

Standardisierte Prozedur für die Entwicklung von klimaneutralen Versorgungskonzepten veranschaulicht an zwei Demoquartieren

Johannes Schrade, Micha Illner, Heike Erhorn-Kluttig und Hans Erhorn

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Nobelstrasse 12, 70569 Stuttgart, Deutschland
Telefon: +49 711 970-3416; Fax: +49 711 970-3399; Email: johannes.schrade@ibp.fraunhofer.de

KURZFASSUNG

Die Transformation von Siedlungen mit ihren Gebäuden und ihrer Infrastruktur in klimaneutrale Quartiere ist eine zentrale Aufgabe des kommunalen Klimaschutzes. Im Rahmen des Forschungsprojekts STADTQUARTIER 2050 wurde für die Zielgruppen kommunales Klimamanagement und Stadtplanungsbüros ein Leitfaden entwickelt, der ein einheitliches Vorgehen bei der Vorauswahl klimaneutraler Energieversorgungskonzepte für Wohnquartiere beschreibt. Der Leitfaden bietet einen Überblick über geeignete Lösungsansätze für klimaneutrale Quartiersversorgungen und beschreibt eine standardisierte Bewertungsprozedur für die frühe Planungsphase. Der Bewertungsansatz basiert auf einem Tabellenverfahren zur vergleichenden Betrachtung unterschiedlicher Versorgungskonzepte. Dabei werden sowohl harte Bewertungskriterien wie Investitionskosten, Energiekosten, Kompensation und der Ertrag aus erneuerbaren Energien herangezogen als auch weiche Faktoren wie Zukunftsfähigkeit, Umsetzbarkeit oder Übertragbarkeit einbezogen. Im vorliegenden Beitrag werden die Inhalte des Leitfadens vorgestellt, die zugrundeliegende Methodik beschrieben und das neue Planungsinstrument an zwei Demonstrationsprojekten angewendet.

KEYWORDS

Klimaneutralität, Quartiere, Planungstool, Fallstudien, Energieversorgung, Gebäudeeffizienz

EINLEITUNG

Die Wahl geeigneter Versorgungskonzepte für neue oder bestehende Quartiere stellt die handelnden Personen und Entscheidungsträger in Kommunen vor große Herausforderungen. Dabei müssen Sie sich mit vielschichtigen, teils gegensätzlichen Interessen auseinandersetzen. So sind neben den wichtigen Themen Klimaschutz, bezahlbarer Wohnraum, Wahrung der Versorgungssicherheit und Anpassung an den Klimawandel auch Einzelinteressen von Eigentümern, Investoren und Betreibern zu berücksichtigen. Hinzu kommt eine ganze Fülle potenziell vielversprechender Technologien sowie siedlungsspezifische Rahmenbedingungen und politische Zielsetzungen, welche die Entwicklung von guten Lösungen erschweren (vgl. [1]).

Eine Analyse der bestehenden kommunalen Planungsprozesse im Bereich der energetischen Entwicklung von Quartieren zeigt, dass bereits vielversprechende Ansätze vorhanden sind (vgl. [2]), deren Anwendung jedoch stark von der Qualifikation und Intention der handelnden Personen abhängig sind. So ist die Entscheidungsbasis für und gegen einzelne Versorgungskonzepte nicht immer nachvollziehbar. Auch stellt sich teilweise die Frage, ob alle geeigneten Varianten der Energieversorgung in die Überlegungen einbezogen wurden und unter welchen Aspekten die Auswahl eingegrenzt und priorisiert wurde.

Um diesen Entscheidungsprozess transparenter zu gestalten und die Auswahl möglicher Versorgungskonzepte zu objektivieren, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts STADTQUARTIER 2050 [3] Werkzeuge entwickelt, die die handelnden Personen dabei unterstützen sollen. Hierzu wurden gängige Versorgungskonzepte und innovative Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung von Quartieren gesammelt und hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen bewertet. Zudem wurde eine Prozedur zur energetischen und monetären Bewertung von Lösungsvarianten in der frühen Planungsphase entwickelt und eine Liste limitierender Faktoren für die unterschiedlichen Versorgungskonzepte erarbeitet.

Die methodischen Grundlagen der Bewertungsprozedur sowie die Anwendung auf homogene Siedlungsstrukturen sind im „Leitfaden zur Entwicklung klimaneutraler Quartiere“ beschrieben. Im vorliegenden Artikel wird der Leitfaden vorgestellt und dessen Anwendung an zwei Wohnquartieren demonstriert.

VORSTELLUNG DES LEITFADENS

Das im Leitfaden beschriebene Vorgehen zur Auswahl eines passenden Versorgungskonzepts lässt sich in fünf Teilschritte untergliedern. Zu Beginn des Auswahlprozesses gibt der Nutzer die relevanten Randbedingungen des zu betrachtenden Quartiers an. Dazu wird das untersuchte Gebiet einem Siedlungstyp (ST) zugewiesen und für den Standort eine passende Klimazone ausgewählt. Die Eingabedaten sind bewusst geringgehalten, um einen schnellen Einstieg ohne große Vorkenntnisse zu ermöglichen.

