umfanges - keine fachlich qualifizierte Planung ersetzen; er soll jedoch eine Hilfe sein, um die "richtigen Fragen" zu stellen und so die Planung konstruktiv zu beeinflussen.
- **Planungshandbuch Fernwärme** von EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
  - Das Planungshandbuch Fernwärme gibt eine Einführung in die technischen und betrieblichen Grundlagen zur Realisierung von Fernwärmenetzen und es soll dazu beizutragen, dass neue Fernwärmenetze effizient und ökonomisch ausgeführt und betrieben werden.

#### Verwandte Steckbriefe:

##### Technologien:

- Heizkessel zentral in Wärmenetzen und Industrie/Gewerbe
- KWK zentral in Netzen und Industrie/Gewerbe
- Solarkollektoren zentral in Wärmenetzen
- Wärme- und Kältenetze
- Zentrale Wärmepumpe in Wärmenetzen und Industrie/Gewerbe
- Heizkraftwerke
- Heizstab
- Tiefe Geothermie

##### Verwandte Konzepte:

- Solare Nahwärme
- Abwärmebasierte Quartiersversorgung
- Biomasse-basierte Quartiersversorgung
- Fernwärmebasierte Wärmeversorgung im Gebäude
- Wärmepumpen-basierte Quartiersversorgung
- Nahwärme
- Kalte Nahwärme
- iKWK-basierte Quartiersversorgung
- KWK-basierte Quartiersversorgung

	Fernwärme		Thema
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fernwärme- und Quartierswärmespeicher</li><li>• Saisonale Speicher</li></ul>		<b>Fördermöglichkeiten:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• BEG EM</li><li>• progres.nrw 3</li><li>• Zuschlagszahlungen für Wärmenetze und Kältenetze</li><li>• Zuschlagszahlungen für Wärmespeicher und Kältespeicher</li><li>• Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsysteme 4.0)</li><li>• KfW-Kredit 202</li></ul>	<b>Verwandte Konzepte:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Solare Nahwärme</li><li>• Abwärmebasierte Quartiersversorgung</li><li>• Biomasse-basierte Quartiersversorgung</li><li>• Fernwärmebasierte Wärmeversorgung im Gebäude</li><li>• Wärmepumpen-basierte Quartiersversorgung</li><li>• Nahwärme</li><li>• Kalte Nahwärme</li><li>• iKWK-basierte Quartiersversorgung</li><li>• KWK-basierte Quartiersversorgung</li></ul>

## Konzept-Steckbrief: Solare Nahwärme



### Solare Nahwärme

**Konzept**

**Stichworte:** Wärmeerzeuger, Wärme, EFH, MFH, Gebäude, Wohngebäude, Neubau, Bestand, Endkunde, Stromsektor, Solar, Solarthermie, Nahwärme, Wärmenetz, Erneuerbare Energien, Eigenverbrauch/ Eigenverbrauchserhöhung, Quartier



**Kurzbeschreibung:** Bei der solaren Nahwärme handelt es sich um ein Konzept, das Wärme über zentral platzierte Solarthermieanlagen per Nahwärmenetz an angeschlossene Kunden liefert. Die Einführung dieses Konzepts bietet den Kunden die Gelegenheit, regenerative Energie über dezentrales Versorgungssystem zur Erwärmung ihrer Häuser und ihres Trinkwassers zu nutzen. Darüber hinaus ermöglicht die dezentrale Wärmeerzeugung mittels großflächiger Solarthermieanlagen einen höheren Nutzungsgrad und Effizienz als die Installation von Sonnenkollektoren in jedem Gebäude.

Obwohl die Sonnenenergie im Sommer im Überfluss vorhanden ist, benötigen die Gebäude für Trinkwassererwärmung nur sehr wenig Wärme, während im Winter mit hohen Heizwärmebedarfen und geringer Solarstrahlung das Gegenteil der Fall ist. Je nach Auslegung kann Solarthermie daher in der Regel bis zu 30 % des Wärmebedarfs im Jahr decken. Das Netz selbst fungiert als Kurzzeitspeicher oder es werden zusätzliche Kurzzeitspeicher als Tages- oder Wochenspeicher installiert. Eine weitere Erhöhung des Deckungsgrades ist mit saisonalen Speichern möglich.

Eine geringe Netztemperatur ist dabei entscheidend für einen hohen Solarertrag und eine hohe Effizienz. Je nach Größe und Deckungsgrad können Wärmegestehungskosten von 3 bis 6 ct/kWh erreicht werden.

