

Potenziale und Restriktionen leitungsgebundener Wärmeversorgung in Stadtquartieren

Eco.District.Heat

P. Lichtenwöhner, S. Erker,
G. Stöglehner, F. Zach,
S. Neumayer, H. Daxbeck

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

10/2019

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

Impressum

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

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

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

Potenziale und Restriktionen leitungsgebundener Wärmeversorgung in Stadtquartieren

Eco.District.Heat

Dipl.-Ing. Peter Lichtenwöhrer, Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Susanna Erker,
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Stöglehner
Universität für Bodenkultur Wien / Department für Raum, Landschaft
und Infrastruktur / Institut für Raumplanung, Umweltplanung und
Bodenordnung

Dipl.-Ing. Franz Zach
Österreichische Energieagentur

Dipl.-Ing. Stefan Neumayer, Mag. Hans Daxbeck
Ressourcen Management Agentur

Wien, Oktober 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

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

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

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	7
Abstract	8
1. Ausgangslage	10
2. Projektinhalt	12
2.1. Systemanalyse, Szenarientwicklung und Spezifikation von Stadtstrukturen	13
2.2. Charakterisierung und Bewertung von Stadtstrukturen und Entwurf eines Baukastensystems	14
2.3. Das Baukastensystem und dessen Kalibrierung	15
2.4. Dissemination der Projektergebnisse	16
3. Ergebnisse.....	17
3.1. Systemanalyse und Szenarien.....	17
3.2. Der <i>Eco.District.Heat</i> -Baukasten.....	20
3.2.1. Raumplanung und Energie	20
3.2.2. Kosten	22
3.2.3. Ressourcen.....	23
3.2.4. Umwelt und Klima	25
3.2.5. Verknüpfung der Merkmale	25
3.3. Anwendung des Baukastens und Synthese	28
3.4. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“	30
4. Schlussfolgerungen.....	31
5. Ausblick und Empfehlungen.....	33
6. Verzeichnisse	35
6.1. Abbildungsverzeichnis	35
6.2. Tabellenverzeichnis.....	35
6.3. Literaturverzeichnis	36
7. Anhang.....	39
7.1. Strategiepapier.....	39
7.2. Informationspakete	50

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation: Ballungsräume wachsen. Wachstum ist vielfach noch immer mit vermehrtem Energieverbrauch und höheren Umweltbelastungen verbunden. Gleichzeitig sind im Lichte der Pariser Beschlüsse umfangreiche Klimaschutzmaßnahmen zu treffen und die Energiewende konsequent umzusetzen. In Bezug auf die innere und äußere Stadtentwicklung – also die Umnutzung und Nachverdichtung im Bestand und die Erweiterung in den Randbereichen – sind Fragen bezüglich der Wahl geeigneter technologischer Netzwerke für die Wärme- und Elektrizitätsversorgung noch nicht ausreichend geklärt. Einerseits ist die Erzielung von Energieüberschüssen aus Plusenergiehäusern möglich, die jedoch raum-zeitlich nicht mit dem Energiebedarf übereinstimmen müssen. Andererseits verfügt die Stadt über erhebliche Abwärmepotenziale aus Elektrizitätsgewinnung, Müllverbrennung, Industrie und abwassertechnischer Infrastruktur, die über Fernwärmenetze nutzbar gemacht werden können. In diesem Spannungsfeld ist unter Berücksichtigung der Stadtstruktur, technologischer Optionen, ökonomischer Erwägungen, Umwelt- und Klimaschutz und Resilienz gegenüber Energiekrisen energieorientierte Stadtplanung und -gestaltung umzusetzen.

Inhalte und Zielsetzungen: Insbesondere die leitungsgebundenen Versorgungsstrukturen sind in mehrfacher Hinsicht zu hinterfragen: (1) Sind im Zeichen von hoher gebäudebezogener Energieeffizienz und den Möglichkeiten dezentraler Energieversorgung leitungsgebundene Energieträger langfristig zukunftsfähig? (2) Falls ja, welche Formen leitungsgebundener Wärmenutzung sollten prioritär genutzt werden? (3) Wenn bereits eines oder beide Netze in einem bestimmten Gebiet vorhanden sind, wäre aus stofflich-energetischer Sicht unter Berücksichtigung von Resilienz ein Rückbau oder eine Stilllegung eines der Systeme zweckmäßig? (4) Wie wirkt sich die Prosumer-Thematik auf die Gestaltung von Netzen aus?

Methodische Vorgehensweise: Das Projekt *Eco.District.Heat* schafft mit der Entwicklung einer strategischen Entscheidungshilfe für österreichische Städte die Grundlage für eine fundierte Auseinandersetzung mit dem Themenbereich „leitungsgebundene Wärme- (und Kälte-) Versorgung“. Aufbauend auf einer systemtheoretischen Betrachtung werden Entwicklungsszenarien bis 2050 definiert und Stadtraumtypen charakterisiert. Basierend auf der Charakterisierung erfolgt eine qualitative sowie quantitative Bewertung im Sinne eines Baukastensystems auf vier Ebenen: (1) „Raumplanung und Energie“, (2) „Kosten“, (3) „Ressourcen“ und (4) „Umwelt und Klima“. Somit werden Stadtraumtypen einer raumplanerischen und energetischen sowie einer materiellen, ökologischen und ökonomischen Analyse unterzogen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen: Die Projektergebnisse sind in einem Strategiepapier und in zielgruppenspezifischen Informationspaketen sowie als Entscheidungshilfe für städtische Energieraumplanung in einem Baukastensystem zusammengefasst. Mit der Baukastenmethodik können bestehende oder geplante Stadtquartiere modelliert und anhand von quantitativen und qualitativen Kriterien in Hinblick auf ihre langfristige Versorgung mit leitungsgebundener Wärme- (und Kälte-) Versorgung analysiert werden. Damit sind die Ergebnisse in der Stadtplanung und Stadtgestaltung in Österreich breit anwendbar.

Ausblick: Mit Hilfe der Ergebnisse können Gemeinden die für Wärmenetze geeigneten Gebiete identifizieren und gegebenenfalls den Anteil angeschlossener Gebäude an bereits vorhandene Netze erhöhen. Weiters kann die örtliche Raumplanung gezielt auf die Erfordernisse von Wärmenetzen

Rücksicht nehmen, womit maßvoll verdichtete, sinnvoll funktionsgemischte Strukturen forciert werden. Weiterer Forschungsbedarf wird in einer breiteren Anwendung des *Eco.District.Heat*-Baukastens und einer kontinuierlichen Verbesserung der Methodik gesehen.

Abstract

Starting point/Motivation: Conurbations are growing. Frequently, growth is still associated with increased energy consumption and higher environmental impacts. At the same time, major climate-protection efforts and a consistent transformation of the energy system are an imperative in the light of the Paris Agreement. Concerning internal and external urban development – meaning conversion and densification of existing built structures as well as extension in fringe areas – some issues with respect to the choice of appropriate technological networks for heat and power supply have not yet been clarified sufficiently. On the one hand, it is possible to generate surplus energy from plus energy houses that, however, does not necessarily correspond to the respective energy demand considering spatio-temporal aspects. On the other hand, urban areas dispose over considerable waste heat potentials from power generation, waste incineration, industry and wastewater treatment infrastructure that can be exploited via district heating systems. In this area of conflict, energy-oriented urban planning and urban design has to be implemented considering urban structure, technological options, economic considerations, environmental and climate protection as well as resilience to energy crisis.

Contents and Objectives: Under these circumstances several questions arise, concerning grid-bound supply systems: (1) Are grid-bound energy systems sustainable in the long-run, especially when considering possibilities of decentralized energy supply and energy-efficient buildings? (2) If yes, which forms of grid-bound energy supply should be prioritized? (3) If one or both grids are already present in an area, is it meaningful to dismantle or decommission one of the systems taking energy- and material-flow perspectives as well as resilience aspects into account? (4) How does the prosumer-issue influence grid design?

Methods: The project *Eco.District.Heat* provides strategic decision-making support for Austrian cities with respect to grid-bound energy supply systems. Based on a system analysis approach, development scenarios until 2050 are derived and urban areas are characterised. Built upon the characterisation a qualitative and quantitative assessment - in the sense of a “kit” or “toolbox” - is conducted on four levels: (1) “Integrated Spatial and Energy Planning”, (2) “Costs”, (3) “Resources” and (4) “Environment and Climate”. Thus, urban areas can be analysed with regard to spatial, energetic, material, ecologic and economic aspects.

Results: Project results are summarized in a strategy report and in target-group-specific information packages as well as in the form of a “kit”. This “kit” allows to model existing or planned urban neighbourhoods and analyse them with quantitative and qualitative criteria concerning their potential to provide long-term supply with grid-bound heating and cooling. In this way, the project results can be broadly applied in urban planning and urban development in Austria.

Prospects/Suggestions for future research: The final outcomes of the research project will support municipalities to identify relevant urban areas that are suitable for grid-bound energy supply systems and possibly to increase the share of connected buildings to already existing networks. Furthermore, the “kit” enables local spatial planning to react to the requirements of grid-bound energy supply

systems. This circumstance will support moderately dense and multi-functional urban fabrics. Additional research is needed in order to continuously improve the proposed methodology.

1. Ausgangslage

Die Transformation des Energiesystems von fossilen und nuklearen Energieträgern hin zu Erneuerbaren ist ein zentrales gesellschaftspolitisches Anliegen. Unter dem Sammelbegriff „Energiewende“ wurden auf unterschiedlichen Ebenen sowohl national als auch international Ziele formuliert (Europäische Kommission 2011, 2015; UNFCCC 2015; United Nations 2017; BMNT und BMVIT 2018). Hierbei werden zwei wesentliche Ansätze verfolgt: (1) eine Reduktion des Energieverbrauches (z.B. durch alternative Wirtschaftsweisen oder Energieeffizienzmaßnahmen) und (2) der Ausbau erneuerbarer Energieträger durch gleichzeitige Substituierung fossiler und nuklearer Energieträger. Durch die Vielzahl an zur Verfügung stehenden Energietechnologien können unterschiedliche Aspekte hinsichtlich Energieverbrauch und Ausbau erneuerbarer Energieträger aufgegriffen und verfolgt werden.

Für das Forschungsprojekt *Eco.District.Heat* sind vor allem die Frage verfügbarer Energiequellen und die daraus verwertbare thermische Energie sowie deren effiziente räumliche Verteilung ausschlaggebend. Dabei rücken insbesondere folgende Aspekte in den Fokus: Energieraumplanung¹, Technologien für leitungsgebundene Energieversorgung sowie methodische Fragestellungen zur Bewertung von Planungsoptionen leitungsgebundener Energieversorgung. Hierzu liefern die Ergebnisse des Forschungsprojekts Unterstützung bei strategischen Entscheidungsfindungen. Stadtstrukturen werden dabei einer grundlegenden Analyse hinsichtlich raumstruktureller, energetischer, ökologischer und ökonomischer Elemente unterzogen. Von den Ergebnissen des Forschungsprojektes sollen insbesondere Gemeinden und OrtsplanerInnen sowie Energieversorger und Bauträger profitieren, indem es ihnen ermöglicht wird, jene Gebiete zu identifizieren, in denen eine leitungsgebundene Energieversorgung langfristig am geeignetsten scheint.

Grundsätzlich stellen Fernwärmenetze mit über 5.000 km Leitungslängen und einem jährlichen Zuwachs von etwa 42 km ein zentrales Element der Wärmeversorgung in Österreich dar (FGW 2015). Insgesamt beläuft sich die Erzeugung dabei in Österreich auf 86 PJ (Statistik Austria 2017) und muss dementsprechend bei der Energiewende mitberücksichtigt werden. Für den Fernwärmeenergiemix spielen sowohl erneuerbare und nicht erneuerbare als auch zentrale und dezentrale Energieträger eine Rolle. Fernwärme entwickelt sich auch aus technischer Sicht weiter. Sogenannte Anergienetze (Niedertemperaturnetze) oder Netze mit multiplen dezentralen Einspeisepunkten (Einbindung von Produzenten und Konsumenten = „Prosumer“) (Lichtenegger et al. 2018) spielen eine immer zentralere Rolle.

Ebenfalls interessant sind, speziell mit Blick auf zukünftige Szenarien, die technologischen Entwicklungen im Gebäudesektor. Durch die stetige Weiterentwicklung effizienter Gebäude Richtung Niedrigenergie-, Passiv- und Plusenergiehäuser reduziert sich der Wärmebedarf in Siedlungen und birgt gewisse Unsicherheiten hinsichtlich der langfristigen Eignung leitungsgebundener Wärmeversorgungssysteme.

Dazu kommen parallel installierte Infrastrukturen wie Gasnetze, die zum Teil im direkten Wettbewerb mit Fernwärmesystemen stehen. Hierbei stellt sich die Frage, ob bei immer effizienter ausgestatteten Gebäudetypen (hinsichtlich Energieversorgung) und unter Berücksichtigung des

¹ Energieraumplanung wird als „integraler Bestandteil der Raumplanung definiert, der sich mit den räumlichen Dimensionen von Energieverbrauch und Energieversorgung umfassend beschäftigt“ (Stöglehner et al. 2014a)

Rückgangs an Heizgradtagen aufgrund klimatischer Veränderungen, nach wie vor ausreichend Nachfrage für Parallelinfrastrukturen besteht. Darauf aufbauend müssen doppelte Infrastrukturen aus energetischer und materieller Sicht hinterfragt werden.

Im Forschungsprojekt wurden aus den erwähnten Aspekten folgende Fragen abgeleitet:

- (1) Sind im Zeichen von hoher gebäudebezogener Energieeffizienz und den Möglichkeiten dezentraler Energieversorgung leitungsgebundene Energieträger langfristig zukunftsfähig?
- (2) Falls ja, welche Formen leitungsgebundener Wärmenutzung sollten prioritär genutzt werden?
- (3) Wenn bereits eines oder beide Netze in einem bestimmten Gebiet vorhanden sind, wäre aus stofflich-energetischer Sicht unter Berücksichtigung von Resilienz ein Rückbau bzw. die Stilllegung eines der Systeme zweckmäßig?
- (4) Wie wirkt sich die Prosumer-Thematik auf die Gestaltung von Netzen aus?

Die Fragestellungen weisen eine hohe System- und Detailkomplexität auf. Es werden raumstrukturelle Aspekte auf unterschiedlichen Ebenen mit gebäude- und energietechnischen Elementen zueinander in Verbindung gesetzt. Zusätzlich werden noch, neben ökologischen und materiellen Aspekten, zukünftige Entwicklungen in der Betrachtung berücksichtigt. Die Lösung für die Fragestellungen sieht das Projektkonsortium in einer gesamtheitlichen Betrachtung im Sinne eines Bewertungsmodells, um aussagekräftige Ergebnisse ableiten zu können. Auf Basis interdisziplinärer Betrachtung des Gesamtsystems „leitungsgebundene Wärmeversorgung“ wurde unter Berücksichtigung raumstruktureller, energetischer, ökonomischer sowie ressourcen- und umweltbezogener Elemente und Kriterien (qualitativ und quantitativ) eine Methodik entwickelt, welche zur strategischen Entscheidungsunterstützung herangezogen werden kann. Die gesamtheitliche Verknüpfung auf unterschiedlichen Ebenen machen in diesem Zusammenhang einen wesentlichen Inventionsaspekt dieses Projektes aus. Die notwendigen Kompetenzen sind im Projektteam, welches sich aus den folgenden drei Institutionen zusammensetzt, vertreten:

- Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung (IRUB); Universität für Bodenkultur Wien
- Österreichische Energieagentur (AEA)
- Ressourcen Management Agentur (RMA)

Das Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung zieht insbesondere die Vorarbeiten der Forschungsprojekte „*PlanVision*“ (Stöglehner et al. 2011a), „*ELAS*“ (Stöglehner et al. 2011b), „*Energieausweis für Siedlungen 2.0*“ (Emrich Consulting ZT-GmbH 2014) und „*KEMOR*“ (Stöglehner et al. 2016) zur grundlegenden Bearbeitung der Fragestellungen heran. Dabei können Erkenntnisse vertieft und neue Ansätze entwickelt werden. Die Österreichische Energieagentur baut auf das Vorwissen aus Forschungsprojekten wie „*urban pv + geotherm*“ (Zach 2015), „*Request2Action*“ (Request2Action 2017), „*REQUEST*“ (AEA 2018a), „*TABULA*“ (AEA 2018b) oder „*Abwasserenergie*“ (AEA 2018c) auf. Kompetenzen und Beiträge der Ressourcenmanagement Agentur basieren für das vorliegende Forschungsprojekt dabei auf Projekten wie „*ÖFRU II*“ (Gassner et al., 2014), „*Urban Flows*“ (Dötzl et al., 2018), FESZ (Daxbeck et al., 2016) oder UMKAT (Daxbeck et al., 2015).

Zusammenfassend ist das Ziel des Forschungsprojektes eine umfassende strategische Unterstützung und eine disziplinübergreifende Entscheidungshilfe für österreichische Städte zu entwickeln, um im Lichte der skizzierten technologischen Entwicklungen und unter Berücksichtigung der dargestellten Komplexität das Themengebiet leitungsgebundene Wärme- (und Kälte-) Versorgung in Abstimmung mit energieraumplanerischen Fragestellungen aus ganzheitlicher Perspektive zu bearbeiten. Beispielsweise wird Gemeinden, OrtsplanerInnen, Energieversorgern oder Bauträgern durch die entwickelte Methodik eine Grundlage zur strategischen Entscheidungsfindung hinsichtlich der Eignung leitungsgebundener Energieversorgung auf Stadtquartiersebene geboten. In der Form eines Baukastensystems können unterschiedliche Stadtstrukturen modelliert und miteinander verglichen werden. Durch die Berücksichtigung von Entwicklungsszenarien können zusätzlich zukünftige Auswirkungen von Entscheidungen mitkalkuliert bzw. mitberücksichtigt werden.

2. Projektinhalt

Um einen besseren Überblick über den Projektinhalt zu erhalten, wird das Forschungsprojekt grob in fünf Phasen gegliedert. Abbildung 1 skizziert den Projektablauf, die Vorgehensweise, die methodische Herangehensweise und die verwendeten Daten. Die erste Phase betrifft die Systemanalyse, die zur Identifikation jener Elemente, die für die Steuerung des Gesamtsystems „leitungsgebundene Wärmeversorgung“ von entscheidender Bedeutung sind. Zusätzlich wurden dazu, in Anlehnung an die relevanten Systemelemente, Szenarien entwickelt und Stadtstrukturen identifiziert. In der zweiten Phase erfolgte eine Charakterisierung und Bewertung von Stadtraumtypen auf unterschiedlichen Ebenen. Dabei entstand ein erster Entwurf des Baukastensystems, welches in Phase drei und vier weiterentwickelt, überarbeitet und anhand realer Fallbeispiele getestet wurde. Die dabei gewonnen Erkenntnisse wurden in Phase fünf sowie in den wissenschaftlichen Publikationen verwertet. Einen wesentlichen Pfeiler des Projektes stellte auch das extra eingerichtete Advisory Board (AB) dar. Das Advisory Board, bestehend aus VertreterInnen der drei Projektpartner und VertreterInnen aus der Projektzielgruppe (u.a. Städte, Städtebund, etc.), unterstützte maßgeblich die Weiterentwicklung der Methodik und Aufbereitung der Projektergebnisse. Advisory Board Treffen wurden in regelmäßigen Abständen abgehalten und sind ebenfalls in Abbildung 1 symbolisch eingezeichnet.

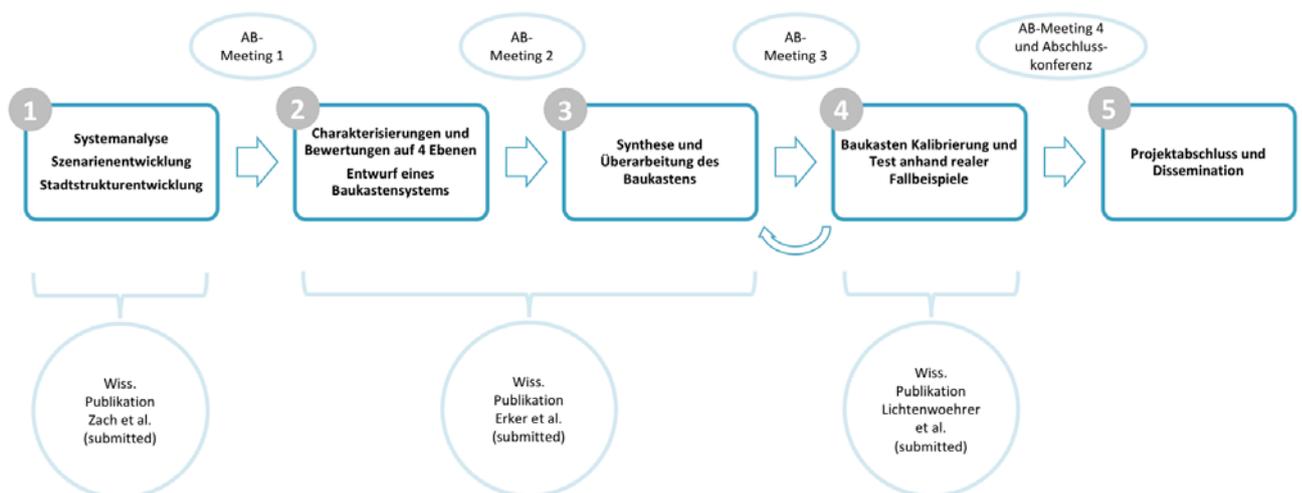


Abbildung 1: Darstellung des Projektinhalts anhand des Projektablaufs aufgeteilt in fünf Phasen (eigene Abbildung)

2.1. Systemanalyse, Szenarientwicklung und Spezifikation von Stadtstrukturen

In der ersten Phase wurde das System „leitungsgebundener Wärme- (und Kälte-) Versorgung“ aus einer Vielzahl an Blickwinkeln betrachtet und analysiert. Das interdisziplinäre Projektteam identifizierte zu Beginn des Projektes mithilfe von Literaturrecherche, Brainstorming und Reflexionsworkshops systemrelevante Elemente leitungsgebundener Wärme- (und Kälte-) Versorgung und die damit eng verbundenen Stadtstrukturen. Hierzu sammelte das Projektteam insgesamt 55 Systemelemente, wovon 31 näher betrachtet und mithilfe des sogenannten „Papiercomputers nach Vester“ zueinander in Beziehung gesetzt wurden (Erb und Vester 1972, Vester 1976, 1997, 2012). Die Methodik ermöglicht es, sich einen Überblick über mögliche Zusammenhänge verschiedener Elemente innerhalb eines komplexen und heterogenen Systems zu verschaffen. Dabei kommt es zur Identifizierung von relevanten Systemelementen und zu einer Bewertung (Analyse der wechselseitigen Wirkung einzelner Elemente zueinander).