Abhängig von Siedlungstyp und Klimazone wird anschließend eine Bewertungsmatrix aus dem Anhang des Leitfadens für den Variantenvergleich gewählt. Im nächsten Schritt werden standortspezifische limitierende Faktoren erfasst, mit denen die Auswahl möglicher klimaneutraler Versorgungskonzepte eingegrenzt wird. Zur Erfassung limitierender Faktoren steht dem Nutzer ein Fragenkatalog zur Verfügung. Mittels weicher Faktoren lässt sich anschließend die Auswahl möglicher Versorgungsvarianten weiter einschränken. Abschließend besteht die Möglichkeit eine Priorisierungsregel für die monetäre Bewertung der Versorgungsvarianten festzulegen. Hierfür kann die Perspektive des Investors, der Bewohner, der externen Kompensation oder der Volkswirtschaft eingenommen werden. Der prinzipielle Ablauf ist in der folgenden Grafik visualisiert.



Bild 1: Prinzipielles Vorgehen bei der Auswahl eines geeigneten Versorgungskonzepts für Quartiere.

Die Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung von Wohnquartieren sind vielfältig. Diese können als dezentrale gebäudeweise Versorgung, zentrale quartiersbezogene Versorgung oder quartiersübergreifende Versorgung angelegt sein. Bei der getroffenen Auswahl für den Leitfaden wurden die gängigsten Lösungen berücksichtigt, deren Verfügbarkeit nicht zu stark eingeschränkt ist und bei denen keine zu großen

technischen Herausforderungen zu bewältigen sind. Zudem wurden Versorgungslösungen auf Basis besonders klimaschädlicher fossile Energieträger, wie Steinkohle, Braunkohle oder Heizöl aus der Betrachtung ausgeschlossen.

Das Ziel der Klimaneutralität wird im Leitfaden definiert als ausgeglichene Jahresbilanz der Treibhausgasemissionen, die durch den Gebäudebetrieb (Wärme- und Stromversorgung, inkl. Nutzerstrom) freigesetzt werden (vgl. [4]). Hierfür werden die Treibhausgase in eine der Wirkung entsprechenden Menge CO₂ umgerechnet (CO₂-Äquivalent). Die Allokation der Treibhausgase erfolgt nach dem Verursacherprinzip.

Der Leitfaden stellt insgesamt 10 dezentrale gebäudeweise Lösungen, 9 zentrale quartiersbezogene Lösungen oder 2 quartiersübergreifende Lösungen für eine klimaneutrale Versorgung von Wohnquartieren zur Verfügung. Als Wärmeerzeuger werden Wärmepumpen, Brennwertkessel, Blockheizkraftwerke (BHKW) und Brennstoffzellen betrachtet. Die eingesetzten Energieträger umfassen Solarenergie, Strom, Biomasse, Erdgas und synthetisches Gas sowie konventionelle und (nahezu) klimaneutrale Fernwärme.

Zur Auswahl des Siedlungstyps stehen dem Nutzer fünf Siedlungsformen mit überwiegender Wohnnutzung zur Verfügung:

- ST 2: Einfamilienhaussiedlung
- ST 4: Reihenhaussiedlung
- ST 5b: Zeilenbebauung mit kleinen und größeren Mehrfamilienhäusern
- ST 6: Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern
- ST 7a: Blockbebauung niedriger Dichte

Für die klimatischen Randbedingungen kann der Nutzer aus drei Klimazonen wählen, wobei neben dem Referenzklima Deutschland (Referenzstandort Potsdam) auch ein ungünstiger Standort mit kaltem Winter und geringer Solarstrahlung (Referenzstandort Fichtelberg) und ein günstiger Standort mit mildem Winter und hohem Strahlungsangebot (Referenzstandort Mannheim) auswählbar sind.

Für jede mögliche Kombination aus Siedlungstyp und Klimazone stehen im Anhang des Leitfadens eine vorberechnete Bewertungsmatrix zur Verfügung. Die Bewertungsmatrix basiert auf einer monetären Bewertung der untersuchten Versorgungskonzepte unter Berücksichtigung von Investitionskosten, Energiekosten, Kompensationskosten und dem Ertrag aus der Stromerzeugung. Nicht berücksichtigt werden bei der monetären Bewertung Fördermaßnahmen, da diese sich einerseits schnell ändern können und andererseits regional unterschiedlich ausgeprägt sind.

Das Ergebnis wird nicht in absoluten Zahlen ausgewiesen, sondern eine vergleichende Betrachtung zwischen den Versorgungskonzepten angestellt. Die Einordnung erfolgt anhand von Quintilen, wobei die besten 20 % der Konzepte in die Kategorie 1 fallen und die schlechtesten 20 % in die Kategorie 5. Abbildung 2 zeigt die Bewertungsmatrix für den Siedlungstyp „Blockbebauung niedriger Dichte“ am Standort Potsdam. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Bewertungen farbig hervorgehoben. Die Farbskala orientiert sich am Farbstrahl des Gebäudeenergieausweises. Lösungen, die ohne Kompensationsmaßnahmen auskommen, sind blau markiert.