**Vorteile:** Die Solarthermie bietet eine Möglichkeit, erneuerbare Energien in die Wärmeversorgung einzubringen. Im Vergleich zu dezentralen Solarthermieanlagen kann die Installation von zentralen Kollektoren auf einer großen Fläche die Kosten für die Beratung vieler einzelner Gebäudeeigentümer, die Planung einzelner Anlagen, die Anschaffung der Kollektoren und die Installation sowie den Platzbedarf innerhalb der Gebäude und die späteren Wartungskosten erheblich senken. Darüber hinaus können Solaranlagen mit einer Vielzahl von Technologien zur Nutzung regenerativen Energien, wie z. B. Biomasse, gekoppelt werden, um eine emissionsarme Wärmeversorgung zu erreichen. Stadtwerke haben damit eine wirtschaftliche Option, ihre Kunden mit erneuerbarer Wärme zu versorgen. Der Vorteil dabei ist, dass die Gestehungskosten bei einmal bestehender Anlage nahezu konstant und planbar bleiben. Für Kunden ist der Anschluss an ein solares Nahwärmenetz durch den niedrigen Primärenergiefaktor attraktiv.

**Nachteile:** Im Vergleich zu einer dezentralen Versorgung müssen mehr Rohrleitungen verlegt und Anschlüsse im Gebäude installiert werden. Dadurch erhöhen sich die Installationskosten. Die Wärmegestehungskosten sind demnach noch etwas höher als in fossilen Wärmesystemen. Zudem sind durch die geringe Solarstrahlung im Winter stets zusätzliche Wärmeerzeuger nötig. Gerade die Einbindung in Bestandsnetze führt zudem zu Herausforderungen bezüglich Netztemperaturen und Hydraulik. Eine weitere große Herausforderung ist der hohe Flächenbedarf für die Aufstellung der Solarkollektoren und ggf. saisonaler Speicher.



## Solare Nahwärme

### Konzept

**Mögliche Erweiterungen:** Durch den Einbau großer saisonaler Wärmespeicher kann das solare Nahwärmesystem weit über 30 % des lokalen Wärmebedarfs abdecken und sowohl Wärmeverluste als auch Heizkosten reduzieren. Die Wärmeenergie wird von den saisonalen Speichern über ein solares 4-Leiternetz an die Wärmeabnehmer verteilt. Der Einbau von Wärmespeichern kann jedoch sehr viel Platz beanspruchen, was bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden muss.

**Geschäftsmodelle:**

- Contracting
- Verkauf von grüner Wärme

**Verwandte Steckbriefe:**

**Technologien:**

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Dezentrale Wärmepumpe</a></li> <li>• <a href="#">Solarkollektoren dezentral in Wohngebäuden</a></li> <li>• <a href="#">Solarkollektoren zentral in Wärmenetzen</a></li> <li>• <a href="#">Fernwärme- und Quartierswärmespeicher</a></li> <li>• <a href="#">Saisonaler Speicher</a></li> <li>• <a href="#">Wärmespeicher Gebäude</a></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Wärmespeicher Gebäude</a></li> <li>• <a href="#">Fernwärme- und Quartierswärmespeicher</a></li> <li>• <a href="#">Saisonaler Speicher</a></li> <li>• <a href="#">Wärme- und Kältenetze</a></li> <li>• </li> </ul> |
|---|--|

**Themen:**

- [Wärmewende](#)
- [Nahwärme im Quartier](#)
- [Quartiersversorgung](#)

**Fördermöglichkeiten:**

- [Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft - Novellierung 2020](#)
- [KfW-Kredit 240](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(Wärmenetzsysteme 4.0\)](#)

## Technologie-Steckbrief: dezentrale Wärmepumpe



### dezentrale Wärmepumpen

### Technologie

**Stichworte:** Wärmeerzeuger, Sektorenkopplung, EFH, MFH, Wohngebäude, Neubau, hocheffizient, strombasiert, Flexibilisierung, Eigenverbrauch



**Beschreibung:** Wärmepumpen dienen der Wärmeversorgung von Gebäuden. Je nach genutzter Wärmequelle wird zwischen Luft-, Sole- und Wasser Wärmepumpen unterschieden. Je geringer die Temperaturspreizung zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ist, desto höher ist die Effizienz. Wärmepumpen werden daher vermehrt in Neubauten mit Niedertemperaturheizsystemen (Fußbodenheizung) installiert.