Insgesamt wurden im Forschungsprojekt 31 systemrelevante Elemente identifiziert, welche wiederum, auf Basis ihrer Eigenschaften, in vier Unterkategorien aufgeteilt wurden:

- (1) „Aktive Elemente“ beschreiben Systemelemente, die andere Elemente stark beeinflussen, jedoch selbst kaum beeinflusst werden.
- (2) Unter „Passiven Elementen“ versteht man jene, die andere Elemente nur gering beeinflussen, aber selbst stark von anderen Elementen beeinflusst werden.
- (3) Zu den „Kritischen Elementen“ zählen jene, die stark von anderen Elementen beeinflusst werden und gleichzeitig eine starke Wirkung auf dieselben ausüben.
- (4) Die vierte Unterkategorie setzt sich aus „Puffernden Elementen“ zusammen, welche andere Elemente nur wenig beeinflussen und selbst auch nur schwach von anderen Systemelementen beeinflusst werden.

Zur zentralen Steuerung eines Systems zählen insbesondere aktive und kritische Systemelemente, welche einen starken Einfluss auf das Gesamtsystem ausüben. Daher werden im Ergebniskapitel lediglich diese dargestellt.

Die Systemanalyse und die Entwicklung von bzw. die Entscheidung für die zu berücksichtigenden Szenarien wurden in Abstimmung mit dem Projektkonsortium und dem eigens für das Projekt etablierten Advisory Board durchgeführt. Um zukünftige Entwicklungen auf leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung abzubilden, wurden im Projekt auf Basis der in der Systemanalyse identifizierten aktiven und kritischen Elemente Szenarien bis 2050 abgeleitet. Dazu ermittelte das Kollektiv in einem ersten Schritt technische Parameter, welche einen starken Einfluss auf leitungsgebundene Energieversorgung darstellen. Diese technischen Parameter zusammen mit den aktiven und kritischen Systemelementen finden sich im Baukastensystem in weiterer Folge zusammengefasst in den Szenarien „Auswirkungen des Klimawandels“, „Auswirkungen sanierter Gebäude“ und „Auswirkungen von Siedlungsentwicklungen“ wieder.

Der letzte Punkt in der ersten Phase des Projektes betrifft die Definition und Unterscheidung unterschiedlicher Stadtstrukturen. In Abhängigkeit der Gebäudetypologie und Nutzungstypologie lässt sich eine erste Unterscheidung der Stadtstrukturen durchführen. Verknüpft man einzelne Stadtstrukturen, kann man sogenannte Stadtraumtypen modellieren, welche im Wesentlichen realen

Stadtquartieren entsprechen. Der Baukasten wurde darauf ausgelegt, eine Vielzahl an unterschiedlichen Stadtstrukturen zu modellieren. Die nachfolgende Grafik (vgl. Abbildung 2) stellt den Zusammenhang zwischen den im Baukasten modellierbaren Stadtstrukturen und Stadtraumtypen und den in der Realität vorzufindenden Stadtquartieren dar.

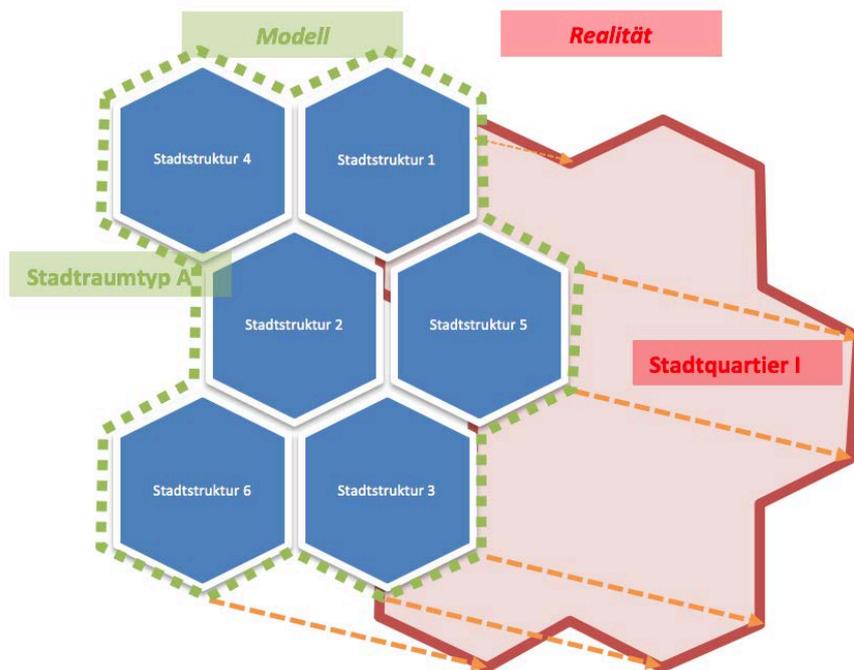


Abbildung 2: Darstellung einzelner Stadtstrukturen, die in Summe einen Stadtraumtyp ergeben und in Realität einem Stadtquartier entsprechen (eigene Abbildung)

Aufbauend auf der Systemanalyse, in der essentielle Elemente mit nachhaltiger Wirkung auf das Gesamtsystem identifiziert wurden, und der Abgrenzung relevanter Entwicklungsszenarien sowie einer ersten Differenzierung unterschiedlicher Stadtstrukturen wurde mit der Entwicklung eines ersten Entwurfs im Sinne eines „Baukastensystems“ begonnen.

2.2. Charakterisierung und Bewertung von Stadtstrukturen und Entwurf eines Baukastensystems

Die zweite Phase des Projektes betrifft die Entwicklung eines ersten Entwurfs des Baukastensystems. Dazu wird eine detaillierte Charakterisierung und Bewertung unterschiedlicher Stadtraumtypen vorausgesetzt. Die Charakterisierung und Bewertung erfolgten dabei auf vier Ebenen, welche für die Baukastenmethodik herangezogen wurden (vgl. Abbildung 3).

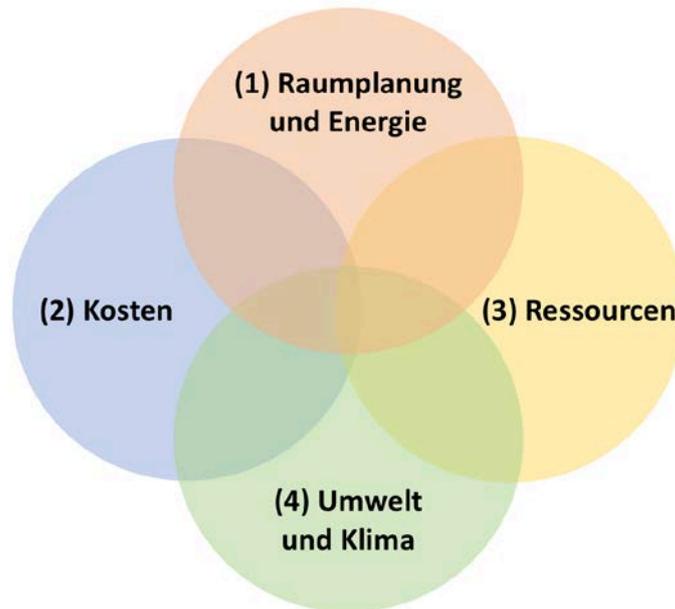


Abbildung 3: Darstellung der vier Ebenen des Baukastensystems (eigene Abbildung)

Die erste Ebene „Raumplanung und Energie“ reflektiert den raumplanerischen und energetischen Teil der Charakterisierung und Bewertung. Die zweite Ebene „Kosten“ betrachtet ökonomisch relevante Merkmale. Auf der dritten Ebene „Ressourcen“ werden materielle Merkmale einer Bewertung unterzogen. Schlussendlich kommt auf der vierten Ebene „Umwelt und Klima“ die Ableitung ökologischer Merkmale zu Tragen.

Für die Charakterisierung und Bewertung wurde für jede Ebene ein Set an Merkmalen aus der vorangegangenen Systemanalyse abgeleitet. Um diese Merkmale berechnen zu können, benötigt man Indikatoren bzw. Abfragen. Das heißt, dass aus Abfragen, mithilfe der Baukastenmethodik, Merkmale abgeleitet bzw. berechnet werden können. Diese Merkmale wiederum werden mithilfe von Präferenzmatrizen (Fürst und Scholles 2008) bewertet bzw. zueinander in Beziehung gesetzt und durch den Einsatz von Entscheidungsbäumen (Bachfischer 1987, Fürst und Scholles 2008) einer Reihung unterzogen. Diese methodische Vorgehensweise erfolgt auf allen vier Ebenen in gleicher Weise. Die notwendigen Indikatoren/Abfragen für die Bewertung im Baukastensystem werden in weiterer Folge im Kapitel Ergebnisse erläutert.

Mit der Baukastenmethodik können Bewertungsergebnisse für einzelne Stadtstrukturen generiert werden. Als Ergebnis erhält man für jede einzelne Stadtstruktur eine qualitative Bewertung von „A“ (sehr gut) bis „D“ (nicht geeignet). Durch die Kombination einzelner Stadtstrukturen können reale Stadtquartiere mithilfe des Baukastensystems „nachgebaut“ werden. Detaillierte Ausführungen und Ergebnisse der Methodik befinden sich ebenfalls im Ergebnisteil dieses Berichts.

2.3. Das Baukastensystem und dessen Kalibrierung

Das in einem Beta-Stadium befindliche und im Excel ausprogrammierte Baukastensystem wurde für die praktische Anwendung während des Projektes erstellt. Der Baukasten wurde mithilfe der Advisory-Board Mitglieder und anhand realer Fallbeispiele kontinuierlich verbessert und kalibriert. Somit hängen die dritte und vierte Phase des Projektes inhaltlich stark zusammen.

2.4. Dissemination der Projektergebnisse

Die fünfte und letzte Phase betrifft den Projektabschluss und die damit zusammenhängende Dissemination der finalen Ergebnisse. Dafür wurde eine Abschlusskonferenz abgehalten und die Projektergebnisse wurden zusätzlich an thematisch passenden Veranstaltungen einer breiten Öffentlichkeit präsentiert. Darüber hinaus konnten aus den Projektergebnissen drei wissenschaftliche Publikationen erstellt werden, die sich vorläufig im Review-Prozess befinden. Die erste Publikation befasst sich mit der technischen und systematischen Analyse von Fernwärmesystemen. Das zweite Manuskript schildert im Detail die Ergebnisse der Baukastenentwicklung. Um alle Projektergebnisse abzudecken, setzt sich das dritte wissenschaftliche Paper mit konkreten Fallbeispielanalysen und der daraus resultierenden Relevanz der finalen Forschungsergebnisse auseinander. Dabei wird insbesondere die langfristige Eignung von Fernwärmesystemen kritisch hinterfragt. Die nachstehende Grafik dient zur Darstellung des Ablaufs der Publikationstätigkeit im Projekt (vgl. Abbildung 4).

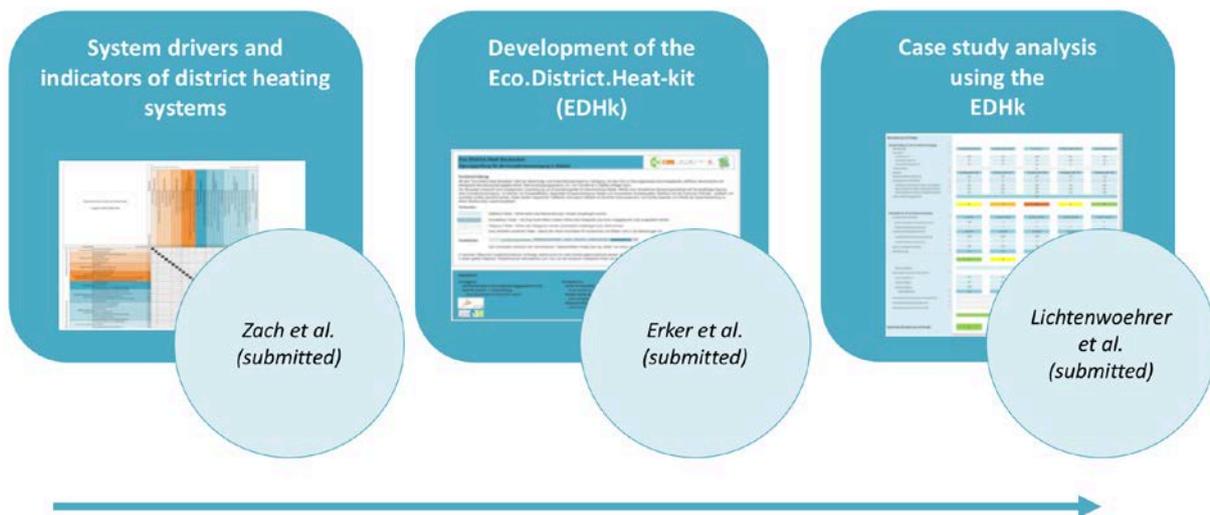


Abbildung 4: Darstellung des Ablaufs der aus dem Projekt erstellten wissenschaftlichen Publikationen (eigene Abbildung)

Die Titel der drei wissenschaftlichen Publikationen lauten:

- *“Influence factors on the environmental and economic feasibility of district heating systems”*
(Zach et al. submitted)
- *“Interdisciplinary decision tool for grid-bound heat supply systems in urban areas”*
(Erker et al. submitted)
- *“Future compatibility of district heating in urban areas – a case study analysis in the context of integrated spatial and energy planning”*
(Lichtenwoehrer et al. submitted)

Die angesprochenen Ziele des Forschungsprojekts wurden durch die durchgeführte Vorgangsweise Schritt für Schritt erreicht. Erst durch die zu Beginn angesetzte Systemanalyse konnten jene relevanten Elemente identifiziert werden, die in weiterer Folge in der Baukastensystematik als

zentrale „Hebel“ Platz fanden. Die Verschneidung qualitativer und quantitativer Kriterien auf insgesamt vier unterschiedlichen Ebenen ermöglicht es indes, die ganzheitliche Betrachtung des Systems „leitungsgebundene Energieversorgung“ zu analysieren. Dabei können insbesondere zukünftige Entwicklungen mitberücksichtigt und Folgeabschätzungen auf strategischer Ebene erfolgen (wegweisende Entscheidungen hinsichtlich Zukunftsfähigkeit und Formen der leitungsgebundenen Wärmeversorgung sowie ressourceneffiziente Gestaltung und möglicher Berücksichtigung von Prosumern). Durch die Integration von Fallbeispielen in die laufende Baukastenentwicklung und die dadurch gewonnenen Erkenntnisse lassen sich Rückschlüsse auf zukünftige Entwicklungen im Themenkomplex ziehen. Parallel erfolgte hierbei die Ableitung der Relevanz der Methodik für EntscheidungsträgerInnen.

3. Ergebnisse

Zentrale Ergebnisse des Forschungsprojektes sind neben der entwickelten Baukastenmethodik, die im vorigen Kapitel bereits methodisch erörterte Systemanalyse sowie die Fallbeispielsanwendungen und die in diesem Zusammenhang generierten Ergebnisse (siehe auch wissenschaftliche Publikationen aus dem Projekt *Eco.District.Heat*). Daraus ergibt sich die Relevanz der Forschungsergebnisse für EntscheidungsträgerInnen und die zentralen Schlussfolgerungen des Projektes. Im folgenden Kapitel wird als erstes auf die wesentlichen Ergebnisse der Systemanalyse eingegangen. Darauf aufbauend folgt eine Ausarbeitung relevanter Abfragen und Merkmale für die Baukastenentwicklung. Die Synthese und eine Fallbeispielsanwendung befinden sich im letzten Teil des Ergebniskapitels.

3.1. Systemanalyse und Szenarien

Insgesamt einigte sich das Projektkonsortium auf 31 relevante Systemelemente. Die zuvor diskutierten und vorgeschlagenen Elemente, die außerhalb des Systems stehen, wurden in weiterer Folge nicht mehr berücksichtigt. Die finalen 31 Elemente unterlagen hierbei einer Unterteilung in acht Hauptgruppen: (1) Nutzungsstruktur, (2) Siedlungsstruktur, (3) Gebäudestruktur, (4) Raum- und Umweltverträglichkeit der Wärmeinfrastrukturen, (5) Energiebedarf, (6) Energiebereitstellung und -speicherung, (7) Netzerrichtung und Netzbetrieb und (8) Ökonomische Aspekte.

Anschließend erfolgte die eigentliche Bewertung mithilfe der Bewertungsmatrix nach Vester. Dabei werden sämtliche 31 Systemelemente in eine Matrix geschrieben (sowohl zeilen- als auch spaltenweise) und der Einfluss jedes einzelnen Elementes in der Zeile auf jedes andere in der Spalte in qualitativer Form (Einfluss vorhanden = 1/nicht vorhanden = 0) evaluiert (vgl. Tabelle 1). Anschließend können pro Zeile und Spalte Summen gebildet werden. Die Aktivsumme (Zeilensumme) beschreibt dabei, wie stark das Element andere Elemente beeinflusst, die Passivsumme (Spaltensumme), wie stark das Element von anderen Elementen beeinflusst wird. Durch diese Bewertung können die Elemente jeweils in aktive, passive, kritische und puffernde Elemente unterschieden werden (siehe Kapitel 2.1).

Tabelle 1: Darstellung der Systemelemente in Hauptgruppen; Inklusive Einteilung in aktive, passive, kritische und puffernde Elemente (eigene Darstellung nach Zach et al. submitted)

Hauptgruppe		Systemelement	Nr	Eigenschaft	AS	PS
Energierelevanz räumlicher Strukturen	Nutzungsstruktur	Funktionsmischung	1	aktiv	22	3
		Freiflächenausstattung	2	puffernd	14	6
	Siedlungsstruktur	Nachverdichtungs- und Erweiterungspotenzial	3	aktiv	19	7
		Bauliche Dichte	4	aktiv	18	5
		EinwohnerInnen-dichte	5	aktiv	16	6
		Beschäftigtendichte	6	aktiv	19	6
	Gebäudestruktur	Gebäudetyp	7	aktiv	25	4
		thermisches Sanierungspotenzial	8	aktiv	19	2
		thermischer Gebäudestandard	9	puffernd	15	1
	Raum- und Umweltverträglichkeit der Wärmeinfrastrukturen	Standorte der Wärmequellen	10	passiv	12	18
		Trassen der Wärmenetze	11	passiv	12	24
		Umwelteffekte der Fernwärmeversorgung (Ökologischer Fußabdruck)	12	passiv	12	23
		Umwelteffekte von Alternativen zur Fernwärmeversorgung	13	puffernd	8	12
Raumrelevanz des Fernwärmesystems	Energiebedarf	Wärmebedarfsdichte	14	puffernd	12	9
		Kühlbedarfsdichte	15	puffernd	11	9
		raum-zeitliche Wärme- und Kühlbedarfsnachfrage	16	puffernd	11	4
	Energiebereitstellung und -speicherung	genutzte Wärmequellen für die Wärmeversorgung	17	kritisch	16	23
		ungenutzte Wärmequellen für die Wärmeversorgung	18	passiv	13	24
		raum-zeitliche Wärmegewinnungsmuster	19	passiv	13	16
		Konkurrierende Wärmequellen zur Fernwärmeversorgung	20	passiv	14	22
		Kaskadennutzung	21	passiv	12	20
	Netzerrichtung und Netzbetrieb	Materialwahl und Recyclingfähigkeit	22	puffernd	12	8
		Versorgungssicherheit (gefordert)	23	passiv	9	18
		Temperaturniveau	24	puffernd	15	15
		Wärme- bzw. Kälteverluste	25	passiv	6	23
		Zustand und verbleibende Lebensdauer des Netzes	26	puffernd	10	10
		Reparaturfähigkeit (gefordert)	27	puffernd	7	5
Ökonomische Aspekte	Anpassungsfähigkeit an Wärmebedarf (gefordert)	28	puffernd	12	10	
	Errichtungs-, Erhaltungs- und Rückbaukosten	29	passiv	13	24	
	Betriebskosten	30	passiv	7	27	
	Wirtschaftlichkeit und Amortisationszeit	31	passiv	10	30	

Besondere Relevanz wird den aktiven und kritischen Systemelementen beigemessen. Grund dafür ist der starke Einfluss auf andere Elemente, die im Wesentlichen eine Art „Hebelfunktion“ in einem Gesamtsystem darstellen. Darunter fallen durch die Analyse nach Vester folgende acht Systemelemente:

- a) Funktionsmischung
- b) Nachverdichtungs- und Erweiterungspotenzial
- c) Bauliche Dichte
- d) EinwohnerInnen-dichte
- e) Beschäftigtendichte
- f) Gebäudetyp
- g) Thermisches Sanierungspotenzial und
- h) Genutzte Wärmequellen für die Wärmeversorgung

Diese acht Systemelemente wurden in weiterer Folge für die Entwicklung des *Eco.District.Heat*-Baukastens als zentrale Stellgrößen herangezogen. Sie sind dabei besonders ausschlaggebend für Energiebedarf und -verbrauch, ökologisch relevante Aspekte (Umwelt und Klima), wirtschaftsrelevante Aspekte (Kosten) und die materiellen Aspekte (Ressourcen) leitungsgebundener Energieversorgung von Siedlungsstrukturen. In dem im Anhang befindlichen Strategiepapier befindet sich eine detaillierte Auseinandersetzung mit den acht Systemelementen (siehe Anhang 7.1).