Randbedingung	Klimazone	4 – Potsdam (gemäßigt)															
	Siedlungstyp	ST 7a – Blockbebauung niedriger Dichte															
	Bewertungskriterium	Investitionen				Energiekosten				Kompensationskosten				Volkswirtschaftliche Betrachtung			
	Energiestandard	EH 40	EH 55	GEG-Ref	Be-stand	EH 40	EH 55	GEG-Ref	Be-stand	EH 40	EH 55	GEG-Ref	Be-stand	EH 40	EH 55	GEG-Ref	Be-stand
Dezentrale Versorgungskonzepte	Luft-Wasser-Wärmepumpe	5	3	2	1	3	4	4	5	3	4	4	5	4	4	4	5
	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	5	4	4	2	3	3	4	5	3	3	4	5	5	4	4	5
	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit PVT-Kollektoren	5	4	4	2	3	4	4	5	3	3	4	5	5	4	4	5
	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	5	4	3	1	3	3	4	5	2	3	4	5	4	3	3	5
	Gas-Brennwertkessel mit solarer TWW-Bereitung	4	3	2	1	1	1	2	5	2	4	5	5	3	2	2	5
	Gas-Brennwertkessel mit solarer Heizung	4	3	2	1	1	1	2	5	3	4	5	5	3	2	2	5
	Gas-Brennwertkessel mit Abluft-Wärmepumpe	5	3	2	1	2	2	3	5	2	4	4	5	4	2	3	5
	Biomassekessel	5	4	2	1	1	2	2	4	1	1	1	2	3	1	1	2
	Biomassekessel mit solarer TWW-Bereitung	5	4	3	1	1	1	2	4	1	1	2	2	3	1	1	2
	Biomassekessel mit solarer Heizung	5	4	3	1	1	1	1	4	2	2	2	3	3	1	1	2
	Gas-BHKW mit Gas-Brennwertkessel	5	3	2	1	1	2	3	5	2	2	2	5	2	1	1	3
	Brennstoffzelle mit Gas-Brennwertkessel	4	3	2	1	2	2	3	5	2	4	4	5	3	2	2	5
Zentrale Versorgungskonzepte	Sole/Wasser-WP mit Erdsonden	5	3	2	1	2	2	4	5	2	3	4	5	4	2	3	5
	Sole/Wasser-WP mit Agrothermie	5	3	2	1	2	3	4	5	2	3	4	5	4	2	3	5
	Sole/Wasser-WP mit Abwasserwärme	5	3	2	1	2	2	3	5	2	2	3	5	3	2	2	5
	Gas-BHKW und Solarthermie	5	4	3	2	1	2	3	5	1	1	2	4	2	1	1	4
	Hackschnitzel-BHKW mit Hackschnitzelkessel	5	4	3	1	1	1	2	4	1	0	0	0	1	1	1	1
	Holz hackschnitzelkessel mit Solarthermiefeld	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kalte Nahwärme Erdsonden	5	4	3	2	3	3	4	5	3	3	4	5	4	3	4	5
	Kalte Nahwärme Erdkollektor	5	4	3	1	3	4	4	5	3	3	4	5	4	4	4	5
	Kalte Nahwärme Abwasserwärme	5	4	3	1	3	3	4	5	3	3	4	5	4	3	4	5
	Fernwärme (konventionell)	4	2	2	1	2	3	4	5	3	4	4	5	3	2	3	5
Fernwärme (nahezu klimaneutral)	4	2	2	1	2	4	4	5	1	1	1	2	3	2	2	5	

Legende: 1 = sehr positiv, 2 = positiv, 3 = neutral, 4 = negativ, 5 = sehr negativ, 0 = keine externe Kompensation erforderlich

Bild 2: Monetäre Bewertung der Versorgungsvarianten für Siedlungstyp 7a - Blockbebauung niedriger Dichte am Standort Potsdam.

Zusätzlich zu limitierenden Faktoren kann eine weitere Eingrenzung der Versorgungsvarianten anhand weicher Bewertungsfaktoren vorgenommen werden. Hierfür sind die Versorgungskonzepte hinsichtlich ihrer Zukunftsfähigkeit, Umsetzbarkeit,

Übertragbarkeit, Erweiterbarkeit, Klimaanpassung, Robustheit gegenüber dem Klimawandel und Netzdienlichkeit bewertet. Die Bewertung erfolgt qualitativ unter Nutzung eines dreistufigen Bewertungssystems. So erhalten beispielsweise Lösungen mit Wärmepumpen eine positive Bewertung für die Zukunftsfähigkeit, während Versorgungskonzepte mit fossilen Energieträgern und Biomasse negativ bewertet werden. Grundlage für diese Einordnung sind die Begrenztheit der verwendeten Ressourcen und die politische Bedeutung für die Transformation des Energiesystems. Eine ausführliche Darstellung der Bewertungsmethodik findet sich im Leitfaden (vgl. [2]).

Tabelle 2: Bewertung der Versorgungskonzepte anhand weicher Faktoren.