Wärmepumpe		Außenluft	Erdreich	Grundwasser
Technische Parameter	Anlagentyp	Wärmeerzeuger	Wärmeerzeuger	Wärmeerzeuger
	Anwendung	dezentrale, thermische Gebäudeversorgung	dezentrale, thermische Gebäudeversorgung	dezentrale, thermische Gebäudeversorgung
	Typische Anlagengröße	[kW] 5-15 (EFH) / 15-35 (MFH) [1]	5-15 (EFH) / 15-35 (MFH) [1]	5-15 (EFH) / 15-35 (MFH) [1]
	Leistungszahl (COP)	[-] (L7W35) < 4 [2]	(S0W35) > 4 [2]	(W10W35) > 5 [2]
	Mittlere Jahresarbeitszahl (Erzeuger-JAZ)	[-] Neubau: 2,6-3,3 [3] Altbau: 2,4-2,7 [3] 2,8 [4]	Neubau: 3,2-4,3 [3] Altbau: 2,9-3,3 [3] 3,4 [4]	Neubau: 3,2-3,9 [3] 2,9-3,2 [4]
Technische Lebensdauer	[a] 20-25 [5]	20-25 [5]	20-25 [5]	
Ökonom. Bilanz	Investitionskosten (Kaufpreis)	[€/kW] 800-1.200 [6] [€] 8.000-10.000 [7]	1.100-1.500 [6] 10.000-15.000 [7]	12.000 [7]
	Erschließungskosten	[€] 1.000-6.000 [7]	6.000-12.000 [7]	1.000-10.000 [7]
	Betriebsgebundene Kosten	[€/a] 50-100 [7]	50-100 [7]	50-100 [7]
	Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a] bis 400 [7]	bis 1.000 [7]	bis 400 [7]
CO <sub>2</sub> -Bilanz	CO <sub>2</sub> -Äquivalent (direkt und fremdbezogene Hilfsenergie)	[g/kWh] 176,31 [8]	143,25 [8]	143,25 [8]
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent (inklusive Vorkette)	[g/kWh] 191,19 [8]	175,35 [8]	185,89 [8]
	Primärenergieträger	Strom	Strom	Strom

#### Technologien:

- [zentrale Wärmepumpe in Wärmenetzen und Industrie/Gewerbe](#)
- [dezentraler Stromspeicher](#)
- [PV für Gebäude \(Technologie\)](#)
- [Solarkollektoren dezentral in Wohngebäuden](#)
- [Solarkollektoren zentral in Wärmenetzen](#)
- [Heizkessel dezentral in Wohngebäuden](#)

#### Konzepte:

- [Bivalente Wärmepumpe \(mit Heizkessel\) / Hybridwärmepumpe](#)
- [wärmepumpenbasierte Wärmeversorgung \(für Gebäude\)](#)
- [PV-Batteriespeicher](#)
- [Kalte Nahwärme](#)
- [PV für Gebäude \(Konzept\)](#)



## dezentrale Wärmepumpen

Technologie

- [Heizkessel zentral in Wärmenetzen und Industrie/Gewerbe](#)
- [Tiefe Geothermie](#)
- [Wärmespeicher Gebäude](#)
- [Fernwärme- und Quartierswärmespeicher](#)
- [Ladeinfrastruktur](#)
- [Elektromobilität-PKW](#)
- [Energiemanagement](#)
- [Wärme- und Kältenetze](#)

### Themen:

- [Wärmewende](#)
- [Sektorenkopplung](#)
- [Nahwärme im Quartier](#)
- [Quartiersversorgung](#)
- [Sanieren im Bestand](#)
- [Wärmeversorgung von Gebäuden](#)
- [Virtuelles Kraftwerk](#)