Bezugnehmend auf zukünftige Entwicklungen beschreiben im Wesentlichen vier technische Parameter den Einfluss der zuvor identifizierten acht aktiven und kritischen Systemelemente. Neben der (1) Wärmebedarfsdichte der Siedlungsstruktur, spielen noch das (2) geplante Temperaturniveau des Systems, die (3) Anzahl der jährlichen Vollaststunden und die (4) angestrebten Wärmequellen eine zentrale Rolle.

Die (1) Wärmebedarfsdichte (GWh/ha) wird durch die bauliche Dichte und das Nachverdichtungs- und Erweiterungspotenzial im Gebiet beeinflusst. Dabei spielt auch die EinwohnerInnen-dichte eine wesentliche Rolle. Kommt es zu einem Anstieg der Bevölkerung, können neue Siedlungsgebiete entstehen, oder bereits bestehende Gebiete werden baulich nachverdichtet. Besteht eine Siedlung zusätzlich aus funktionsgemischten Strukturen (z.B. Arbeit und Wohnen am selben Ort) und erhöht sich gleichzeitig die Beschäftigtendichte, kommt es in Zukunft zusätzlich zu einem erhöhten Wärmebedarf. Einen weiteren wichtigen Punkt hinsichtlich Wärmebedarf machen die einzelnen Gebäudetypen aus. Sind in der jeweiligen Siedlung viele Passivhäuser mit einem niedrigen spezifischen Wärmebedarf vorhanden, fällt der gesamte Wärmebedarf im Gebiet dementsprechend niedrig aus. Kommt es zusätzlich noch zu thermischen Sanierungen, reduziert sich der spezifische Wärmebedarf einzelner Objekte und in Summe der Wärmebedarf der jeweiligen Stadtstruktur. Dazu reihen sich noch klimatische Verhältnisse in die Betrachtung mit ein. Kommt es aufgrund des Klimawandels zu einem Rückgang der Heizgradtage, reduziert sich folglich der Wärmebedarf. Nach Berechnungen des Umweltbundesamtes (Krutzler et al. 2016) reduziert sich die Anzahl der Heizgradtage in Österreich von 2010 bis 2050 um 10,6 %.

Ein niedriges (2) Temperaturniveau des geplanten Fernwärmesystems reduziert die Netzverluste und erhöht gleichzeitig die Lebensdauer des Systems. Zusätzlich wird Raum für eine breite Palette an unterschiedlichen (4) Energiequellen geschaffen. Hier sollen insbesondere dezentrale Systeme (auch Netzwerke mit Prosumern) nicht unerwähnt bleiben.

Die Anzahl der (3) Vollaststunden kann sich durch funktionsgemischte Strukturen (unterschiedliche Nutzungen im selben Gebiet) erhöhen. Die langfristige Eignung wird dementsprechend positiv beeinflusst, wenn es zu einer Durchmischung der unterschiedlichen Nutzungsformen kommt. Eine Darstellung von Entwicklungsszenarien bis 2050 befindet sich auch im Strategiepapier (siehe Anhang 7.1).

Aus den beschriebenen technischen Parametern und den aus der Systemanalyse gewonnenen Erkenntnissen lassen sich zusammenfassend folgende im Baukasten zu berücksichtigende Szenarien bis 2050 ableiten:

- Auswirkungen des Klimawandels bis 2050
 - Auf die Heizgradtage
 - Auf die Kühlgradtage
- Anteil sanierter Gebäude bis 2050
- Siedlungsentwicklung bis 2050
 - Veränderungen des Wohngebäudeanteils
 - Bevölkerungsentwicklung
 - Veränderungen des Industrie- und Dienstleistungsgebäudeanteils

- Beschäftigtenentwicklung

Die ausgearbeiteten Szenarien wurden in den *Eco.District.Heat*-Baukasten integriert. Sie haben maßgeblichen Einfluss auf die generierten Merkmale, die in der Baukastenmethodik einer Bewertung unterzogen werden, und somit auch auf das Gesamtergebnis. Durch die Szenarien können zukünftige Wirkungen evaluiert und eine langfristige Eignung von Versorgungssystemen hinterfragt werden.

3.2. Der *Eco.District.Heat*-Baukasten

Grundlage für die Entwicklung des *Eco.District.Heat*-Baukastens stellt die Systemanalyse (vorheriges Kapitel 3.1) dar. Die Methodik fußt dabei, wie im Kapitel 2.2 beschrieben, auf vier Bewertungsebenen: „Raumplanung und Energie“, „Kosten“, „Ressourcen“ und „Umwelt und Klima“. Die entwickelte Methodik soll EntscheidungsträgerInnen unterstützen, die geeignetsten Stadtstrukturen hinsichtlich leitungsgebundener Wärmeversorgung zu identifizieren. Dabei berücksichtigt der Baukasten redundante Netzstrukturen wie zusätzliche Gasleitungen in der Bewertung. Der Fokus liegt dennoch auf Fernwärmenetze. Nach der Systemanalyse verständigte sich das Projektkonsortium auf die qualitative und quantitative Bewertung von Fernwärmesystemen, da, im Gegensatz zu Gasnetzen für den Wärmetransport eine Vielzahl an zusätzlichen Parametern mitberücksichtigt werden müssen und die Komplexität der Planung steigt. Unter anderem lässt sich Erdgas über weitaus größere Distanzen transportieren, wohingegen Fernwärmesysteme hinsichtlich Transportdistanzen eine limitierte Technologie darstellen. Damit ist der räumliche Bezug bei Gasnetzen nicht in dieser Stärke gegeben. Darüber hinaus wird der weitere Ausbau von Gasnetzen aufgrund dessen fossiler Herkunft kritisch gesehen. Jedoch kann die qualitative Eignung einzelner Stadtstrukturen für Fernwärmesysteme (Ergebnis des Baukastens) auch für das Einschätzen anderer leitungsgebundener Versorgungssysteme herangezogen werden.

Wie bereits beschrieben, beruht die Baukastenmethodik auf einer Vielzahl an Merkmalen, die mithilfe von Präferenzmatrizen verglichen und miteinander verschnitten werden. Um Merkmale ableiten bzw. berechnen zu können, bedarf die Baukastenmethodik eines Sets an Indikatoren bzw. Abfragen. Aus diesen Abfragen werden Merkmale generiert, die mithilfe von Klassengrenzen einer Kategorisierung unterzogen werden. Das jeweilige Bewertungsergebnis eines einzelnen Merkmals (von A bis D) wird mit anderen Merkmalen der jeweiligen Ebene hierarchisch zueinander in Verbindung gesetzt und verknüpft (siehe Kapitel 3.2.5). Als Ergebnis erhält man durch die Verknüpfung einzelner Merkmale eine finale Bewertung für jede einzelne Stadtstruktur. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass in den Erläuterungen der Begriff „Stadtstruktur“ mit „Teilfläche“ und „Stadttraumtyp“ mit „Gesamtfläche“ gleichzusetzen sind. Das folgende Unterkapitel ist gemäß den vier Bewertungsebenen strukturiert und beginnt mit „Raumplanung und Energie“ und endet mit der Ebene „Umwelt und Klima“. Eine Zusammenfassung befindet sich in den Informationspaketen im Anhang (siehe Anhang 7.2).

3.2.1. Raumplanung und Energie

Aufgrund der engen Verstrickungen zwischen raumplanerischen und energetischen Aspekten und der logischen Reihenfolge der im Baukastensystem definierten Abfragen, entstand die erste Ebene des Systems: „Raumplanung und Energie“. Hier können mithilfe von 34 Abfragen (inkl. Ausprägungen und Szenarien) 17 relevante Merkmale generiert und schlussendlich bewertet werden. Die Abfragen auf dieser Ebene sind in drei Teile getrennt: (1) Abfragen hinsichtlich des ausgewählten Standorts bzw. der Stadtstruktur – „Standortanalyse“; (2) Abfragen zur geplanten Netzinfrastruktur –

„Netzanalyse“ und (3) Abfragen hinsichtlich des geplanten Wärmeangebotes bzw. Wärmequellen – „Wärmeangebot“. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die notwendigen Abfragen und die dazugehörigen Ausprägungen der ersten Ebene. Die ersten vier Abfragen in der Tabelle beziehen sich auf die Szenarien, die für die Merkmalsgenerierung eine entscheidende Rolle spielen.

Tabelle 2: Abfragen und dazugehörige Ausprägungen der Ebene „Raumplanung und Energie“ und der Szenarien bis 2050 (eigene Darstellung)

	Abfrage	Ausprägungen
Szenarien bis 2050	Auswirkungen des Klimawandels	Abfrage hinsichtlich des Rückgangs der Heizgradtage bzw. Zunahme der Kühlgradtage in [%]
	Anteil der sanierten Gebäude	Direkte Abfrage zur weiteren Berechnung in [%]
	Veränderung des Wohngebäudeanteils	Direkte Abfrage zur weiteren Berechnung in [%]
	Bevölkerungsentwicklung	Direkte Abfrage zur weiteren Berechnung in [%]
Standortanalyse	Gebäudetypologie	Auswahl zwischen Einfamilienhaus, Doppelhaus, Reihnhaus, Mehrgeschoßiges Gebäude, Industrie- und Gewerbehallen
	Anteilige Nutzungsarten	Drei unterschiedliche Nutzungsarten: Anteil Wohnen, Anteil Dienstleistungen, Anteil Industrie und Gewerbe in [%]
	Bauperiode der Gebäude	Auswahl einer der überwiegend folgenden Kategorie: vor 1918, 1919 – 1944, 1945 – 1959, 1960 – 1979, 1980 – 1989, 1990 – 1999 und 2000 – 2020
	Bruttobauland	Direkte Abfrage zur weiteren Berechnung in [ha]
	Bebauungsdichte	Direkte Abfrage als Verhältnis zwischen Bruttogeschoßfläche zu Bruttobauland
	Hochtemperatur-Wärmebedarf für industrielle Zwecke	Direkte Abfrage in [GWh/a]
	Raumwärmebedarf für Industrie und Dienstleistung	Direkte Abfrage in [GWh/a]
	Warmwasserbedarf für Industrie und Dienstleistung	Direkte Abfrage in [GWh/a]
Netzanalyse	Einsatz von Kälteversorgungssystemen	Entscheidungsfrage
	Art des bestehenden Netze(s)	Abfrage einer der folgenden Kategorien: Gas, Fernwärme, Gas und Fernwärme, Kein Netz vorhanden
	Bestehende Netzlänge des Fernwärmesystems	Direkte Abfrage in [m]
	Bestehende Netzlänge des Gasnetzes	Direkte Abfrage in [m]
	Art der/des zusätzlich geplanten Netze(s)	Abfrage einer der folgenden Kategorien: Gas, Fernwärme, Gas und Fernwärme, Kein Netz geplant
	Zusätzliche Netzlänge des Fernwärmesystems	Direkte Abfrage in [m]
	Zusätzliche Netzlänge des Gasnetzes	Direkte Abfrage in [m]
Geplanter Anschlussgrad bis 2050	Direkte Abfrage in [%]	
Wärmeangebot	Kaskadische Nutzung	Entscheidungsfrage
	Wärmeangebote für Fernwärme	14 Zentrale und dezentrale Systeme: Blockheizkraftwerk/ Kraftwärmekopplung (Erdgas), Blockheizkraftwerk/ Kraftwärmekopplung (Holz), Industriefeuerung (Steinkohle), Industriefeuerung (Heizöl), Industriefeuerung (Erdgas), Feuerung (Holzschnitzel), Müllverbrennung, Verbrennung von Klärschlamm, Abwasserenergie, Industrielle Abwärme Power to Gas, Power to Heat, Geothermie, Solarthermie
	Speichermöglichkeiten	Entscheidungsfrage

Aus den in Tabelle 2 dargestellten Abfragen bietet die Baukastenmethodik die Möglichkeit, Merkmale zu berechnen bzw. abzuleiten. In der nachfolgenden Tabelle (vgl. Tabelle 3) sind die abgeleiteten Merkmale der Ebene „Raumplanung und Energie“ inklusive der Klassengrenzen ersichtlich. Die Klassengrenzen sind für die Bewertung der einzelnen Merkmale ausschlaggebend. Um die Standortanalyse, die Netzanalyse und die Analyse zum Wärmeangebot miteinander verschneiden zu können, können jeweils aggregierte Merkmale dieser drei Teilkategorien errechnet werden. Am Ende der Standortanalyse ergibt sich ein aggregiertes Merkmal: „Ergebnis Standortanalyse“. Für die Netzanalyse und Wärmequellenanalyse jeweils „Ergebnis Netzanalyse“ und „Ergebnis Wärmequellenanalyse“. Insgesamt lassen sich durch die Abfragen auf der ersten Ebene damit 17 Merkmale für „Raumplanung und Energie“ generieren. Weitere Ausführungen dazu und zur Verknüpfungsmethodik der einzelnen Merkmale befinden sich in Kapitel 3.2.5.

Tabelle 3: Merkmale und dazugehörige Klassengrenzen inkl. Bewertung der Ebene „Raumplanung und Energie“ (eigene Darstellung)

Merkmale	Klassengrenzen	Bewertung	Quelle
Funktionsmischung	Ja (min. 15 % Anteil an Gesamtfläche aus min. 2 Nutzungstypologien) Nein	A B	Eigene Bearbeitung
Wärmebedarfsdichte in [GWh/ha.a] (Teilfläche)	über 0,35 0,21 bis 0,35 0,11 bis 0,2 unter 0,1	A B C D	(Büchele et al. 2015)
Wärmebedarf in [GWh/a] (Teilfläche)	über 40 20 bis 40 10 bis 20 unter 10	A B C D	(Büchele et al. 2015)
Wärmebedarfsdichte in [GWh/ha.a] (Gesamtfläche)	über 0,35 0,21 bis 0,35 0,11 bis 0,2 unter 0,1	A B C D	(Büchele et al. 2015)
Wärmebedarf in [GWh/a] (Gesamtfläche)	über 40 20 bis 40 10 bis 20 unter 10	A B C D	(Büchele et al. 2015)
Einsatz von Kälteversorgungssystemen	Ja Nein	A B	Eigene Bearbeitung
Resilienz (Doppelstrukturen)	Vorhanden Nicht vorhanden	A B	Eigene Bearbeitung
Belegungsichte in [GWh/Tkm] (Trassenkilometer)	über 2 0,9 bis 2 0,5 bis 0,9 unter 0,5	A B C D	(EnergieSchweiz 2011)
Geplante Netzlänge zu Bedarf (Planung/Bedarf)	0,9 bis 1,1 0,11 bis 1,2 0,21 bis 1,3 über 1,3	A B C D	Eigene Bearbeitung
Kaskadische Nutzung	Vorhanden Nicht vorhanden	A B	Eigene Bearbeitung
Wärmebedarfsdeckung Hochtemperatur in [%]	über 100% 80 bis 99% 60 bis 79% unter 60%	A B C D	Eigene Bearbeitung
Wärmebedarfsdeckung Warmwasser in [%]	über 100% 80 bis 99% 60 bis 79% unter 60%	A B C D	Eigene Bearbeitung
Wärmebedarfsdeckung Raumwärme in [%]	über 100% 80 bis 99% 60 bis 79% unter 60%	A B C D	Eigene Bearbeitung
Speichermöglichkeiten	Ja Nein	A B	Eigene Bearbeitung

3.2.2. Kosten

Hinsichtlich wirtschaftlich relevanter Aspekte und der Schaffung aussagekräftiger Merkmale benötigt die Baukastensystematik, zusätzlich zu den in „Raumplanung und Energie“ präsentierten Abfragen, die in Tabelle 4 aufgezählten Abfragen.

Tabelle 4: Abfragen und dazugehörige Ausprägungen der Ebene „Kosten“ (eigene Darstellung)

Zusätzliche Abfragen	Ausprägungen
Baualter des Fernwärmenetzes	Auswahl einer der folgenden Baualterklassen: vor 1980, 1980 – 2000, 2000 – 2018, nach 2018
Versiegelung der Trassen	Auswahl einer der folgenden Kategorien: unter 25 %, 25 bis 50 %, 51 bis 75 %, über 75 %
Temperaturniveau	Auswahl einer der folgenden Kategorien: unter 35 °C, 35 – 65 °C, 66 – 80 °C, 81 – 100 °C, Über 100 °C
Höhenunterschiede im Gelände	Auswahl einer der folgenden Kategorien: unter 20 m, 20 bis 30 m, 30 bis 40 m, über 40 m
Gestehungskosten ab Werk	Auswahl einer der folgenden Kategorien: unter 3 Cent, 3 – 5 Cent, 5– 7 Cent, Über 7 Cent

Basierend auf den vorhandenen Abfragen der Ebene „Raumplanung und Energie“ und den „Szenarien bis 2050“ (vgl. Tabelle 2) lassen sich nachstehende Merkmale ableiten bzw. berechnen (vgl. Tabelle 5). Die ersten fünf Merkmale (in grauer Schriftfarbe erfasst) wurden bereits zuvor generiert und müssen nicht noch einmal berechnet werden. Insgesamt berücksichtigt die Ebene „Kosten“ elf Merkmale, die über die dargestellten Klassengrenzen einer Bewertung unterzogen werden.

Tabelle 5: Merkmale und dazugehörige Klassengrenzen inkl. Bewertung der Ebene „Kosten“ (eigene Darstellung)

Merkmale	Klassengrenzen	Bewertung	Quelle
Es werden bis 2050 Gebäude saniert	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung
Es wird bis 2050 der Gebäudebestand verändert	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung
Funktionsmischung	Ja Nein	A B	Eigene Bearbeitung
Einsatz von Kälteversorgungssystemen	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung
Resilienz (Doppelstrukturen)	Nicht vorhanden Vorhanden	A B	Eigene Bearbeitung
Baualter des Fernwärmenetzes	Vor 1980 1980 – 2000 2000 – 2018 Nach 2018	A B C D	Eigene Bearbeitung
Versiegelung der Trassen in [%]	unter 25% 25 bis 50% 51 bis 75% über 75%	A B C D	Eigene Bearbeitung
Temperaturniveau in [°C]	Unter 35 °C 35 – 65 °C 66 – 80 °C 81 – 100 °C Über 100 °C	A B C D D	Eigene Bearbeitung
Höhenunterschiede im Gelände in [m]	unter 20 20 bis 30 30 bis 40 über 40	A B C D	(EnergieSchweiz 2011)
Gestehungskosten ab Werk in [Cent]	Unter 3 Cent 3 – 5 Cent 5– 7 Cent Über 7 Cent	A B C D	Eigene Bearbeitung
Belegungsdichte in [GWh/Tkm.a] (Trassenkilometer)	über 2 0,9 bis 2 0,5 bis 0,9 unter 0,5	A B C D	(EnergieSchweiz 2011)

3.2.3. Ressourcen

Die dritte Ebene des Baukastens bezieht sich auf die materiellen Aspekte bzw. auf den Ressourcenverbrauch. Hier wird lediglich eine zusätzliche Abfrage benötigt, um relevante Merkmale

abzuleiten. Um den Ressourcenverbrauch für die geplanten Netze detailliert darzustellen, kann diese Abfrage in drei Abstufungen erfolgen (siehe Ausprägungen in Tabelle 6).

Tabelle 6: Abfragen und dazugehörige Ausprägungen der Ebene „Ressourcen“ (eigene Darstellung)

Zusätzliche Abfragen	Ausprägungen
<p>Neandurchmesser des Fernwärmenetzes</p>	<p>Auswahl einer der folgenden Kategorien: unter 65 mm, 80 – 125 mm, 125 – 200 mm, über 200 mm. Zusätzlich kann zwischen dem Durchmesser des bestehenden Fernwärmenetzes sowie des zusätzlich geplanten Fernwärmenetzes unterschieden werden. Selbiges gilt für das Gasnetz.</p>

Auf Basis der in Tabelle 6 dargestellten und bereits durchgeführten Abfragen auf den Ebenen „Raumplanung und Energie“ und „Kosten“ werden insgesamt sieben Merkmale abgeleitet. Die genaue Darstellung der Merkmale befindet sich in Tabelle 7.