		Zukunftsfähigkeit	Umsetzbarkeit	Übertragbarkeit	Erweiterbarkeit	Klimaanpassung	Robustheit	Netzdienlichkeit
Dezentrale Versorgungskonzepte	Luft-Wasser-Wärmepumpe	+	+	+	+	+/-	+	+/-
	Sole-Wasser-WP mit Erdsonden	+	+	0	0	+	0	+/-
	Sole-Wasser-WP mit PVT-Kollektoren	+	0	0	0	-	+	+/-
	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	+	-	-	0	+	-	+/-
	Gas-BW-Kessel mit solarer TWW	-	+	+	+	-	0	0
	Gas-BW-Kessel mit solarer Heizung	-	+	+	+	-	0	0
	Gas-Brennwertkessel mit Abluft-WP	-	0	+	+	0	0	-
	Biomassekessel	-	0	-	0	0	-	0
	Biomassekessel mit solarer TWW	-	0	-	0	-	-	0
	Biomassekessel mit solarer Heizung	-	0	-	0	-	-	0
	Gas-BHKW mit Gas-Brennwertkessel	-	0	+	+	0	0	+
	Brennstoffzelle mit Gas-BW-Kessel	0	-	+	+	0	0	+
	Zentrale Versorgungskonzepte	Sole/Wasser-WP mit Erdsonden	+	+	0	0	0	0
Sole/Wasser-WP mit Agrothermie		+	+	-	-	0	0	+/-
Sole/Wasser-WP Abwasserwärme		+	-	-	-	0	0	+/-
Gas-BHKW und Solarthermie		-	+	-	+	0	0	+
Hackschnitzel-BHKW mit Spitzenlast		-	+	-	+	0	-	+
Holz hackschnitzel mit Solarthermie		-	+	-	+	0	-	0
Kalte Nahwärme Erdsonden		+	-	0	0	+	0	+/-
Kalte Nahwärme Erdkollektor		+	-	-	-	+	0	+/-
Kalte Nahwärme Abwasserwärme		+	-	-	-	+	0	+/-
Fernwärme (konventionell)		-	+	-	+	0	0	0
Fernwärme (nahezu klimaneutral)	+	+	-	+	0	0	0	

BERECHNUNGSMODELL

Die monetäre Bewertung der Versorgungskonzepte basiert auf einer Modellierung der Quartiere mit typischen Siedlungscharakteristika. Hierfür sind die relevanten Merkmale der in Deutschland am häufigsten vorkommenden Wohnsiedlungsformen aus bestehenden Siedlungstypologien (vgl. [5]) zusammengestellt. Die Datensätze umfassen unter anderem Informationen zum vorherrschenden Gebäudetyp, dessen mittleren Baualter und Grundfläche, zur Siedlungsdichte sowie zu Straßenlänge und Abstand der Gebäude.

Für die Modellierung der Gebäude werden baualtersübergreifende Typgebäude aus der Deutschen Gebäudetypologie (vgl. [6]) verwendet. Hierzu wird die Baualtersverteilung in Deutschland zugrunde gelegt und aus den baualterstypischen Beispielgebäuden der Deutschen Gebäudetypologie mittlere geometrische Kennwerte für Nettogrundfläche, beheiztes Volumen, Dach, Außenwand und Fenster gebildet.

In der Variantenrechnung werden vier energetische Niveaus untersucht. Für den unsanierten Bestand wird ein mittleres Wärmeschutzniveau gemäß [7] für die Baualtersklasse 1969 bis 1978 angesetzt. Für Neubau und Sanierung werden die Anforderungsniveaus gemäß Bundesförderung für effiziente Gebäude an das Effizienzhaus 55 und das Effizienzhaus 40 betrachtet. Zusätzlich wird für die Sanierung ein moderates Sanierungsniveau gemäß Effizienzhaus 100 berechnet.

Ergänzend zum energetischen Niveau der Gebäudehülle werden drei unterschiedliche Lüftungskonzepte abgebildet. Als mögliche Varianten stehen Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung, reine Abluftanlagen und Fensterlüftung zur Verfügung. Um die Variantenzahl gering zu halten, sind die Lüftungskonzepte an den Gebäudetyp und das Wärmeschutzniveau gekoppelt. So erhalten sämtliche Gebäude mit Effizienzhaus 40 eine maschinelle Zu- und Abluft-Anlage. Für die anderen Effizienzhausniveaus werden die großen Mehrfamilienhäuser mit Abluftanlagen modelliert, während die sonstigen Wohngebäude ohne maschinelle Lüftung abgebildet werden.

Die energetische Bewertung der Gebäude und der dezentralen Versorgungskonzepte erfolgt mittels Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599:2018-09 unter Verwendung der Standardnutzungsprofile für Wohngebäude. Für die Variantenrechnung wird ein Batchtool verwendet, das basierend auf dem am Fraunhofer IBP entwickelten Rechenkern zur DIN V 18599 eine leistungsstarke Reihenuntersuchung ermöglicht. Als Ergebnis werden der jährliche Endenergiebedarf unterteilt nach Energieträgern sowie die Heizlast, die benötigte thermische Leistung für die Trinkwarmwasserbereitung und der erforderliche Volumenstrom für die Lüftungsanlagen berechnet.

Die energetische Bewertung der zentralen Wärmeversorgungskonzepte setzt auf den Ergebnissen der Gebäudemodellierung auf. Für in der DIN V 18599 nicht hinterlegte Erzeuger werden eigene Berechnungsmodelle verwendet, die an die Berechnungsverfahren der Norm angelehnt sind.