### Literatur

- [1] *Appelhans, K., Exner, S., Bracke, R., 2014: Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes.*
- [2] *Bonin, J., 2012: Handbuch Wärmepumpen: Planung und Projektierung.*
- [3] *Jens Schuberth: Jahresarbeitszahlen von Elektro-Wärmepumpen in Feldtests, 28.4.2020, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#Effizienz>, 2018.*
- [4] *Dr. Falk Auer, 2006: Schlussbericht: Zweijähriger Feldtest Elektro-Wärmepumpen am Oberrhein.*
- [5] *Platt, M., Exner, S., Bracke, R., 2010: Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes: Bestandsaufnahme und Trends.*
- [6] *Lenz, V., Thrän, D., Pfeiffer, D., 2020: Systemlösungen im Wärmesektor: 52 Modellkonzepte für eine klimaneutrale Wärme.*
- [7] *ENTEKA: Wärmepumpenheizung: Kosten berechnen | ENTEKA, 12.10.2020, <https://www.entega.de/blog/waermepumpe-heizung-kosten/#anschaffung>, 2019.*
- [8] *Dr. Thomas Lauf, Michael Memmler, Sven Schneider, 2019: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.*

## Fördermittelsteckbrief: Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft



### Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft

Förderprogramm

**Stichworte:** BMWK (ehem. BMWi), Förderung, Wärmeerzeuger, Wärmeversorgung, Abwärme, Wärmespeicher, Biomasse, Wärmepumpe, Solarthermie, Erneuerbaren Energien, Energieeinsparung, Energieeffizienz



**Beschreibung:** Mit der Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft werden Maßnahmen zur Energie- und Ressourceneinsparung, sowie Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland mit einem Investitionszuschuss gefördert. Alternativ bietet auch die KfW Kredite und Tilgungszuschüsse mit dem KfW-Programm 295. Mit der Novellierung dieser Förderung vom 01.11.2021 gibt es nun 5 Module, die gefördert werden: Modul 1: Querschnittstechnologien (Einzelmaßnahmen), Modul 2: Prozesswärme aus erneuerbaren Ener-

gien, Modul 3: Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Sensorik und Energiemanagementsoftware, Modul 4: Energie- und Ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen, Modul 5: Förderung von Transformationskonzepten. Seit dem 01.05.2023 gibt es außerdem noch Modul 6: Elektrifizierung von kleinst- und kleinen Unternehmen, das gefördert wird.

#### Was wird gefördert?

##### Modul 1:

- Elektrische Motoren und Antriebe,
- Pumpen für die industrielle und gewerbliche Anwendung,
- Ventilatoren für die industrielle und gewerbliche Anwendung,
- Druckluftherzeuger,
- Wärmeübertrager für die Abwärmenutzung beziehungsweise Wärmerückgewinnung aus einem wärmeführenden Abwasser- oder Prozesswasserstrom,
- Dämmung von Anlagen bzw. Anlagenteilen,
- Frequenzumrichter.

##### Modul 2:

- Ersatz oder die Neuanschaffung von Anlagen<sup>1</sup> zur Bereitstellung von:
  - Wärme aus Solarkollektoranlagen,
  - Wärmepumpen,
  - Biomasseanlagen, oder
  - oberflächennaher und tiefer Geothermie
  - und elektrischer Energie aus KWK-Anlagen
- Wärmespeicher für beantragte Wärmeerzeuger
- Anbindung der beantragten Wärmeerzeuger an die prozesswärmerelevanten Wärmesenken<sup>2</sup>
- Aufständerrückbau und Unterkonstruktion für Solarkollektoren;
- notwendige Baumaßnahmen zur Aufstellung bzw. Einrichtung der Biomasseanlage oder Wärmepumpe (z.B. Fundament oder Einhausung)
- Ertragsüberwachung und Fehlererkennung von installierten Mess- und Datenerfassungseinrichtungen
- Nebenkosten für

<sup>1</sup> wobei die gesamte, bereitgestellte Energie zu über 50% für Prozesswärme, d.h. zur Herstellung, Weiterverarbeitung oder Veredelung von Produkten oder zur Erbringung von Dienstleistungen (z. B. Wäschereien, Schwimmbäder etc.) verwendet wird

<sup>2</sup> im Falle einer Wärmepumpe auch die Anbindung an eine oder mehrere erneuerbare Wärmequellen;



## Bundeförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft

Förderprogramm

- Machbarkeitsabschätzungen und Planungen
- Installations- und Montagekosten

### Modul 3:

- Software und Hardware im Zusammenhang mit der Einrichtung oder Anwendung eines Energie- oder Umweltmanagementsystems, insbesondere der Erwerb, die Installation und die Inbetriebnahme:
  - von Softwarelösungen zur Unterstützung eines Energiemanagementsystems oder Umweltmanagementsystems (Energiemanagementsoftware);
  - von Sensoren sowie Analog-Digital-Wandlern zur Erfassung von Energie- oder Materialströmen sowie sonstiger
  - für den Energie- oder Materialverbrauch relevanter Größen zwecks der Einbindung in das Energie- oder Umweltmanagementsystem
  - von Steuer- und Regelungstechnik zur Beeinflussung von Systemen und Prozessen, sofern der vornehmliche Zweck ihres Einsatzes in der Reduktion des Energie- oder Materialverbrauchs liegt.
- investive Maßnahmen zur energetischen und ressourcenorientierten Optimierung von industriellen und gewerblichen Anlagen und Prozessen, wie z.B.:
  - Prozess- und Verfahrensumstellungen
  - Maßnahmen zur Nutzung von Abwärme, die durch Prozesse entstehen
  - Maßnahmen an Anlagen zur Wärmeversorgung, Kühlung und Belüftung
  - Maßnahmen zur energieeffizienten Bereitstellung von Prozesswärme oder –kälte
  - Maßnahmen zur Reduktion oder Vermeidung von Energie- und Ressourcenverlusten im Produktionsprozess
  - Maßnahmen zur Einsetzung von Erneuerbaren Energieträgern
  - Maßnahmen zur Elektrifizierung von Prozessen
  - Maßnahmen zur Erzeugung von Biogas sowie Holzgas
- Aufwendungen für die Erstellung eines Einsparkonzepts
- Umsetzungsbegleitung durch externe Energieberater

### Modul 5:

- Erstellung eines Transformationskonzeptes
- Erstellung und Zertifizierung einer CO<sub>2</sub>-Bilanz für Unternehmensstandorte
- Verlängerung des Zeitrahmens für die Umsetzung von Investitionsvorhaben der „Bundeförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)“

### Modul 6:

- investive Maßnahmen zur Elektrifizierung von kleinst- und kleinen Unternehmen:
  - Austausch von Bestandsanlagen, die zum Teil oder vollständig von fossilen Energieträgern betrieben werden, durch elektrisch zu betreibende Neuanlagen
  - Umrüstung von Anlagen, die zum Teil oder vollständig von fossilen Energieträgern betrieben werden, so dass diese mit elektrischer Energie zu betreiben sind

### Kombination mit anderen Zuschüssen?

Die Förderung darf nicht mit staatlichen Beihilfen, einschließlich Zahlungen/ Vergütungen nach dem EEG, dem KWKG oder nach der De-minimis-VO, für dieselbe Maßnahme kumuliert werden. Gleichzeitig zu diesem Antrag darf kein Antrag für die KfW 295- Förderung gestellt werden.



## Bundeshförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft

Förderprogramm

### Wer wird gefördert?

- ✓ private Unternehmen,
- ✓ kommunale Unternehmen,
- ✓ freiberuflich Tätige, wenn die Betriebsstätte überwiegend für die freiberufliche Tätigkeit genutzt wird,
- ✓ Contractoren, die in dieser Richtlinie genannte Maßnahmen für ein antragsberechtigtes Unternehmen durchführen

### Nichtgefördert werden:

- Kommunen
- Unternehmen bzw. Sektoren n in den Fällen des Art. 1 Abs. 2 bis 5 AGVO<sup>3</sup>
- Unternehmen mit öffentlich-rechtlicher Rechtsform
- Unternehmen, deren Anteile überwiegend, mehr als 50 %, und dauerhaft vom Bund gehalten werden

### Wie hoch ist die Förderung?

- Modul 1:
  - **30% der förderfähigen Investitionskosten** (De-minimis-VO) bzw. der förderfähigen Investitionsmehrkosten (Artikel 38 AGVO), für große Unternehmen, **40%** für mittlere Unternehmen und **50%** für kleine Unternehmen
  - Das Netto-Investitionsvolumen für Einzelmaßnahmen, einschließlich Nebenkosten, muss mindestens 2.000 Euro betragen
  - Mittlere Unternehmen erhalten zusätzlich einen Bonus in Höhe von 10 und kleine Unternehmen einen zusätzlichen Bonus von 20 Prozentpunkten (KMU)
- Modul 2:
  - **45% der förderfähigen Investitionskosten** (De-minimis-VO) bzw. der förderfähigen Investitionsmehrkosten (Artikel 41 AGVO) für große Unternehmen, **55%** für mittlere Unternehmen und **65%** für kleine Unternehmen
  - Mittlere Unternehmen erhalten zusätzlichen einen Bonus in Höhe von 10 und kleiner Unternehmen einen zusätzlichen Bonus von 20 Prozentpunkten (KMU)
- Modul 3:
  - **30% der förderfähigen Investitionskosten** (De-minimis-VO) bzw. der förderfähigen Investitionsmehrkosten (Artikel 38 AGVO) für große Unternehmen, **40%** für mittlere Unternehmen und **50%** für kleine Unternehmen
  - Mittlere Unternehmen erhalten zusätzlichen einen Bonus in Höhe von 10 und kleiner Unternehmen einen zusätzlichen Bonus in Höhe Prozentpunkten (KMU)
- Modul 4:
  - **30% der förderfähigen Investitionskosten** bzw. der förderfähigen Investitionsmehrkosten für Unternehmen ohne KMU-Status („große Unternehmen“). Der Investitionszuschuss beträgt **maximal 500 Euro pro jährlich** eingesparte Tonne CO<sub>2</sub>
  - **maximal 40% der förderfähigen Investitionsmehrkosten** bei mittleren Unternehmen und **50%** bei kleinen Unternehmen