Tabelle 7: Merkmale und dazugehörige Klassengrenzen inkl. Bewertung der Ebene „Ressourcen“ (eigene Darstellung)

Merkmale	Klassengrenzen	Bewertung	Quelle
Es werden bis 2050 Gebäude saniert	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung
Es wird bis 2050 der Gebäudebestand verändert	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung
Einsatz von Kälteversorgungssystemen	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung
Resilienz (Doppelstrukturen)	Nicht vorhanden Vorhanden	A B	Eigene Bearbeitung
Neandurchmesser des Fernwärmesystems in [mm]	Unter 65 80 – 125 125 – 200 Über 200	A B C D	Eigene Bearbeitung
Baualter des Fernwärmenetzes	Vor 1980 1980 – 2000 2000 – 2018 Nach 2018	A B C D	Eigene Bearbeitung
Zusätzlich verlegte Leitungslängen	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung

Neben den qualitativen Bewertungsergebnissen können zusätzlich, basierend auf den bereits getätigten Abfragen, quantitative Ergebnisse berechnet werden. Aus materieller Sicht sind hier vor allem die eingesetzten Materialien für den Gebäudebestand und der Materialeinsatz für die geplanten Leitungssysteme (Fernwärme- und Gasnetz) entscheidend. Durch die Gegenüberstellung des Materialverbrauchs von Bestand und Neubau lassen sich Auswirkungen hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs quantitativ ableiten. Im Forschungsprojekt kamen dazu die Modelle von (Lichtensteiger et al. 2006) zum Einsatz. Dabei werden Materialmengen pro Gebäudetyp und Baualter hinsichtlich ihrer Bestandteile (Kies/Sand, Ziegel, Zement, Holz, Kupfer, Aluminium, Stahl und PVC/Kunststoff) betrachtet. In Abhängigkeit des Neandurchmessers wurde zusätzlich der Materialbedarf der Leitungsnetze berechnet. Die so kalkulierten absoluten Werte können zusätzlich zur qualitativen Bewertung des Baukastensystems bei der Entscheidungsfindung geeigneter Stadtstrukturen herangezogen werden. Die Bewertung für ein einzelnes Objekt bzw. eine Stadtstruktur, wie sie bei Raumplanung, Energie und Kosten vorgenommen wird, ist bei Massen, stofflichen Zusammensetzungen und Umweltparametern (siehe Kapitel 3.2.4) nur eingeschränkt möglich. Erst im Vergleich verschiedener Stadtstrukturen, Stadtquartiere oder Planungsvarianten

kann eine qualitative Bewertung vorgenommen werden. Dies wurde mit der zusätzlichen Ausgabe der Absolutwerte der Ergebnisse berücksichtigt.

3.2.4. Umwelt und Klima

Die letzte Ebene der Baukastenmethodik betrifft „Umwelt und Klima“. Da es sich um die letzte Bewertungsebene handelt, lassen sich bereits durch die zuvor getätigten Abfragen alle Merkmale ableiten. Damit sind keine zusätzlichen Abfragen mehr nötig. Insgesamt benötigt die Baukastenmethodik für die finale Bewertung auf dieser Ebene die in Tabelle 8 ersichtlichen sieben Merkmale.

Tabelle 8: Merkmale und dazugehörige Klassengrenzen inkl. Bewertung der Ebene „Umwelt und Klima“ (eigene Darstellung)

Merkmale	Klassengrenzen	Bewertung	Quelle
Es werden bis 2050 Gebäude saniert	Ja Nein	A B	Eigene Bearbeitung
Es wird bis 2050 der Gebäudebestand verändert	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung
Einsatz von Kälteversorgungssystemen	Ja Nein	A B	Eigene Bearbeitung
Nenndurchmesser des Fernwärmesystems in [mm]	Unter 65 80 – 125 125 – 200 Über 200	A B C D	Eigene Bearbeitung
Baualter des Fernwärmenetzes	Nach 2018 2000 – 2018 1980 – 2000 Vor 1980	A B C D	Eigene Bearbeitung
Zusätzlich verlegte Leitungslängen	Nein Ja	A B	Eigene Bearbeitung
Beitrag erneuerbarer Energiequellen an der Bedarfsdeckung	Über 60 % 45 – 60 % 20 – 44 % Unter 20 %	A B C D	Eigene Bearbeitung

In gleicher Weise wie auf Ebene der Ressourcen wurden im Forschungsprojekt für die jeweilige Infrastruktur (Gebäude und Leitungen) der Ökologische Fußabdruck, der Ökoindex3 (OI3) und die Treibhausgasemissionen als CO₂-Äquivalente für den Verbrauch an Energie in Form von Fernwärme- und Gassystemen sowie für den Treibstoffverbrauch bei der Verlegung der Leitungen der Netze berechnet. Für die Berechnung des Fußabdrucks wurde die Software SimaPro (in der Version: 7.2.3) (PRé Consultants 2010) herangezogen. Dabei wird basierend auf der Baumaterialmenge pro Gebäude bzw. der Materialien der Netze der Ökologische Fußabdruck in m²/a berechnet. Die damit berechneten absoluten Werte können zusätzlich zur qualitativen Bewertung des Baukastensystems zur Entscheidungsfindung herangezogen werden.

3.2.5. Verknüpfung der Merkmale

Nachdem für jede der Bewertungsebenen Merkmale abgeleitet bzw. berechnet wurden, erfolgt die Verknüpfung der einzelnen Merkmale. Die einzelnen Merkmale werden wie in dem in Abbildung 5 dargestellten Ablauf zueinander in Beziehung gesetzt. Werden beispielsweise Wärmebedarf (C = 10 – 20 GWh/a) mit Wärmebedarfsdichte (B = 0,21 - 0,35 GWh/ha.a) miteinander verschnitten, ergibt sich eine „C“-Bewertung. Diese „C“-Bewertung wird mit einem „Neuen Merkmal“ mit der Ausprägung „A“ verschnitten und ergibt wieder ein neues aggregiertes Zwischenergebnis, nämlich eine „B“-

Bewertung usw. Kombiniert man mehrere solche Merkmale, so erhält man am Ende ein Bewertungsergebnis von „A“ bis „D“ für jede Teilfläche des Untersuchungsgebiets. Die Gewichtung innerhalb der Matrix kann variieren. Soll zum Beispiel der Wärmebedarf einen stärkeren Einfluss haben als die Wärmebedarfsdichte, so werden die Buchstaben innerhalb der Matrix neu angeordnet.

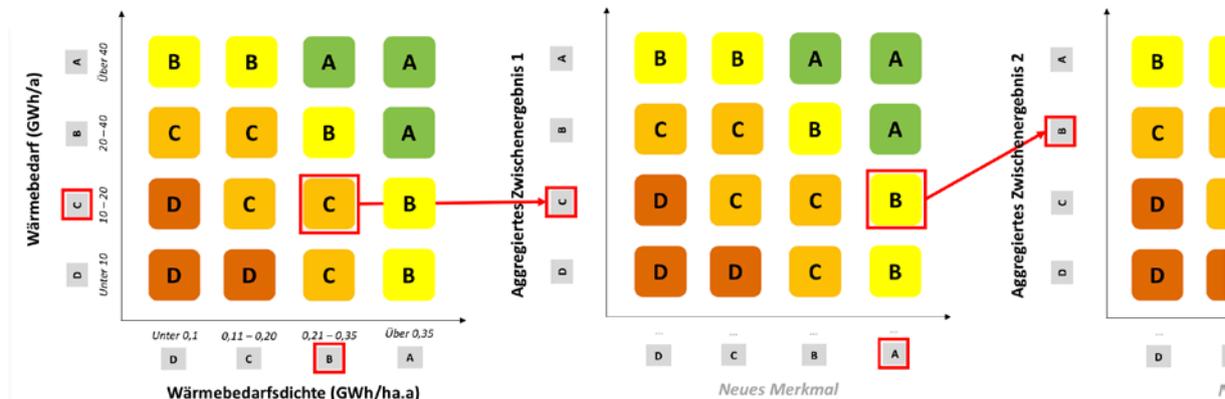


Abbildung 5: Beispieldarstellung der Bewertung anhand von Matrizen in Diagrammform (eigene Abbildung)

Tendenziell fließen Merkmale, die in der Reihenfolge später verschritten werden, stärker in die Gesamtbewertung ein. Im Baukasten wurden die finale Reihung (im Sinne eines Entscheidungsbaumes) der einzelnen Merkmale und die jeweiligen Matrizen kollektiv innerhalb des Projektkonsortiums festgelegt.

Die erste Merkmalsreihung betrifft die Ebene „**Raumplanung und Energie**“. Hier wird aufgrund der Dreiteilung zwischen einer Reihung der Standortanalyse, der Netzanalyse und des Wärmeangebots unterschieden. Dementsprechend kommen auf dieser Ebene drei Entscheidungsbaume zum Einsatz, die am Ende miteinander in Verbindung gebracht werden. Damit erhält man ein Gesamtergebnis für „**Raumplanung und Energie**“. Nachstehend wird die Reihung (Entscheidungsbaum) der Merkmale bezüglich „**Standortanalyse**“ dargestellt:

1. Funktionsmischung

2. Einsatz von Kälteversorgungssystemen

3. Wärmebedarfsdichte der Teilfläche

4. Wärmebedarf der Teilfläche

5. Wärmebedarfsdichte der Gesamtfläche

6. Wärmebedarf der Gesamtfläche

7. Ergebnis Standortanalyse

Die Abfolge der Merkmale auf der ersten Ebene hinsichtlich „**Netzanalyse**“ (zweite Teilkategorie der ersten Ebene) entspricht folgender Reihung:

1. *Resilienz*
2. *Kaskadische Nutzung*
3. *Geplante Netzlänge zu Bedarf*
4. *Belegungsdichte*
5. *Ergebnis Netzanalyse*

Der Entscheidungsbaum des „**Wärmeangebots**“ bzw. der „**Wärmequellenanalyse**“ entspricht folgender Reihung:

1. *Wärmebedarfsdeckung Hochtemperatur*
2. *Speichermöglichkeit*
3. *Wärmebedarfsdeckung Warmwasserbedarf*
4. *Wärmebedarfsdeckung Raumwärmebedarf*
5. *Ergebnis Wärmequellenanalyse*

Das aggregierte Merkmal der Standortanalyse („Ergebnis Standortanalyse“), verschnitten mit dem Ergebnis der Netzanalyse, ergibt ein Zwischenergebnis. Dieses verschnitten mit dem Merkmal „Ergebnis Wärmequellenanalyse“ ergibt die Gesamtbewertung auf der Ebene „Raumplanung und Energie“. Somit werden alle 17 Merkmale der ersten Ebene „Raumplanung und Energie“ verbunden und zueinander in Beziehung gesetzt. Die Reihungen der Ebenen „Kosten“, „Ressourcen“ und „Umwelt und Klima“ beruhen jeweils auf einem einzelnen Entscheidungsbaum. Hinsichtlich „**Kosten**“ legte sich das Projektkonsortium auf folgende Reihung fest:

1. *Es werden bis 2050 Gebäude saniert*
2. *Es wird bis 2050 der Gebäudebestand verändert*
3. *Funktionsmischung*
4. *Einsatz von Kälteversorgungssystemen*
5. *Resilienz*
6. *Baualter des Fernwärmenetzes*
7. *Versiegelung der Trassen*
8. *Temperaturniveau*
9. *Höhenunterschiede im Gelände*
10. *Gestehungskosten ab Werk*
11. *Belegungsdichte*

Angehend vom Merkmal „Es werden bis 2050 Gebäude saniert“ bis zu „Zusätzlich verlegte Leitungslängen“, fußt die qualitative Bewertung des materiellen Einsatzes (Ebene „**Ressourcen**“) auf folgender Reihung:

1. *Es werden bis 2050 Gebäude saniert*
2. *Es wird bis 2050 der Gebäudebestand verändert*
3. *Einsatz von Kälteversorgungssystemen*
4. *Resilienz*
5. *Nenndurchmesser des Fernwärmesystems*
6. *Baualter des Fernwärmenetzes*
7. *Zusätzlich verlegte Leitungslängen*

Die sieben Merkmale der letzten der vier Ebenen „**Umwelt und Klima**“ unterliegen folgender Reihung:

1. *Es werden bis 2050 Gebäude saniert*
2. *Es wird bis 2050 der Gebäudebestand verändert*
3. *Einsatz von Kälteversorgungssystemen*
4. *Nenndurchmesser des Fernwärmesystems*
5. *Baualter des Fernwärmenetzes*
6. *Zusätzlich verlegte Leitungslängen*
7. *Beitrag erneuerbarer Energiequellen an der Bedarfsdeckung*

Vor dem Hintergrund einer praktischen Anwendung des Baukastensystems wurde die Methodik in einer Entwurfsversion in Excel programmiert. Mit dieser ausprogrammierten Version des Baukastens erfolgten die Referenzierung mit realen Stadtquartieren und eine kontinuierliche Verbesserung der Baukastensystematik.

3.3. Anwendung des Baukastens und Synthese

Die grundsätzliche Idee des Baukastens ist die strategische Überprüfung einzelner Siedlungen bzw. Stadtstrukturen hinsichtlich deren langfristiger Eignung für Fernwärmesysteme. Basierend auf den strategischen und qualitativen Ergebnissen des Baukastens kann es in weiterer Folge zu einer Detailplanung kommen. Die Baukastenmethodik kann in diesem Zusammenhang für einzelne Stadtstrukturen angewendet werden. Die Kombination einzelner Stadtstrukturen ergibt wiederum ein Ergebnis für ein(e) ganze(s) Stadtquartier bzw. Siedlung.

Um die theoretische Baukastenmethodik besser zu veranschaulichen, wird in diesem Kapitel ein Berechnungsbeispiel angeführt. Ausgehend von zwei unterschiedlichen Stadtstrukturen werden mithilfe des Baukastens Ergebnisse berechnet und in weiterer Folge Schlüsse für das gesamte Stadtquartier abgeleitet. „Stadtstruktur 1“ stellt im Wesentlichen eine dichtere und größere Siedlungsfläche als „Stadtstruktur 2“ dar. Außerdem kommen unterschiedliche

Fernwärmenetzlängen und -systeme zum Tragen. Eine Darstellung der Eingangsparameter des Fallbeispiels befindet sich in Abbildung 6. Aus Gründen der Übersichtlichkeit kommen einige Parameter für beide Untersuchungsgebiete einheitlich vor.

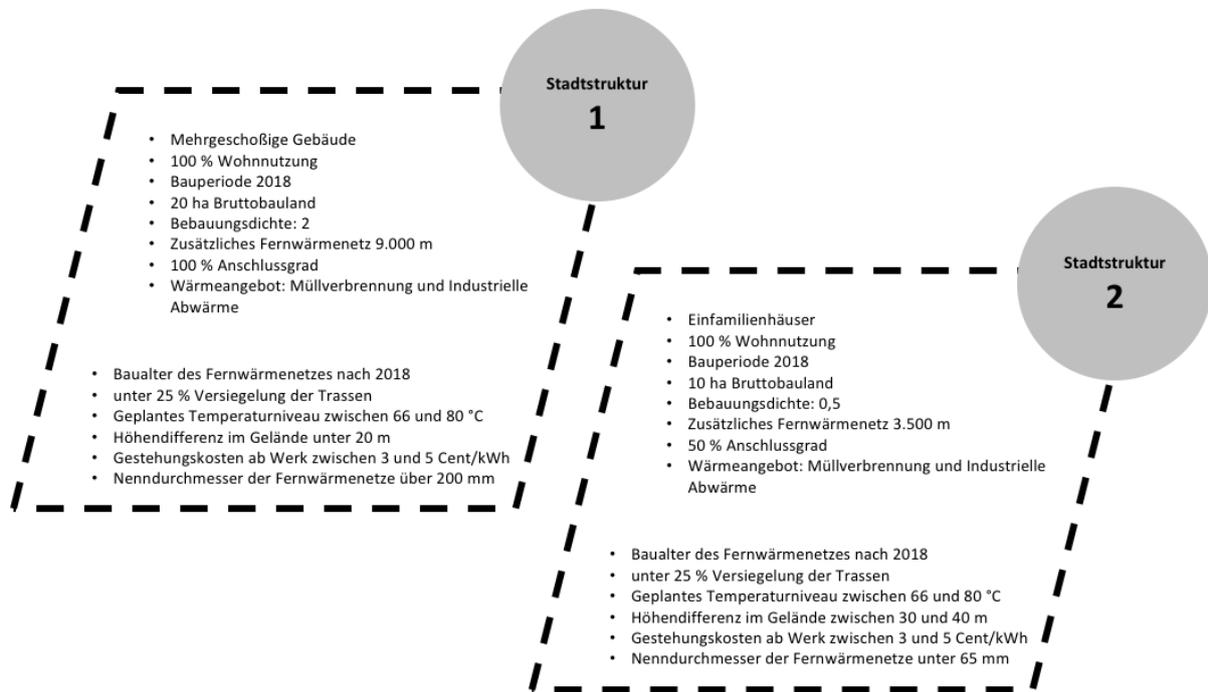


Abbildung 6: Berechnungsbeispiel, zwei Stadtstrukturen und deren Eigenschaften (eigene Abbildung basierend auf den im Forschungsprojekt erstellten Informationspaketen)

Ohne die zukünftigen Entwicklungsszenarien bis 2050 zu berücksichtigen, ergibt die Anwendung der Baukastenmethodik die in Tabelle 9 dargestellten Ergebnisse. In der ersten Spalte sind die 4 Ebenen „Raumplanung und Energie“, „Kosten“, „Ressourcen“ sowie „Umwelt und Klima“ ersichtlich. Ebenfalls in der ersten Spalte befinden sich die drei Unterkategorien der ersten Ebene: „Standortanalyse“, „Netzanalyse“ und „Wärmeangebot“. Da das Wärmeangebot für das gesamte Stadtquartier in Betracht gezogen wird, gibt es diesbezüglich nur ein Ergebnis für beide Stadtstrukturen. Ein aggregiertes Gesamtergebnis auf Stadtquartiersebene ist dazu für die vier Hauptebenen verfügbar.

Tabelle 9: Ergebnisse aus der Fallbeispielanalyse (eigene Darstellung)

	Stadtstruktur 1	Stadtstruktur 2		Stadtquartier
Raumplanung und Energie	A	B	→	A
Standortanalyse	B	D		
Netzanalyse	A	D		
Wärmeangebot	A			
Kosten	A	C	→	B
Ressourcen	D	C	→	C
Umwelt und Klima	B	B	→	B

Mit Ausnahme der Ebene „Ressourcen“ zeigen die Ergebnisse, dass die erste Stadtstruktur wesentlich besser abschneidet. Gründe für die bessere Bewertung in „Raumplanung und Energie“, sind u.a. auf

das wesentlich größere Versorgungsgebiet mit 20 ha, im Vergleich zur „Stadtstruktur 2“ mit lediglich 10 ha, zurückzuführen. Dazu kommt noch die höhere Bebauungsdichte, welche sich hauptsächlich auf der mehrgeschossigen Bauweise begründet. Ein weiterer ausschlaggebender Punkt ist der hohe Anschlussgrad von 100 % in der ersten Stadtstruktur. Die durchaus höhere Belegungsdichte des Fernwärmenetzes im ersten Versorgungsgebiet ist ein zentraler Hebel auf das Ergebnis der Kostenbewertung. Das schlechte Bewertungsergebnis auf Ebene der „Ressourcen“ rührt hauptsächlich von den hohen Leitungsdimensionen in Stadtstruktur 1. Hinsichtlich „Umwelt und Klima“ ergibt sich ein übereinstimmendes Bewertungsergebnis, da sich das Wärmeangebot für beide Stadtstrukturen aus einem hohen Anteil erneuerbarer Energieträger zusammensetzt. Betrachtet man beide Versorgungsgebiete gemeinsam, so erhält man ein Ergebnis auf Stadtquartiersebene. Dabei werden schlechtere Bewertungen der zweiten Stadtstruktur durch bessere Bewertungen der ersten Stadtstruktur kompensiert. Das bedeutet, dass im Zuge einer Planung kleinere Fernwärmeversorgungsgebiete mitangeschlossen werden können, ohne die Gesamteffizienz des Systems wesentlich zu beeinträchtigen.

Vergleicht man den errechneten Materialverbrauch, wird für die Wohngebäude der ersten Stadtstruktur doppelt so viel Material aufgewendet. Vergleicht man jedoch die mögliche Anzahl der Wohneinheiten (höhere Wohndichte in mehrgeschossigen Gebäuden), so wird der deutlich höhere Ressourcenverbrauch legitimiert. Durch den größeren Nenndurchmesser des Fernwärmenetzes in Stadtstruktur 1 liegt auch hier der Materialaufwand deutlich über dem der zweiten Stadtstruktur. Dies ist insbesondere auf das größere Versorgungsgebiet zurückzuführen. Bezugnehmend auf die ökologische Betrachtung des Fallbeispiels, liegen die CO₂-Emissionen bei einer potentiellen Gasversorgung über denen des Fernwärmesystems. Der Grund dafür ist der Fernwärme-Energiemix, welcher im Fallbeispiel über einen hohen Anteil erneuerbarer Energien verfügt. Zu guter Letzt verhalten sich die ökologischen Fußabdruckberechnungen proportional zu den errechneten Materialverbräuchen auf Ebene der „Ressourcen“.

3.4. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“

Der Ausschreibungsschwerpunkt „Energieorientierte Stadtplanung und Stadtgestaltung“ des Forschungs- und Technologieprogramms „Stadt der Zukunft“ wird durch das Projekt *Eco.District.Heat* insbesondere getroffen, da eine strategische Entscheidungshilfe für österreichische Städte geschaffen wird, durch deren Anwendung jede Stadt in die Lage versetzt wird, das Themengebiet „leitungsgebundene Wärmeversorgung“ in städtischen Energiekonzepten in Abstimmung mit energieraumplanerischen Fragestellungen der Stadtplanung und Stadtentwicklung in ganzheitlicher Perspektive bearbeiten zu können. Das Projekt stellt somit ein strategisches Planungsinstrument für eine energieorientierte Stadtplanung und Stadtgestaltung bereit, mit dem auf Basis von qualitativen und quantitativen Kriterien eine Beurteilung getroffen werden kann, welche Stadtteile und Stadtquartiere für eine leitungsgebundene Wärme- (und Kälte-) Versorgung in Frage kommen.

Der Beitrag zum ersten Ausschreibungsziel „Beitrag zur Entwicklung resilienter Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität“ wird insbesondere dadurch sichergestellt, als durch das Forschungsprojekt jene Stadtteile identifiziert werden können, in denen eine leitungsgebundene Wärme- (und Kälte-) Versorgung aus Sicht der optimalen Ressourcen- und Energieeffizienz sinnvoll ist. Durch die ökonomische Analyse der unterschiedlichen Optionen wird sichergestellt, dass z.B. Förderungen für Investitionen in Projekte mit erneuerbaren Energieträgern jenen Projekten zukommen können,

welche die höchste Wirtschaftlichkeit aufweisen. Damit wird die Effizienz der Vergabe öffentlicher Mittel weiter optimiert. Das führt dazu, dass mit den beschränkten Geldmitteln eine höchstmögliche Nutzbarkeit erneuerbarer Energieträger sichergestellt ist. Damit steigt durch niedrigere Emissionen in weiterer Folge die Lebensqualität.