Die Modellierung von Wärmenetzen erfolgt anhand siedlungstypspezifischer Merkmale. Die Länge der Hauptverteilung ergibt sich aus der Gesamtlänge der Straßen im Betrachtungsgebiet, während die Hausanschlussleitungen über den mittleren Abstand zwischen Gebäude und Straße ermittelt werden. Die Dimensionierung der Rohrdurchmesser erfolgt vereinfacht für ein dreistrahliges Wärmenetz mit einem Druckverlust von 100 Pascal pro Meter (vgl. [8]).

Die elektrische Leistung für die Netzpumpe ergibt sich aus dem Druckverlust und dem Wirkungsgrad der Pumpe (Annahme 60 %) und den Volllaststunden der angeschlossenen Verbraucher. Die Wärmeverluste des Verteilnetzes werden in Abhängigkeit von Betriebstemperatur, Bodentemperatur, Netzlänge und längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen berechnet. Die Betriebstemperatur des Wärmenetzes wird vereinfachend aus den Temperaturanforderungen der angeschlossenen Gebäude in Abhängigkeit der flächenspezifischen Heizlast abgeleitet.

Der Nutzerstrom für Beleuchtung und elektrische Haushaltsgeräte ist in erster Linie abhängig von der Haushaltsgröße (vgl. [9]). Auf Basis der Haushaltsgrößenverteilung je Gebäudetyp (vgl. [10]) ergeben sich mittlere flächenspezifische Nutzerstromverbräuche von 20 kWh/(m²a) für Einfamilienhäuser und 28 kWh/(m²a) für die restlichen Gebäudetypen.

Für die Ermittlung von Treibhausgasemissionen und Energiekosten werden THG-Emissionsfaktoren nach DIN V 18599-1 und Kostenkennwerte für das Jahr 2020 (vgl. [11]) verwendet. Bei Fernwärme werden im Leitfadensystem zwei extreme Ausprägungen betrachtet. Einerseits eine konventionelle Fernwärme aus einem Kohle-Heizkraftwerk, andererseits eine regenerative Fernwärme aus einem Biomasse-Heizwerk. Die angesetzten Kennwerte sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Für die Berechnung der Energiekosten wird eine mittlere jährliche Preissteigerung von 5 % angenommen

Tabelle 1: Angesetzte Energiepreise und Treibhausgasemissionsfaktoren

Energieträger	Preis (brutto, 2020) [Cent/kWh]	THG-Emissionsfaktor (2019) [g/kWh]
Gas	6,8	240
Fernwärme (Kohle-Heizkraftwerk)	8,5	240
Fernwärme (Holz-Heizwerk)	9,5	60
Holzpellets	5,0	40
Hackschnitzel (20 % Feuchte)	3,1	40
Haushaltsstrom	31,2	550
Heizstrom	23,7	550
PV-Strom (Einspeisung)	7,0	-550 (Gutschrift)

Um die Klimaneutralität eines Versorgungskonzeptes sicherzustellen, müssen vorhandene Emissionen durch entsprechende Maßnahmen kompensiert werden. Hierfür werden Dachflächen im Quartier möglichst umfangreich mit Photovoltaik bestückt und der überschüssige Strom, der nicht innerhalb des Quartiers verbraucht werden kann, ins Netz eingespeist. Bilanziell wird der eingespeiste PV-Strom mit einer Gutschrift von 550 g/kWh berücksichtigt. Für die in der Jahresbilanz verbleibenden Emissionen, die nicht durch lokale Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien kompensiert werden können, werden externe Kompensationsmaßnahmen durch Kauf von Emissionszertifikaten berücksichtigt. Die Kompensationskosten werden mit 220 € pro Tonne CO₂ veranschlagt (vgl. [12]).

Die erforderlichen Investitionskosten für die Umsetzung eines Versorgungskonzeptes werden auf Basis von Kostenkennwerten abgeschätzt. Die flächenspezifischen Kosten für Wärmedämmung werden abhängig vom U-Wert je Bauteil angesetzt (vgl. [13]). Für die leistungsspezifischen Kosten der Wärme- und Stromerzeugung werden Kostenkurven mit einem degressiven Verlauf bei zunehmender Leistungsgröße verwendet (vgl. [13], [14], [15], [16]).

ANWENDUNGSBEISPIELE

Als Anwendungsbeispiele werden zwei Quartiersprojekte herangezogen, für die im Rahmen des Forschungsprojekts STADTQUARTIER 2050 klimaneutrale Energieversorgungen aufgebaut werden. Trotz gleicher Zielsetzung sind die beiden Quartiere in Stuttgart und Überlingen sehr unterschiedlich und eignen sich daher gut um die Funktionalität des generischen Ansatzes zu evaluieren. Insbesondere hinsichtlich der lokalen Gegebenheiten und Restriktionen unterscheiden sich die beiden Quartiere erheblich.

Im Folgenden werden die beiden Pilotprojekte kurz vorgestellt und der generische Ansatz des Leitfadens angewendet. Da für beide Standorte zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Leitfadens bereits Versorgungskonzepte festgelegt waren, hatte die Anwendung des Leitfadens keinen direkten Einfluss auf die tatsächliche Wahl des Energiekonzeptes.