<sup>3</sup> Dies gilt insbesondere für Unternehmen der Fischerei und Aquakultur. Auch Unternehmen, die einer Rückforderungsanordnung aufgrund eines Beschlusses der Europäischen Kommission zur Feststellung der Unzulässigkeit einer von demselben Mitgliedstaat gewährten Beihilfe und ihrer Unvereinbarkeit mit dem Binnenmarkt nicht nachgekommen sind, sind nicht antragsberechtigt. Dies gilt auch für Unternehmen, über deren Vermögen ein Insolvenzverfahren beantragt oder eröffnet worden ist.



## Bundeshilfe für Energieeffizienz in der Wirtschaft

Förderprogramm

- Bei Maßnahmen zur außerbetrieblichen Abwärmenutzung kann die Förderquote nochmal um 10 Prozentpunkte erhöht werden
- Der Investitionszuschuss beträgt für kleine und kleinst-Unternehmen maximal 1200 Euro und bei mittleren Unternehmen 900 Euro pro jährlich eingesparte Tonne CO<sub>2</sub>
- Sofern im Rahmen des Vorhabens nach Modul 4 auch Maßnahmen zur Prozesswärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien (Modul 2) beantragt werden, werden die CO<sub>2</sub>-Einsparungen, die durch diese Maßnahmen erzielt werden, bei der Berechnung der maximalen Förderhöhe berücksichtigt.
- Modul 5:
  - **40% der beihilfefähigen Kosten** (Artikel 49 AGVO) für große Unternehmen, **50% der beihilfefähigen Kosten** für mittlere Unternehmen und **60% der beihilfefähigen Kosten** für kleine Unternehmen
  - Für Unternehmen, die in einem Netzwerk der Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke (IEEKN) angemeldet sind und aktiv daran teilnehmen, erhöht sich die Förderquote um 10 Prozentpunkte
- Modul 6:
  - **20%** (Artikel 17 AGVO) bzw. **33%** (De-minimis-VO) **der beihilfefähigen Kosten** für kleine Unternehmen

### Höchstbetrag für den Investitionszuschuss:

Modul 1: 200.000€ je Vorhaben  
 Module 2,3 und 4: max. 15 Mio.€.  
 Modul 5: 80.000€ pro Konzept  
**Fördergeber:** BMWK (ehem. BMWi)

### Weiterführende Informationen:

[https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz\\_und\\_Prozesswaerme/energieeffizienz\\_und\\_prozesswaerme\\_node.html;jsessionid=090DFA7C70C4E983843D34206EDF336F.1\\_cid390](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/energieeffizienz_und_prozesswaerme_node.html;jsessionid=090DFA7C70C4E983843D34206EDF336F.1_cid390)

### Themen:

- Wärmeversorgung von Gebäuden
- Fernwärme
- Energieberatung
- Wärmewende

### Konzepte:

- wärmepumpenbasierte Wärmeversorgung (für Gebäude)
- wärmepumpenbasierte Quartiersversorgung
- solare Nahwärme
- biomasse-basierte Quartiersversorgung

### Technologien:

- zentrale Wärmepumpe in Wärmenetzen und Industrie/Gewerbe
- Solarkollektoren zentral in Wärmenetzen
- Wärmespeicher Gebäude
- intelligente Steuerung

### Verwandte Fördermöglichkeiten:

- Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft (295) (kfw.de)