Das Projekt leistet darüber hinaus einen Beitrag zu Ausschreibungsziel 2: „Beitrag zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und zur Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und erforderlicher Ressourcen- und Energieeffizienz“. Durch die Analyse der wirtschaftlichen, energetischen, ökologischen und stofflichen Parameter netzgebundener Wärme- (und Kälte-) Versorgungskonzepte in Städten wird ein wichtiger Beitrag zur Optimierung bzw. Anpassung der netzgebundenen Energieinfrastruktur nach den vier genannten Kriterien geleistet, der derzeit noch nicht in systematischer Weise erhoben wurde.

Zu guter Letzt leistet *Eco.District.Heat* einen Beitrag zu Ausschreibungsziel 3: „Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem Gebiet intelligenter Energielösungen für Gebäude und Städte“. Durch die Untersuchung der Voraussetzungen ökonomisch, ökologisch, energetisch und stofflich geeigneter Standorte für leitungsgebundene Energieinfrastruktur wird der österreichischen Forschungs- und Unternehmenslandschaft ein wirksames Werkzeug zur Verfügung gestellt, um die Errichtung und den Betrieb von Fern- bzw. Nahwärmenetzen ganzheitlich bewerten zu können bzw. Investitionen optimal zu steuern.

4. Schlussfolgerungen

Im Forschungsprojekt *Eco.District.Heat* wurde die Entwicklung einer interdisziplinären, strategischen Entscheidungshilfe zur Eignungsprüfung von leitungsgebundenen Energieversorgungssystemen in österreichischen Städten angestrebt und erfolgreich umgesetzt. Im Laufe des Projektes konnte unter Berücksichtigung von raumplanerischen, energetischen, ökonomischen, materiellen sowie ökologischen Aspekten ein Baukastensystem zur bereits beschriebenen Eignungsprüfung entwickelt werden. Dabei wurden qualitative und quantitative Kriterien herangezogen und miteinander verschnitten und so eine ganzheitliche Evaluierung von Stadtquartieren durchgeführt. Außerdem ermöglicht das Einbinden von Entwicklungsszenarien eine langfristige Evaluierung von Stadtquartieren hinsichtlich deren Eignung für Fernwärmesysteme. Jene raumplanerischen, energetischen, materiellen, ökonomischen und/oder ökologischen Aspekte, die im weiteren Planungsverlauf besonderer Aufmerksamkeit bedürfen, werden durch den *Eco.District.Heat*-Baukasten hervorgehoben und können für die strategische Planung herangezogen werden.

Mithilfe des Baukastens können Stadtgebiete (bestehende und geplante) nachmodelliert und einer Bewertung unterzogen werden. Durch die vielseitigen Abfragen bzw. Indikatoren auf den vier Ebenen des Baukastensystems wird es möglich, ganze Stadtgebiete in verschiedenen räumlichen Kontexten zu modellieren.

Hinsichtlich der Bewertung auf Basis der vier Ebenen (1) „Raumplanung und Energie“, (2) „Kosten“, (3) „Ressourcen“ und (4) „Umwelt und Klima“ ergaben sich gute Übereinstimmungen mit den in vielen Fällen reflektierten Detailuntersuchungen der im Advisory Board befindlichen Akteure. Das spricht insbesondere für die Anwendbarkeit des im Forschungsprojekt verwendeten Ansatzes. Die in

der Systemanalyse identifizierten aktiven und kritischen Elemente, welche einen zentralen Einfluss auf das Gesamtsystem Fernwärme darstellen, entspringen hauptsächlich raumplanerischen Einflussgrößen. Aspekte betreffend Nutzungs-, Siedlungs- und Gebäudestruktur zeichnen dabei die wesentlichsten Stellgrößen aus. Ohne die Berücksichtigung raumplanerischer Gesichtspunkte macht somit eine Analyse leitungsgebundener Energieversorgung auf Stadtquartiersebene wenig Sinn, bzw. führt dies zu einer einseitigen Betrachtung des Systems. Aufbauend auf raumplanerischen und energietechnischen Parametern lassen sich in Folge ökonomische, materielle und ökologische Stellgrößen eruieren und bewerten.

Die Kostenbewertung stellt insgesamt ein zentrales Element der Analyse dar, weil Investitionsentscheidungen letztlich immer nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen werden. In der ökonomischen Bewertung spiegelt sich wider, dass einerseits die Energiekosten und andererseits die Infrastrukturkosten (in erster Linie Errichtungskosten) eine große Rolle spielen. Zukünftig werden erneuerbare Energieträger mit fluktuierender Verfügbarkeit eine noch genauere Kostenplanung erfordern, wofür mit diesem Baukasten bzw. der aufgezeigten Methodik eine Basis gelegt werden konnte. Die Energiekosten konnten jedoch nicht mit bestimmten Energieträgern verknüpft werden, da Preisprognosen mit zu großen Unsicherheiten behaftet sind. Daher wurde der Ansatz gewählt, dass die Gestehungskosten pro kWh direkt abgefragt werden müssen. Dies kann die Benutzbarkeit einschränken, da dieser Parameter am Anfang der Planung oft nicht bekannt sein wird, speziell, wenn es sich um ein völlig neues Netz handelt, eine taugliche Alternative konnte aber nicht ermittelt werden.

Das Einbeziehen von ressourcenbezogenen Parametern in raumplanerische Planungs- und Entscheidungsprozesse ermöglicht es zusätzlich, Überlegungen der geforderten Orientierung in Richtung Kreislaufwirtschaft auf Basis von konkreten Daten anstellen zu können. So wird es möglich und auch zwingend notwendig, schon am Beginn des Lebenszyklus von Gebäuden vorausschauende Überlegungen zu deren Wiederverwendung am Ende anzustellen. Ähnliches gilt auch für die leitungsgebundene Infrastruktur. Durch die Zunahme von Ressourcen wird die Aufmerksamkeit auch auf den Wert der bestehenden Infrastruktur gelenkt. Vom Hindernis für die Erneuerung wird sie so zum Lager an Rohstoffen, die genutzt werden können, eine Grundlage für Überlegungen zu Urban Mining. Auch ist die Bedeutung des „unsichtbaren“ Leitungsnetzes innerhalb der städtischen Infrastruktur darstell- und beurteilbar.

Die Forschungsergebnisse sind insbesondere für EntscheidungsträgerInnen in Stadtverwaltungen bzw. Gemeinden relevant. Hier können die Erkenntnisse aus dem Projekt unmittelbar in städtischen Energiekonzepten, Klimaschutzkonzepten und Energieraumplanungsstrategien angewendet werden. Darüber hinaus kann das im Projekt generierte Wissen aber auch von Energieversorgern, PlanerInnen und Bauträgern angewendet werden. Die Projektergebnisse werden schriftlich und kostenfrei in digitaler Form zur Verfügung gestellt. Aus der Verknüpfung von Know-How zum Thema leitungsgebundener Wärme- (und Kälte-) Versorgung mit den Bereichen Energieraumplanung, Gebäude- und Energietechnik sowie raumstrukturelle, energetische, stoffliche, ökologische und ökonomische Bewertung entstehen neue Erkenntnisse für die Umsetzung der Energiewende und den künftigen Einsatz von leitungsgebundener Wärme- (und Kälte-) Versorgung unter sich ändernden Rahmenbedingungen. Ein Alleinstellungsmerkmal weist das Projekt *Eco.District.Heat* durch die interdisziplinäre Bearbeitung und die Verknüpfung von Stadtraumtypen mit energetischer und stofflicher Charakterisierung sowie ökologischer und ökonomischer Bewertung auf. Eine Aufarbeitung hinsichtlich der Relevanz der Projektergebnisse für EntscheidungsträgerInnen ist unter

anderem Gegenstand der Informationspakete (siehe Anhang 7.2). Zusätzlich zur Relevanz für EntscheidungsträgerInnen kommt der wissenschaftliche Mehrwert der Projektergebnisse zu tragen. Aufgrund der Offenlegung der Projektergebnisse in den wissenschaftlichen Publikationen, im Projektbericht sowie in den Informationspaketen und dem Strategiepapier werden die Baukastenmethodik und Projektresultate einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Eine Weiterentwicklung der im Forschungsprojekt entwickelten Herangehensweise bzw. Methodik wird dadurch jedem ermöglicht. Insbesondere ist im wissenschaftlichen Kontext die Relevanz der Ergebnisse für unterschiedliche Disziplinen hervorzuheben. Dabei können insbesondere die Systemanalyse weiterentwickelt sowie auch die Baukastenmethodik kritisch hinterfragt und kontinuierlich verbessert werden. Außerdem ist es möglich, die Projektergebnisse als Grundlage für den Aufbau alternativer methodischer Zugänge heranzuziehen.

Hinsichtlich der Nutzbarmachung und Streuung der Projektergebnisse liegt bei den im Projekt beteiligten Forschungseinrichtungen die Verwertungsstrategie in nationalen und internationalen Publikationen und Konferenzbeiträgen sowie im Nachweis von Kompetenz bei der Akquisition neuer Forschungsprojekte auf nationaler und internationaler Ebene sowie bei der Akquisition von Beratungsleistungen durch Studien. Die Forschungsergebnisse wurden bei nationalen und internationalen Tagungen an die Fachöffentlichkeit weitergegeben. Ein weiteres Element der Verwertungsstrategie ist die Verbreitung der Forschungsergebnisse durch entsprechend hochrangige wissenschaftliche Publikationen.

Das Projekt wurde vor internationalem Publikum einer breiten Öffentlichkeit am jährlichen AESOP (Association of European Schools of Planning) Kongress in der Form einer wissenschaftlichen Präsentation in Göteborg (Schweden) präsentiert. Eine weitere internationale Präsentation fand während eines Workshops (Workshop on the Climate Compatible Conversion of European Cities and Districts) in Brüssel (Belgien) statt. National wurde das Projekt, im Zuge eines Schulungs- und Vernetzungstreffens der Klima- und Energie- ModellregionsmangerInnen in Kremsmünster (Oberösterreich), vorgestellt. Zu guter Letzt wurde das Forschungsprojekt im Rahmen des Qualifizierungsnetzwerks HdZ2Market mit dem Titel „Dezentrale Erzeugung – Fokus Wärme“ an der FH Technikum Wien präsentiert. Gegen Ende der Projektlaufzeit fand zusätzlich eine öffentliche Abschlusskonferenz des Forschungsprojekts an der Universität für Bodenkultur in Wien statt. Mithilfe des eigens für das Forschungsprojekt eingerichteten Advisory Boards gelangten die Projektergebnisse auch an einschlägige Institutionen unterschiedlicher österreichischer Städte. Die Ergebnisse sind darüber hinaus in Publikationen sowie in weiteren auf dem Projekt aufbauenden Forschungsanträgen und Studien verwertbar. Zusätzlich werden die Erkenntnisse aus *Eco.District.Heat* in Projektlehrveranstaltungen, Vorlesungen und Seminare des Instituts für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung (BOKU Wien) eingebaut.

5. Ausblick und Empfehlungen

Im Forschungsprojekt *Eco.District.Heat* wurden sowohl eine Systemanalyse mit Bezug auf „leitungsgebundene Wärme- (und Kälte-) Versorgung“ durchgeführt, als auch ein Baukastensystem zur Bewertung einzelner Stadtstrukturen hinsichtlich deren Eignung für leitungsgebundene Energieversorgung entwickelt. Der Baukasten wurde auf Basis der Systemanalyse entwickelt und anhand realer Fallbeispiele kalibriert und kontinuierlich verbessert. Die aus dem Forschungsprojekt gewonnen Erkenntnisse können in weiterer Folge vertieft und weiterentwickelt werden. Hierzu zählt

unter anderem die Entwicklung eines anwenderInnenfreundlicheren Baukastens im Sinne eines Planungstools. Die in Stoeglehner et al. (2014b) präsentierte Toolanalyse kann hierzu als Grundlage für eine Weiterentwicklung des Baukastens dienen. Insbesondere muss in diesem Zusammenhang eine Vertiefung der möglichen praktischen Einsatzmöglichkeiten und der erzielbaren Ergebnisse erfolgen, damit ein potenzielles Planungstool von einer breiten Öffentlichkeit angenommen und auch angewendet wird. Da die Baukastensystematik bereits fachübergreifend eine Vielzahl an Aspekten inkludiert, werden der Methode (unter der Voraussetzung einer Umsetzung in ein anwenderInnenfreundlicheres Tool) aussichtsreiche Erfolgchancen beigemessen. Die einzelnen Ebenen des Baukastens können in diesem Zusammenhang durch weitere Arbeitsschritte verbessert und ausgebaut werden. Die Zurverfügungstellung eines fertig ausprogrammierten Planungstools und die damit verbundene zielgruppenspezifische Aufbereitung (im Sinne unterschiedlicher Versionen des Tools – maßgeschneidert für EntscheidungsträgerInnen) kann hier als zusätzliche und weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeit gesehen werden.

Zusätzlich zum angestrebten „anwenderInnenfreundlicheren“ Tool wurde(n) für die Zukunft nachstehender Ausblick bzw. folgende Empfehlungen vom Projektkonsortium abgeleitet:

- Die selbständige Benützung des Baukastensystems sowie die darauffolgende Realisierung eines Wärmenetzprojektes kann mit Workshops, die auch vor Ort angeboten werden können, unterstützt werden.
- Die Problematik der Validierung der Ergebnisse ergibt sich aus dem langen Betrachtungshorizont, womit sich Fehlschlüsse erst langfristig bemerkbar machen.
- In einem weiteren Schritt können Last- und Erzeugungsprofile hinterlegt werden, um notwendigen Speicherbedarf für das Netz abschätzen zu können.
- Durch Eingabe von Postleitzahlen könnte auch automatisch auf lokal besonders bedeutsame Energiequellen wie z.B. Geothermie oder industrielle Abwärme hingewiesen werden. Jedoch kann es nicht Ziel eines solchen Tools sein, beispielsweise eine Rohrnetzdimensionierung durchzuführen, weil dazu viel zu detaillierte Angaben notwendig wären, was die Bedienbarkeit wiederum einschränken würde.
- Die Datengrundlage bezüglich der Zusammensetzung neuer Gebäude ist nur exemplarisch vorhanden. Im Sinne der Ausrichtung des Planungsprozesses in Richtung Kreislauffähigkeit ist es notwendig und von Interesse, die elektronisch vorhandenen Planungsunterlagen neuer Gebäude in Forschungsarbeiten zu untersuchen, um materielle Aspekte zu ergänzen, auszuwerten und so Modelle von aktuellen Bauweisen allgemein zugänglich zu machen.
- Im Projekt wurde deutlich, dass Parameter für Ressourcen und Ökologie nur mit Mühe mit den klassischen Parametern der Raumplanung zusammengeführt werden können. Im Sinne eines kreislauforientierten Planungsprozesses sollen Anknüpfungspunkte zur Integration von Ressourcen und ökologischen Kennwerten in den Raumplanungsprozess gefunden werden.
- Der entwickelte Baukasten sollte, bei einer Weiterführung der Entwicklung, um die Möglichkeit des Vergleichs verschiedener Szenarien oder Planungsvarianten erweitert werden. Dadurch werden die Werte für Infrastruktur und Umwelt besser bewertbar und bekommen größere Aussagekraft für die Entscheidungsfindung.

Weiterer Forschungsbedarf wird zusammenfassend in einer breiteren Anwendung des *Eco.District.Heat*-Baukastens und einer kontinuierlichen Verbesserung der Methodik gesehen.

6. Verzeichnisse

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung des Projektinhalts anhand des Projektablaufs aufgeteilt in fünf Phasen (eigene Abbildung)	12
Abbildung 2: Darstellung einzelner Stadtstrukturen, die in Summe einen Stadtraumtyp ergeben und in Realität einem Stadtquartier entsprechen (eigene Abbildung)	14
Abbildung 3: Darstellung der vier Ebenen des Baukastensystems (eigene Abbildung).....	15
Abbildung 4: Darstellung des Ablaufs der aus dem Projekt erstellten wissenschaftlichen Publikationen (eigene Abbildung)	16
Abbildung 5: Beispieldarstellung der Bewertung anhand von Matrizen in Diagrammform (eigene Abbildung)	26
Abbildung 6: Berechnungsbeispiel, zwei Stadtstrukturen und deren Eigenschaften (eigene Abbildung basierend auf den im Forschungsprojekt erstellten Informationspaketen)	29

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der Systemelemente in Hauptgruppen; Inklusive Einteilung in aktive, passive, kritische und puffernde Elemente (eigene Darstellung nach Zach et al. submitted)	18
Tabelle 2: Abfragen und dazugehörige Ausprägungen der Ebene „Raumplanung und Energie“ und der Szenarien bis 2050 (eigene Darstellung)	21
Tabelle 3: Merkmale und dazugehörige Klassengrenzen inkl. Bewertung der Ebene „Raumplanung und Energie“ (eigene Darstellung)	22
Tabelle 4: Abfragen und dazugehörige Ausprägungen der Ebene „Kosten“ (eigene Darstellung).....	23
Tabelle 5: Merkmale und dazugehörige Klassengrenzen inkl. Bewertung der Ebene „Kosten“ (eigene Darstellung)	23
Tabelle 6: Abfragen und dazugehörige Ausprägungen der Ebene „Ressourcen“ (eigene Darstellung) 24	
Tabelle 7: Merkmale und dazugehörige Klassengrenzen inkl. Bewertung der Ebene „Ressourcen“ (eigene Darstellung)	24
Tabelle 8: Merkmale und dazugehörige Klassengrenzen inkl. Bewertung der Ebene „Umwelt und Klima“ (eigene Darstellung).....	25
Tabelle 9: Ergebnisse aus der Fallbeispielanalyse (eigene Darstellung)	29

6.3. Literaturverzeichnis

AEA: REQUEST - Qualitätssteigerung im Sanierungsprozess. 2018a

<https://www.energyagency.at/aktuelles-presse/news/detail/artikel/request-qualitaetssteigerung-im-sanierungsprozess.html> (abgerufen am 30. Oktober 2018)

AEA: TABULA - Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. 2018b

<https://www.energyagency.at/aktuelles-presse/news/detail/artikel/tabula-typology-approach-for-building-stock-energy-assessment.html?L=0&cHash=b96225d48015614ba2d8424cacc3ba16>
(abgerufen am 30. Oktober 2018)

AEA: Abwasserenergie - die Kläranlage als regionale Energiezelle. 2018c

<http://www.abwasserenergie.at> (abgerufen am 30. Oktober 2018)

Bachfischer, R.: Die ökologische Risikoanalyse. TU München, München 1987.

BMNT, BMVIT: #mission2030 - Die österreichische Klima- und Energiestrategie. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus and Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2018.

Büchele, R., Haas, R., Hartner, M., Hirner, R., Hummel, M., Kranzl, L., Müller, A., Ponwieser, K.: Bewertung des Potenzials für den Einsatz der hocheffizienten KWK und effizienter Fernwärme- und Fernkälteversorgung. Endbericht. 2015.

Daxbeck, H., Gassner, A., Neumayer, S., Brunner, P.H., Kanitschar, G.: Flächeneffizienz als Schlüssel zur Stadt der Zukunft: Das Erfolgsmodell der Wiener Linien im zeitlichen Vergleich mit dem motorisierten Individualverkehr. Endbericht. Projekt FESZ. Ressourcen Management Agentur (RMA). TU Wien - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft - Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement. Wien 2016.

Daxbeck, H., Buschmann, H., Gassner, A., Kapfenberger-Pock, A.: Das anthropogene Lager in der Steiermark - Entwicklung eines Urban Mining Katasters. Projekt UMKAT. Ressourcen Management Agentur (RMA) Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Wien 2015.

Dötzl, D., Ossberger, M., Daxbeck, H., Kisliakova, N., Buschmann, H., Neumayer, S., Weintraud, A., Manhardt, A., (RMA), I. P., Gassner, A., Lederer, J., Fellner, H.: Entwicklung und Implementierung eines ökonomisch und ökologisch orientierten Ressourcenmanagements in Bereichsunternehmen der Wiener Stadtwerke. Projekt Urban Flows. Wiener Linien, Ressourcen Management Agentur (RMA), Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement. Gefördert durch die FTI Koordinationsstelle der Wiener Stadtwerke. 2018.

Emrich Consulting ZT-GmbH: Energieausweis für Siedlungen – Version 2.0. Amt der NÖ Landesregierung - Abteilung Raumordnung und Regionalpolitik, Emrich Consulting ZT-GmbH, Universität für Bodenkultur Wien - Institut für Raumplanung und ländliche Neuordnung (IRUB). 2014.

EnergieSchweiz: Räumliche Energieplanung. Werkzeuge für eine zukunftstaugliche Wärmeversorgung: Modul 1 bis 8. 2011.

Erb, H.F., Vester, F.: Unsere Städte sollen leben. Pro Umwelt - Bilanz eines Ideenwettbewerbs. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1972.

Erker, S., Lichtenwoehrer, P., Zach, F., Stoeglehner, G.: Interdisciplinary decision tool for grid-bound heat supply systems in urban areas. Manuscript submitted for publication. Submitted.

Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Energiefahrplan 2050, KOM(2011) 885 endgültig vom 15.12.2011. Brüssel 2011.

Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, den Ausschuss der Regionen und die Europäische Investitionsbank. Bericht zur Lage der Energieunion 2015, KOM(2015) 572 endgültig vom 18.11.2015. Brüssel 2015.

FGW: Erdgas und Fernwärme in Österreich - Zahlenspiegel 2015. FGW-Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen, Wien 2015.

Fürst, D., Scholles, F.: Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. Rohn, Dortmund 2008.