Bürgerhospital in Stuttgart

Im Wohnquartier Bürgerhospital in Stuttgart wird ein ehemaliges Krankenhausareal zu einem Wohnquartier umgewandelt. Das Quartiersareal befindet sich in einem hochverdichteten großstädtischen Kontext und erstreckt sich über eine Fläche von ca. 5 ha. Im geplanten Wohnquartier sollen mehr als 600 Wohneinheiten entstehen. Neben den Wohngebäuden sind auch Kindertagesstätten, Pflegeeinrichtungen, Einkaufsmöglichkeiten, Büroflächen und sonstige Kleingewerbeflächen vorgesehen. Die Bestandsgebäude werden im Zuge der Konversion mehrheitlich abgerissen und durch Neubauten ersetzt. Die neue Wohnfläche soll größtenteils als bezahlbarer Wohnraum entwickelt werden. Der städtebauliche Entwurf sieht eine Blockrandbebauung mit bis zu acht Vollgeschossen vor, die um innenliegende Freiflächen angeordnet sind.

Für die Auswahl der Bewertungstabelle sind in einem ersten Schritt der Siedlungstyp, dem das Wohnquartier entspricht, und die Klimazone, in der sich dieses befindet, festzulegen. Im Falle des Bürgerhospitals in Stuttgart handelt es sich um den Siedlungstyp „Blockbebauung niedriger Dichte“. Das Areal liegt in einer Region mit mildem Klima und hoher Solarstrahlung (Referenzstandort Mannheim).

Im nächsten Schritt werden die standortspezifischen limitierenden Faktoren zur Eingrenzung der Versorgungskonzepte erhoben. Als besondere Herausforderung gibt es diverse rechtliche und technische Restriktion, wie ein Gebot zur Vermeidung von Feinstaub, Anhydrid-Gestein im Untergrund sowie baurechtliche Einschränkungen durch Notwasserbrunnen, Tunnelbauwerke, Thermalwasservorkommen und einen erhaltenswerten Baumbestand im Projektgebiet. Zusätzlich ist das Anwendungsbeispiel überwiegend ein Neubauprojekt, weshalb die Wärmeschutzniveaus „GEG-Referenzgebäude“ und „unsanierter Bestand“ nicht weiter betrachtet werden.

Unter Anwendung der im Leitfaden beschriebenen Prozedur zur Eingrenzung der Lösungsansätze ergibt sich eine Auswahl mit drei dezentralen Versorgungskonzepten (Luft-Wärmepumpe, Sole-Wärmepumpe mit PVT-Kollektor und Erdsonden) und vier zentralen Versorgungskonzepten (Nahwärme mit Erdsonden oder Abwasser und kalte Nahwärme mit Erdsonden oder Abwasser). Zusätzlich könnte auch die in der näheren Umgebung liegende Fernwärme genutzt werden, die jedoch aktuell noch ein hohes Treibhausgaspotenzial aufweist.

Die verbliebenen Lösungsansätze sind der folgenden Abbildung dargestellt. Aus volkswirtschaftlicher Sicht am besten geeignet erweisen sich die beiden Varianten mit einem Nahwärmenetz und Sole/Wasser-Wärmepumpe sowie ein Anschluss an die konventionelle Fernwärme jeweils bei einem energetischen Gebäudeniveau gemäß Effizienzhaus 55. Auch hinsichtlich der Emissionen und der Energiekosten, sind die besten Ergebnisse mit den beiden Nahwärme-konzepten mit Sole/Wasser-Wärmepumpe zu erzielen. Aus Sicht des Investors ergeben sich die besten Ergebnisse bei einem Anschluss an das konventionelle Fernwärmenetz.

Bewertungskriterium	Investitionskosten		Energiekosten		Kompensationskosten		Volkswirtschaftliche Kosten	
	EH 40	EH 55	EH 40	EH 55	EH 40	EH 55	EH 40	EH 55
Energiestandard								
Luft-Wasser-Wärmepumpe	5	3	3	4	3	4	5	4
Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	5	4	3	3	3	3	5	4
Sole-Wasser-WP mit PVT-Kollektoren	5	4	4	4	3	4	5	4
Nahwärme mit Sole/Wasser-WP und Erdsonden	5	3	2	2	2	2	4	2
Nahwärme mit Sole/Wasser-WP und Abwasserwärme	5	3	2	2	2	2	3	2
Kalte Nahwärme Erdsonden mit WP	5	4	3	3	3	3	5	3
Kalte Nahwärme Abwasserwärme mit WP	5	4	3	3	3	3	5	3
Fernwärme (konventionell)	4	2	2	3	3	4	4	2

Legende: 1 = sehr positiv, 2 = positiv, 3 = neutral, 4 = negativ, 5 = sehr negativ, 0 = keine externe Kompensation erforderlich

Bild 3: Auswahl geeigneter Versorgungskonzepte für das Quartier Bürgerhospital in Stuttgart.