Gassner, A., Kanitschar, G., Daxbeck, H., Neumayer, S., Brunner, P. H.: Ökologischer Fußabdruck und CO₂ Emissionen der Wiener Linien und deren Entwicklung bis ins Jahr 2035, Endbericht. Projekt ÖFRU II. Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft. Ressourcen Management Agentur (RMA). Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Wien 2014.

Krutzler, T., Wiesenberger, H., Heller, C., Gössl, M., Stranner, G., Storch, A., Heinfellner, H., Winter, R., Kellner, M., Schindler, I.: Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050. Umweltbundesamt, Wien 2016.

Lichtenegger, K., Moser, A., Muschick, D., Reiterer, D., Wöss, D., Leitner, A.: Einbindung von dezentralen Einspeisern in Wärmenetze - Der Prosumer am Wärmemarkt. AEE Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie NÖ-Wien, Wien 2018.

Lichtensteiger, T., Baccini, P., Bader, H-P., Henseler, G., Holzner, C.P., Pedraza, A., Scheidegger, R., Wittmer, D.: Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspende in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme. Ein Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten. In: Lichtensteiger, T. (Hrsg.): Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs. Zürich 2006.

Lichtenwoehrer, P., Erker, S., Zach, F., Stoeglehner, G.: Future compatibility of district heating in urban areas - a case study analysis in the context of integrated spatial and energy planning. Manuscript submitted for publication. Submitted.

PRé Consultants: SimaPro 7. Vers. 7.2.3. Amersfoort, Netherlands 2010.

Request2Action: Request2Action - Removing barriers to low carbon retrofit by improving access to data and insight of the benefits to key market actors. 2017. <http://building-request.eu>. (abgerufen am 30. Oktober 2018)

Statistik Austria: Energiedaten Österreich 2016. Statistik Austria, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien 2017.

Stöglehner, G., Neugebauer, G., Erker, S., Abart-Heriszt. L.: Klima- und Energiemonitoring für die örtliche Raumplanung. Unveröffentlichter Projektendbericht. Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung (IRUB), Wien 2016.

Stoeglehner, G., Erker, S., Neugebauer, G.: Energieraumplanung. Materialienband. In Zusammenarbeit mit der ÖREK-Partnerschaft "Energieraumplanung". Auftraggeber und Leadpartner: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Medieninhaber und Herausgeber: Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK), ÖROK Schriftenreihe Nr. 192. Wien 2014a.

Stoeglehner, G., Erker, S., Neugebauer, G.: Tools für Energieraumplanung. Ein Handbuch für deren Auswahl und Anwendung im Planungsprozess. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien 2014b.

Stoeglehner, G., Narodoslawsky, M., Steinmüller, H., Steininger, K., Weiss, M., Mitter, H., Neugebauer, G., Weber, G., Niemetz, N., Kettl, K.-H., Eder, M., Sandor, N., Pflüglmayer, B., Markl, B., Kollmann, A., Friedl, C., Lindorfer, J., Luger, M., Kulmer, V.: PlanVision – Visionen für eine energieoptimierte Raumplanung. Projektendbericht. Gefördert aus Mitteln des Klima- und Energiefonds, Wien 2011a.

Stöglehner, G., Narodoslawsky, M., Baaske, W., Mitter, H., Weiss, M., Neugebauer, G.C., Niemetz, N., Kettl, K.H., Eder, M., Sandor, N., Lancaster, B.: ELAS - Energetische Langzeitanalysen von Siedlungsstrukturen. Wien 2011b.

UNFCCC: Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. 2015.

United Nations: Sustainable Development Goals Report. United Nations, New York 2017.

Vester, F.: Ballungsgebiete in der Krise. Vom Verstehen und Planen menschlicher Lebensräume. Deutscher Taschenbuchverlag, München 1976.

Vester, F.: Neuland des Denkens. Dtv, München 1997.

Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Ein Bericht an den Club of Rome, 9th edn. dtv Verlagsgesellschaft, München 2012.

Zach, F.: Urban pv+geotherm - Innovative Konzepte zur Versorgung großvolumiger städtischer Gebäude/Quartiere mit PV und Geothermie. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2015.

Zach, F., Erker, S., Stoeglehner, G.: Influence factors on the environmental and economic feasibility of district heating systems. Manuscript submitted for publication. Submitted.

7. Anhang

7.1. Strategiepapier



Eco.District.Heat

*Potenziale und Restriktionen
leitungsgebundener Wärmeversorgung
in Stadtquartieren*

Strategiepapier



Policy Paper

Dipl.-Ing. Peter Lichtenwöhrer
Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Dr. Susanna Erker
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Stöglehner
Universität für Bodenkultur Wien / Department für Raum, Landschaft und
Infrastruktur / Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung

Dipl.-Ing. Franz Zach
Österreichische Energieagentur

Dipl.-Ing. Stefan Neumayer
Mag. Hans Daxbeck
Ressourcen Management Agentur

Wien, Juli 2018



Vorwort und Inhaltsverzeichnis

Das vorliegende Dokument beinhaltet ein Strategiepapier aus dem Projekt Eco.District.Heat, gefördert durch das Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT).

Das Projekt „Eco.District.Heat“	2
Wärmeversorgung in Österreich	3
Wesentliche Einflussgrößen auf die leitungsgebundene Wärmeversorgung	4
Entwicklungsszenarien bis 2050	6
Rolle der Energieraumplanung	8
Literaturverzeichnis	10

Das Projekt „Eco.District.Heat“

Ballungsräume wachsen. Wachstum ist vielfach noch immer mit vermehrtem Energieverbrauch und höheren Umweltbelastungen verbunden. Gleichzeitig sind im Lichte der Pariser Beschlüsse umfangreiche Klimaschutzmaßnahmen zu treffen und die Energiewende konsequent umzusetzen. In Bezug auf die innere und äußere Stadtentwicklung – also die Umnutzung und Nachverdichtung im Bestand und die Erweiterung in den Randbereichen – sind Fragen bezüglich der Wahl geeigneter technologischer Netzwerke für die Wärme- und Elektrizitätsversorgung noch nicht ausreichend geklärt. Einerseits ist die Erzielung von Energieüberschüssen aus Plusenergiehäusern möglich, die jedoch auch raum-zeitlich nicht mit dem Energiebedarf übereinstimmen müssen. Andererseits verfügt die Stadt über erhebliche Abwärmepotenziale aus Elektrizitätsgewinnung, Müllverbrennung, Industrie und abwassertechnischer Infrastruktur, die über Fernwärmenetze nutzbar gemacht werden können. In diesem Spannungsfeld sind unter Berücksichtigung der Stadtstruktur, technologischer Optionen, ökonomischer Erwägungen, Umwelt- und Klimaschutz und Resilienz gegenüber Energiekrisen energieorientierte Stadtplanung und -gestaltung umzusetzen.

Das Projekt „Eco.District.Heat – Potenziale und Restriktionen leitungsgebundener Wärmeversorgung in Stadtquartieren“ schafft mit der Entwicklung einer strategischen Entscheidungshilfe für österreichische Städte die Grundlage für eine fundierte Auseinandersetzung mit dem Themenbereich „leitungsgebundene Wärmeversorgung“. Aufbauend auf einer systemtheoretischen Betrachtung wurden Stadtraumtypen analysiert, die unterschiedliche raumstrukturelle Gegebenheiten und städtebauliche Situationen repräsentierten. Die entwickelte Methodik zur Analyse von Stadtraumtypen basiert auf einer raumplanerischen, energetischen, materiellen, ökologischen und ökonomischen Charakterisierung und Bewertung. Details zu den

Projektergebnissen sind im publizierbaren Ergebnisbericht des Forschungsprojektes auf der Homepage der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und in wissenschaftlichen Publikationen von Erker et al. (submitted), Lichtenwoehrer et al. (submitted) und Zach et al. (submitted) zu finden.

Insbesondere leitungsgebundene Versorgungsstrukturen wie Fernwärmesysteme sind, was die Eignung als zukünftige Energieversorgungstechnologie betrifft, kritisch zu hinterfragen. Aufgrund von klimatischen und energietechnologischen Veränderungen stellt sich die Frage, ob leitungsgebundene Wärmeversorgung langfristig zukunftsfähig ist. Bevor es zu einer Beurteilung bzw. Einschätzung zukünftiger Entwicklungen kommen kann, muss zuvor auf wesentliche Einflussgrößen auf das System „leitungsgebundener Energieversorgung“ eingegangen werden.

Ein Teil der Projektergebnisse wird im vorliegenden Synthese- und Strategiepapier für städtische Energieraumplanung zusammengefasst. Die zugrundeliegenden Ergebnisse sind in der Stadtplanung und Stadtgestaltung in Österreich breit anwendbar.

Wärmeversorgung in Österreich

Insgesamt beläuft sich laut Statistik Austria (Statistik Austria 2017) der energetische Endverbrauch (EEV) in Österreich im Jahr 2016 auf etwa 1.121 PJ. Gemessen am gesamten EEV entfallen etwa 27 % auf Raumwärme und Warmwasser. Die größten Anteile zur Versorgung von Raumwärme und Warmwasser sind mit 29 % erneuerbare Energiequellen, gefolgt von 25 % Erdgas, 20 % Fernwärme und 16 % Erdölprodukten. Die Erzeugung von Fernwärme in Österreich (86 PJ) selbst setzt sich wiederum aus einem heterogenen Energiemix zusammen (vgl. Abbildung 1). Fast der gesamte Anteil der erneuerbaren Energie geht auf Holzbrennstoffe inkl. biogener Abfälle zurück.

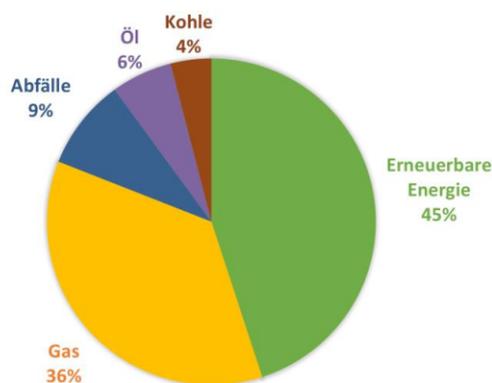


Abbildung 1: Energiemix der Fernwärmeversorgung in Österreich (eigene Abbildung nach Statistik Austria 2017)

Das österreichische Fernwärmenetz erstreckt sich über 5.000 km und weist einen jährlichen Zuwachs von etwa 42 km Leitungen auf. Die Netzdichte entspricht 0,6 km je 1000 Einwohner und liegt somit im europäischen Mittelfeld (FGW 2015).

Obwohl etwa 45 % des österreichischen Raumwärme- und Warmwasserbedarfs mit Erdgas und Fernwärme versorgt werden, gibt es vor allem in städtischen Gebieten noch unausgeschöpfte Potenziale. Neben Städten bieten andere dichte Siedlungsstrukturen wie Ortszentren gute Voraussetzungen für eine Fernwärmeversorgung. Aufgrund wachsender Ballungszentren werden künftig zusätzliche Fernwärmeerschließungsgebiete entstehen.

Abhängig vom eingesetzten Energieträger bietet Fernwärme viele Vorteile. Zum Beispiel kann eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energiequellen im Fernwärmeenergiemix positiv zur Erreichung der Klimaziele beitragen, was bei Erdgas derzeit nur sehr eingeschränkt möglich ist. Unter welchen Voraussetzungen ein Ausbau leitungsgebundener Energieversorgung sinnvoll erscheint und welche wesentlichen Einflussgrößen hinsichtlich der Umsetzung und Eignung leitungsgebundener Wärmeversorgung in österreichischen Stadtquartieren eine Rolle spielen, wird im folgenden Kapitel näher erläutert.

Wesentliche Einflussgrößen auf die leitungsgebundene Wärmeversorgung

Um die Eignung leitungsgebundener Wärmeversorgung für Stadtquartiere beurteilen zu können, müssen zuerst Stellgrößen bzw. Elemente ermittelt werden, die einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtsystem „leitungsgebundene Wärmeversorgung“ darstellen. Im Forschungsprojekt *Eco.District.Heat* wurden dazu insgesamt acht Systemelemente identifiziert. Diese beeinflussen den Energiebedarf sowie zentrale raumplanerische, ökonomische, ressourcenseitige und ökologische Aspekte. Darüber hinaus können sie zur Beurteilung leitungsgebundener Energieversorgung herangezogen werden (vgl. Zach et al. submitted). Zu diesen Systemelementen zählen:



Funktionsmischung

Unter Funktionsmischung versteht man eine räumliche Durchmischung verschiedener Daseinsgrundfunktionen wie *Wohnen* oder *Arbeiten*. Nicht nur die räumliche, sondern auch die zeitliche Durchmischung stellt eine zentrale Stellgröße dar. Durch die Variationen entstehen ausgeglichene Lastprofile und eine konstante Wärmenachfrage. Bestehen Stadtquartiere darüber hinaus auch aus Industrie- oder Gewerbegebieten, können sogenannte Energiekaskaden unterstützt werden. Die genutzte Wärme der Industrie kann ein weiteres Mal im Wohnbereich verwendet und gegebenenfalls auf einem niedrigeren Temperaturniveau einer weiteren Nutzung unterzogen werden (Spektrum 2001; Stöglehner et al. 2011a).

Funktionsmischung als Element der Energieraumplanung stellt damit einen wichtigen Grundpfeiler der thermischen Energieversorgung in Städten dar.



Nachverdichtungs- und Erweiterungspotenzial

Die Nachverdichtungs- und Erweiterungspotenziale sind wesentliche Bestandteile für die zukünftige Eignung leitungsgebundener Energieversorgung. Durch eine Erhöhung des Wohnungs- und Arbeitsplatzangebots wird ein Anstieg der EinwohnerInnenzahl und/oder der Beschäftigtenzahl pro Fläche erreicht. Kommt es zu Nachverdichtungen und/oder Erweiterungen, so erhöht dies den Wärmebedarf bzw. die Wärmebedarfsdichte und hat somit positive Effekte auf die Eignung leitungsgebundener Energieversorgung. Mithilfe raumplanerischer Maßnahmen wie Baulückenschluss, Reaktivierung leerstehender Gebäude sowie Baulanderweiterung können Nachverdichtungs- und Erweiterungspotenziale ausgeschöpft werden. Wichtig dabei sind eine nach innen gerichtete Siedlungsentwicklung und das Halten von Siedlungsrändern (Stöglehner et al. 2014).



Bauliche Dichte

Neben kompakten Siedlungsstrukturen, welche sich durch kurze Wege auszeichnen, spielt auch die bauliche Dichte eine zentrale Rolle. Die Bebauungsdichte stellt das Verhältnis von der Gesamtfläche der Geschosse zur zugehörigen Bauplatzfläche dar (Land Stmk 2011). Dichte Stadtstrukturen kommen einer hohen Wärmebedarfsdichte entgegen und erhöhen wesentlich die Wirtschaftlichkeit leitungsgebundener Energieversorgungssystemen.



EinwohnerInnendichte

Die EinwohnerInnendichte stellt das Verhältnis von EinwohnerInnen zu einer Fläche (z.B. ha Bruttobauland) eines Gebietes dar. Entscheidend ist die bauliche Dichte und der individuelle Wohnflächenverbrauch der EinwohnerInnen. Je mehr Wohnnutzfläche pro Person in Anspruch genommen wird, desto geringer ist die bei gleichbleibender baulicher Dichte zu realisierende EinwohnerInnendichte (Westphal 2009).



Beschäftigtendichte

Die Beschäftigtendichte stellt das Verhältnis von Beschäftigten zu einer Fläche (z.B. ha Bruttobauland) dar. Alternativ können Beschäftigte auch in Relation zu den Arbeitsstätten bzw. den EinwohnerInnen einer Gemeinde gesetzt werden (Kanton Zürich 2015). Gleich wie die EinwohnerInnendichte kann eine hohe Beschäftigtendichte zu mehr Wärmebedarf und höheren Wärmebedarfsdichten führen.



Gebäudetyp

In Abhängigkeit der einzelnen **Gebäudetypen** lassen sich unterschiedliche Wärmebedarfskennzahlen errechnen. Eine grobe Einteilung lässt sich zwischen Industrie- und Gewerbegebäuden, Wohngebäuden (Einfamilienhäuser, Reihenhäuser, mehrgeschossiger Wohnbau) und landwirtschaftlichen Gebäuden durchführen (Korda 1999).



Thermisch-energetische Sanierung

Durch thermisch-energetische Sanierungen wird der thermische Gebäudestandard verbessert und damit der Wärmebedarf einzelner Gebäude reduziert. Das thermische Sanierungspotenzial hängt von verschiedenen Parametern ab, und ist eine ausschlaggebende Stellgröße für die langfristige Eignung leitungsgebundener Wärmeversorgung. Werden mehrere Einzelgebäude saniert, kann ein starker Einfluss auf den gesamten Wärmebedarf einer Siedlungsstruktur die Folge sein.

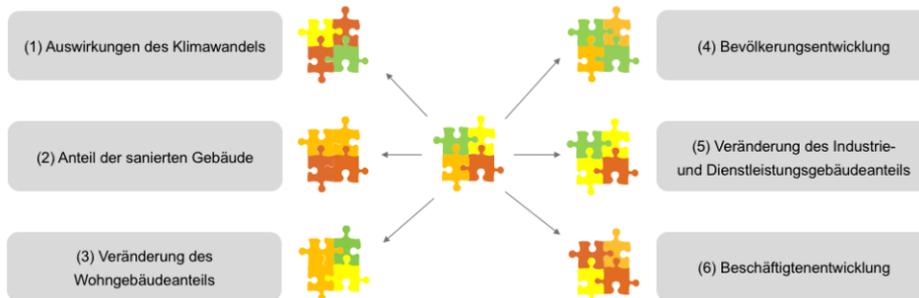


Genutzte Wärmequellen

Die genutzten Wärmequellen haben einen weitreichenden Einfluss auf eine Vielzahl von energetischen, raumplanerischen, ökonomischen und ökologischen Parametern. Neben der Einteilung in fossile und erneuerbare Energieträger kann auch zwischen zentralen und dezentralen Energieträgern zur Deckung des Wärmebedarfs unterschieden werden.

Entwicklungsszenarien bis 2050

Um zukünftige Entwicklungen und Einflüsse auf die Fernwärmeversorgung von Stadtquartieren beurteilen zu können, wurden im Forschungsprojekt *Eco.District.Heat* Entwicklungsszenarien bis 2050 definiert. Zentralen Einfluss auf die langfristige Eignung von Fernwärmenetzen stellen vor allem folgende sechs Szenarien dar:



Durch die voranschreitende Erwärmung des Klimas kommt es in Zukunft zu einem Rückgang der Heizgradtage (Szenario **Auswirkungen des Klimawandels**). Folgend verringert sich der Wärmebedarf, was wiederum eine negative Auswirkung auf die langfristige Eignung leitungsgebundener Energieversorgung in Stadtstrukturen darstellt. In diesem Zusammenhang prognostiziert das Umweltbundesamt die Reduktion der Heizgradtage von 2010 auf 2050 mit etwa 11 % (Krutzler et al. 2016). Gleichzeitig darf man den durch wärmere Sommer und langanhaltende Hitzeperioden ansteigenden Kühlbedarf in Zukunft nicht unbeachtet lassen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die langfristige Eignung von

Fernwärmesystemen als Energieversorgungstechnologie nehmen somit einen wichtigen Stellenwert ein und müssen in der strategischen Planung mitberücksichtigt werden.

Neben den Auswirkungen des Klimawandels spielt auch der **Anteil sanierter Gebäude** in den Stadtstrukturen eine wichtige Rolle. Durch thermische Sanierungen reduziert sich der spezifische Heizwärmebedarf der Gebäude. Als Folge kann es in Siedlungen zu einem sprunghaften Rückgang des Wärmebedarfs kommen, was wiederum negative Effekte auf die langfristige Eignung von Fernwärmesystemen mit sich bringt. Ein zentrales Ziel bis 2030 in diesem Zusammenhang in Österreich ist es, die jährliche Sanierungsrate auf 2 % anzuheben (BMNT und BMVIT 2018). Diese niedrige Sanierungsrate kann dementsprechend nur geringe Auswirkungen nach sich ziehen.

Im Zuge des Forschungsprojektes wurden mehrere Fallstudien analysiert, mit dem Ziel zukünftige Entwicklungspfade hinsichtlich Auswirkungen des Klimawandels und thermischer Sanierungen aufzuzeigen. Durch die kontinuierliche Reduktion der Heizgradtage in den Fallbeispielberechnungen konnte kein wesentlicher Einfluss auf die zukünftige Eignung von Wärmenetzen erfasst werden. Durch die Berücksichtigung von potentiellen thermischen Sanierungen kam es zum Teil zu einer Verschlechterung der Eignung in einzelnen Stadtstrukturen. Eine Kombination der beiden Szenarien führte zwar zu einem schlechteren Ergebnis als die Anwendung einzelner Szenarien, jedoch konnte auch die Kombination die Eignung von Fernwärmesystemen in den analysierten Stadtstrukturen nicht wesentlich beeinträchtigen.

Im Gegenteil, es ist anzunehmen, dass durch eine Zunahme des Wohngebäudeanteils und der Bevölkerung zusätzlich Wärmebedarf entsteht. Unter der Voraussetzung, dass die Bevölkerungszunahme in urbanen Räumen auch in Zukunft voranschreitet, wirken sich die beiden Szenarien **„Veränderung des Wohngebäudeanteils“** und **„Bevölkerungsentwicklung“** positiv auf die langfristige Eignung von Fernwärmesystemen aus.