Die verbleibenden Versorgungskonzepte können anhand weicher Faktoren weiter eingeschränkt werden. Würde man beispielsweise der Zukunftsfähigkeit des Versorgungskonzepts und dem Potenzial zur Klimaanpassung eine besondere Bedeutung beimessen, würden die dezentrale Versorgung mit PVT-Kollektoren sowie das Versorgungskonzept mit Fernwärme (konventionell) aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Abschließend wird festgelegt, aus welcher Perspektive die Versorgungskonzepte priorisiert werden sollen. Im Falle des Anwendungsbeispiels aus Stuttgart wird der Fokus von der Stadtverwaltung auf einer Minimierung der Kompensationskosten gelegt. Als am besten geeignet kristallisieren sich somit die beiden Nahwärmekonzepte mit Sole-Wasser-Wärmepumpe heraus.

Tatsächlich umgesetzt im Quartier wird ein Nahwärmekonzept mit Sole-Wasser-Wärmepumpe, die als Wärmequellen das Erdreich und Abwasserwärme nutzen, ergänzt durch PVT-Kollektoren zur Regeneration des Erdreichs. Außerdem wird ein ambitionierter Wärmeschutzstandard angestrebt (vgl. [17]).

Hildegardring/Schättlisberg in Überlingen

Im Quartiersprojekt in Überlingen am Bodensee entstehen direkt angrenzend an ein Bestandsquartier 180 neue Wohneinheiten nach genossenschaftlichem Prinzip. Der städtebauliche Entwurf sieht eine Zeilenbebauung mit kleinen und mittleren Mehrfamilienhäusern vor. Die Neubauten sind als drei- und viergeschossige Wohngebäude geplant. Das Quartier befindet sich am Ortsrand mit großen Freiflächen in der direkten Umgebung. In unmittelbarer Nähe zum Erweiterungsgebiet befindet sich ein Wärmenetz, das bereits einen hohen Anteil erneuerbarer Energien aufweist. Die Bodenseeregion wird der Klimazone 13 nach DIN V 18599-10 zugeordnet und entspricht damit hinsichtlich solarem Strahlungsangebot und mittlerer Außentemperatur dem Referenzstandort Potsdam.

Aufgrund fehlender Restriktionen, die die Auswahl möglicher Versorgungskonzepte einschränken, sind nahezu alle Lösungsansätze grundsätzlich denkbar. Einzig die Nutzung

von Abwasserwärme und die Erschließung des Grundwassers müssen ausgeschlossen werden. Da es sich wie im Stuttgarter Projekt um ein Neubauquartier handelt, können die Wärmeschutzniveaus für Bestandsbauten ausgeschlossen werden. In der folgenden Abbildung sind die aus Sicht der Kompensationskosten am besten geeigneten Varianten dargestellt.

Bewertungskriterium	Investitionskosten		Energiekosten		Kompensationskosten		Volkswirtschaftliche Kosten	
	EH 40	EH 55	EH 40	EH 55	EH 40	EH 55	EH 40	EH 55
Gas-Brennwertkessel mit solarer TWW	4	3	1	1	2	4	3	2
Biomassekessel mit solarer TWW-Bereitung	5	3	1	1	1	1	3	1
Gas-BHKW mit Gas-Brennwertkessel	5	3	1	2	2	2	2	1
Nahwärme mit Sole/Wasser-WP und Erdsonden	5	4	2	3	2	3	4	2
Nahwärme mit Sole/Wasser-WP und Agrothermie	5	4	2	3	2	3	4	3
Nahwärme mit Gas-BHKW und Solarthermie	5	4	1	2	1	2	2	1
Nahwärme mit Hackschnitzel-BHWK	5	4	1	1	1	0	2	1
Nahwärme mit Holzhackschnitzelkessel & Solarthermiefeld	5	4	1	1	1	1	1	1
Fernwärme (nahezu konventionell)	4	2	2	4	1	1	3	2

Legende: 1 = sehr positiv, 2 = positiv, 3 = neutral, 4 = negativ, 5 = sehr negativ, 0 = keine externe Kompensation erforderlich

Abb. 20.3 Auswahl geeigneter Versorgungskonzepte für das Quartier Hildegardring/Schöttlisberg.

Es zeigt sich, dass einzig bei einer Nahwärmelösung mit einem Biomasse-BHKW auch ohne externe Kompensation eine klimaneutrale Versorgung sichergestellt werden könnte. Aus volkswirtschaftlicher Sicht schneiden die Versorgungslösungen mit einem energetischen Gebäudeniveau gemäß Effizienzhaus 55 etwas günstiger ab als bei einem höheren Effizienzstandard. Bei den Investitionen sind die dezentralen Versorgungsvarianten mit einem geringeren Wärmeschutzniveau etwas günstiger, ebenso wie ein Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz.

Tatsächlich wird das Projektgebiet in Überlingen an das bestehende Wärmenetz angeschlossen. Die zusätzliche Wärmeleistung wird durch eine Erweiterung der Biomasseverbrennung und einem neuen Solarthermiefeld bereitgestellt. Die Neubauten werden als KfW-Effizienzhaus 40 Plus verwirklicht (vgl. [18]). Aus volkswirtschaftlicher Sicht wäre ein KfW55 – Standard zwar günstiger gewesen. Die Deckung der Mehrkosten für den erhöhten Energiestandard erfolgt über das KfW-Förderprogramm.