Wachstumstendenzen hinsichtlich Industrie- und Dienstleistungsgebäude sowie der Beschäftigten (Szenarien **„Veränderungen des Industrie- und Dienstleistungsgebäudeanteils“** und **„Beschäftigtenentwicklung“**) wirken sich ähnlich positiv auf den Wärmebedarf einer Stadtstruktur aus wie die beiden zuvor genannten Szenarien. Bei gemischten Stadtstrukturen, welche sowohl die Wohnfunktion als auch die Arbeitsfunktion inkludieren, kommt es zusätzlich zu positiven täglichen Verteilungen des Wärmeverbrauchs, wodurch eine bessere Auslastung der Fernwärmesysteme sichergestellt werden kann. Durch die zeitliche Optimierung der Auslastung kommt es zu einem Anstieg der Vollaststunden, welche als technischer Parameter einen zentralen Einfluss auf die Machbarkeit von Wärmenetzen darstellen.

Neben den Vollaststunden haben noch andere technische Parameter einen Einfluss auf die Umsetzbarkeit von Wärmenetzen. Zum Beispiel führen niedrige Netztemperaturen zu einem Rückgang der Netzverluste im Fernwärmesystem und erhöhen gleichzeitig dessen

Lebensdauer. Durch niedrige Netztemperaturen kann zusätzlich eine breitere Palette an Energiequellen ausgeschöpft werden. Darunter fallen unter anderem Abwärmequellen, die anderwärtig keiner alternativen Nutzung unterliegen würden, wie beispielsweise Überschussenergie aus industriellen Prozessen oder aus der landwirtschaftlichen Produktion. Als besonderes Beispiel kann an dieser Stelle das Abwärmepotenzial auf Kläranlagen angeführt werden (Neugebauer et al. 2015).

Fernwärmesysteme können durch unterschiedliche Energiequellen gespeist werden. Hier kann zwischen fossilen (Kohle, Gas, etc.) und erneuerbaren Energiequellen (Holzschnitzel, Geothermie, etc.) unterschieden werden. Zusätzlich kommt die Zentralität der Energiequellen zu tragen. Dabei spielen zentrale (z.B. Industriefeuerung mit Heizöl) und dezentrale Quellen (z.B. Solarthermie) für Fernwärmesysteme eine Rolle. Durch die Flexibilität der Technologie kann die Erreichung der Klimaziele mithilfe eines Umstiegs von fossilen auf erneuerbare Energiequellen zusätzlich unterstützt werden.

Auch das Einbinden erneuerbarer dezentraler Energiequellen wie Solarthermie oder Biomassefeuerungen in Fernwärmesysteme kann den Umstieg zu einer ausschließlich erneuerbaren Wärmeversorgung beschleunigen. In diesem Zusammenhang werden dezentrale Einspeiser als Wärmeerzeuger beschrieben, die nicht zentral am Heizwerk, sondern an einem anderen dezentralen Einspeisepunkt in das Fernwärmenetz einspeisen (Lichtenegger et al. 2018). In Abhängigkeit von technologischen Voraussetzungen können dezentrale Einspeisepunkte umgesetzt werden und einen Mehrwert für Fernwärmesysteme darstellen.

Zusammenfassend kann Fernwärmesystemen auch in Zukunft eine zentrale Rolle für die thermische Energieversorgung beigemessen werden. Vor allem in dichten urbanen Regionen ist die langfristige Eignung von Fernwärmesystemen als Energieversorgungstechnologie gegeben. Auch zukünftige Entwicklungsszenarien wie etwa der Rückgang der Heizgradtage oder thermische Sanierungen beeinflussen die langfristige Eignung nicht substantiell.

Rolle der Energieraumplanung

Wie die Präsentation der wesentlichen Einflussgrößen auf die leitungsgebundene Wärmeversorgung in diesem Strategiepapier bereits hervorgehoben hat, spielen raumplanerische Aspekte eine zentrale Rolle in der Energieplanung. Um die Rolle der Energieraumplanung (ERP) besser zu verstehen, muss eine Definition von ERP erfolgen. Basierend auf Stoeglehner et al. (2016, 2014, 2011b) setzt sich ERP im Wesentlichen aus zwei Dimensionen zusammen:

- (1) Räumliche Dimension des Energieverbrauchs und
- (2) räumliche Dimension der Energieversorgung.

Die erste Dimension greift das Prinzip energieeffizienter Raum- und Siedlungsstrukturen auf, welches speziell für die Planung von Energieversorgungsnetzen eine zentrale Stellgröße darstellt. Energieeffiziente räumliche Strukturen werden durch folgende Punkte geprägt: Funktionsmischung, angemessen dichte Bebauung, kompakte Siedlungsstrukturen und einer geeigneten Standortwahl. Funktionsmischung und bauliche Dichte wurden bereits als zentrale Einflussgrößen in den vorherigen Kapiteln begründet. Kompakte Siedlungsstrukturen hingegen zeichnen sich durch kurze Wege des täglichen Lebens aus. Eine Kombination von drei der vier Faktoren, nämlich funktionsgemischte, dichte und kompakte Siedlungsstrukturen weisen erhöhte Wärmebedarfsdichten auf, welche wiederum positiv zu effizienten und ökonomischen Wärmenetzen beitragen. Der letzte Faktor, die geeignete Standortwahl, ist eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Planung leitungsgebundener Infrastruktur. Werden zum Beispiel lange Netze gebaut, so reduziert sich die Wärmebelegungsichte, welche sowohl als zentrales energetisches als auch ökonomisches Effizienzmerkmal gilt. Eine Belegungsichte von über 2 MWh abgesetzter Wärmeenergie pro Jahr und Laufmeter Netz kann als grober Richtwert einer ersten ökonomischen Einschätzung herangezogen werden (Nussbaumer et al. 2017).

Um die räumliche Dimension der Energieversorgung (zweite Dimension) aufzubereiten, ist eine genaue Evaluierung der Energienachfrage unabdinglich. Zusätzlich wird dazu eine Gegenüberstellung der zur Verfügung stehenden regionalen Energiequellen für die Energieversorgung benötigt. Speziell für leitungsgebundene Wärmeversorgung ist die unmittelbare Verbindung zwischen Energieverbrauch und Energieversorgung wesentlich und muss bei der Planung berücksichtigt werden.

Energieraumplanung unterstützt dabei Entscheidungsträger lokale Wärmepotenziale zu erheben und Angebot und Nachfrage zusammenzubringen, bzw. so zu beeinflussen, dass sie zukünftig besser harmonieren.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes *Eco.District.Heat* können zur strategischen Entscheidungsunterstützung energieraumplanerischer Fragestellungen hinsichtlich leitungsgebundener Wärmeversorgung herangezogen werden. Die entwickelte Methodik und die Erkenntnisse aus den Projektergebnissen sind insbesondere für Gemeinden und OrtsplanerInnen sowie für Energieversorger und Bauträger relevant.

Literaturverzeichnis

- BMNT, BMVIT: #mission2030 - Die österreichische Klima- und Energiestrategie. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus and Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2018.
- Erker, S., Lichtenwoehrer, P., Zach, F., Stoeglehner, G.: Interdisciplinary decision tool for grid-bound heat supply systems in urban areas. Manuscript submitted for publication. Submitted.
- FGW: Erdgas und Fernwärme in Österreich - Zahlenspiegel 2015. FGW-Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmungen, Wien 2015.
- Kanton Zürich: Glossar zum Begriff Dichte. Kanton Zürich Baudirektion - Amt für Raumentwicklung, 2015.
https://are.zh.ch/internet/audirektion/are/de/raumplanung/raumb Beobachtung/gemeinde_statistiken/_jcr_content/contentPar/morethemes/morethesitems/175_1428394721028.spooler.download.1428395149995.pdf/Glossar_zum_Begriff_Dichte_2015.pdf (abgerufen am 25. Oktober 2018)
- Korda, M.: Bevölkerungsstruktur und Siedlungswesen, In: Städtebau. 67–130, 1999.
- Krutzler, T., Wiesenberger, H., Heller, C., Gössl, M., Stranner, G., Storch, A., Heinfellner, H., Winter, R., Kellner, M., Schindler, I.: Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050. Umweltbundesamt, Wien 2016.
- Land Stmk – Steiermärkische Landesregierung: Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 22. März 1993, mit der Mindest- und Höchstwerte der Bebauungsdichte für Bauten festgelegt werden, LGBl 38/1993 idGF 58/2011.
- Lichtenegger, K., Moser, A., Muschick, D., Reiterer, D., Wöss, D., Leitner, A.: Einbindung von dezentralen Einspeisern in Wärmenetze - Der Prosumer am Wärmemarkt. AEE Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie NÖ-Wien, Wien 2018.
- Lichtenwoehrer, P., Erker, S., Zach, F., Stoeglehner, G.: Future compatibility of district heating in urban areas - a case study analysis in the context of integrated spatial and energy planning. Manuscript submitted for publication. Submitted.
- Neugebauer, G., Kretschmer, F., Kollmann, R., Narodoslowsky, M., Ertl, T., Stoeglehner, G.: Mapping Thermal Energy Resource Potentials from Wastewater Treatment Plants. In: Sustainability. 7, 12988–13010, 2015.
- Nussbaumer, T., Thalmann, S., Jenni, A., Ködel, J.: Planungshandbuch Fernwärme. Bundesamt für Energie, Ittigen 2017.
- Spektrum: Lexikon der Geographie. Spektrum Akademischer Verlag, 2001.
<https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/funktionsmischung/2766> (abgerufen am 25. Oktober 2018).
- Statistik Austria: Energiedaten Österreich 2016. Statistik Austria, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien 2017.

- Stoeglehner, G., Erker, S., Neugebauer, G.: **Energieraumplanung. Materialienband**. In Zusammenarbeit mit der ÖREK-Partnerschaft "Energieraumplanung". Auftraggeber und Leadpartner: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Medieninhaber und Herausgeber: Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK), ÖROK Schriftenreihe Nr. 192. Wien 2014.
- Stoeglehner, G., Narodslawsky, M., Steinmüller, H., Steininger, K., Weiss, M., Mitter, H., Neugebauer, G., Weber, G., Niemetz, N., Kettl, K.-H., Eder, M., Sandor, N., Pflüglmayer, B., Markl, B., Kollmann, A., Friedl, C., Lindorfer, J., Luger, M., Kulmer, V.: **PlanVision – Visionen für eine energieoptimierte Raumplanung**. Projektendbericht. Gefördert aus Mitteln des Klima- und Energiefonds, Wien 2011a.
- Stoeglehner, G., Neugebauer, G., Erker, S., Narodslawsky, M.: **Integrated Spatial and Energy Planning - Supporting Climate Protection and the Energy Turn with Means of Spatial Planning**, SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer International Publishing, Cham 2016.
- Stoeglehner, G., Niemetz, N., Kettl, K.-H.: **Spatial dimensions of sustainable energy systems: new visions for integrated spatial and energy planning**. Energy, Sustainability and Society. 1:2, 2011b.
- Westphal, C.: **Dichte als Planungsgröße im Stadtbau?** In: Raumforschung und Raumordnung. 67, 7–20, 2009.
- Zach, F., Erker, S., Stoeglehner, G.: **Influence factors on the environmental and economic feasibility of district heating systems**. Manuscript submitted for publication. Submitted.

7.2. Informationspakete



Eco.District.Heat

*Potenziale und Restriktionen
leitungsgebundener Wärmeversorgung
in Stadtquartieren*

Informationspaket
für Energieversorger
und Bauträger



Das Forschungsprojekt

Ziel des FFG-geförderten Forschungsprojektes „Eco.District.Heat – Potenziale und Restriktionen leitungsgebundener Wärmeversorgung in Stadtquartieren“ ist die Entwicklung einer interdisziplinären und strategischen Entscheidungshilfe zur Eignungsprüfung von Fernwärmeversorgungssystemen in österreichischen Städten. Durch die im Forschungsprojekt im Juni 2018 fertiggestellte Methodik, dem „EDH-Baukasten“, kann eine Eignungsprüfung für Fernwärmenetze in einfacher Art und Weise erfolgen. Die vorliegende Broschüre beinhaltet eine Übersicht über den entwickelten Baukasten und ein Berechnungsbeispiel. Des Weiteren wird die Relevanz der entwickelten Methodik für **Energieversorger** und **Bauträger** hervorgehoben.

Der EDH-Baukasten

Der Baukasten berücksichtigt und evaluiert energetische, raumplanerische, ökonomische, materielle sowie ökologische Aspekte leitungsgebundener Wärmeversorgung. Unter Betrachtung von qualitativen und quantitativen Kriterien kann eine ganzheitliche Bewertung von Stadtquartieren hinsichtlich ihrer Eignung für die Erschließung mit Fernwärmenetzen durchgeführt werden. Darüber hinaus können durch definierte Entwicklungsszenarien künftige Wirkungen evaluiert und die langfristige Eignung der Netze beurteilt werden. Die Methodik unterstützt EntscheidungsträgerInnen und AnwenderInnen jene Stadtquartiere zu identifizieren, die für eine Fernwärmeversorgung bevorzugt in Frage kommen und gleichzeitig zentrale Aspekte und Parameter hervorzuheben, welche wesentlich den Erfolg einer Fernwärmenetzplanung beeinflussen. Der EDH-Baukasten liefert eine umfassende Bewertung der Eignung einzelner Stadtstrukturen für eine Aufschließung mittels Fernwärme in einem frühen Planungsstadium. Basierend auf diesen Bewertungen des Baukastens kann in Folge, je nach Evaluierungsergebnis, eine Detailplanung folgen.

Die Baukastenmethodik ist auf vier Bewertungsebenen aufgeteilt:

- Raumplanung und Energie
- Kosten
- Ressourcen
- Umwelt und Klima



Für einzelne Stadtstrukturen müssen Abfragen getätigt werden, von denen sich Merkmale für die Bewertung ableiten lassen. Aus der Kombination einzelner Stadtstrukturen ergibt sich ein Bewertungsergebnis für ein gesamtes Stadtquartier.

Raumplanung und Energie

Der erste Teil des Baukastens repräsentiert den raumplanerischen und energetischen Teil der Methodik. Basierend auf 34 Abfragen (inkl. Abfragen zu Szenarien) können 17 Merkmale abgeleitet bzw. errechnet werden. Die nachstehende Abbildung veranschaulicht die erforderlichen Abfragen und Merkmale hinsichtlich **Raumplanung und Energie**. Die Abfragen sind in drei Teile getrennt: Abfragen (1) zum Standort, (2) zur vorhandenen oder geplanten Netzinfrastruktur sowie (3) zum vorhandenen bzw. angestrebten Wärmeangebot.

ABFRAGEN

- Gebäudetypologie
- Drei versch. Nutzungsarten (Wohnen, Dienstleistungen, Industrie und Gewerbe)
- Bauperiode
- Bruttobauland
- Bebauungsdichte
- Hochtemperatur-Wärmebedarf für industrielle Zwecke
- Raumwärmebedarf für Industrie und Dienstleistung
- Warmwasserbedarf für Industrie und Dienstleistung
- Einsatz von Kälteversorgungssystemen

Standortanalyse

- Art der/des bestehenden Netze(s)
- Bestehende Netzlänge des Fernwärmesystems
- Bestehende Netzlänge des Gasnetzes
- Art der/des zusätzlich geplanten Netze(s)
- Zusätzliche Netzlänge des Fernwärmesystems
- Zusätzliche Netzlänge des Gasnetzes
- Geplanter Anschlussgrad
- Kaskadische Nutzung

Netzanalyse

- 14 Arten von Energieträgern u.a.: Blockheizkraftwerk, Industrieheizung, Feuerung (Holzschnitzel), Müllverbrennung, Verbrennung von Klärschlamm, Abwasserenergie, Industrielle Abwärme, Power to Gas/Heat, Geothermie, Solarthermie, etc.
- Speichermöglichkeiten

Wärmeangebot



MERKMALE

- Funktionsmischung
- Wärmebedarfsdichte (1 x Teilfläche und 1 x Gesamtfläche)
- Wärmebedarf (1 x Teilfläche und 1 x Gesamtfläche)
- Einsatz von Kälteversorgungssystemen
- Resilienz (Doppelstrukturen)
- Belegungsichte
- Geplante Leitungslänge zu Bedarf
- Kaskadische Nutzung
- Wärmebedarfsdeckung Prozessenergie
- Wärmebedarfsdeckung Warmwasserbedarf
- Wärmebedarfsdeckung Raumwärmebedarf
- Speichermöglichkeiten
- Aggregiertes Merkmal aus der Standortanalyse
- Aggregiertes Merkmal aus der Netzanalyse
- Aggregiertes Merkmal aus dem Wärmeangebot

Kosten

Der zweite Teil des Baukastens bewertet wirtschaftlich relevante Aspekte der Fernwärmeversorgung. Aufbauend auf bereits vorhandenen Abfragen im vorigen Teil „Raumplanung und Energie“ werden noch zusätzliche Abfragen benötigt, um u.a. die in der Grafik dargestellten Merkmale für die ökonomische Bewertung ermitteln zu können.



Ressourcen

Im dritten Teil des Baukastens wird lediglich eine zusätzliche Abfrage hinsichtlich des Nenndurchmessers der Fernwärmeleitung benötigt, um das finale Set an Merkmalen zur Ressourcenbewertung zu ermitteln.



Umwelt- und Klima

Der letzte Teil des Baukastens berücksichtigt ökologisch relevante Merkmale, die zur Bewertung herangezogen werden. Hier werden keine zusätzlichen Abfragen mehr benötigt. Die Merkmale lassen sich ausschließlich aus bereits getätigten Abfragen ermitteln.

MERKMALE

- Neu sanierte Gebäude bis 2050
 - Veränderung des Gebäudebestandes bis 2050
 - Einsatz von Kälteversorgungssystemen
 - Voraussichtlicher Nenndurchmesser
 - Baulalter des Fernwärmenetzes
 - Zusätzlich verlegte Leitungslängen
 - Beitrag der erneuerbaren Energieträger an der Bedarfsdeckung

Entwicklungsszenarien bis 2050

Um Entwicklungen bis 2050 in die Bewertungen und Berechnungen zu integrieren, können folgende Szenarien berücksichtigt werden:

- Auswirkungen des Klimawandels
- Anteil der sanierten Gebäude
- Veränderungen des Gebäudebestandes
- Bevölkerungsentwicklung
- Beschäftigtenentwicklung

Ergebnisse und Gesamtbewertung

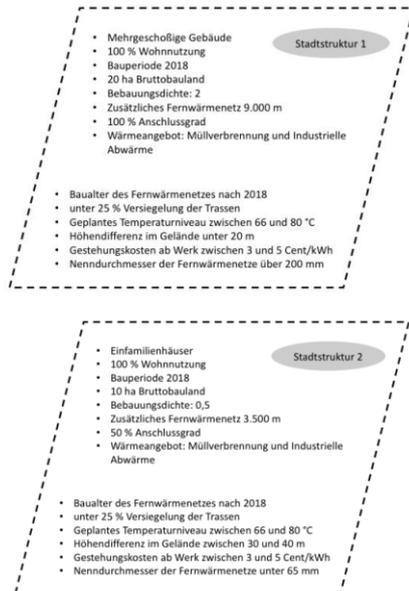
Die Bewertung der einzelnen Stadtstrukturen erfolgt mithilfe von Entscheidungsmatrizen. Die beschriebenen Merkmale dienen als Grundlage für das Bewertungsergebnis. In den Ergebnissen wird für jede Stadtstruktur pro Bewertungsebene ein gebenchmarktes Ergebnis in vier Klassen ausgewiesen, von „A“ (sehr gut) bis „D“ (nicht geeignet). Die Ergebnisse können jeweils für einzelne Stadtstrukturen oder für den gesamten Stadttraumtyp dargestellt werden. Die im Baukasten modellierten Stadttraumtypen sollen möglichst real existierende Stadtquartieren entsprechen.

Berechnungsbeispiel

Die folgenden Grafiken stellen zwei fiktive Stadtstrukturen mit den dazugehörigen Abfragen dar. Die erste Stadtstruktur besteht aus neu gebauten mehrgeschoßigen Gebäuden auf über 20 ha Bruttobauland. Die Bebauungsdichte ist dementsprechend hoch. Insgesamt wird ein Fernwärmeanschluss aller Gebäude angestrebt. Das Wärmeangebot setzt sich aus Müllverbrennung und industrieller Abwärme zusammen. Insgesamt werden 9.000 m Fernwärmeleitungen geplant. Die Stadtstruktur zeichnet sich darüber hinaus durch einen geringen Versiegelungsgrad der Leitungstrassen und ebenfalls geringen Höhendifferenzen im Gelände aus. Auch das Temperaturniveau der Wärmeversorgung ist vergleichsweise niedrig angesetzt. Die Gestehungskosten für die Fernwärmeversorgung liegen zwischen 3 und 5 Cent pro kWh, wohingegen der Nenndurchmesser der Leitungen mit über 200 mm sehr hoch angesetzt ist.

Die zweite Stadtstruktur spiegelt ein weniger dicht bebautes Gebiet mit Einfamilienhäusern wider. Es werden nur 50 % der potenziellen Wärmeabnehmer an das Netz angeschlossen. Im Unterschied zur ersten Stadtstruktur weist die zweite mehr Höhendifferenzen im Gelände auf.

Gleichzeitig liegt der Nenndurchmesser bei unter 65 mm. Eine genaue Gegenüberstellung der Fallbeispiele befindet sich in den folgenden Abbildungen.



Ohne die zuvor angegebenen Entwicklungsszenarien zu berücksichtigen, werden durch die Anwendung der Baukastenmethodik nachstehenden Bewertungsergebnissen generiert. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Bewertungsergebnisse von „A“ bis „D“ für die vier Bewertungsebenen (1) Raumplanung und Energie, (2) Kosten, (3) Ressourcen sowie (4) Umwelt und Klima. Die Ergebnisse setzen sich aus der Bewertung der ermittelten Merkmale zusammen.

Hinsichtlich Raumplanung und Energie schneidet die erste Stadtstruktur wesentlich besser ab. Auch unter Berücksichtigung kostenrelevanter Aspekte hebt sich die erste Stadtstruktur von der zweiten ab. Dies ist v.a. auf die höhere Dichte zurückzuführen. Durch das vergleichsweise lange Fernwärmenetz in der ersten Stadtstruktur kommt es in der Ressourcenbewertung zu einem schlechteren Ergebnis. Der hohe Anteil erneuerbarer Energiequellen trägt wesentlich zur positiven Bewertung in der Kategorie „Umwelt und Klima“ bei.