FAZIT UND AUSBLICK

Die Umsetzung von klimaneutralen Versorgungslösungen für Quartiere ist eine wichtige Aufgabe, um die ambitionierten, aber notwendigen Klimaschutzziele zu erreichen. Als besonders herausfordernd im Planungsprozess erweist sich, die Partialinteressen der Akteure im Quartier zusammenzubringen und gute Lösungen für die unterschiedlichen Interessensgruppen anzubieten. Mit dem „Leitfaden zur Entwicklung klimaneutraler Quartiere“ steht den handelnden Personen ein Werkzeug zur Verfügung, das den Auswahlprozess in der früheren Planungsphase unterstützt, um geeignete Lösungsvarianten transparent und objektiv identifizieren zu können.

Die Anwendung des generischen Ansatzes auf die beiden Wohnquartiere in Stuttgart und Überlingen hat dessen grundsätzliche Anwendbarkeit bestätigt. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass in beiden Projekten unter den gegebenen Randbedingungen die aus volkswirtschaftlicher Sicht am besten geeigneten Varianten gewählt wurden.

Perspektivisch kann die entwickelte Prozedur ein elementarer Bestandteil bei der kommunalen Wärmeplanung werden. Hierfür ist im Rahmen des Forschungsprojekts STADTQUARTIER 2050 die Entwicklung eines webbasierten Software-Tools geplant, Neben zusätzlichen Möglichkeiten zur Anpassung von Projektrandbedingungen und zur genaueren Abbildung des Projektgebiets, soll das Software-Tool auch über zusätzliche Filterfunktionen für den Auswahlprozess und eine quantitative Ergebnisdarstellung verfügen. Das Software-Tool wird nach Fertigstellung auf der Webseite des Forschungsvorhabens „Stadtquartier 2050“ [3] kostenfrei zur Verfügung gestellt.

DANKSAGUNG

Das diesem Artikel zugrundeliegende Vorhaben wird gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Verbundvorhabens EnStadt mit dem Titel „STADTQUARTIER 2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen“ unter dem Förderkennzeichen 03SBE116 gefördert.

REFERENZEN

- [1] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR, 2017) Energie im Quartier, Zeitschrift Information zur Raumentwicklung, Franz Steiner Verlag, Heft 4, Seiten 4-10.
- [2] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS, 2012) Energetische Stadterneuerung – Zukunftsaufgabe der Stadtplanung, Schriftenreihe Werkstatt: Praxis, Heft 78, Seiten 60 ff.
- [3] Fraunhofer Gesellschaft (2019) Stadtquartier 2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen. Webseite des Forschungsvorhabens „Stadtquartier 2050“. Online im Internet: URL: www.stadtquartier2050.de (letzter Aufruf 16.03.2022).
- [4] Schrade, J., Illner, M., Erhorn-Kluttig, H. Erhorn, H. (2022) Wege zur klimaneutralen Energieversorgung von Quartieren – ein Leitfaden (D3.2.1), erstellt im Rahmen des Forschungsvorhaben „Stadtquartier 2050“, Fraunhofer IBP, Stuttgart.

- [5] Blesl, M. (2002) Räumlich hochaufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.
- [6] Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N., Born, R. (2015) Deutsche Wohngebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, zweite erweiterte Auflage, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- [7] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2020) Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahmen und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand.
- [8] Dötsch, C., Taschenberger, J., Schönberg I. (1998) Leitfaden Nahwärme – Hilfe bei der Planung von Nahwärmenetzen. Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen.
- [9] Frondel, M., Andor, M., Ritter, N., Sommer, S., Vance, C., Matuschek, P., Müller, U. (2015) Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2011 bis 2013, Forschungsprojekt Nr. 54/09 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.
- [10] Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.) (2011) Zensusdatenbank – Ergebnisse des Zensus 2011 zum Download, Tabelle 4000W-3021, Online im Internet: URL: <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online/> (letzter Aufruf 16.03.2022).
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2021) Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWK. Online im Internet: URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (letzter Aufruf 16.03.2022).
- [12] Umweltbundesamt (2020) Empfehlung zu den Klimakosten. Online im Internet: URL: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/tab-uba-empfehlung-zu-den-klimakosten> (letzter Aufruf 16.03.2022).
- [13] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2017) EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen. BBSR-Online-Publikation 16/2017, Bonn.
- [14] Hinz.E (2015) Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten – Endbericht, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- [15] Zech, D. et al. (2017) Evaluation des Marktanzreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2015 bis 2017, Ausarbeitung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
- [16] Wolff, D., Jagnow, K. (2011) Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung; Wolfenbüttel/Braunschweig; Online im Internet: URL: <https://www.freie-waerme.de/fileadmin/Freie-Waerme-DE/Downloads/Studie-Untersuchung-Nah-und-Fernwaerme.pdf> (letzter Aufruf 16.03.2022).

- [17] Schrade, J., Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H. (2020) Entwicklung eines klimaneutralen Versorgungskonzepts für das Bürgerhospital Stuttgart – Wissenschaftliches Hintergrunddokument (D2.1.1), erstellt im Rahmen des Forschungsvorhaben „Stadtquartier 2050“, Fraunhofer IBP, Stuttgart.
- [18] Maucher, M., Söder, A. (2022): Exposé zum Energiekonzept für das klimaneutrale Quartier Schättlisberg in Überlingen, Energieagentur Ravensburg, Überlingen.