	Stadtstruktur 1	Stadtstruktur 2	Stadtquartier
Raumplanung und Energie	A	B	A
Kosten	A	C	B
Ressourcen	D	C	C
Umwelt und Klima	B	B	B

Die Kombination der beiden Stadtstrukturen ergibt ein Stadtquartier. Durch die Verschneidung der beiden Stadtstrukturen können die finalen Bewertungen für das gesamte Stadtquartier abgeleitet werden.

Relevanz für Energieversorger und Bauträger

Der entwickelte Baukasten des Forschungsprojektes „Eco District Heat“ kann Energieversorger und Bauträger bei der strategischen Planung hinsichtlich Erweiterungsvorhaben, Anschlussverdichtungen und Kapazitätsausbau unterstützen. Die in diesem Informationspaket präsentierte Methodik ermöglicht einen Variantenvergleich auf zwei Ebenen:

- (1) Planung und Vergleich eines Fernwärmeprojektes an unterschiedlichen Standorten
- (2) Planung und Vergleich unterschiedlicher Fernwärmeprojekte am selben Standort

Energieversorgern und Bauträgern wird es ermöglicht, unterschiedliche Standorte bzw. Stadtstrukturen bezüglich ihrer Eignung für eine Fernwärmeversorgung zu vergleichen. Durch die ausgewiesene Bewertung der einzelnen Stadtstrukturen wird eine Übersicht der bestgeeigneten Standorte dargestellt. Darüber hinaus werden raumplanerische Parameter, die einen wesentlichen Einfluss auf die Standortwahl darstellen, wie beispielsweise Bauungsdichte, Bruttobauland, Gebäudetypologien oder Nutzungsarten, in die Bewertung inkludiert. Die Methodik kann somit unterstützend für den optimierten Ausbau von Fernwärmenetzen bzw. Absatz von neuen Erzeugungskapazitäten herangezogen werden.

Würde ein geeignetes Fernwärmepaltungs- oder erweiterungsgebiet gefunden, kann in weiterer Folge eine Detailplanung veranlasst werden. Durch die strategische Anwendung der Methodik früh im Planungsprozess können gegebenenfalls Kosten für Detailanalysen gespart werden, da nur jene Stadtstrukturen identifiziert werden, in denen eine Fernwärmeversorgung sinnvoll erscheint. Darüber hinaus können verschiedene Parameter der Netzplanung (Anschlussgrad, Rohrdurchmesser, Temperaturniveau, Energiequellen etc.) variiert und eine schrittweise Optimierung der Projektergebnisse erzielt werden. Unter Berücksichtigung kostenrelevanter Parameter werden zusätzlich die ökonomischsten Fernwärmeprojekte eruiert. Besondere Aufmerksamkeit wird bei der Auswertung dem Einfluss doppelter Infrastrukturen, bestehender und geplanter Netze, der Belegungsdichte, des Baualters der Netzinfrastruktur, des Versiegelungsgrades, des Temperaturniveaus, der Höhendifferenzen im Gelände und der Gestehungskosten beigemessen. Die Reflexion dieser Parameter unterstützt dabei eine erste wirtschaftliche Grobabschätzung des Bauprojektes.

Durch die Gegenüberstellung von Wärmeangebot und -nachfrage wird zusätzlich eine erste Abschätzung hinsichtlich verfügbarer Energiequellen ermöglicht. Der Beitrag und die Relevanz zu Einsparzielen, etwa im Hinblick auf das Energieeffizienzgesetz, werden im Wesentlichen durch die Bewertungen in den Kategorien „Ressourcen“ und „Umwelt und Klima“ ermittelt. Durch die Bewertung auf diesen zwei Ebenen wird es Bauträgern und Energieversorgern erleichtert, einen Einblick in potenzielle Folgewirkungen des geplanten Projektes zu erhalten und die Legitimation zur Durchführung der geplanten Projekte zu untermauern. Zusätzlich trägt die Analyse des Wärmeangebots zu einer Reflexion des Fernwärmeenergiemixes bei. Strategische Überlegungen hinsichtlich der Ausrichtung auf zentrale, dezentrale sowie fossile oder erneuerbare Energieträger können angestoßen werden, auch im Hinblick auf zu erreichende CO₂-Emissionsreduktionen.



Fördergeber

Der EDH-Baukasten wurde im Zuge des Forschungsprojekts „Eco.District.Heat – Potenziale und Restriktionen leitungsgebundener Wärmeversorgung in Stadtquartieren“ (September 2016 bis Juli 2018) entwickelt. Das Forschungsprojekt wurde im Rahmen der 3. Ausschreibung „Stadt der Zukunft“ durch die Forschungsförderungsgesellschaft FFG finanziert. Stadt der Zukunft ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.

Impressum



Institut für Raumplanung,
Umweltplanung und
Bodenordnung (IRUB)

Peter-Jordan-Straße 82
1190
Wien

Projektleitung: Gernot Stöglehner
Projektmitarbeit: Susanna Erker, Peter Lichtenwöhner



Österreichische
Energieagentur
(AEA)

Mariahilfer Straße 136
1150
Wien

Projektmitarbeit: Franz Zach

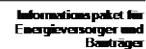


Ressourcen
Management
Agentur (RMA)

Argentinierstraße 48
1040
Wien

Projektmitarbeit: Hans Daxbeck, Stefan Neumayer

*Weiterführende Informationen
finden Sie im Endbericht des
Forschungsprojektes
Eco.District.Heat.*



Eco.District.Heat

Potenziale und Restriktionen
leitungsgebundener Wärmeversorgung
in Stadtquartieren



Informationspaket
für Gemeinden und
OrtsplanerInnen

Das Forschungsprojekt

Ziel des FFG-geförderten Forschungsprojektes „Eco.District.Heat – Potenziale und Restriktionen leitungsgebundener Wärmeversorgung in Stadtquartieren“ ist die Entwicklung einer interdisziplinären und strategischen Entscheidungshilfe zur Eignungsprüfung von Fernwärmeversorgungssystemen in österreichischen Städten. Durch die im Forschungsprojekt im Juni 2018 fertiggestellte Methodik, dem „EDH-Baukasten“, kann eine Eignungsprüfung für Fernwärmenetze in einfacher Art und Weise erfolgen. Die vorliegende Broschüre beinhaltet eine Übersicht über den entwickelten Baukasten und ein Berechnungsbeispiel. Des Weiteren wird die Relevanz der entwickelten Methodik für **Gemeinden und OrtsplanerInnen** hervorgehoben.

Der EDH-Baukasten

Der Baukasten berücksichtigt und evaluiert energetische, raumplanerische, ökonomische, materielle sowie ökologische Aspekte leitungsgebundener Wärmeversorgung. Unter Betrachtung von qualitativen und quantitativen Kriterien kann eine ganzheitliche Bewertung von Stadtquartieren hinsichtlich ihrer Eignung für die Erschließung mit Fernwärmenetzen durchgeführt werden. Darüber hinaus können durch definierte Entwicklungsszenarien künftige Wirkungen evaluiert und die langfristige Eignung der Netze beurteilt werden. Die Methodik unterstützt EntscheidungsträgerInnen und AnwenderInnen jene Stadtquartiere zu identifizieren, die für eine Fernwärmeversorgung bevorzugt in Frage kommen und gleichzeitig zentrale Aspekte und Parameter hervorzuheben, welche wesentlich den Erfolg einer Fernwärmenetzplanung beeinflussen. Der EDH-Baukasten liefert eine umfassende Bewertung der Eignung einzelner Stadtstrukturen für eine Aufschließung mittels Fernwärme in einem frühen Planungsstadium. Basierend auf diesen Bewertungen des Baukastens kann in Folge, je nach Evaluierungsergebnis, eine Detailplanung folgen.

Die Baukastenmethodik ist auf vier Bewertungsebenen aufgeteilt:

- Raumplanung und Energie
- Kosten
- Ressourcen
- Umwelt und Klima



Für einzelne Stadtstrukturen müssen Abfragen getätigt werden, von denen sich Merkmale für die Bewertung ableiten lassen. Aus der Kombination einzelner Stadtstrukturen ergibt sich ein Bewertungsergebnis für ein gesamtes Stadtquartier.

Raumplanung und Energie

Der erste Teil des Baukastens repräsentiert den raumplanerischen und energetischen Teil der Methodik. Basierend auf 34 Abfragen (inkl. Abfragen zu Szenarien) können 17 Merkmale abgeleitet bzw. errechnet werden. Die nachstehende Abbildung veranschaulicht die erforderlichen Abfragen und Merkmale hinsichtlich **Raumplanung und Energie**. Die Abfragen sind in drei Teile getrennt: Abfragen (1) zum Standort, (2) zur vorhandenen oder geplanten Netzinfrastruktur sowie (3) zum vorhandenen bzw. angestrebten Wärmeangebot.

ABFRAGEN

- Gebäudetypologie
- Drei versch. Nutzungsarten (Wohnen, Dienstleistungen, Industrie und Gewerbe)
- Bauperiode
- Bruttobauland
- Bebauungsdichte
- Hochtemperatur-Wärmebedarf für industrielle Zwecke
- Raumwärmebedarf für Industrie und Dienstleistung
- Warmwasserbedarf für Industrie und Dienstleistung
- Einsatz von Kälteversorgungssystemen

Standortanalyse

- Art der/des bestehenden Netze(s)
- Bestehende Netzlänge des Fernwärmesystems
- Bestehende Netzlänge des Gasnetzes
- Art der/des zusätzlich geplanten Netze(s)
- Zusätzliche Netzlänge des Fernwärmesystems
- Zusätzliche Netzlänge des Gasnetzes
- Geplanter Anschlussgrad
- Kaskadische Nutzung

Netzanalyse

- 14 Arten von Energieträgern u.a.: Blockheizkraftwerk, Industrieheizung, Feuerung (Holzschnitzel), Müllverbrennung, Verbrennung von Klärschlamm, Abwasserenergie, Industrielle Abwärme, Power to Gas/Heat, Geothermie, Solarthermie, etc.
- Speichermöglichkeiten

Wärmeangebot



MERKMALE

- Funktionsmischung
- Wärmebedarfsdichte (1 x Teilfläche und 1 x Gesamtfläche)
- Wärmebedarf (1 x Teilfläche und 1 x Gesamtfläche)
- Einsatz von Kälteversorgungssystemen
- Resilienz (Doppelstrukturen)
- Belegungsichte
- Geplante Leitungslänge zu Bedarf
- Kaskadische Nutzung
- Wärmebedarfsdeckung Prozessenergie
- Wärmebedarfsdeckung Warmwasserbedarf
- Wärmebedarfsdeckung Raumwärmebedarf
- Speichermöglichkeiten
- Aggregiertes Merkmal aus der Standortanalyse
- Aggregiertes Merkmal aus der Netzanalyse
- Aggregiertes Merkmal aus dem Wärmeangebot

Kosten

Der zweite Teil des Baukastens bewertet wirtschaftlich relevante Aspekte der Fernwärmeversorgung. Aufbauend auf bereits vorhandenen Abfragen im vorigen Teil „Raumplanung und Energie“ werden noch zusätzliche Abfragen benötigt, um u.a. die in der Grafik dargestellten Merkmale für die ökonomische Bewertung ermitteln zu können.



Ressourcen

Im dritten Teil des Baukastens wird lediglich eine zusätzliche Abfrage hinsichtlich des Nenndurchmessers der Fernwärmeleitung benötigt, um das finale Set an Merkmalen zur Ressourcenbewertung zu ermitteln.



Umwelt- und Klima

Der letzte Teil des Baukastens berücksichtigt ökologisch relevante Merkmale, die zur Bewertung herangezogen werden. Hier werden keine zusätzlichen Abfragen mehr benötigt. Die Merkmale lassen sich ausschließlich aus bereits getätigten Abfragen ermitteln.

MERKMALE

- Neu sanierte Gebäude bis 2050
 - Veränderung des Gebäudebestandes bis 2050
 - Einsatz von Kälteversorgungssystemen
 - Voraussichtlicher Nenndurchmesser
 - Baulalter des Fernwärmenetzes
 - Zusätzlich verlegte Leitungslängen
 - Beitrag der erneuerbaren Energieträger an der Bedarfsdeckung

Entwicklungsszenarien bis 2050

Um Entwicklungen bis 2050 in die Bewertungen und Berechnungen zu integrieren, können folgende Szenarien berücksichtigt werden:

- Auswirkungen des Klimawandels
- Anteil der sanierten Gebäude
- Veränderungen des Gebäudebestandes
- Bevölkerungsentwicklung
- Beschäftigtenentwicklung

Ergebnisse und Gesamtbewertung

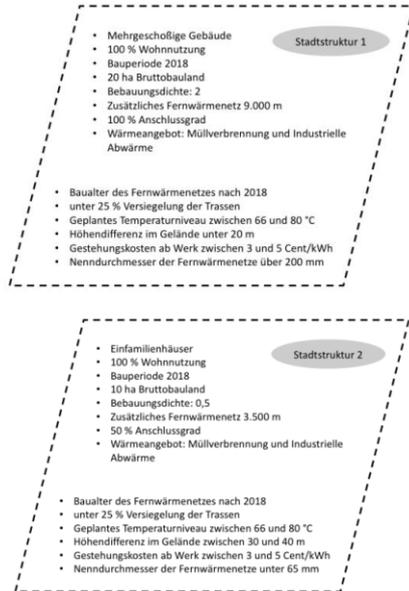
Die Bewertung der einzelnen Stadtstrukturen erfolgt mithilfe von Entscheidungsmatrizen. Die beschriebenen Merkmale dienen als Grundlage für das Bewertungsergebnis. In den Ergebnissen wird für jede Stadtstruktur pro Bewertungsebene ein gebenchmarktes Ergebnis in vier Klassen ausgewiesen, von „A“ (sehr gut) bis „D“ (nicht geeignet). Die Ergebnisse können jeweils für einzelne Stadtstrukturen oder für den gesamten Stadttraumtyp dargestellt werden. Die im Baukasten modellierten Stadttraumtypen sollen möglichst real existierende Stadtquartieren entsprechen.

Berechnungsbeispiel

Die folgenden Grafiken stellen zwei fiktive Stadtstrukturen mit den dazugehörigen Abfragen dar. Die erste Stadtstruktur besteht aus neu gebauten mehrgeschößigen Gebäuden auf über 20 ha Bruttobauland. Die Bebauungsdichte ist dementsprechend hoch. Insgesamt wird ein Fernwärmeanschluss aller Gebäude angestrebt. Das Wärmeangebot setzt sich aus Müllverbrennung und industrieller Abwärme zusammen. Insgesamt werden 9.000 m Fernwärmeleitungen geplant. Die Stadtstruktur zeichnet sich darüber hinaus durch einen geringen Versiegelungsgrad der Leitungstrassen und ebenfalls geringen Höhendifferenzen im Gelände aus. Auch das Temperaturniveau der Wärmeversorgung ist vergleichsweise niedrig angesetzt. Die Gestehungskosten für die Fernwärmeversorgung liegen zwischen 3 und 5 Cent pro kWh, wohingegen der Nenndurchmesser der Leitungen mit über 200 mm sehr hoch angesetzt ist.

Die zweite Stadtstruktur spiegelt ein weniger dicht bebautes Gebiet mit Einfamilienhäusern wider. Es werden nur 50 % der potenziellen Wärmeabnehmer an das Netz angeschlossen. Im Unterschied zur ersten Stadtstruktur weist die zweite mehr Höhendifferenzen im Gelände auf.

Gleichzeitig liegt der Nenndurchmesser bei unter 65 mm. Eine genaue Gegenüberstellung der Fallbeispiele befindet sich in den folgenden Abbildungen.



Ohne die zuvor angegebenen Entwicklungsszenarien zu berücksichtigen, werden durch die Anwendung der Baukastenmethodik nachstehenden Bewertungsergebnisse generiert. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Bewertungsergebnisse von „A“ bis „D“ für die vier Bewertungsebenen (1) Raumplanung und Energie, (2) Kosten, (3) Ressourcen sowie (4) Umwelt und Klima. Die Ergebnisse setzen sich aus der Bewertung der ermittelten Merkmale zusammen.

Hinsichtlich Raumplanung und Energie schneidet die erste Stadtstruktur wesentlich besser ab. Auch unter Berücksichtigung kostenrelevanter Aspekte hebt sich die erste Stadtstruktur von der zweiten ab. Dies ist v.a. auf die höhere Dichte zurückzuführen. Durch das vergleichsweise lange Fernwärmenetz in der ersten Stadtstruktur kommt es in der Ressourcenbewertung zu einem schlechteren Ergebnis. Der hohe Anteil erneuerbarer Energiequellen trägt wesentlich zur positiven Bewertung in der Kategorie „Umwelt und Klima“ bei.

	Stadtstruktur 1	Stadtstruktur 2	Stadtquartier
Raumplanung und Energie	A	B	A
Kosten	A	C	B
Ressourcen	D	C	C
Umwelt und Klima	B	B	B

Die Kombination der beiden Stadtstrukturen ergibt ein Stadtquartier. Durch die Verschneidung der beiden Stadtstrukturen können die finalen Bewertungen für das gesamte Stadtquartier abgeleitet werden.

Relevanz für Gemeinden und OrtsplanerInnen

Der entwickelte Baukasten des Forschungsprojektes „Eco District Heat“ kann Gemeinden und OrtsplanerInnen bei der Entscheidungsfindung hinsichtlich energieeffizienter Raumplanung und kommunaler Klimapolitik unterstützen.

Die in diesem Informationspaket präsentierte Methodik ermöglicht einen Variantenvergleich auf zwei Ebenen:

- Planung und Vergleich eines Fernwärmeprojektes an unterschiedlichen Standorten
- Planung und Vergleich unterschiedlicher Fernwärmeprojekte am selben Standort

Bezugnehmend auf die erste Ebene können unterschiedliche Standorte bzw. Stadtstrukturen hinsichtlich ihrer Eignung für eine Fernwärmeversorgung verglichen werden. Für die bestgeeigneten Gebiete kann in weiterer Folge eine Detailplanung veranlasst werden. Durch den strategischen Charakter können gegebenenfalls Kosten für Detailanalysen gespart werden, da nur jene Strukturen identifiziert werden, in denen eine Fernwärmeversorgung sinnvoll erscheint.

Darüber hinaus werden raumplanerische Parameter, die einen wesentlichen Einfluss auf die Standortwahl darstellen, wie beispielsweise Bauungsdichte, Bruttobauland, Gebäudetypologien oder Nutzungsarten, hinterfragt und in die Bewertung inkludiert. Die Methodik kann dabei unterstützend für energieraumplanerische Fragestellungen zukünftiger Siedlungsprojekte herangezogen werden. Unter Anderem wird es Gemeinden und OrtsplanerInnen erleichtert funktionsgemischte Strukturen zu identifizieren und die Vorteile von Nachverdichtungsvorhaben zu kommunizieren. Außerdem unterstützt die Anwendung der Methodik die strategische Ausrichtung der kommunalen Wärmeversorgung, da konkrete Überlegungen zukünftiger Fernwärmeversorgungs- und Ausbaubereiche angestoßen werden.

Ist die Standortwahl für ein Fernwärmenetz gefallen, so können verschiedene Parameter der Netzplanung und der Bebauung variiert und so eine schrittweise Verbesserung der Projektergebnisse erzielt werden. Unter Berücksichtigung kostenrelevanter Parameter werden zusätzlich die ökonomischsten Fernwärmeprojekte eruiert. Auf dieser Basis können politische Instrumente wie z.B. die Bedingungen für eine Anschlusspflicht unter gewissen Voraussetzungen definiert werden.

Der Beitrag und die Relevanz zur kommunalen Klimapolitik werden im Wesentlichen durch die Bewertungen in den Kategorien „Ressourcen“ und „Umwelt und Klima“ hervorgehoben. Durch die Ergebnisse wird ein Einblick in potenzielle Folgewirkungen des geplanten Projektes ermöglicht. Zusätzlich trägt die Analyse des Wärmeangebots zu einer Reflexion des Fernwärmeenergienixes bei. Strategische Überlegungen auf kommunaler Ebene hinsichtlich der Ausrichtung auf zentrale, dezentrale sowie fossile oder erneuerbare Energieträger können angestoßen werden, auch im Hinblick auf politische Ziele bezüglich CO₂-Emissionsreduktionen. Hierbei spielen die Berücksichtigung bzw. das Einbinden verschiedener Abwärmequellen eine zentrale Rolle.



Fördergeber

Der EDH-Baukasten wurde im Zuge des Forschungsprojekts „Eco.District.Heat – Potenziale und Restriktionen leitungsgebundener Wärmeversorgung in Stadtquartieren“ (September 2016 bis Juli 2018) entwickelt. Das Forschungsprojekt wurde im Rahmen der 3. Ausschreibung „Stadt der Zukunft“ durch die Forschungsförderungsgesellschaft FFG finanziert. Stadt der Zukunft ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.

Impressum



Institut für Raumplanung,
Umweltplanung und
Bodenordnung (IRUB)

Peter-Jordan-Straße 82
1190
Wien

Projektleitung: Gernot Stöglehner
Projektmitarbeit: Susanna Erker, Peter Lichtenwöhner



Österreichische
Energieagentur
(AEA)

Mariahilfer Straße 136
1150
Wien

Projektmitarbeit: Franz Zach

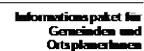


Ressourcen
Management
Agentur (RMA)

Argentinierstraße 48
1040
Wien

Projektmitarbeit: Hans Daxbeck, Stefan Neumayer

*Weiterführende Informationen
finden Sie im Endbericht des
Forschungsprojektes
Eco.District.Heat.*





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